JA501

SWU Engineering Journal (2013) 8(2), 62-69

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2556

ผลกระทบของเถ้าแกลบสังข์หยดต่อคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

Effect of Sang Yod Rice Husk Ash on Songkhla Lake Gravel Gap-Graded Aggregate Concrete

ดนุพล ตันนโยภาส และกอบกิจ จิตนุกูล
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110
E-mail: danupon.t@psu.acth

บทคัดย่อ

ศึกษาคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบสงขลาข้ามขนาดผสมเถ้าแกลบสังข์หยด กรวดที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบแบ่งคละเป็น 3 ขนาดคือ ใหญ่ กลาง และเล็ก ผสมเถ้าแกลบแทนที่ 10% 20% และ 30% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 หล่อคอนกรีตขนาด 10×10×10 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้น้ำต่อวัสดุประสาน 0.4 คงที่ตลอดการทดลอง ทำการบ่มแบบชื้น 28 วัน เมื่อครบอายุบ่มทำการทดสอบสมบัติของคอนกรีต ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความแข็งแบบชอร์ และกำลังอัด ผลทดสอบพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมกรวดข้ามขนาดกลางที่ผสมเถ้าแกลบ 10% ให้ค่าสูงสุด 55 เมกะพาสคัล ยังระบุได้อีกด้วยว่ามวลรวมข้ามขนาดมีผลต่อกำลังอัดอย่างมาก เถ้าแกลบสังข์หยดสีเทายังสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในคอนกรีตได้เช่นกัน

คำสำคัญ: มวลรวมกรวดทะเลสาบสงขลา เถ้าแกลบสังข์หยด กำลังอัด ปฏิกิริยาปอซโซลาน

ABSTRACT

Songkhla Lake gravel gap-graded aggregate (SLGA) concrete blended with grey Sang Yod rice husk ash (SYRHA) was investigated. SLSGA was used as coarse aggregate which were divided into three groups large, medium and small sizes. SYRHA was partially replaced ordinary Portland cement, Type I in proportion of 10, 20 and 30wt.%. Cubic concrete samples of 10×10×10 cm^3 with water to binder ratio of 0.4 was constant throughout this study and cured in water for 28 days. Concrete specimens were determined on bulk density, water absorption, Shore hardness and compressive strength. The results show that the mixture of medium size of gravel aggregate and mixed 10%SYRHA is the highest compressive strength is 55 MPa. It is also indicated that gap-graded gravel aggregate has high effect of compressive strength and grey SYRHA can be also used as pozzolanic material in concrete.

Keyword: Songkhla Lake Gravel Aggregate, Sang Yod Rice Husk Ash, Compressive Strength, Pozzolanic Reaction

1. บทนำ

การใช้งานคอนกรีตกำลังอัดสูงในงานก่อสร้างต่างๆ วัสดุผสมที่สำคัญส่วนหนึ่งคือ ทรายและหินย่อย อันเป็นส่วนมวลรวมหลัก เสริมให้คอนกรีตเพิ่มกำลังอัดสูง ในบางแห่งใช้กรวดแทนหินย่อยได้มาจากการพัดพาและทับถม เช่น กรวดในธารน้ำ กรวดจากการทำเหมืองลานแร่ เป็นต้น จึงลดต้นทุนในการย่อยคัดขนาดลงได้ ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีแหล่งสะสมกรวดทรายรองด้วยชั้นศิลาแลง เกิดจากการทับถมของการพัดพาและของทางน้ำในอดีตและสันทรายยุคควอเทอร์นารีย์ (Quaternary) เป็นจำนวนมาก [1] ปัจจุบันมีบ่อขุดในตำบลเกาะหมาก อำเภอปากพะยูน ซึ่งกรวดธรรมชาติเหล่านั้นส่วนใหญ่คัดได้สามขนาดใช้ในงานตกแต่งบ้านเรือน สถานที่ จัดสวน และอุตสาหกรรมก่อสร้าง

นอกจากนี้ในท้องที่พัทลุงยังมีการปลูกข้าวสังข์หยดพันธุ์พื้นเมืองมีพื้นที่ปลูกประมาณ 13,000 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 450 กิโลกรัม/ไร่ [2] และมีการใช้แกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวเป็นเชื้อเพลิงในการอบข้าวเก็บในโกดัง (SYRHA) พื้นที่ปลูกข้าวนั้นเถ้าแกลบถือว่าเป็นสิ่งให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมมาก และเป็นประเด็นให้ความสนใจมากขึ้นในการอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร มักมีการเผาเถ้าแกลบอยู่เนืองๆ ก่อให้เกิดเป็นของเสีย จากการวิจัยก่อนหน้าพบว่าการใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ ทำให้ลดปัญหามลภาวะ [3] พัฒนาปูนซีเมนต์เชิงนิเวศ [4,5] คอนกรีตกำลังสูง [6,7,8,9] คอนกรีตมวลเบา [10,11,12] คอนกรีตมวลหนักกันรังสี [13] หากอัตราผลผลิตแกลบ 22% ของข้าวเปลือก และเถ้าแกลบประมาณ 20% ของแกลบแห้ง ดังนั้นปริมาณเถ้าแกลบสังข์หยดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจะประมาณ 257.40 ตัน จึงมีแนวความคิดที่ศึกษาคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กรวดเป็นมวลรวมหยาบและตรวจสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต อันเป็นการใช้ทรัพยากรธรรณีในท้องถิ่นได้อย่างคุ้มค่า

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC) ทรายที่นำมาใช้เป็นทรายน้ำจืดที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 การกระจายขนาดเป็นไปตามมาตรฐานทรายก่อสร้าง ASTM C33 [14] มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.72 และใช้น้ำประปาสะอาด กรวดทะเลสาบสงขลาจากเหมืองบ่อสูบ บ้านเกาะเสือ ตำบลเกาะหมาก อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง มีลักษณะแท่งเหลี่ยมยาวและขอบค่อนข้างมน สีเหลืองถึงขาวส่วนใหญ่ ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ หินเชิร์ต หินทราย โดยเฉพาะเชิร์ตมีปริมาณมากที่สุดประมาณ 60-80%

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบสังข์หยดด้วยวิธีการวาวแสงรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence-XRF) (ตารางที่ 1) มีปริมาณ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกันได้ 74.93% มีปริมาณของ SO_3 0.92% และปริมาณของ LOI เท่ากับ 2.51% เถ้าแกลบสังข์หยดมีสมบัติเทียบเคียงได้กับวัสดุปอซโซลาน Class F มีผลรวม SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มากกว่า 70% ตามที่กำหนดใน ASTM C618 [15]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าแกลบสังข์หยดสีเทา

องค์ประกอบทางเคมี	SYRHA (%)	OPC (%)
SiO_2	66.13	21.30
Al_2O_3	5.48	4.96
Fe_2O_3	3.32	3.10
TiO_2	0.71	-
K_2O	8.35	0.50
SO_3	0.92	2.72
CaO	1.94	66.61
LOI	2.51	0.74
ความถ่วงจำเพาะ	1.89	3.15

2.2 การเตรียมและอัตราส่วนผสม

กรวดที่นำมาใช้มีขนาดตั้งแต่ 2.36-19 มม. คัดขนาดกรวดด้วยตะแกรง แบ่งคละขนาดออกเป็น 3 กลุ่ม ขนาดใหญ่ (L) มีขนาด 12.5-19 มม. ขนาดกลาง (M) 6.3-9.5 มม. และขนาดเล็ก (S) 2.36-4.5 มม. ดังรูปที่ 1 การศึกษาครั้งนี้จึงต้องการทราบว่าแต่ละข้ามขนาดที่วางขายใส่คอนกรีตให้กำลังอัดสูงเพียงใด

ก) ข) ค)

รูปที่ 1 มวลรวมจากกรวดทะเลสาบสงขลาคละข้าม ขนาดชุด ก) ขนาดใหญ่ ข) ขนาดกลาง และ ค) ขนาดเล็ก

เถ้าแกลบสังข์หยดที่นำมาจากวิสาหกิจชุมชนบ้านกลาง จังหวัดพัทลุง บดละเอียดด้วยเครื่องบดบนลูกกลิ้ง (jar mill) เป็นเวลา 3 ชม. ใช้เป็นวัสดุสารปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม 10 20 และ 30% ตามลำดับ ซึ่งการผสมเถ้าแกลบกับปูนซีเมนต์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้บรรจุในกระบอกพลาสติกและวางบนเครื่องบดลูกกลิ้งเป็นเวลา 30 นาที ด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ 400 กก./ลบ.ม. อัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย: กรวด เท่ากับ 1:1.9:2.975 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (water/binder) เลือก 0.4 ตลอดการศึกษา เป็นปัจจัยสำคัญให้กำลังยึดหน่วงระหว่างเนื้อปูนซีเมนต์กับมวลรวมเกิดสูง [16] ตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อขนาด 10×10×10 ซม. รวมทั้งหมด 45 ก้อน

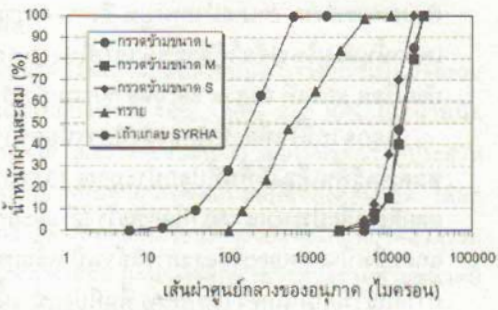
2.3 วิธีการทดสอบ

ตรวจสอบสมบัติของมวลรวมสำหรับคอนกรีตตาม ASTM C33 [14] และตรวจขนาดคละของมวลรวมหยาบและละเอียดตาม ASTM C136 [17] ทดสอบสมบัติเพสต์คือ เวลาก่อตัวตามวิธี ASTM C191 [18] และสมบัติคอนกรีต ได้แก่ ทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) ด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งชนิด *กระดอน (Hardness tester) รุ่น EQUOTIP ไม่ทำลาย* ตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดตาม ASTM C192 [19] ความหนาแน่นรวม วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope - SEM) วิเคราะห์วัฏภาคแร่ (mineral phases) เกิดขึ้นในตัวอย่างคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงสุดด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction -XRD)

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 การคัดมวลรวมหยาบที่ใช้

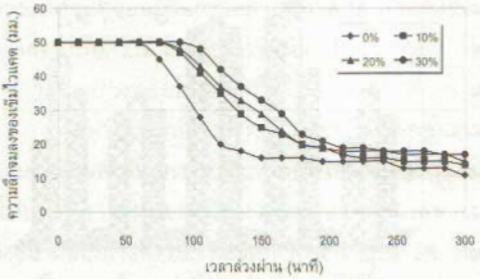
จากการคัดขนาดมวลรวมของกรวดทะเลสาบสงขลาทั้ง 3 ขนาด คือ L, M และ S พบว่ามีการกระจายตัวดังในรูปที่ 2 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของกรวดใหญ่ กลาง และเล็กเท่ากับ 2.50 2.48 และ 2.45 ตามลำดับ ส่วนความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบมีค่าเท่ากับ 1.89 และค่าโมดูลัสความละเอียด (fineness modulus) ของกรวดขนาด L M และ S มีค่าเท่ากับ 3.81 3.54 และ 3.28 ตามลำดับ



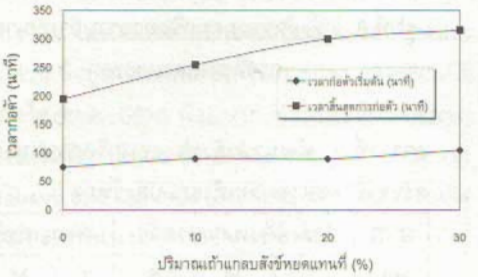
รูปที่ 2 การกระจายตัวของวัสดุที่ใช้

3.2 การก่อตัวของเพสต์

ผลการก่อตัวของเพสต์ใช้เวลาก่อตัวเร็วที่สุดคือ 75 นาที ที่แทนด้วยเถ้าแกลบสังข์หยด 30% มีเวลาในการก่อตัวนานที่สุดคือ 120 นาที แสดงว่าปริมาณเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ใช้เวลาในการเริ่มการก่อตัวช้าตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มลงไป ดังในรูปที่ 3 ก) และระยะเวลาในการสิ้นสุดก่อตัวนานที่ที่สุดของเพสต์เติมเถ้าแกลบสังข์หยด 30% ดังในรูปที่ 3 ข) นอกจากนี้ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงเวลา *ก่อตัวของเพสต์ในสภาพแวดล้อมห้องที่อุณหภูมิ 29* องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 41% (รูปที่ 4) ในช่วงแรกเนื้อเพสต์ดูดความร้อนค่าอุณหภูมิวัดได้จึงต่ำ และเริ่มคายความร้อนออกมาหลังจากเวลาผ่านไป 100-160 นาที ค่าอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นไปจนราว 250 นาที จึงแข็งตัว โดยซีเมนต์เพสต์มีค่าอุณหภูมิสูงสุด (32°C) และเพสต์เติมเถ้าแกลบ 30% มีค่าอุณหภูมิไฮเดรชันต่ำสุด (29°C)

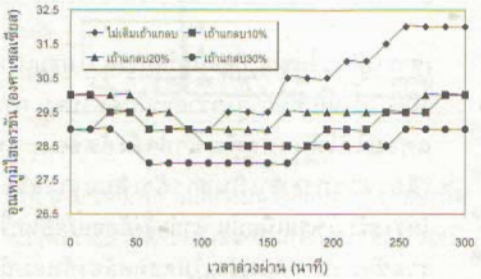


ก)



ข)

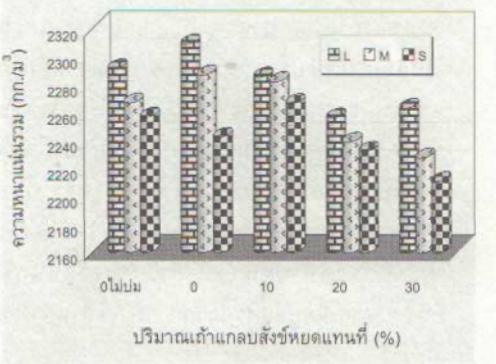
รูปที่ 3 ก) พฤติกรรมการก่อตัวของเพสต์ผสมเถ้าต่างกัน และ ข) ช่วงเวลาก่อตัว



รูปที่ 4 อุณหภูมิไฮเดรชันของการก่อตัวของเพสต์

3.3 ความหนาแน่นรวม

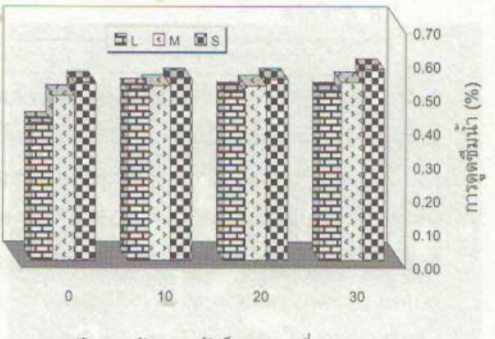
ค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบผสมเถ้าแกลบสังข์หยดมีความหนาแน่นมากที่สุดประมาณ 2,286 กก./ม^3 ที่แทนด้วยเถ้าแกลบ 20% บ่มที่ 28 วัน ส่วนคอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดประมาณ 2,210 กก./ม^3 ที่เติมเถ้าแกลบสังข์หยด 30% ของกรวดข้ามขนาด S ซึ่งค่าความหนาแน่นแปรผกผันกับปริมาณเถ้าแกลบ แต่แปรผันตามกับชุดกรวดข้ามขนาด (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ความหนาแน่นรวมของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

3.4 การดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่าการแทนที่เถ้าแกลบ 30% กรวดข้ามขนาด S มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคือ 0.57% และคอนกรีตไม่ผสมเถ้าแกลบ กรวดขนาดใหญ่ (L) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำสุดคือ 0.41% (รูปที่ 6) โดยแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำแปรผันตามปริมาณเถ้าแกลบที่ผสม นอกจากนี้ค่าการดูดซึมน้ำยังแปรผกผันกับขนาดของมวลรวมกรวดที่ใส่ ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 5)

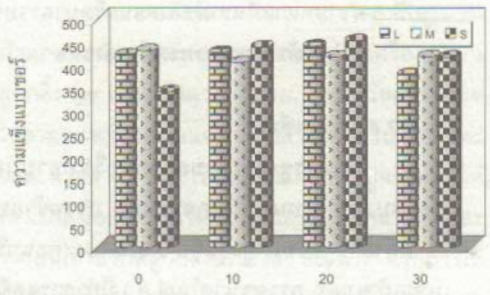


รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

3.5 ความแข็งแบบชอร์

ค่าความแข็งแบบชอร์ของคอนกรีตที่อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งค่ามากที่สุดเท่ากับ 454 ที่กรวดขนาด S เถ้าแกลบสังข์หยดที่ 20% ความแข็งมีค่าลดลงเมื่อใส่เถ้า

แกลบแทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 20% และ 30%ของมวลรวมกรวดขนาด L และ M ส่วนคอนกรีตไม่เติมเถ้าแกลบของกรวดข้ามขนาดทั้ง 3 มีค่าความแข็งแบบซอร์เฉลี่ย 432 423 และ 341 ของข้ามขนาดชุด L M และ S ตามลำดับ (รูปที่ 7) ค่าที่ได้ตรงกันข้ามกับความหนาแน่นรวม เป็นผลจากได้รับแรงกระดอนของกรวดขนาดเล็กที่กระจายทั่วคอนกรีต ขณะที่กรวดข้ามขนาด L และ M ในคอนกรีตได้อิทธิพลจากเนื้อปูนแทรกมากกว่าทำให้อ่านค่าได้ลดลง



รูปที่ 7 ความแข็งแบบซอร์ของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

3.6 กำลังอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่บ่ม 28 วัน ทุกสูตรมีค่าสูงกว่าคอนกรีตไม่บ่ม ดังรูปที่ 8 และคอนกรีตใส่กรวด M มีค่ากำลังอัดประมาณ 60 เมกะพาสคัล สูงกว่าที่ใส่กรวด L และ S (ตารางที่ 2) หากคอนกรีตผสมเถ้าแกลบสังข์หยดแทนที่ 10% กำลังอัดของคอนกรีตกรวด L เท่านั้นที่มีค่าเพิ่มขึ้น (52.90 เมกะพาสคัล) ส่วนกรวดขนาด M (55.06 เมกะพาสคัล) และ S (52.94 เมกะพาสคัล) ลดลงและต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม การแทนที่เถ้า 20% และ 30% กำลังลดลงอย่างไรก็ตามค่าทั้งสามก็ยังสูงกว่าเกณฑ์คอนกรีตกำลังสูง (>40 เมกะพาสคัล) ตาม ACI 363R [20] ส่วนค่าต่ำสุดมีกำลังอัดอยู่ที่ 24.7 เมกะพาสคัล ของคอนกรีตกรวดขนาดเล็กผสมเถ้าแกลบ 30% เมื่อเทียบเถ้าแกลบส่วนผสมเดียวกัน ก็พบว่าคอนกรีตกรวดขนาดกลางมีค่าสูงกว่าคอนกรีตกรวดขนาด L และ S

รูปที่ 8 กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ 2 พัฒนากำลังของคอนกรีตกรวดทะเลสาบสงขลาข้ามขนาดผสมเถ้าแกลบสังข์หยด

SYR	กำลังอัด (เมกะพาสคัล)			พัฒนากำลัง (%)		
HA	L	M	S	L	M	S
0	42.44	59.68	55.83	100	100	100
10	52.90	55.06	52.94	125	92	95
20	32.33	35.55	31.29	76	60	56
30	36.96	45.11	24.47	87	76	44

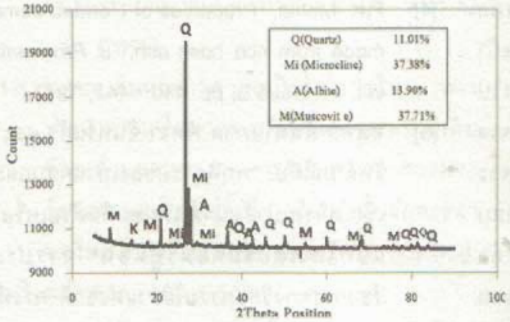
(ตารางที่ 2) ในขณะที่คอนกรีตกรวด L ผสมเถ้าแกลบ 10% เท่านั้น ที่มีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุม การที่เถ้าแกลบได้ให้ผลต่อพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเนื่องจากกระทำเป็นสารตัวเติมและเสริมสร้างโครงสร้างรูพรุนเนื้อปูน ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดค่อนข้างไม่สอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพใดๆ ถึงกระนั้นในการทดสอบครั้งนี้สามารถระบุได้ว่ากรวดข้ามขนาด M และ L เป็นกรวดที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในคอนกรีตกำลังสูง

Ozturan and Cecen [21] ทดสอบคอนกรีตกำลังสูงพบว่าคอนกรีตผสมกรวดให้กำลังต่ำที่สุดเทียบกับคอนกรีตมวลรวมชนิดบะซอลต์และหินปูน แต่หากผสมในคอนกรีตทั่วไปมีค่ากำลังใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลรวมหินบะซอลต์ ในขณะที่ Al-Oraimi et al. [22] พบว่ากำลัง (อัด ดัดและดึง) ของคอนกรีตผสมซิลิกาฟูม (silica fume) ที่ใส่มวลรวมขนาด 10 มม. ให้ค่าสูงกว่าใส่มวลรวมขนาด 20 มม. ซึ่งสอดคล้องกับผล

ศึกษาครั้งนี้ที่คอนกรีตกรวดข้ามขนาด M มีกำลังอัดกว่าคอนกรีตกรวด L และ S เช่นกัน

3.7 แร่ประกอบในคอนกรีต

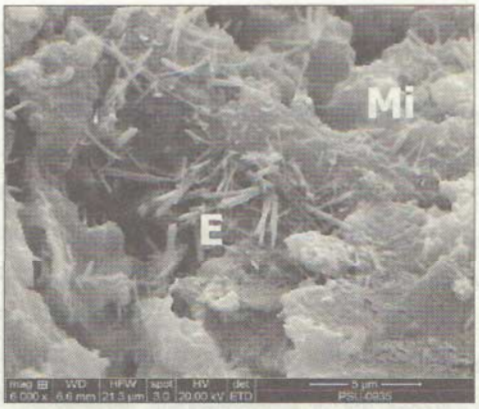
ผลวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (รูปที่ 9) ชนิดและปริมาณแร่ที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบสงขลาผสมเถ้าแกลบสังข์หยดที่ 10% อายุบ่ม 28 วัน พบว่ามีแร่ประกอบควอตซ์ (Q) 11.01% มัสโคไวต์ (M) 37.71% ไมโครไคลน์ (Mi) 37.38% และแอลไบต์ (A) 13.90% ไม่หลงเหลือผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์และในส่วนเนื้อปูนของคอนกรีตที่วิเคราะห์พบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) น้อยมาก ทำให้คอนกรีตพัฒนากำลังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่ง Zhang et al. [23] และ Habeeb and Mahmud [24] ระบุว่าเถ้าแกลบช่วยเกิด CSH และพัฒนาให้กำลังอัดสูงขึ้น



รูปที่ 9 ลายพิมพ์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของคอนกรีตกรวดทะเลสาบสงขลาผสมเถ้าแกลบสังข์หยด 10% บ่ม 28 วัน

3.8 โครงสร้างจุลภาค

การถ่ายภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบสังข์หยดแทนที่ 10% บ่ม 28 วัน พบควอตซ์และแอตตริงไกต์ ดังในรูปที่ 10 มีความพรุนน้อยและลดช่องห่างบริเวณรอยตะเข็บระหว่างเนื้อเพสต์กับมวลรวมกรวดข้ามขนาด อันอาจมีผลช่วยให้กำลังอัดสูงขึ้นมาได้บ้าง ซึ่งในงานวิจัยของ Zhang et al. [23] ได้ให้ความเห็นสนับสนุนไว้ทำนองนี้เช่นกัน



ก)

ข)

ค)

รูปที่ 10 ภาพถ่ายจุลภาคอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของคอนกรีตกรวดขนาดกลางผสมเถ้าแกลบสังข์หยดแทนที่ 10% บ่ม 28 วัน ด้วยกำลังขยาย ก) 6,000 เท่า ข) 8,000 เท่า และ ค) 10,000 เท่า

4. สรุป

ผลการศึกษาอิทธิพลของเถ้าแกลบสังข์หยดที่มีต่อคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบสงขลา ได้แนวทางสรุปผลดังนี้

1. เถ้าแกลบข้าวสังข์หยดสีเทาบดละเอียดทดลองในครั้งนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเทียบเคียงสารปอซโซลานชนิด F คือ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกัน 74.7% ตาม ASTM C 618 การที่ได้ผลรวมต่ำอาจเนื่องมาจากมีการเผาในระบบไม่สมบูรณ์ ยังคงมีถ่านคาร์บอน (C) ตกค้างเหลืออยู่อีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นผลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน [24] อย่างไรก็ตามผลศึกษาครั้งนี้มีศักยภาพเป็นวัสดุสารปอซโซลานผสมได้ไม่เกิน 10% ที่สมดุลที่ใช้พัฒนาคอนกรีตกำลังสูง

2. คอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา L ผสมเถ้าแกลบสังข์หยดบดละเอียดแทนที่ 10% และอายุบ่ม 28 วัน ได้ให้กำลังอัดเฉลี่ยสูงกว่าของคอนกรีตควบคุมเท่ากับ 52.90 เมกะพาสคัล นอกนั้นคอนกรีตกรวดข้ามขนาด M และ S ที่เติมเถ้าแกลบ 10% ได้ค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่ลดลงไปไม่มากนัก และยังให้กำลังอัดสูงเกินกว่า 40 เมกะพาสคัล ซึ่งกำหนดให้เป็นคอนกรีตกำลังสูง โดยเฉพาะคอนกรีตมวลรวมกรวดข้ามขนาด M ที่เติมเถ้าแกลบสังข์หยดทั้งสามอัตราส่วนมีค่าเกิน 40 เมกะพาสคัล ทั้งหมด ที่น่าเป็นขนาดเหมาะสมนำไปใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูงได้ดีที่สุด

ดังนั้นการนำของเสียเถ้าแกลบสังข์หยดมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ลดค่าใช้จ่ายการก่อสร้างและแนวทางในการกำจัดของเสียในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ส่วนกรวดข้ามขนาดมาใช้เป็นมวลรวมในงานอุตสาหกรรมคอนกรีตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุทิน ไกรรักษ์ บ่อหินกรวด ตำบลเกาะหมาก อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง และวิสาหกิจชุมชน บ้านกลาง จังหวัดพัทลุง ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบในการศึกษา และหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทดสอบและทดลองครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ดนุพล ตันนโยภาส. *ธรณีวิทยาข้างทางจังหวัดสงขลา*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2556).

[2] หนังสือพิมพ์เดลินิวส์. (2556, พฤษภาคม. 25). *ขยายผลข้าวสังข์หยดสู่ราษฎร – เกษตรทั่วไทย*, [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา: http://www.dailynews.co.th/

[3] R. Khan, A. Jabbar, I. Ahmad, W. Khan, A. N. Khan, and J. Mirza, "Reduction in environmental problems using rice-husk ash in concrete," *Constr. Build Mat.*, vol. 30, pp. 360 - 365, 2012.

[4] P.K. Mehta, "Properties of blended cements made from rice husk ash," *J. Proceedings.* vol. 74, issue 9, pp. 440 - 442, 1977.

[5] ดนุพล ตันนโยภาส พัทรา จันทร์แก้ว และวิมลรัตน์ มณีดับ. "พฤติกรรมของเถ้าแกลบและเถ้าเชื้อเพลิงใยปาล์มน้ำมันที่ผสมกันด้วยเครื่องบดแอทไตรเตอร์มีต่อน้ำปูนข้น". *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11*, 19 - 21 เมษายน 2549. จ.ภูเก็ต, (2549).

[6] M. N. Al-Khalaf and H. A. Yousif, "Use of rice husk ash in concrete," *Inter. J. Cem. Comp. Light. Concr.*, vol. 6, issue 4, pp. 241 - 248, 1984.

[7] M. F. M. Zain, M. N. Islam, F. Mahmud and M. Jamil, "Production of rice husk ash for use in concrete as a supplementary cementitious material," *Const. Build. Mat.*, vol. 25, issue 2, pp. 798 - 805, 2011.

[8] G. R. de Sensale, "Strength development of concrete with rice-husk ash," *Cem. Concr. Comp.*, vol. 28, issue 2, pp. 158-160, 2006.

[9] R. Kishore, V. Bhikshma, P. Jeevana Prakash, "Study on strength characteristics of high strength rice husk ash concrete," *Procedia Engi*, vol. 14, pp. 2666 - 2672, 2011.

[10] พรนรายณ์ บุญราศรี และดนุพล ตันนโยภาส "การปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตมวลรวมจากกะลาปาล์มน้ำมันด้วยเถ้าแกลบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกล". *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 8 - 9 พฤษภาคม 2551. หาดใหญ่ : หน้า 91 - 96, (2551).

[11] อาบีเด็ง ฮาวา และดนุพล ตันนโยภาส. "อิทธิพลของเถ้าแกลบที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพัมมิซ". *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13*. 14 - 16 พฤษภาคม 2551. รร.จอมเทียนปาล์มบีช พัทยา จ.ชลบุรี : หน้า 13 - 18, (2551).

[12] ดนุพล ตันนโยภาส และวันชัย แก้วไฝ. "การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าแกลบขาว". *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*. 21 - 22 พฤษภาคม 2552. หาดใหญ่: หน้า 555 - 560, (2552).

[13] ดนุพล ตันนโยภาส และวัชระ ขำวิชา. "อิทธิพลของเถ้าแกลบมีต่อกำลังและกำบังรังสีของมอร์ต้าร์มวลรวมฮีมาไทต์-อิลเมไนต์". *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15*. 12-14 พฤษภาคม 2553. รร.สุนีย์แกรนด์แอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ จ.อุบลราชธานี, (2553).

[14] *Standard specification for concrete aggregates*, ASTM C33/C33M–13, 2013.

[15] *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*, ASTM C618-12a, 2012.

[16] P. C. Aitcin, S. L. Sarkar and P. Laplante, "Long-term characteristics of a very high strength concrete," *Concr Intr*, vol. 12, issue 1, pp. 40–44, 1990.

[17] *Standard test methods for sieve analysis of fine and coarse aggregates*, ASTM C136-06, 2006.

[18] *Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle*, ASTM C191-08, 2008.

[19] *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*, ASTM C192/C192M-12a, 2012.

[20] *State-of-the-art report on high-strength concrete*, ACI 363R-92. *(Reapproved 1997)*, 1997.

[21] T. Ozturan and C. Cecen, "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths," *Cem. Concr. Res.*, vol. 16, issue 2, pp. 135-142, 1997.

[22] S. K. Al-Oraimi, R. Taha and H. F. Hassan, "The effect of the mineralogy of coarse aggregate on the mechanical properties of high-strength concrete," *Constr. Build. Mat.*, vol. 20, issue 7, pp. 499–503, 2006.

[23] M. H. Zhang, R. Lastra and V. M. Malhotra, "Rice-husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste," *Cem. Concr. Res.*, vol. 26, issue 6, pp. 963-977, 1996.

[24] G. A. Habeeb and H. B. Mahmud, "Study on properties of rice husk ash and its use as cement replacement material," *Mat. Res.*, vol.13, issue 2, pp. 185-190, 2010.