

ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้า ขานอ้อย-แกลบ-ไม้บด

Setting Time of Paste and Compressive Strength of Mortar Containing Ground Bagasse-Rice Husk-Wood Ash

จิรวัดน์ ชาลีวรรณ (Jirawat Chaleewan)* วีระ หอสกุลไท (Veera Horsakulthai)**

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอัตราการแทนที่และความละเอียดของเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดต่อระยะเวลาก่อตัวของเพสต์ และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ โดยนำเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลของโรงงานน้ำตาลมาบดให้มีความละเอียด 3 ขนาด คือ บดหยาบ บดปานกลาง และบดละเอียด โดยมีขนาดอนุภาคค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 30, 10, และ 0 ตามลำดับ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราร้อยละ 0, 20, และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ผลิทมอร์ตาร์โดยควบคุมค่าการไหลแพร่ร้อยละ 110 ± 5 โดยการปรับปริมาณน้ำและเติมสารลดน้ำพิเศษ ผลการทดสอบพบว่า ระยะเวลาก่อตัวต้นและก่อตัวปลายจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่และความละเอียดของเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะแปรผกผันกับปริมาณเถ้าขานอ้อยที่ผสม มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด โดยที่อายุ 28 และ 90 วัน กรณีปรับปริมาณน้ำมีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 98 และ 97 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ กรณีเติมสารลดน้ำพิเศษ มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 131 และ 126 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ

ABSTRACT

This research was to study the effect of percentage replacement and fineness of ground bagasse-rice husk-wood ash on setting time of cement paste and compressive strength of mortar. Bagasse-rice husk-wood ash obtained from sugar mills' biomass power plant was ground into 3 levels of fineness, namely, course, moderate, and fine with 30%, 10%, and 0% of particle size retained on sieve no.325, respectively. Portland cement was replaced with ground bagasse-rice husk-wood ash at the dosage of 0%, 20%, and 40% by weight of binder to produce mortar with similar flow of 110 ± 5 %. The flow was maintained by varying water content and using superplasticizer. The results of tests indicated that the initial and final setting time increased with increasing level of replacement and fineness of bagasse-rice husk-wood ash. The compressive strength decreased with increasing level of replacement of bagasse-rice

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

husk-wood ash. In both cases, mortar containing 20% fine ground bagasse-rice husk-wood ash had the highest compressive strength. At 28 and 90 days, in the case of varied water content the normalized compressive strength was 98% and 97%, respectively, and in the case of using superplasticizer the normalized compressive strength was 131% and 126%, respectively.

คำสำคัญ : เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ ระยะเวลาก่อตัว กำลังรับแรงอัด

Key Words : Bagasse-Rice husk-wood ash, Setting time, Compressive strength

บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ปีการผลิต 2549-2550 มีผลผลิตอ้อยเข้าโรงงาน 64 ล้านตัน สามารถผลิตน้ำตาลได้ 6.74 ล้านตัน [1] ขานอ้อยที่เกิดขึ้น บางส่วนถูกนำไปใช้ผลิตไม้อัดขานอ้อย แต่ส่วนใหญ่จะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน เพื่อใช้ในโรงงานเองและจำหน่ายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการเผาไหม้ของขานอ้อย โรงไฟฟ้าบางแห่งได้นำขานอ้อยผสมแกลบข้าวและไม้สับเป็นเชื้อเพลิงแทน ซึ่งทำให้ควบคุมคุณภาพการเผาไหม้ได้ดีขึ้น ดังที่ใช้อยู่กับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่ อำเภอกูเชีย จังหวัดชัยภูมิ ผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นจะได้เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีมากกว่าร้อยละ 70 เป็นซิลิกา [2, 3] ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุปอชโซลาน และจากการศึกษาของ [2] พบว่าคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดทำให้คอนกรีตที่บ่มน้ำมากขึ้นสามารถต้านทานการแทรกซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดีขึ้นและส่งผลให้คอนกรีตชะลอการเกิดสนิมของเหล็กเสริมในคอนกรีตได้ดีขึ้นอีกด้วย การศึกษาของ [4, 5] พบว่าเถ้าขานอ้อยเมื่อนำไปบดละเอียดสามารถใช้เป็นวัสดุปอชโซลานได้ดี เมื่อนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในปริมาณที่เหมาะสมผลิตคอนกรีต สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและเพิ่มความทนทานของคอนกรีตให้ดีขึ้น ได้แก่อำกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง ความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ และต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กเสริมในคอนกรีต

เพื่อเป็นการยืนยันการนำเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ไปใช้ในงานคอนกรีต และเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง จึงได้ทำการศึกษาความเป็นวัสดุปอชโซลานของเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลของโรงงานน้ำตาล อำเภอกูเชีย จังหวัดชัยภูมิ ตามมาตรฐาน ASTM C618 [6] โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ความต้องการน้ำในการไหลแผ่ ระยะเวลาการก่อตัว และกำลังรับแรงอัด

งานวิจัยนี้ได้นำเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ซึ่งได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลของโรงงานน้ำตาลมาบดให้มีขนาดอนุภาคความละเอียด 3 ขนาด คือ หยาบปานกลาง และละเอียด โดยใช้เวลาการบด 1, 3, และ 5 ชั่วโมงตามลำดับ การทดลองชุดที่ 1 นำเถ้าที่บดแล้วทุกขนาดไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 0, 20, และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ควบคุมค่าการไหลแผ่ร้อยละ 105 - 115 โดยการแปรผันปริมาณน้ำ ส่วนชุดที่ 2 ใช้เฉพาะเถ้าบดละเอียดไปแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ ที่ 0.51 และค่าการไหลแผ่ร้อยละ 105 - 115 โดยการแปรผันปริมาณสารลดน้ำพิเศษ เพื่อศึกษาระยะเวลาก่อตัวของเพสต์โดยวิธีทดสอบด้วยเข็มไวแคท ตามมาตรฐาน ASTM C191 [7] และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ โดยเครื่องยูนิเวอร์แซลตามมาตรฐาน ASTM C109 [8]

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. ปูนซีเมนต์

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ผลิตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย มอก. 15 เล่ม 1-2547 มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 และขนาดคละดังแสดงในภาพที่ 1

2. แก้วชานอ้อย-แกลบ-ไม้

ได้จากบริษัทภูเขียวไบโอเอ็นเนอร์ยี จำกัด ต.โคกสะอาด อ.ภูเขียว จ.ชัยภูมิ ซึ่งเป็นแก้วที่เกิดจากการนำชานอ้อยผสมแกลบข้าวและไม้ ในอัตรา 85:12.5:2.5 เป็นเชื้อเพลิง โดยเผาในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดควบคุมอุณหภูมิที่ 700-950 องศาเซลเซียส แก้วชานอ้อย-แกลบ-ไม้ (OBGA) ที่นำมาใช้ คือส่วนของแก้วลอยที่ตกตะกอนจากการดักจับด้วยน้ำ ซึ่งมีประมาณร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของปริมาณแก้วที่เกิดขึ้นทั้งหมด นำมาร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 (ขนาดช่องเปิด 1.18 mm) แล้วบดด้วยเครื่องบดลอสแอนเจลีสจนได้ความละเอียด 3 ระดับ ได้แก่ แก้วที่มีขนาดอนุภาคข้างตะแกรงเบอร์ 325 (ขนาดช่องเปิด 45 μm) ร้อยละ 30, 10, และ 0 โดยใช้สัญลักษณ์แทนดังนี้ SBGA, MBGA, และ CBGA ตามลำดับ มีองค์ประกอบทางเคมีและขนาดคละของอนุภาคดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์และแก้วชานอ้อย-แกลบ-ไม้

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	OPC	BGA
CaO	67.88	2.82
SiO ₂	18.29	77.72
Al ₂ O ₃	4.32	0.99
Fe ₂ O ₃	3.52	2.95
MgO	ไม่พบ	0.39
Na ₂ O	ไม่พบ	ไม่พบ
K ₂ O	0.60	1.06
SO ₃	ไม่พบ	0.51
TiO ₂	0.20	0.15
P ₂ O ₅	2.46	0.89
LOI	1.67	1.53
อื่น ๆ	1.05	11.00

3. ทราย

ใช้ทรายธรรมชาติจากแม่น้ำมูล อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา มีการกระจายขนาดคละของทรายตามมาตรฐาน ASTM C136-01 โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.90 ความดูดซึมน้ำร้อยละ 0.65

4. น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมเพสต์และมอร์ตาร์ใช้น้ำกลั่นที่กลั่นจากเครื่องกลั่นน้ำในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย ขอนแก่น

5. สารผสมเพิ่ม

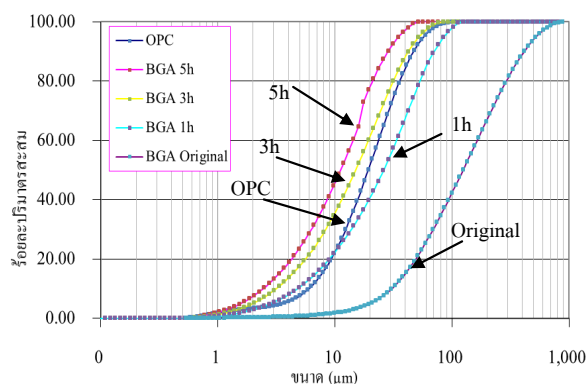
สารลดน้ำพิเศษประเภท F ตามมาตรฐาน ASTM 494 องค์ประกอบทางเคมีจัดอยู่ในกลุ่มของ Sulphonated melamine formaldehyde condensate

6. น้ำที่ใช้บ่มมอร์ตาร์

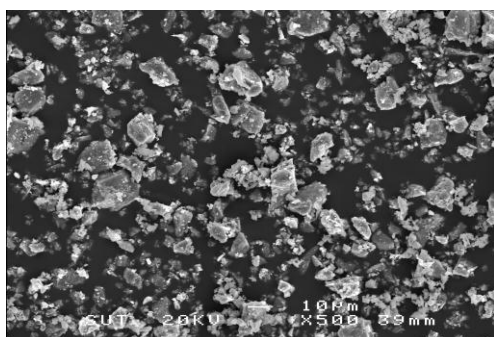
ใช้สารละลายปูนขาวอิ่มตัว โดยแช่ปูนขาว
ในน้ำกลั่น 24 ชม. แล้วนำส่วนที่ใสมาใช้บ่ม

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์
และเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้

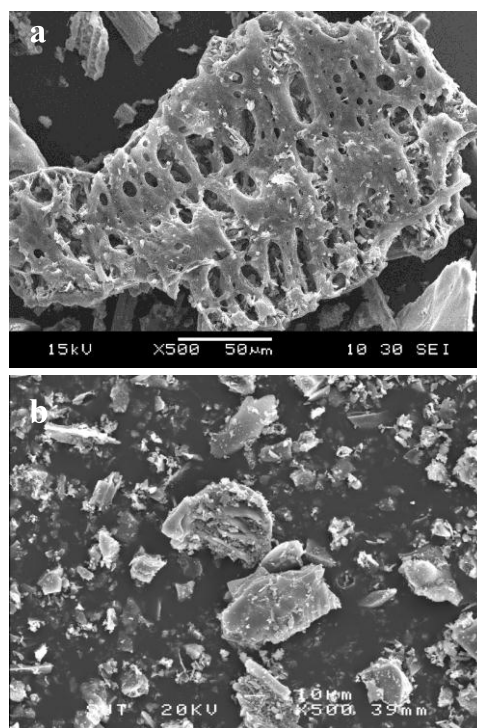
รายละเอียด	OPC	OBGA	CBGA	MBGA	SBGA
ความถ่วงจำเพาะ	3.13	1.95	2.10	2.13	2.15
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	0.6224	0.1074	0.545	0.815	1.039
ขนาดมัยฐาน (μm)	19.3	124.8	26.2	15.1	11.2
ขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 (ร้อยละ)	-	80	30	10	0



ภาพที่ 1 การกระจายขนาดคละของปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ และเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้



ภาพที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้
ขยาย 500 เท่า a) ตั้งเดิม b) บดละเอียด

วิธีการวิจัย

1. ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์

ใช้เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ ที่ความ
ละเอียด 3 ขนาด คือ หยาบ ปานกลางและละเอียด
แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20, และ 40
โดยน้ำหนักสารซีเมนต์ ควบคุมความชื้นเหลวปกติ
ตามมาตรฐาน ASTM C187 โดยการแปรผันปริมาณ
น้ำ แล้วทดสอบระยะเวลาก่อตัวโดยเข็มไวเคตตาม
มาตรฐาน ASTM C191-82 [7]

2. ปฏิภาคส่วนผสมของมอร์ตาร์

การทดลองแบ่งเป็น 2 ชุด ตามการ
ควบคุมค่าการไหลแผ่ ชุดที่ 1 ใช้อัตราส่วน ทราซ : สาร
ซีเมนต์ เท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก ใช้เถ้าขานอ้อย-
แกลบ-ไม้ ที่ความละเอียด 3 ขนาด คือ หยาบ
ปานกลางและละเอียด แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน
ร้อยละ 0, 20, และ 40 โดยน้ำหนักสารซีเมนต์ ควบคุม

ค่าการไหลร้อยละ 105 - 115 โดยการแปรผันปริมาณน้ำในขณะที่มีปริมาณสารซีเมนต์คงเดิม

ชุดที่ 2 ใช้อัตราส่วนทราย : สารซีเมนต์เท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ ชนิดละเอียด (SBGA) ในอัตราส่วนร้อยละ 20 และ 40 ควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ ที่ 0.51 และค่าการไหลแผ่ร้อยละ 105 - 115 ปรับค่าการไหลแผ่ด้วยสารลดน้ำพิเศษ เพื่อใช้เปรียบเทียบกับมอร์ตาร์เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ ชนิดละเอียดของข้อมูลชุดที่ 1

3. กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

หล่อมอร์ตาร์ในแบบหล่อทรงลูกบาศก์ที่มีขนาด 50x50x50 มม. จำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสม หล่อตัวอย่างโดยการแบ่งเทลงแบบหล่อเป็น 2 ชั้น แต่ละชั้นใช้ที่กระทุ้ง กระทุ้งแน่น 8 ครั้ง หลังการหล่อคลุมตัวอย่างด้วยพลาสติกทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงจึงทำการถอดแบบ แล้วนำตัวอย่างไปบ่มในสารละลายปูนขาวอิ่มตัวที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 1 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงเวลาทดสอบ นำชิ้นตัวอย่างทดสอบขึ้นจากสารละลายปูนขาวอิ่มตัว ทำการทดสอบที่อายุมอร์ตาร์ 1, 7, 28, 56, และ 90 วัน โดยกดชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซลเพื่อหาลำดับรับแรงอัด

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. คุณสมบัติและรูปทรงของวัสดุ

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 67.88, ซิลิกา (SiO₂) ร้อยละ 18.29, อลูมินา (Al₂O₃) ร้อยละ 4.32, และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ร้อยละ 3.52 ในขณะที่เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้มีสารซิลิกาเป็นองค์ประกอบมากที่สุด คือ ร้อยละ 77.72, อลูมินา ร้อยละ 0.99, และเฟอร์ริกออกไซด์ ร้อยละ 2.95 ซึ่งผลรวมร้อยละของออกไซด์ SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ เป็นร้อยละ 81.66 เทียบกับมาตรฐาน ASTM C618 [6] จัดอยู่ในชนิด N ที่กำหนดปริมาณของผลรวมร้อยละออกไซด์ดังกล่าวไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจาก

การเผา ร้อยละ 1.53 ซึ่งมาตรฐาน ASTM C618 [6] ที่กำหนดให้สูงสุดไม่เกินร้อยละ 6.0 ความถ่วงจำเพาะพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดมัธยฐาน (d_{50}) และขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งการเพิ่มระยะเวลาการบด ทำให้เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้มีความถ่วงจำเพาะและพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ขณะที่ขนาดมัธยฐานและค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ลดลง โดยความถ่วงจำเพาะของทุกความละเอียดต่ำกว่าของ OPC เถ้า MBGA และ SBGA มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าของ OPC และขนาดมัธยฐานต่ำกว่าของ OPC การกระจายขนาดผลของปูนซีเมนต์และเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ แสดงในภาพที่ 1 ซึ่งพบว่าเมื่อระยะเวลาการบดเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคจะเล็กลง ลักษณะการกระจายของขนาดผลจะแคบลง กล่าวคือ ขนาดเรียงตัวใกล้เคียงกันมากขึ้น ภาพถ่ายขยายของปูนซีเมนต์และเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ แสดงดังภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าปูนซีเมนต์มีรูปร่างไม่แน่นอนเป็นเหลี่ยมมุม เนื่องจากการถูกบด เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ดั้งเดิมมีอนุภาคขนาดใหญ่และมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ทำให้มีการดูดซับน้ำได้มากกว่าเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียด SBGA มีขนาดอนุภาคเล็กลงมาก รูพรุนลดลง ทำให้ดูดซับน้ำลดลง รูปร่างไม่แน่นอน เหลี่ยมมุมคล้ายปูนซีเมนต์มากขึ้น

2. ความต้องการน้ำของซีเมนต์เพสต์

ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วนเท่ากับร้อยละ 28.5 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ที่ความชื้นเหลวปกติ ซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ในอัตราร้อยละ 20 และ 40 ประเภทยาบใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 40.0 และ 53.1 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ตามลำดับ ประเภทบดปานกลางใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 39.6 และ 52.3 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ตามลำดับ และประเภทบดละเอียดใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 38.5 และ 50.0 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์

ทำให้เมื่อแทนที่เถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ในปูนซีเมนต์ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน ปริมาตรของปูนซีเมนต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้มีรูปร่างที่ขรุขระและมีรูพรุนมากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้ต้องดูดซับน้ำมากกว่าเพื่อให้ลดแรงเสียดทานได้เท่ากัน ดังนั้นปูนซีเมนต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้จึงต้องใช้น้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ล้วนดังแสดงในตารางที่ 3 และเมื่อระยะเวลาการบดมากขึ้น เถามีความละเอียดมากขึ้นรูพรุนของเถาจะลดลง ทำให้ลดปริมาณน้ำที่จะดูดซับเข้าไปในรูพรุนดังกล่าวและการบดทางกลจะทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงที่ไม่แน่นอนเป็นรูปทรงที่ใกล้เคียงทรงกลมมากขึ้น ความขรุขระลดลง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการลดแรงเสียดทานจึงลดลง ดังนั้นปูนซีเมนต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ใช้น้ำน้อยกว่าปูนซีเมนต์ล้วน

3. ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์

ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์แสดงดังตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาผลของปริมาณการแทนที่เถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ในสารซีเมนต์ต่อระยะเวลาก่อตัว พบว่า ระยะเวลาก่อตัวต้นและระยะเวลาก่อตัวปลายจะมากกว่าเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วนและเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ของเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ โดยเพสต์ปูนซีเมนต์ล้วนมีระยะเวลาก่อตัวต้นและก่อตัวปลาย 105 และ 263 นาที ตามลำดับ ซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้บดละเอียดที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 40 มีระยะเวลาก่อตัวต้น 130 และ 138 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาก่อตัวปลาย 375 และ 435 นาที ตามลำดับ ซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ปานกลางที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 40 มีระยะเวลาก่อตัวต้น 112 และ 113 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาก่อตัวปลาย 338 และ 375 นาที ตามลำดับ ซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้บดหยาบที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 40 มีระยะเวลาก่อตัวต้น 95 และ 100 นาที ตามลำดับ และระยะเวลาก่อตัวปลาย 308 และ 368

นาที ตามลำดับ การที่ระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ เนื่องจากการแทนที่เถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ ทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงลดลง ทำให้ต้องใช้เวลามากขึ้นในการเกิดปฏิกิริยาจนกว่าความแข็งแรงจะมากพอรองรับน้ำหนักของเข็มไวแคดที่ตกลงมากระทบได้ตามค่าที่กำหนด

ตารางที่ 3 ระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้

เพสต์	ปริมาณน้ำ (ร้อยละ)	ระยะเวลาก่อตัว (นาที)	
		ก่อตัวต้น	ก่อตัวปลาย
OPC	28.5	105	263
SBGA20	38.5	130	375
SBGA40	50.0	138	435
MBGA20	39.6	112	338
MBGA40	52.3	113	375
CBGA20	40.0	95	308
CBGA40	53.1	100	368

เมื่อพิจารณาผลของความละเอียดต่อระยะเวลาก่อตัว พบว่า ระยะเวลาก่อตัวต้นและระยะเวลาก่อตัวปลายจะเพิ่มขึ้นตามความละเอียดที่เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 ซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ บดหยาบ ปานกลาง และละเอียด ระยะเวลาก่อตัวต้น เท่ากับ 95, 112, และ 130 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาก่อตัวปลาย เท่ากับ 308, 338, และ 375 นาที ตามลำดับ ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 40 ซีเมนต์เพสต์ผสมเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้ บดหยาบ ปานกลางและละเอียด ระยะเวลาก่อตัวต้น เท่ากับ 100, 113, และ 138 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาก่อตัวปลาย เท่ากับ 368, 375, และ 435 นาที ตามลำดับ ระยะเวลาก่อตัวที่เพิ่มขึ้นตามความละเอียดนี้ เนื่องจากเถาขานอ้อย-กลบ-ไม้บดละเอียดจะมีรูพรุนลดลง น้ำที่เติมลงไปจึงไม่ได้ถูกดูดซับเข้าไป

ในรูปพุนั้น แต่ใช้เพื่อหล่อลื่น และทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการบดเป็นเวลานานทำให้เหลี่ยมมุมลดลง รูปร่างใกล้เคียงทรงกลมมากขึ้น ทำให้แรงเสียดทานภายในลดลง กำลังต้านทานน้ำหนักเข็มไวแคตจึงต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าบดหยาบ กำลังต้านทานน้ำหนักเข็มไวแคตของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าบดหยาบนี้ส่วนหนึ่งเกิดจากแรงเสียดทานภายในที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากอนุภาคเถ้าบดหยาบดูดซับน้ำเข้าไปในรูปพุนอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่ใช้หล่อลื่นลดลง แรงเสียดทานภายในของเพสต์จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ดังนั้นเถ้าบดหยาบ ยังมีรูปพุนมาก แรงเสียดทานภายในของเพสต์ยังมีมาก ระยะเวลาก่อตัวจึงลดลง

4. ความต้องการน้ำและกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับมอร์ตาร์ควบคุมและมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบปานกลางและละเอียดกรณีควบคุมค่าการไหลแผ่ร้อยละ 105 - 115 โดยการแปรผันปริมาณน้ำ แสดงดังในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้มากขึ้น มอร์ตาร์จะมีการใช้น้ำมากขึ้น อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ (w/b) จะเพิ่มขึ้น โดยมอร์ตาร์ควบคุมมีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ 0.51 มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียด ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 40 มีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ 0.57 และ 0.65 ตามลำดับ มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดปานกลาง ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 40 มีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ 0.58 และ 0.65 ตามลำดับ ซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบ ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 และ 40 มีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ 0.60 และ 0.69 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าทุกอัตราส่วนการแทนที่ มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้มีการใช้น้ำในส่วนผสมมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ซึ่งเกิดจากเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ ทำให้เมื่อแทนที่เถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้ในปูนซีเมนต์ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน

ปริมาตรของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดจึงมากกว่ากรณีของปูนซีเมนต์ล้วน และเนื่องจากเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้มีรูปร่างที่ขรุขระและมีรูปพุนมากกว่าปูนซีเมนต์ ทำให้ต้องดูดซับน้ำมากกว่าเพื่อให้ลดแรงเสียดทานได้เท่ากัน ดังนั้นปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้จึงต้องใช้น้ำมากกว่ากรณีของปูนซีเมนต์ล้วน และที่ทุกความละเอียดของเถ้า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์จะเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากเถ้ามีรูปร่างที่ขรุขระและมีรูปพุนดังกล่าวทำให้ต้องดูดซับน้ำมาก การเพิ่มปริมาณการแทนที่จึงทำให้เพิ่มสัดส่วนของอนุภาคที่ขรุขระและมีรูปพุนมาก ทำให้ต้องใช้น้ำมากขึ้นเพื่อให้ได้ค่าการไหลแผ่เท่ากัน

เมื่อเพิ่มความละเอียดของเถ้ามากขึ้นโดยการเพิ่มระยะเวลาการบด อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์จะลดลง โดยที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบปานกลางและละเอียดมีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์เท่ากับ 0.60, 0.58, และ 0.57 ตามลำดับ ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 40 มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบปานกลางและละเอียดมีอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์เท่ากับ ร้อยละ 0.69, 0.65, และ 0.65 ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการบดทำให้เถ้ามีความละเอียดมากขึ้น รูปพุนของเถ้าจะลดลง ทำให้ลดปริมาณน้ำที่จะดูดซับเข้าไปในรูปพุนดังกล่าวและการบดทางกลจะทำให้รูปร่างของเถ้าเปลี่ยนแปลงจากรูปทรงที่ไม่แน่นอนเป็นรูปทรงที่ใกล้เคียงทรงกลมมากขึ้น ความขรุขระลดลง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการลดแรงเสียดทานจึงลดลง ดังนั้นปูนซีเมนต์ผสมเถ้าบดละเอียดจึงใช้น้ำในส่วนผสมน้อยกว่ากรณีเถ้าบดหยาบ

กรณีควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ ที่ 0.51 และปรับค่าการไหลแผ่ร้อยละ 105 - 115 ด้วยสารลดน้ำพิเศษแสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมจะทำให้ต้องใช้สารลดน้ำพิเศษเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากสัดส่วนปริมาณอนุภาคที่เป็นเหลี่ยม พื้นผิวขรุขระ และเส้นใย เพิ่มขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4 ปริมาณสารซีเมนต์ น้ำ และค่าการไหลแผ่

	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (กรัม)	w/b	ค่าการไหลแผ่ (ร้อยละ)	ความต้องการน้ำ (ร้อยละ)
OPC	300	153	0.51	110	100
SBGA20	300	171	0.57	105	112
SBGA40	300	195	0.65	112	127
MBGA20	300	174	0.58	107	114
MBGA40	300	195	0.65	111	127
CBGA20	300	180	0.60	106	118
CBGA40	300	207	0.69	113	135

ตารางที่ 5 ปริมาณสารซีเมนต์ น้ำ และค่าการไหลแผ่

	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ปริมาณน้ำ (กรัม)	สารลดน้ำพิเศษ (ร้อยละของสารซีเมนต์)	ค่าการไหลแผ่ (ร้อยละ)
SBGA20 SP	300	153	1.3	106
SBGA40 SP	300	153	1.7	112

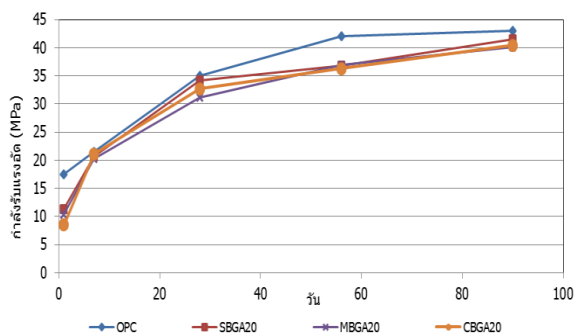
ตารางที่ 6 กำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์

มอร์ต้าร์	กำลังรับแรงอัด (MPa) – %ของมอร์ต้าร์ควบคุม				
	1 d	7 d	28 d	56 d	90 d
OPC	17.4-100	21.5-100	35.0-100	42.0-100	43.0-100
SBGA20	11.2-64	20.7-96	34.2-98	36.8-88	41.5-97
SBGA40	5.1-29	12.5-58	26.8-77	29.8-71	35.5-83
MBGA20	10.3-59	20.3-94	31.1-89	36.9-88	40.1-93
MBGA40	5.0-28	13.7-64	26.6-76	31.2-74	34.2-80
CBGA20	8.5-49	21.1-98	32.7-93	36.3-86	40.4-94
CBGA40	4.0-23	12.4-58	24.7-71	29.5-70	31.5-73
SBGA20 SP	12.6-73	34.6-161	45.7-131	48.9-116	54.0-126
SBGA40 SP	8.9-51	30.7-143	44.6-127	46.1-110	50.0-116

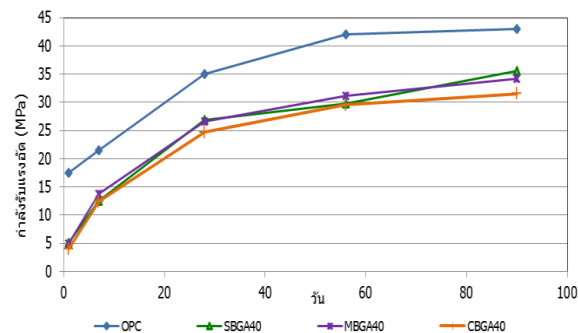
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแสดงในตารางที่ 6 และภาพที่ 4 – 6 ซึ่งจากตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่า กรณีควบคุมค่าการไหลแผ่ร้อยละ 105 – 115 โดยการแปรผันปริมาณน้ำ เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ของเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ กำลังรับแรงอัดจะลดต่ำลงและไม่สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม ทุกอายุการทดสอบเนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ที่ปริมาณการแทนที่เถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ในอัตราร้อยละ 20 ให้กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ควบคุมมากที่สุดเนื่องจากแทนที่ในอัตราไม่มากและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด โดยกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด ที่อายุ 28 และ 90 วัน เท่ากับ 34.2 และ 41.5 เมกะปาสกาลหรือคิดเป็นร้อยละ 98 และ 97 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบ ปานกลางและละเอียด แสดงดังภาพที่ 4 และ 5 ซึ่ง ณ อายุทดสอบเดียวกันกำลังรับแรงอัดค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียด ที่อายุ 28 และ 90 วัน มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดปานกลางและบดหยาบ เนื่องจากเถ้าบดละเอียดมีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่า จึงเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่า กำลังรับแรงอัดจึงมากกว่า โดยที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 20 อายุ 28 วัน มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบ ปานกลางและละเอียด มีกำลังรับแรงอัด 32.7, 31.1, และ 34.2 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบ ปานกลางและละเอียด มีกำลังรับแรงอัด 40.4, 40.1, และ 41.5 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 40 อายุ 28 วัน มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบ ปานกลางและละเอียด มีกำลังรับแรงอัด 24.7, 26.6, และ 26.6 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อายุ 90 วัน มอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดหยาบ

ปานกลางและละเอียด มีกำลังรับแรงอัด 31.5, 34.2, และ 35.5 เมกะปาสกาล ตามลำดับ

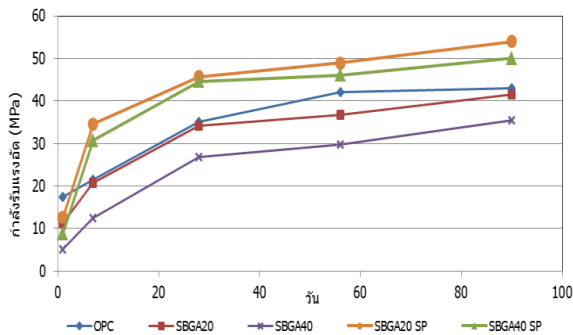
การเปรียบเทียบผลของการเติมสารลดน้ำพิเศษแสดงดังภาพที่ 6 ซึ่งพบว่ามอร์ตาร์ปรับค่าการไหลแผ่ด้วยปริมาณสารลดน้ำพิเศษจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ากรณีแปรผันปริมาณน้ำที่อัตราส่วนการแทนที่เดียวกันทุกอายุการทดสอบ เนื่องจากมีปริมาณน้ำน้อยกว่า ทำให้มอร์ตาร์มีความชื้นน้ำมากกว่า โดยมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้ร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด คือ กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 และ 90 วัน คือ 45.7 และ 54.0 เมกะปาสกาล หรือคิดเป็นร้อยละ 131 และ 126 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ



ภาพที่ 4 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดร้อยละ 20 กรณีแปรผันปริมาณน้ำ



ภาพที่ 5 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขานอ้อย-แกลบ-ไม้บดร้อยละ 40 กรณีแปรผันปริมาณน้ำ



ภาพที่ 6 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์กรณีแปรผันปริมาณน้ำและปรับค่าการไหลแผ่ด้วยสารลดน้ำพิเศษ

สรุป

1. ซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้ร้อยละ 20 และ 40 มีระยะเวลาก่อตัวต้นและก่อตัวปลายเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่และความละเอียดของเถ้าบดที่เพิ่มขึ้น

2. กำลังรับแรงอัดจะแปรผกผันกับปริมาณการแทนที่ มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุดทั้งกรณีแปรผันปริมาณน้ำและปรับค่าการไหลแผ่ด้วยสารลดน้ำพิเศษ แต่กรณีแปรผันปริมาณน้ำ กำลังรับแรงอัดจะไม่สูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยที่อายุ 28 และ 90 วัน กำลังรับแรงอัด คิดเป็นร้อยละ 98 และ 97 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ กรณีปรับค่าการไหลแผ่ด้วยสารลดน้ำพิเศษ มอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 และ 90 วัน คิดเป็นร้อยละ 131 และ 126 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ

3. กำลังรับแรงอัดมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียด ที่อายุ 28 และ 90 วัน มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดปานกลาง และบดหยาบ

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ทำที่อัตราการแทนที่เถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้ร้อยละ 20 และ 40 และระยะเวลาเพียง 90 วัน เท่านั้น เพื่อให้งานวิจัยมีความละเอียดมากขึ้น ควรทำการศึกษาต่อไปที่อัตราส่วนการแทนที่ที่ละเอียดขึ้น เช่น การแทนที่เถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 เป็นต้น และทดลองที่ระยะเวลาการบ่มนานขึ้น เช่น 180 วัน

เอกสารอ้างอิง

1. Office of the Cane and Sugar Board. Annual report of cane and sugar production year 2006/50 www.ocsb.go.th Date 3 April 2008. Thai.
2. Horsakulthai, V., Phiuvanna, S., Kaenbud, W. 2011. Investigation on the corrosion resistance of bagasse-rice husk-wood ash blended cement concrete by impressed voltage. Construction and Building Materials, 25(1), 54-60.
3. Watcharase Kaenbud, Veera Horsakulthai. 2010. Chloride permeability of concrete with ash and bagasse-rice husk-wood ash blended with ash and bagasse-rice husk-wood ash. 6th Annual Concrete Conference: ACC 6. Grand Pacific Sovereign Resort and Spa, 20-22 October, 155-160. Thai.
4. Cordeiro, GC., Toledo Filho, RD., Tavares, Fairbairn, LM., 2008. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in portland cement and lime mortars. Cement & Concrete Composites, (30), 410 - 418.

5. Ganesan, K., Rajagopal, K., and Thangavel, K. 2007. Evaluation of bagasse ash supplementary cementitious material. *Cement & Concrete Composites*. 29, 515 - 524.
6. American Society for Testing and Materials. 2001. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. ASTM C618. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Vol. 04.02.
7. American Society for Testing and Materials. 2001. Standard test method for time of setting of hydraulic cement by vicat needle. ASTM C191. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Vol. 04.02.
8. American Society for testing and materials. 2001. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortar. ASTM C 109/C 109M-02. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, Vol. 04.02.