

ผลกระทบของเถ้าแกลบสังข์หยดต่อคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวด ทะเลสาบสงขลา

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

دنۇپول تۇننۇبوگاس ۋە گوبۇگىچى جىدنۇگول

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110

E-mail: danupon.t@psu.acth

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ: มวลรวมกรวดทะเลสาบสงขลา เถ้าแกลบสังข์หยด กำลังอัด ปฏิกริยาปอซโซลาน

ABSTRACT

Songkhla Lake gravel gap-graded aggregate (SLGA) concrete blended with grey Sang Yod rice husk ash (SYRHA) was investigated. SLGA 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 cm³ 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

การใช้งานคอนกรีตกำลังอัดสูงในงานก่อสร้างต่าง ๆ วัสดุผสมที่สำคัญส่วนหนึ่งคือ ทรายและหินย่อยอันเป็นส่วนมวลรวมหลัก เสริมให้คอนกรีตเพิ่มกำลังอัดสูง ในบางแห่งใช้กรวดแทนหินย่อยได้มาจากการพัดพาและทับถม เช่น กรวดในธารน้ำ กรวดจากการทำเหมืองลานแร่ เป็นต้น จึงลดต้นทุนในการย่อยคัดขนาดลงได้ในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีแหล่งสะสมกรวดทรายรองด้วยชั้นศิลาแลง เกิดจากการทับถมของการพัดพาและของทางน้ำในอดีตและสันทรายยุคควอเทอร์นารี (Quaternary) เป็นจำนวนมาก [1] ปัจจุบันมีบ่อขุดในตำบลเกาะหมาก อำเภอปากพะยูน ซึ่งกรวดธรรมชาติเหล่านั้นส่วนใหญ่คัดได้สามขนาดใช้ในงานตกแต่งบ้านเรือน สถานที่ จัดสวน และอุตสาหกรรมก่อสร้าง

นอกจากนี้ในท้องที่พัทลุงยังมีการปลูกข้าวสังข์หยดพันธุ์พื้นเมืองมีพื้นที่ปลูกประมาณ 13,000 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 450 กิโลกรัม/ไร่ [2] และมีการใช้แกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าวเป็นเชื้อเพลิงในการอบข้าวเก็บในโกดัง (SYRHA) พื้นที่ปลูกข้าวนั้นถ้าแกลบถือว่าเป็นสิ่งให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมมากและเป็นประเด็นให้ความสนใจมากขึ้นในการอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากร มักมีการเผาแกลบอยู่เนือง ๆ ก่อให้เกิดเป็นของเสีย จากการวิจัยก่อนหน้าพบว่าการใช้แกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ ทำให้ลดปัญหามลภาวะ [3] พัฒนาปูนซีเมนต์เชิงนิเวศ [4,5] คอนกรีตกำลังสูง [6,7,8,9] คอนกรีตมวลเบา [10,11,12] คอนกรีตมวลหนักกันรังสี [13] หากอัตราผลผลิตแกลบ 22% ของข้าวเปลือก และแกลบประมาณ 20% ของแกลบแห้ง ดังนั้นปริมาณแกลบสังข์หยดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจะประมาณ 257.40 ตัน จึงมีแนวความคิดที่ศึกษาคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้กรวดเป็นมวลรวมหยาบและตรวจสอบสมบัติต่างๆ ของคอนกรีต อันเป็นการใช้ทรัพยากรธรณีในท้องถิ่นได้อย่างคุ้มค่า

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC) ทรายที่นำมาใช้เป็นทรายน้ำจืดที่มีความถ่วงจำเพาะ

เท่ากับ 2.62 การกระจายขนาดเป็นไปตามมาตรฐานทรายก่อสร้าง ASTM C33 [14] มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.72 และใช้น้ำประปาสะอาด กรวดทะเลสาบสงขลาจากเหมืองบ่อสูบ บ้านเกาะเสือ ตำบลเกาะหมาก อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง มีลักษณะแห้ง เหลี่ยมยาวและขอบค่อนข้างมน สีเหลืองถึงขาวส่วนใหญ่ ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ หินเชิร์ต หินทราย โดยเฉพาะเชิร์ตมีปริมาณมากที่สุดประมาณ 60-80%

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแกลบสังข์หยดด้วยวิธีการวางแสงรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence-XRF) (ตารางที่ 1) มีปริมาณ SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ รวมกันได้ 74.93% มีปริมาณของ SO₃ 0.92% และปริมาณของ LOI เท่ากับ 2.51% แกลบสังข์หยดมีสมบัติเทียบเคียงได้กับวัสดุปอชโซลาน Class F มีผลรวม SiO₂, Al₂O₃ และ Fe₂O₃ มากกว่า 70% ตามที่กำหนดใน ASTM C618 [15]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และแกลบสังข์หยดสีเทา

องค์ประกอบทางเคมี	SYRHA (%)	OPC (%)
SiO ₂	66.13	21.30
Al ₂ O ₃	5.48	4.96
Fe ₂ O ₃	3.32	3.10
TiO ₂	0.71	-
K ₂ O	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 แบ่งขนาดออกเป็น 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 มวลรวมจากกรวดทะเลสาบสงขลาละข้าม
ขนาดชุด ก) ขนาดใหญ่ ข) ขนาดกลาง และ ค) ขนาด
เล็ก

เถ้าแกลบสังขยัตที่นำมาจากวิสาหกิจชุมชน
บ้านกลาง จังหวัดพัทลุง บดละเอียดด้วยเครื่องบดบน
ลูกกลิ้ง (jar mill) เป็นเวลา 3 ชม. ใช้เป็นวัสดุสารปอซ
โซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม 10 20 และ
30% ตามลำดับ ซึ่งการผสมเถ้าแกลบกับปูนซีเมนต์ให้
เข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้บรรจุในกระบอกพลาสติกและ
วางบนเครื่องบดลูกกลิ้งเป็นเวลา 30 นาที ด้วยการใช้
ปูนซีเมนต์ 400 กก./ลบ.ม. อัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย:
กรวด เท่ากับ 1:1.9:2.975 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
(water/binder) เลือก 0.4 ตลอดการศึกษา เป็นปัจจัย
สำคัญให้กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อปูนซีเมนต์กับมวล
รวมเกิดสูง [16] ตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อขนาด
10×10×10 ซม. รวมทั้งหมด 45 ก้อน

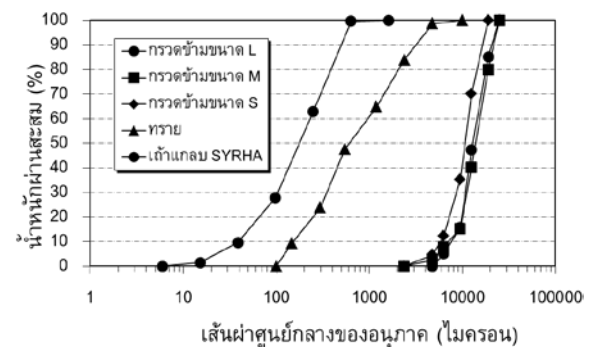
2.3 วิธีการทดสอบ

ตรวจสอบสมบัติของมวลรวมสำหรับคอนกรีต
ตาม ASTM C33 [14] และตรวจขนาดละเอียดของมวล
รวมหยาบและละเอียดตาม ASTM C136 [17] ทดสอบ
สมบัติเพสต์คือ เวลาก่อตัวตามวิธี ASTM C191 [18]
และสมบัติคอนกรีต ได้แก่ ทดสอบความแข็งแบบชอร์
(Shore hardness) ด้วยเครื่องวัดค่าความแข็งชนิด
กระดอน (Hardness tester) รุ่น EQUOTIP ไม่ทำลาย
ตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดตาม ASTM C192
[19] ความหนาแน่นรวม วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค
ด้วยวิธีการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope -
SEM) วิเคราะห์วัฏภาคแร่ (mineral phases) เกิดขึ้น
ในตัวอย่างคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงสุดด้วยวิธีการ
เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction -XRD)

3. ผลและอภิปรายผล

3.1 การคัดมวลรวมหยาบที่ใช้

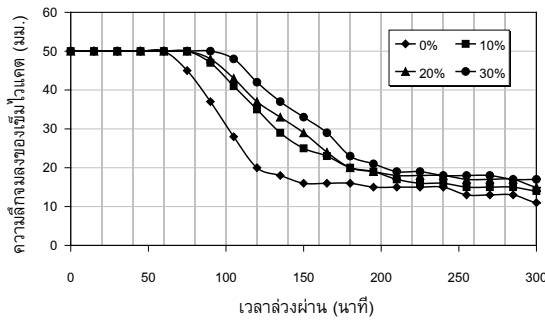
จากการคัดขนาดมวลรวมของกรวดทะเลสาบ
สงขลาทั้ง 3 ขนาด คือ L, M และ S พบว่ามีการ
กระจายตัวดังในรูปที่ 2 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของ
กรวดใหญ่ กลาง และเล็กเท่ากับ 2.50 2.48 และ 2.45
ตามลำดับ ส่วนความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบมีค่า
เท่ากับ 1.89 และค่าโมดูลัสความละเอียด (fineness
modulus) ของกรวดขนาด L M และ S มีค่าเท่ากับ
3.81 3.54 และ 3.28 ตามลำดับ



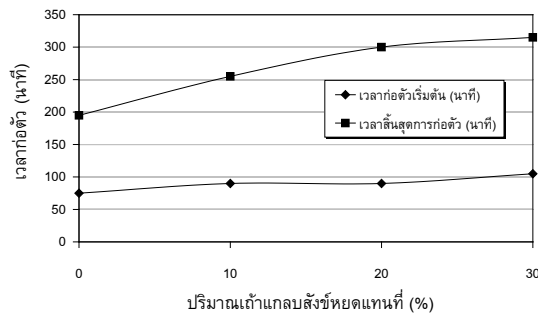
รูปที่ 2 การกระจายตัวของวัสดุที่ใช้

3.2 การก่อตัวของเพสต์

ผลการก่อตัวของเพสต์ใช้เวลาก่อตัวเร็วที่สุด
คือ 75 นาที ที่แทนด้วยเถ้าแกลบสังขยัต 30% มี
เวลาในการก่อตัวนานที่สุดคือ 120 นาที แสดงว่า
ปริมาณเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ใช้เวลาในการเริ่ม
การก่อตัวช้าตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มลงไป ดังใน
รูปที่ 3 ก) และระยะเวลาในการสิ้นสุดก่อตัวนานที่สุด
ของเพสต์เติมเถ้าแกลบสังขยัต 30% ดังในรูปที่ 3 ข)
นอกจากนี้ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันในช่วงเวลา
ก่อตัวของเพสต์ในสภาพแวดล้อมห้องที่อุณหภูมิ 29
องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 41% (รูปที่ 4) ในช่วง
แรกเนื้อเพสต์ดูดความร้อนค่าอุณหภูมิวัดได้จึงต่ำ และ
เริ่มคายความร้อนออกมาหลังจากเวลาผ่านไป 100-
160 นาที ค่าอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นไปจนราว 250 นาที จึง
แข็งตัว โดยซีเมนต์เพสต์มีค่าอุณหภูมิสูงสุด (32°C)
และเพสต์เติมเถ้าแกลบ 30% มีค่าอุณหภูมิไฮเดรชัน
ต่ำสุด (29°C)

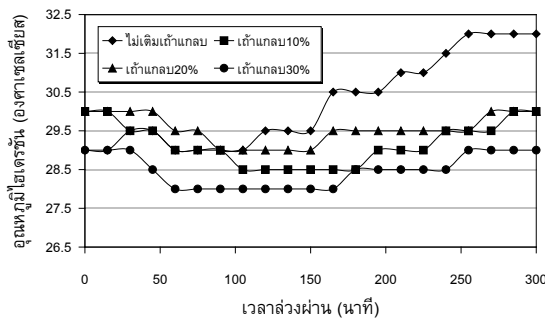


ก)



ข)

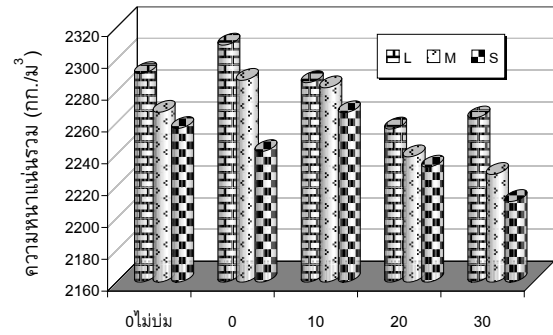
รูปที่ 3 ก) พฤติกรรมการก่อตัวของเพสต์ผสมเถ้าต่างกัน และ ข) ช่วงเวลาก่อตัว



รูปที่ 4 อุณหภูมิไฮเดรชันของการก่อตัวของเพสต์

3.3 ความหนาแน่นรวม

ค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบผสมเถ้าแกลบสังขียหัดมีความหนาแน่นมากที่สุดประมาณ 2,286 กก./ม³ ที่แทนด้วยเถ้าแกลบ 20% บ่มที่ 28 วัน ส่วนคอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดประมาณ 2,210 กก./ม³ ที่เติมเถ้าแกลบสังขียหัด 30% ของกรวดข้ามขนาด S ซึ่งค่าความหนาแน่นแปรผกผันกับปริมาณเถ้าแกลบ แต่แปรผันตามกับชุดกรวดข้ามขนาด (รูปที่ 5)

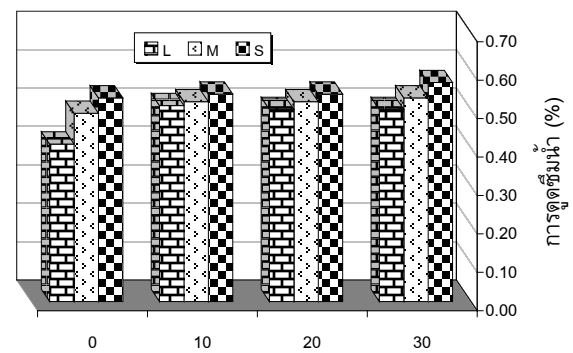


ปริมาณเถ้าแกลบสังขียหัดแทนที่ (%)

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)



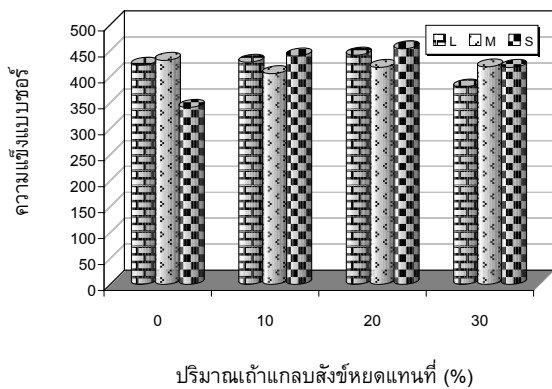
ปริมาณเถ้าแกลบสังขียหัดแทนที่ (%)

รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

3.5 ความแข็งแรงแบบชอร์

ค่าความแข็งแรงแบบชอร์ของคอนกรีตที่อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งค่ามากที่สุดเท่ากับ 454 ที่กรวดขนาด S เถ้าแกลบสังขียหัดที่ 20% ความแข็งแรงมีค่าลดลงเมื่อใส่เถ้า

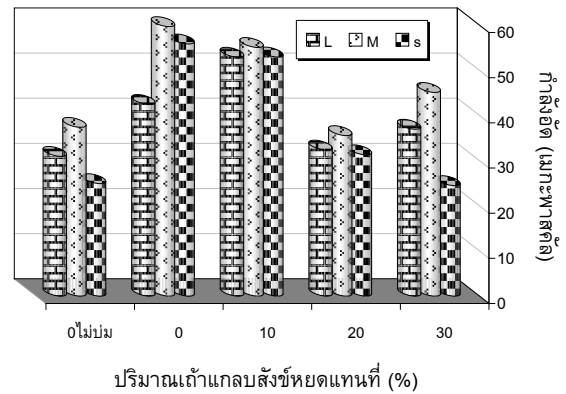
แลกเปลี่ยนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 20% และ 30%ของมวลรวมกรวดขนาด L และ M ส่วนคอนกรีตไม่เติมเถ้าแลกเปลี่ยนของกรวดข้ามขนาดทั้ง 3 มีค่าความแข็งแบบชอร์เฉลี่ย 432 423 และ 341 ของข้ามขนาดชุด L M และ S ตามลำดับ (รูปที่ 7) ค่าที่ได้ตรงกันข้ามกับความหนาแน่นรวม เป็นผลจากได้รับแรงกระดอนของกรวดขนาดเล็กที่กระจายทั่วคอนกรีตขณะที่กรวดข้ามขนาด L และ M ในคอนกรีตได้อิทธิพลจากเนื้อปูนแทรกมากกว่าทำให้อ่านค่าได้ลดลง



รูปที่ 7 ความแข็งแรงแบบชอร์ของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

3.6 กำลังอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่บ่ม 28 วัน ทุกสูตรมีค่าสูงกว่าคอนกรีตไม่บ่ม ดังรูปที่ 8 และคอนกรีตใส่กรวด M มีค่ากำลังอัดประมาณ 60 เมกะพาสคัล สูงกว่าที่ใส่กรวด L และ S (ตารางที่ 2) หากคอนกรีตผสมเถ้าแลกเปลี่ยนสังขสิทธิ์แทนที่ 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 ของคอนกรีตกรวดขนาดเล็กผสมเถ้าแลกเปลี่ยน 30% เมื่อเทียบเถ้าแลกเปลี่ยนผสมเดียวกัน ก็พบว่าคอนกรีตกรวดขนาดกลางมีค่าสูงกว่าคอนกรีตกรวดขนาด L และ S



รูปที่ 8 กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดของกรวดทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ 2 พัฒนากำลังของคอนกรีตกรวดทะเลสาบสงขลาข้ามขนาดผสมเถ้าแลกเปลี่ยนสังขสิทธิ์

SYR	กำลังอัด (เมกะพาสคัล)			พัฒนากำลัง (%)		
	L	M	S	L	M	S
HA						
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

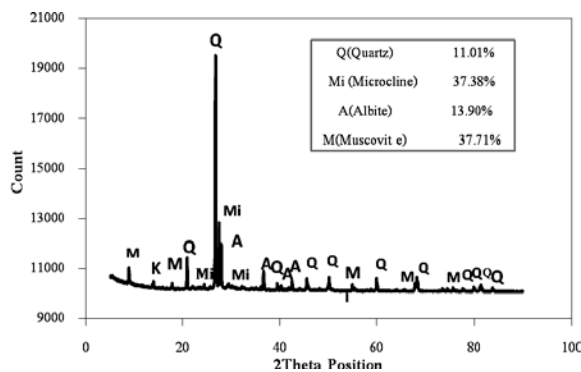
(ตารางที่ 2) ในขณะที่คอนกรีตกรวด L ผสมเถ้าแลกเปลี่ยน 10% เท่านั้น ที่มีค่าสูงกว่าคอนกรีตควบคุม การที่เถ้าแลกเปลี่ยนได้ให้ผลต่อพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเนื่องจากกระทำป็นสารตัวเติมและเสริมสร้างโครงสร้างรูพรุนเนื้อปูน ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมข้ามขนาดค่อนข้างไม่สอดคล้องกับสมบัติทางกายภาพใดๆ ถึงกระนั้นในการทดสอบครั้งนี้สามารถระบุได้ว่ากรวดข้ามขนาด M และ L เป็นกรวดที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในคอนกรีตกำลังสูง

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

ศึกษาครั้งนี้ที่คอนกรีตกรวดข้ามขนาด M มีกำลังอัด
กว่าคอนกรีตกรวด L และ S เช่นกัน

3.7 แร่ประกอบในคอนกรีต

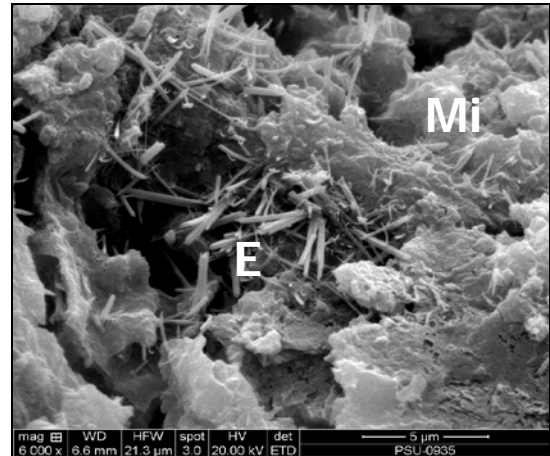
ผลวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และ
การคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ (รูปที่ 9) ชนิดและปริมาณแร่
ที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบ
สงขลาผสมเถ้าแกลบสังข์หยดที่ 10% อายุบ่ม 28 วัน
พบว่ามีแร่ประกอบควอตซ์ (Q) 11.01% มัสโคไวด์ (M)
37.71% ไมโครไคลน์ (Mi) 37.38% และแอลไบต์ (A)
13.90% ไม่หลงเหลือผลึกแคลเซียมไฮดรอกไซด์และ
ในส่วนของเนื้อปูนของคอนกรีตที่วิเคราะห์พบแคลเซียมซิลิ
เกตไฮเดรต (CSH) น้อยมาก ทำให้คอนกรีตพัฒนา
กำลังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่ง Zhang et al. [23] และ
Habeeb and Mahmud [24] ระบุว่าเถ้าแกลบช่วยเกิด
CSH และพัฒนาให้กำลังอัดสูงขึ้น



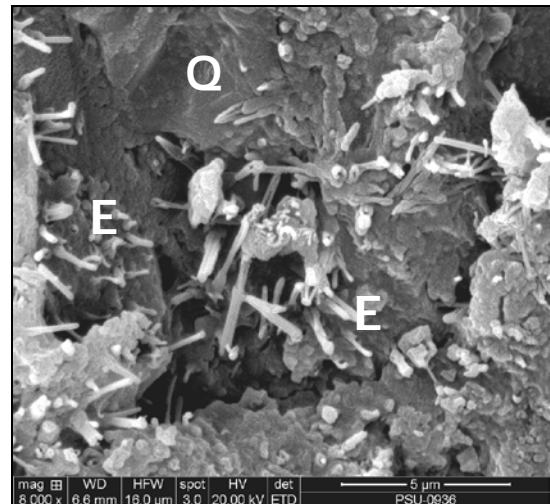
รูปที่ 9 ลายพิมพ์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของคอนกรีต
กรวดทะเลสาบสงขลาผสมเถ้าแกลบสังข์หยด 10%
บ่ม 28 วัน

3.8 โครงสร้างจุลภาค

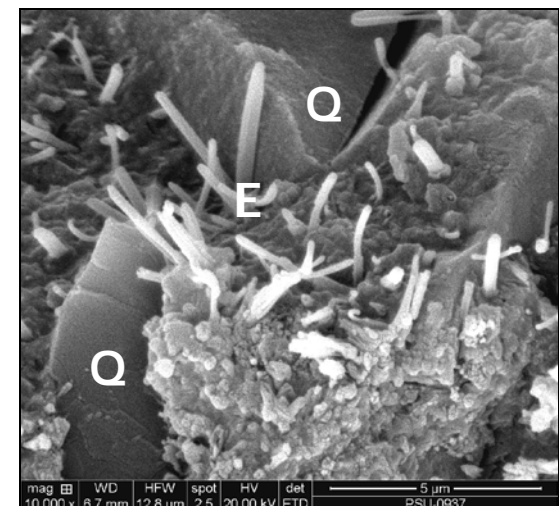
การถ่ายภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง
กราดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบสังข์หยดแทนที่ 10%
บ่ม 28 วัน พบควอตซ์และแอตตริงไคต์ ดังในรูปที่ 10
มีความพรุนน้อยและลดช่องว่างบริเวณรอยตะเข็บ
ระหว่างเนื้อเฟสดีกับมวลรวมกรวดข้ามขนาด อันอาจมี
ผลช่วยให้กำลังอัดสูงขึ้นมาได้บ้าง ซึ่งในงานวิจัยของ
Zhang et al. [23] ได้ให้ความเห็นสนับสนุนไว้ทำนองนี้
เช่นกัน



ก)



ข)



ค)

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

4. สรุป

ผลการศึกษาอิทธิพลของเถ้าแกลบสังขสิทธิ์ที่มีต่อคอนกรีตมวลรวมกรวดทะเลสาบสงขลา ได้แนวทางสรุปผลดังนี้

1. เถ้าแกลบข้าวสังขสิทธิ์หยาบละเอียดทดลองในครั้งนี้มีองค์ประกอบทางเคมีเทียบเคียงสารปอซโซลานชนิด 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% ที่สมดุลงที่ใช้พัฒนาคอนกรีตกำลังสูง

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

ดังนั้นการนำของเสียเถ้าแกลบสังขสิทธิ์มาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ลดค่าใช้จ่ายการก่อสร้างและแนวทางในการกำจัดของเสียในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ส่วนกรวดข้ามขนาดมาใช้เป็นมวลรวมในงานอุตสาหกรรมคอนกรีตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณสุทิน ไกรรักษ์ บ่อหินกรวด ตำบลเกาะหมาก อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง และวิสาห์กิจชุมชน บ้านกลาง จังหวัดพัทลุง ที่ให้การสนับสนุนวัสดุดิบในการศึกษา และหน่วยวิจัยธรณีเทคนิค และวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่

สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทดสอบและทดลองครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ดนุพล ตันนโยภาส. *ธรณีวิทยาข้างทางจังหวัดสงขลา*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สงขลา : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2556).
- [2] หนังสือพิมพ์เดลินิวส์. (2556, พฤษภาคม. 25). *ขยายผลข้าวสังขสิทธิ์สู่ราษฎร – 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 พัชรา จันท์แก้ว และวิมลรัตน์ มณีดับ. "พฤติกรรมของเถ้าแกลบและเถ้าเชื้อเพลิงไยปาล์มน้ำมันที่ผสมกันด้วยเครื่องบดแอทไตรเตอร์มีต่อน้ำปูนข้น". *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] พรนราญณ์ บุญราศรี และดนุพล ตันนโยภาส "การปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตมวลรวมจากกะลาปาล์มน้ำมันด้วยเถ้าแกลบที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกล". *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 8 - 9 พฤษภาคม 2551. หาดใหญ่ : หน้า 91 - 96, (2551).
- [11] อาบีเต็ง ฮาวา และดนุพล ตันนโยภาส. "อิทธิพลของเถ้าแกลบที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพืชมัช". *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13*. 14 - 16 พฤษภาคม 2551. รร.จอมเทียนปาล์มบีช พัทยา จ.ชลบุรี : หน้า 13 - 18, (2551).
- [12] ดนุพล ตันนโยภาส และวันชัย แก้วไผ่. "การพัฒนาคอนกรีตมวลรวมเศษขี้ยางธรรมชาติเดิมด้วยเถ้าแกลบขาว". *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*. 21 - 22 พฤษภาคม 2552. หาดใหญ่: หน้า 555 - 560, (2552).
- [13] ดนุพล ตันนโยภาส และวัชรระ ขำวิธา. "อิทธิพลของเถ้าแกลบมีต่อกำลังและกำลังรับน้ำหนักของมอร์ต้าร์มวลรวมฮีมาไทต์-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.