

คอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต

Lightweight Concrete Made from Oil Palm Shell Aggregate Blended with Granite Fill Wastes

อนุพล ตันนโยภาส^{1*} และ กัลยาณี คุปตานนท์²
Danupon Tonnayopas^{1*} and Kalayanee Kooptarnond²

บทคัดย่อ

ศึกษาคุณลักษณะของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันเป็นมวลรวมหยาบผสมหินฝุ่นแกรนิต ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ผสมกับหินฝุ่นแกรนิตร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และบ่มในน้ำ ทดสอบที่เวลา 1 7 14 21 28 และ 56 วัน หาค่าสมบัติมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผ่านการทดสอบ การกระจายขนาด ดัชนียาวรีวและแบน การสึกหรอแบบลอสมองเจลิส การดูดซึมน้ำ และการกระแทก คุณลักษณะของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันที่วัด ได้แก่ ความต้านทานไฟฟ้า การหดตัวแบบแช่น้ำเชิงปริมาตร ความแข็งแรงคอนกรีตแบบอัด ความต้านทานการเสียดสีและการสึกกร่อนด้วยเครื่องทดสอบการเสียดสีแบบลอสมองเจลิส การทดสอบการดูดซึมน้ำ และการทดสอบการกระแทก ผลของไฮดรเจนได้ ตรวจสอบด้วยการเปลี่ยนสีเอกซ์และโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 16-29 เมกะพาสคัล ซึ่งเป็นที่น่าพอใจอยู่ในเกณฑ์กำหนดกำลังสำหรับคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้าง

คำสำคัญ: กะลาปาล์มน้ำมัน หินฝุ่นแกรนิต คอนกรีตมวลเบา มวลรวมหยาบ อายุบ่ม

Abstract

Characterizations of lightweight concrete used solid waste oil palm shell (OPS) as coarse aggregate blended with fine granite waste were investigated. Portland cement, Type I mixed with 10, 20 and 30% by weight of fine granite waste and were cured in water and tested at 1, 7, 14, 21, 28 and 56 days. The OPS aggregate properties were determined through grain size distribution, flakiness and elongation index, Los Angeles abrasion, water absorption,

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

* Corresponding author: โทรศัพท์/โทรสาร 0-7421-2897 e-mail: danupon.t@psu.ac.th

and impact tests. Other characterizations of OPS concrete namely, the electrical resistance, volumetric wetting shrinkage, Schmidt rebound hardness and compressive strength was also determined. The hydration products were identified by means of X-ray diffraction (XRD) and their microstructure by scanning electron microscope (SEM). The average compressive strengths of OPS concrete in the range of 16 to 29 MPa and were satisfied the strength requirement for structural lightweight concrete.

Keywords : Oil Palm Shell, Fine Granite Waste, Lightweight Concrete, Coarse Aggregate, Aging

คำนำ

ปัจจุบันการใช้คอนกรีตมวลเบาในงานก่อสร้างได้แพร่หลายมากขึ้น ซึ่งคอนกรีตที่ใช้มวลรวมมาจากธรรมชาติสร้างหรือมนุษย์ทำขึ้นมานั้น ล้วนแล้วแต่นำมาใช้ประโยชน์ได้แทบทั้งสิ้น ในอดีตการใช้คอนกรีตธรรมดาทำให้โครงสร้างอาคารรับน้ำหนักจากคอนกรีตเป็นจำนวนมาก และส่งผลกระทบต่อสภาพปฏิกิริยาของโครงสร้างอาคารมีขนาดใหญ่ทะลุทะลวงกัน ในบริเวณที่มีแผ่นดินไหวเกิดขึ้นบ่อย การก่อสร้างอาคารที่ใช้วัสดุเบาจะช่วยลดความเสียหายของอาคารไม่รุนแรงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาทำคอนกรีตให้น้ำหนักลดลง จะช่วยลดแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง โดยมีการพัฒนาทำเป็นคอนกรีตฟรูน (foam concrete) คอนกรีตโปรง (cellular concrete) คอนกรีตไรทราย (no fine concrete) และคอนกรีตกักฟองอากาศ (aerated concrete) หรือการแทนด้วยวัสดุมวลรวมน้ำหนักเบา (lightweight aggregate) เข้าไปในส่วนมวลรวมปกติแทนเพื่อให้น้ำหนักลดลง ได้แก่ หินพัมมิช [1] เพอร์ไลต์ [2] ดินเบา [3] ตะกรันภูเขาไฟ (scoria) อะลูมิเนียม พอลิเมอร์ เป็นต้น

ในภาคใต้ได้มีการส่งเสริมปลูกปาล์มน้ำมันอย่างจริงจังมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 จึงทำให้การปลูกปาล์มในประเทศไทยได้ขยายไปอย่างรวดเร็วใน พ.ศ. 2531 มีเนื้อที่ปลูกปาล์มน้ำมัน 655,000ไร่ และแนวโน้มการปลูกปาล์มเพิ่มขึ้นทุกปีจนประมาณกันว่าในปี 2553 มีพื้นที่ปลูก

ปาล์มน้ำมันประมาณ 5 ล้านไร่ เพื่อนำผลผลิตไปแปรรูปเป็นน้ำมันไบโอดีเซล ในผลปาล์มน้ำมันนั้นกะลาปาล์มเป็นส่วนที่หุ้มเมล็ดในปาล์ม ลักษณะแข็งมากแยกออกมาจากเปลือกนอกที่หีบน้ำมันออกแล้ว กะลาปาล์มที่เหลือจากโรงงานที่สกัดน้ำมันปาล์มมีเฉพาะเปลือกอย่างเดียว แม้ว่ามีราคาจำหน่ายกะลาปาล์มอยู่ที่ 70-500 บาทต่อดัน แต่ก็ยังคงเหลือไม่ได้นำไปใช้ทำประโยชน์อย่างคุ้มค่าอีกมาก ในขณะที่ภาวการณ์ขาดแคลนที่อยู่อาศัยยังมีทั่วโลก และทวีความรุนแรงในประเทศกำลังพัฒนาเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างราคาถีบตัวสูง ดังนั้นการนำเอาของเสียทางเกษตรมาพัฒนาทดแทนวัสดุก่อสร้างทั่วไปได้ก็ช่วยบรรเทาและยังเป็นแนวทางกำจัดของเสียอย่างยั่งยืนอีกด้วย อาทิเช่น ลูกสนทะเลแห้งทำคอนกรีต [4] ดังนั้นจึงได้มีการศึกษานำเอากะลาปาล์มน้ำมันมาทำเป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตมวลเบา [5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15] การศึกษครั้งนี้จึงใช้กะลาปาล์มน้ำมันที่ได้จากส่วนที่เหลือจากการหีบเอาน้ำมันในเนื้อปาล์มมาทำเป็นมวลรวมหยาบ นอกจากนั้นหินฝุ่นแกรนิตที่เป็นผลผลิตเกิดจากกระบวนการโม่หินในเหมืองหิน ซึ่งมีการนำไปใช้ส่วนผสมทำอิฐบล็อก พื้นหินขัด [16] แต่ก็ใช้ในปริมาณน้อย การนำมาทำเป็นวัสดุเติม (filler) แทนปูนซีเมนต์บางส่วน เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเชิงนิเวศน์จึงน่าจะเหมาะสมในสภาวะปัจจุบัน เพื่อช่วยลดภาวะโลกร้อนและที่สำคัญช่วยให้ค่าก่อสร้างที่ทุกคนทั่วโลกลดลงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้

วัสดุดิบที่ใช้ประกอบด้วย กะลาปาล์มน้ำมัน ได้รับมาจากโรงงานอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันนามหงส์ จังหวัดกระบี่ (รูปที่ 1 ก) ส่วนหินฝุ่นแกรนิตได้รับจากโรงโม่หินทุ่งหวังจังหวัดสงขลา (รูปที่ 1 ข) ซึ่งเป็นหินแกรนิตเนื้อดอก มีเฟลด์สปาร์เป็นแร่ดอก แร่หลักประกอบด้วยควอตซ์และไบโอไทต์ ทรายน้ำจืดชนิดหยาบทั่วไป และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการวาวแสงรังสีเอกซ์แบบกึ่งปริมาณ (semi-quantitative) ของฝุ่นแกรนิต (ตารางที่ 1) มีปริมาณ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 รวมกันได้ร้อยละ 82.74 ตรวจโครงสร้างจุลภาคหินฝุ่นแกรนิตด้วยการถ่ายภาพ

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) พบว่ามีรูปร่างเป็นเหลี่ยมและเนื้อตัน (รูปที่ 2) การวิเคราะห์ขนาดหินฝุ่นแกรนิตด้วยเครื่องวิเคราะห์อนุภาคด้วยแสงเลเซอร์ (laser particle size analyser) ชื่อ Master Sizer พบว่ากระจายอยู่ในช่วง 0.32 ถึง 181.97 ไมครอน โดยค่ามัธยฐานเท่ากับ 11.25 ไมครอน ส่วนทรายมีการกระจายมากที่สุดที่ 4.75-1.18 มม. โดยปริมาณที่มากที่สุดอยู่ในช่วง 2.36-1.18 มม. ถึง 28.03% ค่าโมดูลัสความละเอียด (Modulus of Fineness, F.M.) เท่ากับ 3.35 จัดว่าเป็นทรายหยาบและกะลาปาล์มน้ำมันมีการกระจายขนาดในช่วง 4.70 ถึง 9.50 มม. ขนาดกระจายตัวมากที่สุดที่ 6.50 มม. เท่ากับ 60.87% ค่าโมดูลัสความละเอียด 6.69 มีความหมายว่าในการหล่อคอนกรีตไม่ต้องการน้ำมาก (รูปที่ 3)



ก)

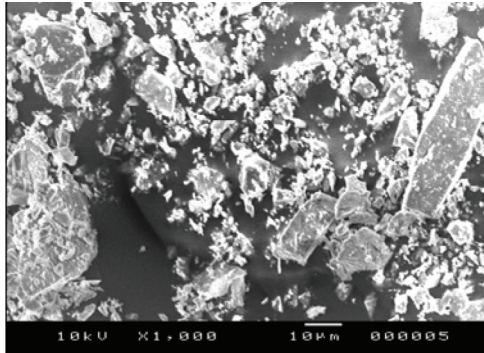


ข)

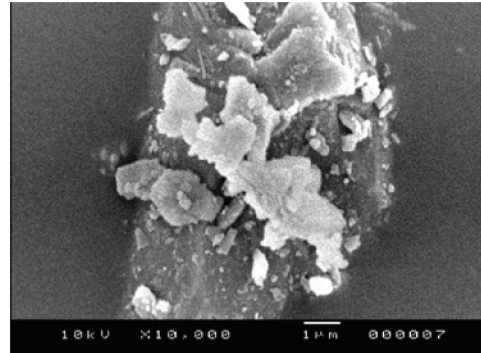
รูปที่ 1 ก) กองกะลาปาล์มน้ำมันสุ่มในโรงงาน และ ข) กองหินฝุ่นแกรนิต ต.ทุ่งหวัง อ.เมือง จ.สงขลา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุผสม

ชนิดวัสดุ	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3
หินฝุ่นแกรนิต (FGW)	65.51	12.03	5.2	1.8	0.76	3.39	10.1	0.13
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC)	7.25	1.78	2.54	64.24	2.95	ไม่พบ	1.42	ไม่พบ

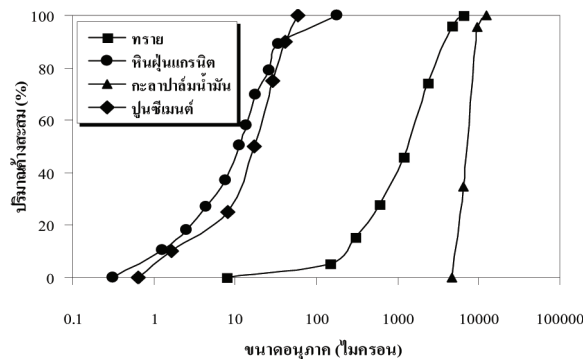


ก)



ข)

รูปที่ 2 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของหินฝุ่นแกรนิตกำลังขยาย ก) 1000 เท่า และ ข) 10000 เท่า



รูปที่ 3 การกระจายขนาดของวัสดุดิบในคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต

การเตรียมและอัตราส่วนผสมของคอนกรีต

กะลาปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบได้นำมาล้างด้วยน้ำประปาสะอาด เพื่อให้น้ำมันเคลือบตามผิวและฝุ่นออก ตากแดดและอบให้แห้งสนิท (50° ซ.) เป็นเวลา 24 ชม. คัดและกะขนาดในคอนกรีต 9.50, 6.50 และ 4.70 มม. เป็นปริมาณ 5, 60 และ 35% ตามลำดับ ส่วนหินฝุ่นแกรนิตนำไปบดด้วยเครื่องลูกบดกระแทก (ball mill) เป็นเวลา 8 ชม. คัดให้ขนาดละเอียดกว่า 45 ไมครอน และ

กำหนดปริมาณหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 2) อัตราส่วนน้ำ: วัสดุประสาน (w/b) = 0.40 อัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย เป็น 1.71 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์:กะลาปาล์มน้ำมันเป็น 0.77 โดยกะลาปาล์มน้ำมันบดด้วยน้ำผิวแห้ง ก่อนหล่อคอนกรีตทดสอบขนาด 10×10×10 ซม. ไม่บ่มและบ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (25° ซ.) เป็นเวลา 7 14 21 28 และ 56 วัน ค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดสอบอัตราส่วนละ 4 ก้อน

ตารางที่ 2 ออกแบบอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ศึกษา

อัตราส่วนผสม OPC:FGW	วัสดุผสม (กก./ลบ.ม.)				
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	หินฟูนแกรนิต	กะลาปาล์มน้ำมัน	ทราย	น้ำ
100 : 0	600	0	462	1026	240
90 : 10	480	120	462	1026	240
80 : 20	420	180	462	1026	240
70 : 30	360	240	462	1026	240

วิธีการทดสอบก่อนตัวอย่าง

การวัดเวลาก่อนตัวน้ำปูนขึ้นด้วยวิธีไวแคต [17] ก่อนคอนกรีตทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ [18] การหดตัวแบบแช่น้ำเชิงปริมาตร ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะวัดด้วยเครื่องแบบพกพา Mega-Ohmmeter [19] ความแข็งแรงแบบชนิดใช้ค้อนชนิด L [20] และกำลังอัด [21] การตรวจชนิดแร่ของเนื้อคอนกรีตด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ด้วยเครื่อง PHILIPS X'Pert MPD และถ่ายภาพโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยเครื่อง JSM 5800LV, JEOL

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ลักษณะกะลาปาล์มน้ำมันที่ใช้เป็นมวลรวม

สมบัติทางกายภาพของกะลาปาล์มน้ำมันพันธุ์ที่ใช้ทำเป็นมวลรวมนี้ สรุปไว้ในตารางที่ 3 พบว่ามีรูปทรงแบนไม่สม่ำเสมอ ผิวกะลามีทั้งโค้งนูนและเว้า ก่อนข้างเรียบมีเส้นใยติดหลงเหลืออยู่บ้าง มีความหนาในช่วง 2.3-3.0 มม. เหล็ก 2.8 มม. ขอบรอยแตกแหลมและคมขึ้นกับการแตกตอนหีบผลปาล์ม การดูดซึมน้ำค่อนข้างมาก ค่ากระแทกของกะลาปาล์มที่สดมีค่าน้อยกว่าที่แห้งถึงร้อยละ 60 จัดเป็นมวลรวมประเภทแข็งมาก ค่าการสึกหรอแบบลอสมองเจลีสมีน้อยมากเช่นกัน (4.64-4.76) และค่าตัวประกอบภาวะเอกรูป (UF) มีค่า 0.19-0.20 ค่าความ

หนาแน่นแบบหลวมและแบบแน่นเป็น 580 และ 648 กก./ม.3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าบางรายการที่ต่างไปจากสมบัติของกะลาปาล์มที่ใช้วิจัย [9,22,23]

การก่อตัวของเพสต์ด้วยไวแคต

เวลาการก่อตัวเริ่มต้นเร็วที่สุดคือ ซีเมนต์เพสต์ ในขณะที่เวลาเริ่มก่อตัวช้าที่สุดคือ เพสต์ผสมหินฟูนแกรนิตลงไป 30% (รูปที่ 4 ก) ส่วนระยะเวลาก่อนตัวเร็วที่สุดคือ เพสต์ที่ผสมหินฟูนแกรนิต 30% ใช้เวลา 490 นาที และที่มีระยะเวลาในการก่อตัวนานที่สุดถึง 530 นาที เป็นซีเมนต์เพสต์ (รูปที่ 4 ข)

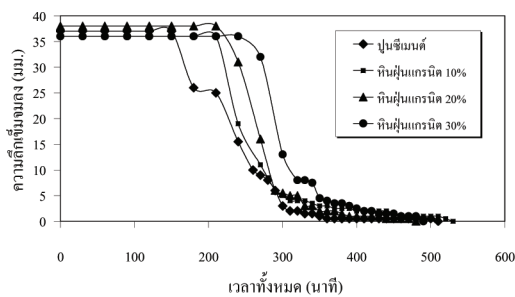
ความหนาแน่นรวม

ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของก้อนคอนกรีตมีค่าสูงสุด 1,940 กก./ม.³ ในชุดทดสอบที่ไม่เติมหินฟูนแกรนิต บ่ม 56 วัน ส่วนคอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดมีค่า 1,840 กก./ม.³ ของคอนกรีตเติมหินฟูนแกรนิต 30% ไม่บ่ม (รูปที่ 5) ได้ค่าอยู่ในช่วงเดียวกับงานวิจัยของ Mannan *et al.* [24] ความหนาแน่นรวมของคอนกรีตแปรผกผันกับปริมาณหินฟูนแกรนิต ซึ่งคอนกรีตมวลเบากำหนดมีค่าอยู่ในช่วง 1,230-1,930 กก./ม.³ [25]

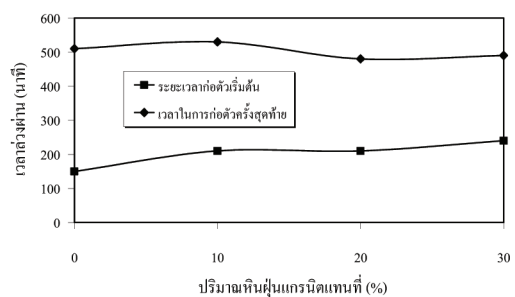
ดังนั้นคอนกรีตที่ศึกษาส่วนใหญ่จัดอยู่ในเกณฑ์ของคอนกรีตมวลเบาได้ เช่นกัน ยกเว้นบ่ม 56 วัน ที่เกินไป 0.5% และความหนาแน่นของความหนาแน่นรวมของคอนกรีตไม่เติมหินฟูนแกรนิตน้อยกว่าที่เติม 2.6% คอนกรีตครั้งนี้สูงกว่าในงานวิจัยของ Okpala [26] ซึ่งได้

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันและทรายที่ใช้

สมบัติมวลรวม	กะลาปาล์มน้ำมัน	ทราย
ดัชนีความแบน (%)	61.49-69.18	-
ดัชนีความยาวเรียวย (%)	54.45-69.86	-
ความถ่วงจำเพาะแห้ง	1.42-1.43	2.53
ความถ่วงจำเพาะเปียกผิวแห้ง	1.75	0.92
การดูดซึมน้ำ (%)	22.60-22.86	
โมดูลัสความละเอียด	6.69	3.35
กระแทกมวลรวม (%)	0.80-2.52	-
สีกรหอบแบบลอสมองเจ็ลีส (%)	4.64-4.76	-
ความหนาแน่นแบบหลวม (กก./ลบ.ม.)	580.51	-
ความหนาแน่นแบบแน่น (กก./ลบ.ม.)	648.45	-



ก)



ข)

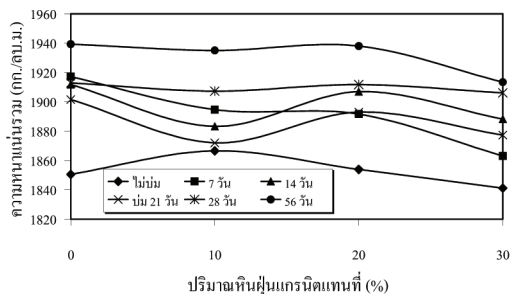
รูปที่ 4 พฤติกรรมของเพสต์ ก) เวลาในการก่อตัว และ ข) ช่วงระยะเวลาของการก่อตัว

1,450-1,750 กก./ม.³ แต่ไม่น้อยกว่าผลวิจัยของ Teo *et al.* [27] ที่ได้สูงถึง 1,920-2,010 กก./ม.³

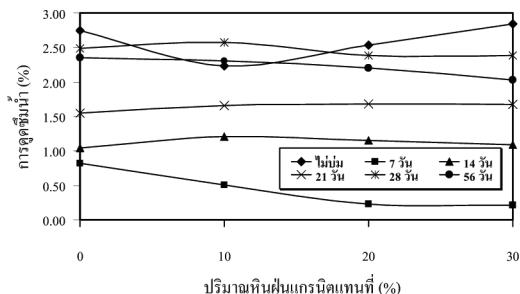
การดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมัน มีแนวโน้มแปรผกผันกับปริมาณหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ (ตารางที่ 3.19) ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยมีค่าในช่วง 2.24-

2.85%, 0.21-0.82%, 1.05-1.20%, 1.54-1.68%, 2.38-2.58% และ 2.03-2.35% ตามอายุบ่ม 1, 7, 14, 21, 28 และ 56 วัน ตามลำดับ ในก้อนคอนกรีตทดสอบนี้แนวโน้มปริมาณหินฝุ่นแกรนิตแทนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง โดยเฉพาะที่ 30% ขณะเดียวกันเวลาที่บ่มนานขึ้นแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย (รูปที่ 5 ข)



ก)

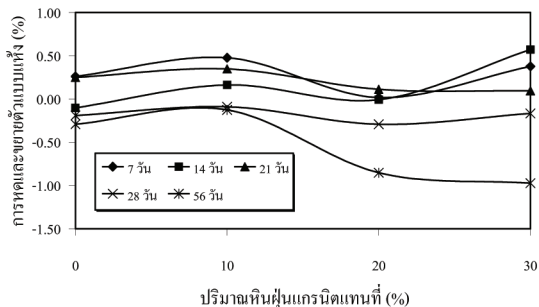


ข)

รูปที่ 5 อิทธิพลของหินฝุ่นแกรนิตที่มีต่อพฤติกรรมคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมัน ก) ความหนาแน่นรวม และ ข) การดูดซึมน้ำ

การหดตัวและขยายตัวแบบแช่น้ำ

การหดตัวและขยายตัวเชิงปริมาตรของคอนกรีตพบว่าเติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ทำให้คอนกรีตลดการหดตัวลง และอายุบ่มมากขึ้นก็ทำให้คอนกรีตขยายตัวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะคอนกรีตเติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ 10% มีการหดตัวมากที่สุด ส่วนคอนกรีตที่เติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ 20% มีการหดตัวน้อยมาก (รูปที่ 6 ก) ซึ่งค่าของการหดตัวก็ส่งผลต่อโครงสร้างลักษณะของคอนกรีต หากมีการหดตัวมากเกินไปหรืออาจเกิดการถ่วงแรงไม่ต่อเนื่องต่อกันในโครงสร้าง



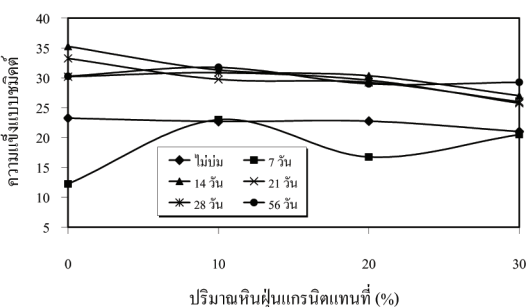
ก)

ความแข็งแรงคอนกรีตแบบชนิดค

ความแข็งแรงคอนกรีตชนิดคมีค่าสูงสุด 23.3 ในตัวอย่างคอนกรีตไม่ใส่หินฝุ่นแกรนิตไม่บ่ม และค่าความแข็งแรงคอนกรีตคต่ำสุดอยู่ที่ 12.3 ของตัวอย่างไม่เติมหินฝุ่นแกรนิตที่อายุบ่ม 7 วัน (รูปที่ 6 ข)

ความต้านทานไฟฟ้า

ค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงสุดของคอนกรีตที่วัดได้เท่ากับ 70 เมกะโอห์ม-ซม. ที่เติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ 10% บ่ม 21 วัน ส่วนค่าความต้านทานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดได้ 15 เมกะโอห์ม-ซม. ที่ปริมาณหินฝุ่นแกรนิต 10% ของคอนกรีตไม่เติมหินฝุ่นแกรนิตไม่บ่มและคอนกรีตที่



ข)

รูปที่ 6 อิทธิพลของหินฝุ่นแกรนิตที่มีต่อคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมัน ก) การหดและขยายตัวแบบแช่น้ำเชิงปริมาตร และ ข) ความแข็งแรงแบบชนิดค

ปริมาณหินฝุ่นแกรนิต 10% บ่ม 7 วัน (รูปที่ 7 ก) แนวโน้มการเติมหินฝุ่นแกรนิตทำให้คอนกรีตลดค่าความต้านทานไฟฟ้าลง ค่าเหล่านี้ช่วยการประเมินความคงทนของคอนกรีตได้โดยทางอ้อมเช่นงานวิจัย Saleem *et al.* [28] ได้ตรวจสอบคลอไรด์และซัลเฟตของคอนกรีต และคุณภาพคอนกรีตเช่นงานวิจัยของ Vipulanandan and Garas [29] ที่พบความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความต้านทานไฟฟ้า ความเร็วคลื่น และกำลังอัด อย่างน่าพอใจ ในงานนี้ได้เปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้ากับกำลังอัดเช่นกัน ซึ่งพบว่าค่าทั้งสองแปรผันตามกันพอสมควรเช่นกัน

กำลังอัด

ผลทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันครั้งนี้ พบว่าค่ามากที่สุดอยู่ที่ราว 29 เมกะพาสคัล ในตัวอย่างไม่เติมหินฝุ่นแกรนิต บ่ม 7 วัน และกำลังอัดต่ำสุดราว 16 เมกะพาสคัล ที่เติมหินฝุ่นแกรนิต 30% ซึ่งแนวโน้มของพัฒนาการกำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันมีค่าลดลงเมื่อปริมาณหินฝุ่นแกรนิตมากกว่า 10% ขึ้นไปของทุกอายุบ่ม (รูปที่ 7 ข) อันบ่งว่าหินฝุ่นแกรนิตไม่ได้ช่วยเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน นอกจากนี้การที่คอนกรีตอายุบ่มเกิน 7 วัน กำลังอัดลดลงน่าจะมาจากการดูดซึมน้ำของมวลรวมกะลาปาล์ม อันไปกีดขวางการพัฒนากำลัง กำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มในงานวิจัยอื่นที่บ่ม 28 วัน มีค่าในช่วง 20-24 เมกะพาสคัล [11] แต่ Olanipekun *et al.*, [15] ได้กำลังอัดไม่เกิน 15 เมกะพาสคัล ซึ่ง Okafor [30] ได้กล่าวว่าไม่สามารถผลิตคอนกรีตกะลาปาล์มให้ได้กำลังอัดมากกว่า 30 เมกะพาสคัล และยืนยันได้จากงานวิจัยของ Mannan and Ganapathy [11] อย่างไรก็ดีตามกำลังอัดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม ชนิดของทราย ลักษณะทางกายภาพของกะลาปาล์ม สภาวะและอายุบ่มด้วยเช่นกัน [31] ASTM C330 [25] ได้กำหนดค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาทางโครงสร้างอยู่ในช่วง 17-63 เมกะพาสคัล ดังนั้นคอนกรีตงานวิจัยครั้งนี้เกือบทุกสูตรจึงอยู่ในเกณฑ์นำไปใช้งานคอนกรีตทางโครงสร้างได้ ยกเว้นสูตรเดียวที่เติมหินฝุ่นแกรนิต 30% ไม่บ่มเท่านั้น เปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันที่ไม่

ผสมกับผสมหินฝุ่นแกรนิตพบว่ามีความมากกว่า 75% ดังนั้นตัวอย่างทดสอบที่เติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่สามารถอยู่ในเกณฑ์ (รูปที่ 8)

ผลวิเคราะห์แร่ประกอบและโครงสร้างจุลภาค

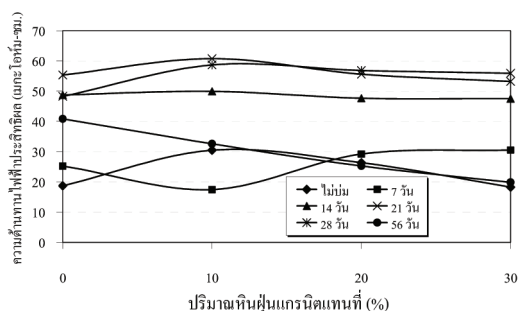
ผลตรวจการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันผสมแกรนิต 10% บ่ม 7 วัน พบแร่ควอตซ์ แคลไซต์ ไมโครไคลน์ และแอตตริงไต์ และยืนยันจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดไม่พบเกิดปอซโซลานขึ้นไม่ว่าอายุบ่มเท่าไรก็ตาม (รูปที่ 9)

สรุปผลการวิจัย

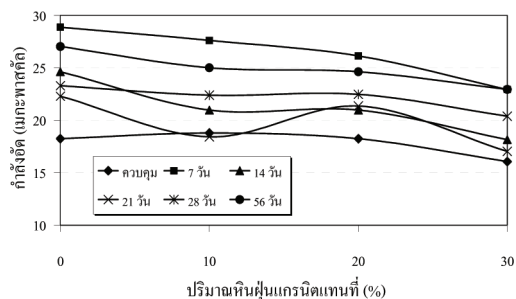
ผลจากการศึกษาครั้งนี้ตามกล่าวมาข้างต้น พิจารณาสรุปได้เป็นแนวทางว่าความหนาแน่นรวมผิวแห้งของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันที่บ่มไว้ในน้ำเกือบทุกอายุ ยกเว้น 56 วัน มีค่าเกินพิสัยคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้างเล็กน้อย กำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันอยู่ในพิสัยสำหรับคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้าง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงล่าง และมีค่าไม่ต่ำกว่า 75% ของกำลังอัดของคอนกรีตไม่เติมหินฝุ่นแกรนิต สมบัติความต้านทานไฟฟ้าและความแข็งแรงแบบชนิดค้ำของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันสามารถวัดได้ถึงสมบัติกำลังอัดได้ ซึ่งพัฒนาความสัมพันธ์เชิงสถิตินำไปสู่การประเมินค่าสมบัติอื่นที่มีการเตรียมตัวอย่างทดสอบยุ่งยากกว่า คอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุดภายใต้สภาวะบ่มในน้ำ 7 วัน สำหรับคอนกรีตอายุบ่มอื่นนั้นกำลังพัฒนาตามเวลาที่บ่ม แต่ก็น้อยกว่าที่ 7 วัน ดังนั้นการเติมหินฝุ่นแกรนิตช่วยย่นเวลาการพัฒนาทำให้เร็วขึ้น ทำให้การถอดแบบออกได้เร็วและการก่อสร้างใช้เวลาอันน้อยลงโดยมีค่ากำลังยังคงเท่าปกติ

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ภายใต้สัญญา 29MnE-48-2005 ประจำปี พ.ศ. 2548

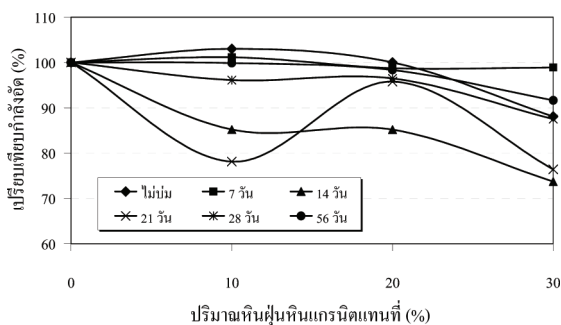


ก)

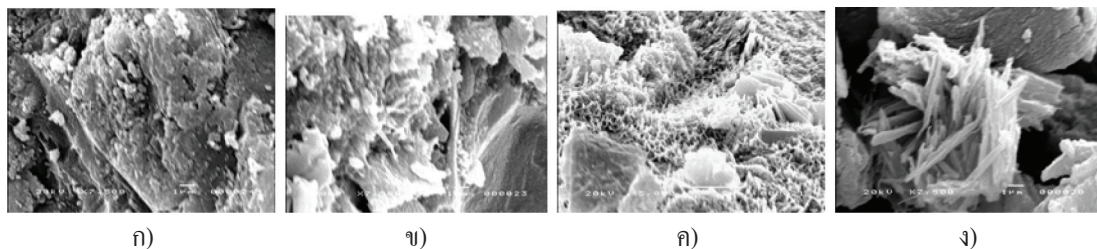


ข)

รูปที่ 7 อิทธิพลของหินปูนแกรนิตที่มีต่อคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมัน ก) ความต้านทานไฟฟ้า และ ข) กำลังอัด



รูปที่ 8 เปรียบเทียบกำลังอัดคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันระหว่างไม่เติมน้ำกับเติมหินปูนแกรนิต



รูปที่ 9 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเนื้อคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันที่อายุบ่ม ก) 7 วัน ข) 14 วัน ค) 28 วัน และ ง) 56 วัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดนุพล ดันนโยภาส และวีระศักดิ์ วรรณโสภะ. (2545). การประเมินและผลกระทบของมวลรวมหิน พัมมิชที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตสำหรับงานก่อ ฉาบ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8. 23–25 ตุลาคม 2545 โรงแรมโซฟิเทล รามาดา ออคิด จ.ขอนแก่น.
- [2] Boongunt, G., Tonnayopas, D. and Riangmanorom, S. (2005). Influence of perlite aggregate and admixtures on physical properties and strength of lightweight mortar. **Symposium Keep Concrete Attractive**. 23-25 May, 2005, Budapest.
- [3] ดนุพล ดันนโยภาส และชนิษฐา ประโยชน์. (2548). สมบัติของมอร์ตาร์ผสมดินเบาไทยและเถ้าขี้เลื่อย ไม้ยาง พารา. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 8-9 ธันวาคม 2548. สงขลา
- [4] ดนุพล ดันนโยภาส กานต์ เมืองแมน และศิริวัฒน์ เชี่ยววัฒนกุล. (2548). พัฒนาคอนกรีตมวลเบา ใหม่ใส่มวลรวมลูกสน ทะเลแห้งและแร่ผสมเพิ่ม หล่อด้วยน้ำผลหมาก. การประชุมวิชาการทาง วิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยสงขลา- นครินทร์ 8-9 ธันวาคม 2548. สงขลา.
- [5] Okafor, F.O. (1988). Palm kernel shell as a lightweight aggregate for concrete. **Cement and Concrete Research**. **18**(6), 901-910.
- [6] Falade, F. (1992). The use of palm kernel shells as coarse aggregate in concrete. **Journal of Housing Science**. **16**(3), 213–9.
- [7] Olateju, O.T. (1992). The efficacy of lightweight aggregate from palm kernel shells. **Journal of Housing Science**. **15**(4), 263–76.
- [8] Abang Abdullah, A.A. (1996). Palm oil shell aggregate for lightweight concrete. **Waste Materials Used in Concrete Manufacturing**. 624-636.
- [9] Basri, H.B., Mannan, M.A. and Zain, M.F.M. (1999). Concrete using waste oil palm shells as aggregate. **Cement and Concrete Research**. **29**(4), 619-622.
- [10] Mannan, M.A. and Ganapathy, C. (2001). Long-term strengths of concrete with oil palm shell as coarse aggregate. **Cement and Concrete Research**. **31**(9), 1319–1321.
- [11] Mannan, M.A. and Ganapathy, C. (2001). Mix design for oil palm shell concrete. **Cement and Concrete Research**. **31**(9), 1323–1325.
- [12] Mannan, M.A. and Ganapathy, C. (2004). Concrete from an agricultural waste-oil palm shell (OPS). **Building and Environment**. **39**(4), 441–448.
- [13] Mannan, M.A. and Ganapathy, C. (2004). Destructive and non-destructive properties of OPS (oil palm shell) lightweight concrete. **Journal of Civil Engineering Research and Practice**. **1**(2), 55-66.
- [14] Teo, D.C.L., Mannan, M.A. and Kurian, V.J. (2006). Influence of site curing on bond properties of reinforced lightweight concrete. **Journal of Civil Engineering Research and Practice**. **3**(1), 9-19.
- [15] Olanipekun, E. A., Olusola, K.O. and Ata, O, (2006). A comparative study of concrete properties using coconut shell and palm kernel shell as coarse aggregates. **Building and Environment**. **41**(3), 297-301.
- [16] Ayangade, J.A., Olusola, K.O., Ikpo, I.J. and Ata, O. (2004). Effect of granite dust on the performance characteristics of kernelrazzo floor finish. **Building and Environment**. **39**(10), 1207-1212.
- [17] ASTM C191-08 Standard test methods for time of

- setting of hydraulic cement by Vicat needle
- [18] ASTM C1403-06 Standard test method for rate of water absorption of masonry mortars
- [19] ASTM C1202-08 Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion
- [20] ASTM C805/C805M-08 Standard test method for rebound number of hardened concrete
- [21] ASTM C109 / C109M - 08 Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or [50-mm] cube specimens)
- [22] Mannan, M.A. and Ganapathy, C. (2002). Engineering properties of concrete with oil palm shell as coarse aggregate. **Construction and Building Materials**. **16**(1), 29-34.
- [23] Jumaat, M.Z., Alengaram, U.J. and Mahmud, H. (2009). Shear strength of oil palm shell foamed concrete beams. **Materials and Design**. **30**(6), 2227-2236.
- [24] Mannan, M.A., Alexander, J., Ganapathy, C. and Teo, D.C.L. (2006). Quality improvement of oil palm shell (OPS) as coarse aggregate in lightweight concrete. **Building and Environment**. **41**(9), 1239-1242.
- [25] ASTM C330/C330M - 09 Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete
- [26] Okpala, D.C. (1990). Palm kernel shell as a lightweight aggregate in concrete. **Building and Environment**. **25**(4), 291-296.
- [27] Teo, D.C.L., Mannan, M.A., Kurian, V.J. and Ganapathy, C. (2007). Lightweight concrete made from oil palm shell (OPS): Structural bond and durability properties. **Building and Environment**. **42**(7), 2614-2621.
- [28] Saleem, M., Shameem, M., Hussain, S.E. and Maslehuddin, M. (1996). Effect of moisture, chloride and sulphate contamination on the electrical resistivity of Portland cement concrete. **Construction and Building Materials**. **10**(3), 209-214.
- [29] Vipulanandan, C. and Garas, V. (2008). Electrical resistivity, pulse velocity, and compressive properties of carbon fiber-reinforced cement mortar. **Journal of Materials in Civil Engineering**. **20**(2), 93-101.
- [30] Okafor, F.O. (1991). An investigation on the use of superplasticizer in palm kernel shell aggregate concrete. **Cement and Concrete Research**. **21**(4), 551-557.
- [31] Mannan, M.A., Basri H.B., Zain, M.F.M. and Islam, M.N. (2002). Effect of curing conditions on the properties of OPS-concrete. **Building and Environment**. **37**(11), 1167-1171.