การศึกษาวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ได้จากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ

A study of new cementitious material made from calcium carbide residue and rice husk ash

บุญมาก รุ่งเรือง และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ 10140 กรุงเทพมหานคร

โทร. 470-9133, โทรสาร 427-9063 E-Mail: chai.jat@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอแนวทางเพื่อนำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตก๊าซอเซทิลีนมาผสมกับเถ้าแกลบซึ่งได้จากการเผาแกลบ เพื่อใช้เป็นวัสดุประสานชนิดใหม่แทนปูนซีเมนต์โดยอาศัยปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุทั้งสอง คุณสมบัติที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติ, การก่อตัว, การไหลแผ่, และการรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ซึ่งใช้อัตราส่วนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าแกลบ 5 อัตราส่วน คือ 20:80, 35:65, 50:50, 65:35, และ 80:20 โดยน้ำหนัก มอร์ต้าร์ที่ใช้ทดสอบกำลังอัดจะใช้สารลดน้ำพิเศษในการปรับให้มีร้อยละการไหลแผ่เท่ากับ 110±5 โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานคงที่ เท่ากับ 0.65 และทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุ 1, 3, 7 14, 28, 60, 90 และ 180 วัน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติของเพสต์ของวัสดุผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าแกลบ และระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ของวัสดุผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบใช้เวลามากกว่าซีเมนต์เพสต์ประมาณ 3 เท่า ส่วนการรับกำลังอัด พบว่า มอร์ต้าร์ที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 50:50 เป็นอัตราส่วนที่รับกำลังอัดได้ดีที่สุด คือที่อายุ 28 วัน รับกำลังอัดได้ 156 กก/ซม^2 และเมื่ออายุ 180 วัน รับกำลังอัดเพิ่มขึ้นเป็น 191 กก/ซม^2 แสดงว่าวัสดุประสานชนิดใหม่สามารถรับกำลังอัดได้สูงระดับหนึ่งโดยไม่จำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม ดังนั้นวัสดุประสานชนิดนี้จึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้าง แต่ต้องมีการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ในงานจริง โดยเฉพาะเรื่องเกี่ยวกับการก่อตัว และคุณสมบัติอื่นที่เกี่ยวกับความทนทานของวัสดุประสานชนิดใหม่

Abstract

This paper proposed a new cementitious material which was a mixture of calcium carbide residue, a by-product from acetylene gas and rice husk ash, a residue from burning rice husk. Cementing property was expected by pozzolanic reaction of the two materials. Properties such as normal consistency, setting time, flow and compressive strength of calcium carbide residue and rice husk ash mixtures were investigated. Five mixtures with ratio of calcium carbide residue to rice husk ash of 20:80, 35:65, 50:50, 65:35 and 80:20 by weight were mixed and tested. The flow of mortar of all mixes was maintained between 110±5 % by using superplasticizer to adjust and maintained the ratio of water to cementitious material of 0.65. The compressive strength of mortar was tested at the ages of 1 3, 7, 14, 28, 60, 90 and 180 days.

The results showed that the normal consistency of calcium carbide residue and rice husk ash mixture increased with the increasing of rice husk ash in the mixture. The setting times of the new cementing material pastes took longer time than that of the cement paste. The ratio of calcium carbide residue to rice husk ash of 50:50 was the best mixture to obtain the highest compressive strength. The compressive strength of the best mixture mortar was 156 ksc at curing age of 28 days and increased to be 191 ksc at 180 days. The new cementitious material from calcium carbide residue and rice husk ash has a high potential to be used as a construction material. However, more research and development should be carried out on the setting times as well as the properties on durability of the new cementitious material.

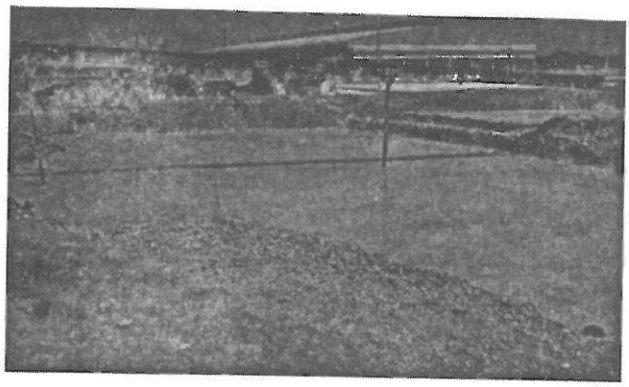
1. บทนำ

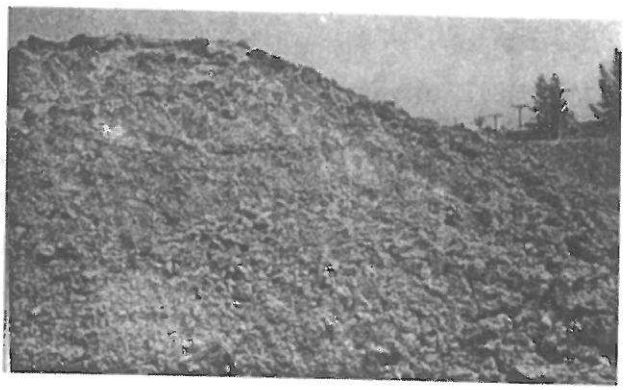
กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Residue) เป็นผลพลอยได้จากการผลิตก๊าซอเซทิลีน [1] ซึ่งอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ตามสมการที่ (1)

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2 \qquad \text{—— (1)}$$

กากแคลเซียมคาร์ไบด์, $Ca(OH)_2$, จะอยู่ในรูปของเหลว จากสมการ (1) จะเห็นได้ว่าถ้าใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ (CaC_2) เท่ากับ 64 กรัม จะได้ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ เท่ากับ 74 กรัม และก๊าซอเซทิลีนเท่ากับ 26 กรัม

การผลิตก๊าซอเซทิลีน (C_2H_2) ในแต่ละครั้งจะเหลือกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นจำนวนมาก สถิติในปี พ.ศ. 2538 ถึง พ.ศ. 2541 มีความต้องการแคลเซียมคาร์ไบด์ถึง 74,000 ตัน [2] เพื่อผลิตก๊าซอเซทิลีน และเหลือกากแคลเซียมคาร์ไบด์ทิ้งประมาณ 86,000 ตัน หรือประมาณ 21,500 ตันต่อปี รูปที่ 1 แสดงบ่อทิ้งกากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อยู่ในสภาพเปียกและสภาพแห้งภายหลังจากน้ำระเหยออกไป





รูปที่ 1 กากแคลเซียมคาร์ไบด์ที่อยู่ในสภาพเปียกและสภาพแห้ง

เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) ได้จากการเผาแกลบ ซึ่งแกลบเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ปริมาณการผลิตข้าวเปลือกของประเทศไทย แสดงในตารางที่ 1 [3] ซึ่งการสีข้าวเปลือกทุกๆ 1,000 กก. จะเหลือแกลบประมาณ 200 กก. นั่นคือในแต่ละปีจะมีแกลบที่ผลิตได้ในประเทศประมาณ 4 ล้านตัน จากการศึกษา พบว่าเถ้าแกลบที่เผาแล้วจะมีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในปริมาณสูงมากคือร้อยละ 80-90 [4] ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานได้ตาม ASTM C 618 [5]

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตข้าวเปลือกในประเทศไทย [3]

ปีผลผลิต	ปริมาณผลผลิต (ล้านตัน)	ปริมาณแกลบ (ล้านตัน)
พ.ศ. 2536/37	18.448	3.68
พ.ศ. 2537/38	21.111	4.22
พ.ศ. 2538/39	22.015	4.40
พ.ศ. 2539/40	22.332	4.46
พ.ศ. 2540/41	23.580	4.71

สารปอซโซลาน (Pozzolan) โดยนิยามตาม ASTM C 618 [5] หมายถึงวัสดุที่มีซิลิกาหรือซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปสารปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสานหรือมีน้อยมาก แต่ถ้าสารปอซโซลานมีความละเอียดมากๆ มีน้ำหรือความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับด่างหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิห้องทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน

เมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีสารประกอบเกิดขึ้นจำนวนมาก แต่ที่สำคัญคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต หรือ CSH, แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต หรือ CAH และ ด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)

CSH และ CAH ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานให้ส่วนผสมของมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตรวมตัวกัน แต่ CSH ให้กำลังสูงกว่า CAH ค่อนข้างมาก ส่วน $Ca(OH)_2$ จะทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับ SiO_2 และ Al_2O_3 ในเถ้าแกลบ เกิด CSH และ CAH มากขึ้นจึงช่วยเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นคือ มีความทนทานต่อกรด ลดการซึมผ่านของน้ำและเพิ่มกำลังอัดสูงขึ้น โดยปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นเวลานานหลายปีตราบเท่าที่ยังมีความชื้นให้ทำปฏิกิริยา จากคุณสมบัติของสารปอซโซลานจะเห็นได้ว่าการผสมกันระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งมีปริมาณด่าง $Ca(OH)_2$ สูง และเถ้าแกลบซึ่งมีปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์สูง น่าจะสามารถนำมาทำเป็นวัสดุประสานเพื่อแทนปูนซีเมนต์ได้ การศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการนำวัสดุที่เหลือทิ้งทั้ง 2 อย่างที่มีอยู่จำนวนมากกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้งซึ่งเป็นการประหยัดทั้งทรัพยากรธรรมชาติและรักษาสภาพแวดล้อมอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านการก่อตัว และการรับกำลังอัดของวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ทำจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ ซึ่งวัสดุประสานชนิดใหม่จะไม่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ คุณสมบัติที่ศึกษาจะเป็นแนวทางในการนำวัสดุประสานชนิดใหม่ไปใช้ในการก่อสร้าง

3. วิธีการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย กากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าแกลบ, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, ทรายแม่น้ำ ที่มีขนาดร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 ค้างเบอร์ 100, และสารลดน้ำพิเศษประเภท F ชนิดสารเนฟทาลีน

การเตรียมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ จากกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก นำมาตากแดดให้แห้ง จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion จนมีความละเอียดของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยให้สัญลักษณ์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็น CCR (Calcium Carbide Residue)

การเตรียมเถ้าแกลบ เริ่มจากการนำแกลบของข้าวเจ้าจากโรงสีข้าวในจังหวัดปทุมธานี มาเผาในเตาเฟอร์โรซีเมนต์ [6] ที่อุณหภูมิประมาณ 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดจนมีอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 10 เช่นเดียวกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ให้สัญลักษณ์เป็น RHA (Rice Husk Ash)

คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ การทดสอบคุณสมบัติเหล่านี้ประกอบด้วย องค์

ประกอบทางเคมี, ความถ่วงจำเพาะ, ความละเอียดโดยวิธี Blaine, และถ่ายภาพขยายโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การทดสอบคุณสมบัติของเพสต์ ประกอบด้วย การหาปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติและระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ที่ใช้อัตราส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 20:80, 35:65, 50:50, 65:35, และ 80:20 โดยน้ำหนัก

การทดสอบการรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์ การทดสอบกำลังอัดใช้อัตราส่วนของวัสดุประสาน (กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบ) ต่อทราย เท่ากับ 1:2.75 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.65 ทุกอัตราส่วนผสม โดยมีสารลดน้ำพิเศษเป็นตัวปรับค่าร้อยละการไหลแผ่ให้เท่ากับ 110±5 ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยใช้ตัวอย่างมอร์ต้าขนาด 5x5x5 ซม. ภายหลังจากหล่อมอร์ต้าร์ 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบออกและทดสอบกำลังอัดที่อายุ 1 วัน ส่วนมอร์ต้าร์ที่เหลือนำไปบ่มในน้ำและทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ขนาดกำลังอัดสูงสุด 20,000 กก. จนถึงที่อายุ 180 วัน

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของมอร์ต้าร์ของวัสดุผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบ

Symbol	Mix Proportion (By Weight)						Flow
	CCR	RHA	Cement	Sand	Water	Super P.	(%)
Control	-	-	100	275	65	-	114
20C80R	20	80	-	275	65	5.88	107
35C65R	35	65	-	275	65	4.01	108
50C50R	50	50	-	275	65	3.89	113
65C35R	65	35	-	275	65	3.25	108
80C20R	80	20	-	275	65	1.75	110

หมายเหตุ ตัวเลข 20,35,50,... ที่อยู่หน้าตัวอักษร C และ R หมายถึง ร้อยละของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบ ตามลำดับ เช่น 35C65R หมายถึง มอร์ต้าร์ที่ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 35 และเถ้าแกลบร้อยละ 65 โดยน้ำหนักเป็นวัสดุประสาน, Super P. หมายถึง สารลดน้ำพิเศษโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน สำหรับ Control หมายถึง มอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานล้วนๆ

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

คุณสมบัติทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าแกลบ, และปูนซีเมนต์ ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าแกลบ, และปูนซีเมนต์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ASTM C 618 [5] พบว่าเถ้าแกลบที่ใช้ทดสอบสามารถจัดอยู่ในประเภท N เพราะเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ คือ มีร้อยละของ SiO_2+ Al_2O_3 + Fe_2O_3 เท่ากับ 81.68 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 70, SO_3 เท่ากับร้อยละ 0.43 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 4 และ Na_2O เท่ากับร้อยละ 0.22 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 1.5, ส่วนกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีร้อยละของ SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 เท่ากับ 6.25 ซึ่งมีค่าต่ำมากและเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของ CaO ระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับปูนซีเมนต์ พบว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์มีปริมาณร้อยละ 51.94 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสภาพเป็นด่างสูง และมีปริมาณใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ซึ่งเท่ากับร้อยละ 63.94 เมื่อเปรียบเทียบกับเถ้าแกลบซึ่งมี CaO เพียงร้อยละ 4.59 ซึ่งต่ำมาก ส่วน MgO, Na_2O, K_2O, และ SO_3 ของวัสดุทั้งสามชนิดมีปริมาณต่ำและไม่แตกต่างกันมากนัก

สำหรับการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss On Ignition, LOI) พบว่าปูนซีเมนต์มีค่า LOI น้อยที่สุด คือ ร้อยละ 2.92 โดยที่ ASTM C 150 [7] ยอมให้ค่า LOI ไม่เกินร้อยละ 3.0 ขณะที่เถ้าแกลบ มีค่า LOI เท่ากับร้อยละ 8.97 และกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีค่า LOI สูงที่สุด คือ เท่ากับร้อยละ 41.72 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากน้ำระเหิดออกไป เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์หา LOI ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ประมาณ 950-1,000 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดสอบ LOI ที่ได้จะคล้ายกับงานวิจัยของปิติศานต์ [8]

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

Sample	Chemical Composition (%)								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	LOI
CCR	3.36	2.56	0.33	51.94	0.46	0.03	0.03	0.22	41.72
RHA	78.22	1.48	1.98	4.59	0.62	0.22	2.56	0.43	8.97
Cement [8]	20.42	5.78	3.35	63.94	1.06	0.17	0.31	2.29	2.92

ความถ่วงจำเพาะและความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าแกลบ, และปูนซีเมนต์ ตารางที่ 4 แสดงความถ่วงจำเพาะของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ มีค่าเท่ากับ 2.21 ขณะที่งานวิจัยของปิติศานต์ [8] มีค่าเท่ากับ 2.32 ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก ส่วนความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบโดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 2.06 ถึง 2.16 สำหรับเถ้าแกลบที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 2.18 ซึ่งถือได้ว่าวัสดุผสมเหล่านี้มีคุณสมบัติที่สอดคล้องกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา [9,10]

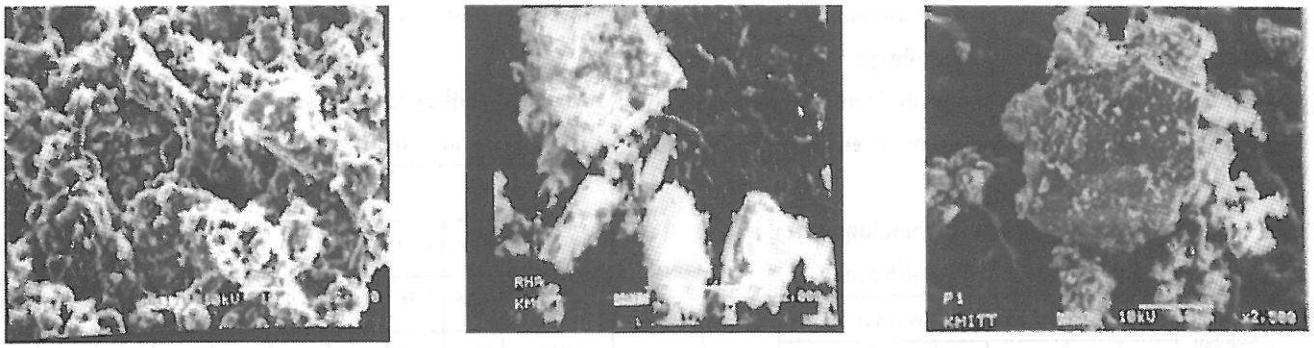
ความละเอียดของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และเถ้าแกลบ ที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 พบว่ามีค่าต่ำกว่าร้อยละ 10 ตามที่ได้ตั้งเป้าไว้โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.52 และ 8.64 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อพิจารณาความละเอียดของ Blaine พบว่าความละเอียดของเถ้าแกลบ และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ มีค่าเท่ากับ 18,050 และ 9,630 ซม^2/ก ตามลำดับ หรือความละเอียดของเถ้าแกลบมีค่าสูงกว่าของกากแคลเซียมคาร์ไบด์เกือบ 2 เท่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเถ้าแกลบมีรูพรุนและที่บริเวณผิวมีลักษณะเป็นปุยล้อมรอบมากกว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์ สังเกตได้จากรูปที่ 2

รูปร่างของกากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าแกลบ, และปูนซีเมนต์ รูปที่ 2 เป็นภาพถ่ายขยายโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope กำลังขยาย 2,000 เท่าของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบ และกำลังขยาย 2,500 เท่าของปูนซีเมนต์ ตามลำดับ จากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์ มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมและที่บริเวณผิวมีลักษณะคล้าย

เป็นเกล็ดแผ่นเล็กบางๆวางซ้อนกัน ขนาดคละกันมีรูพรุนที่ค่อนข้างสูง เถ้าแกลบมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมที่บริเวณผิวมีลักษณะหยาบเป็นปุยล้อมรอบอนุภาค ส่วนปูนซีเมนต์มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมคมขนาดคละกันและมีรูพรุนน้อยมาก จะเห็นได้ว่าวัสดุทั้งสามชนิดมีรูปร่างคล้ายกัน คือ มีลักษณะเป็นเหลี่ยมที่ไม่แน่นอน และมีขนาดคละกัน การมีรูพรุนของอนุภาคจะมีการดูดน้ำเข้าไปในตัวอนุภาค ส่วนการที่เถ้าแกลบมีผิวหยาบเป็นปุยล้อมรอบจะส่งผลให้การใช้น้ำในการเคลือบวัสดุสูงขึ้นด้วย ซึ่งเห็นได้ชัดในการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม เพราะตัวอย่างที่มีเถ้าแกลบใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมมากขึ้น

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางกายภาพของกากแคลเซียมคาร์ไบด์, เถ้าแกลบ, และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

Material	Specific Gravity	Retained on Sieve No. 325 (%)	Air Blaine (cm^2/g)
CCR	2.21	2.52	9,630
RHA	2.18	8.64	18,050
Cement	3.13	9.58	3,230



ก. กากแคลเซียมคาร์ไบด์ ข. เถ้าแกลบ ค. ปูนซีเมนต์

รูปที่ 2 Scanning Electron Microscope ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ เถ้าแกลบ และปูนซีเมนต์

ปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติของเพสต์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบ และเพสต์ของปูนซีเมนต์ ตารางที่ 5 แสดงถึงปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติ และระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบ และเพสต์ของปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์มีค่าร้อยละ 23.9 ส่วนเพสต์ของวัสดุผสมที่อัตราส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติจะมากขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบ เช่นส่วนผสม 20C80R คือ มีกากแคลเซียม คาร์ไบด์ร้อยละ 20 ผสมกับเถ้าแกลบร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก มีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเท่ากับร้อยละ 62.0 และส่วนผสมของ 80C20R ซึ่งมีกากแคลเซียมคาร์ไบด์อยู่ร้อยละ 80 ผสมกับเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเท่ากับร้อยละ 43.7 เมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ผ่านมา [8] พบว่าเพสต์ของส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าถ่านหิน มีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติมากกว่าเพสต์ของปูนซีเมนต์ และเมื่อเพิ่มปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์จะทำให้ปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติมากขึ้น นั่นแสดงว่ากากแคลเซียมคาร์ไบด์มีการดูดซึมน้ำมากกว่าเถ้าถ่านหินและปูนซีเมนต์ เนื่องจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบมีอนุภาคที่พรุนค่อนข้างสูง ดังแสดงในภาพถ่าย SEM ขณะที่ปูนซีเมนต์จะมีรูพรุนน้อยมาก ดังนั้นจึงดูดน้ำเข้าไปในส่วนผสมมากทำให้ค่าปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติสูงกว่ากรณีของซีเมนต์เพสต์มาก นอกจากนี้การศึกษาของนราธิปและคณะ [11] พบว่าเพสต์ของอัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าแกลบกับปูนซีเมนต์มีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าแกลบ นั่นแสดงว่าเถ้าแกลบมีการดูดน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเถ้าแกลบ และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ดูดน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ และการดูดน้ำมากไม่เป็นผลดีต่อการรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์เพราะทำให้การรับกำลังอัดต่ำลง

ระยะเวลาการก่อตัว ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบ และเพสต์ของปูนซีเมนต์ซึ่งเพสต์ทั้งหมดไม่มีการใช้สารลดน้ำพิเศษ ดังแสดงในตารางที่ 5

เวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 107 และ 195 นาที ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดของ ASTM C 150 [7] ที่กำหนดว่าการก่อตัวระยะต้นของซีเมนต์เพสต์ต้องไม่น้อยกว่า 45 นาที ส่วนผสมของเพสต์ชนิดใหม่คือ 50C50R มีการก่อตัวระยะต้นเร็วที่สุด คือใช้เวลา 345 นาที และการก่อตัวระยะปลายใช้เวลา 635 นาที ตามมาด้วยส่วนผสมของเพสต์ 35C65R ใช้เวลาในการก่อตัวระยะต้นที่ 397 นาทีและการก่อตัวระยะปลายใช้เวลา 660 นาที ส่วนผสมของเพสต์ 20C80R และ 65C35R ใช้เวลาในการก่อตัวระยะต้นใกล้

เคียงกันคือ 422 และ 420 นาที ตามลำดับ และสุดท้ายส่วนผสมของเพสต์ 80C20R ใช้เวลาในการก่อตัวระยะต้นนานที่สุดคือ 502 นาทีและการก่อตัวระยะปลายใช้เวลา 680 นาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับส่วนผสม 65C35R ที่ใช้เวลา 670 นาที

สรุปได้ว่าเวลาการก่อตัวระยะต้นของเพสต์ของวัสดุผสมชนิดใหม่นานกว่าเพสต์ของปูนซีเมนต์ค่อนข้างมากคือมากกว่าเพสต์ของปูนซีเมนต์ประมาณ 3 เท่า ดังนั้นการนำไปใช้งานจะต้องระวังในเรื่องการก่อตัวที่ค่อนข้างช้ากว่าปกติหรือต้องหาวิธีที่จะเร่งให้การก่อตัวของเพสต์จากวัสดุทั้งสองเร็วขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยใช้สารเร่งการก่อตัว กำลังอัดของมอร์ต้าร์ ถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในงานวิจัยครั้งนี้ และในการผสมมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบ ได้กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผสมไว้เท่ากับมอร์ต้าร์ที่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนผสม (มอร์ต้าร์มาตรฐานซึ่งใช้สัญลักษณ์ Control) คือเท่ากับ 0.65 โดยมีสารลดน้ำพิเศษเป็นตัวปรับให้ค่าร้อยละการไหลแผ่มีค่าเท่ากับ 110±5

ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าร์ส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ และกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่อายุต่างๆ แสดงในตารางที่ 6 ส่วนตารางที่ 7 แสดงถึงกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ โดยคิดเป็นร้อยละของกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

เมื่อนำมอร์ต้าร์ของวัสดุประสานชนิดใหม่ที่อายุ 1 วัน ไปบ่มในน้ำปรากฏว่ามอร์ต้าร์สามารถคงสภาพอยู่ได้โดยไม่ละลายน้ำ แต่รับกำลังอัดได้ต่ำมากคือที่อายุ 1 วัน มอร์ต้าร์ทุกส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบ รับกำลังอัดได้ไม่เกิน 10 กก/ซม^2 และที่อายุ 3 วัน รับกำลังอัดได้ 13-58 กก/ซม^2 โดยการรับกำลังอัดจะขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ การรับกำลังอัดของมอร์ต้าร์จะค่อยๆพัฒนามากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุ มอร์ต้าร์ที่รับกำลังอัดได้ดีที่สุดคือ 50C50R ที่อายุได้ 1 วัน รับกำลังอัดได้ 9 กก/ซม^2 เพิ่มขึ้นเป็น 58 กก/ซม^2 ที่อายุ 3 วัน ขณะที่มอร์ต้าร์มาตรฐานรับกำลังอัดได้ 176 กก/ซม^2 ที่อายุเดียวกัน ซึ่งต่างกันประมาณ 3 เท่า เมื่ออายุเพิ่มขึ้นเป็น 28 วัน มอร์ต้าร์ 50C50R รับกำลังอัดได้ 156 กก/ซม^2 ขณะที่มอร์ต้าร์มาตรฐานรับกำลังอัดได้ 309 กก/ซม^2 ซึ่งต่างกันประมาณ 2 เท่า แสดงว่าการเพิ่มกำลังอัดของมอร์ต้าร์ 50C50R ที่อายุ 3 วัน ถึง 28 วันเพิ่มกำลังอัดจาก 58 กก/ซม^2 เป็น 156 กก/ซม^2 เท่ากับเพิ่ม 98 กก/ซม^2 ขณะที่มอร์ต้าร์มาตรฐานเพิ่มกำลังอัดจาก 176 กก/ซม^2 เป็น 309 กก/ซม^2 เท่ากับเพิ่ม 133 กก/ซม^2 ซึ่งต่างกันประมาณ 1.4 เท่า เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้นถึง 180 วัน ความต่างของการรับกำลังอัดจะค่อยๆน้อยลงเหลือ 1 เท่า คือที่อายุ 28 วัน ถึง 180 วัน ตัวอย่าง 50C50R เพิ่มกำลังอัดจาก 156 กก/ซม^2 เป็น 191 กก/ซม^2 เท่ากับเพิ่ม 35 กก/ซม^2 ขณะที่ของมอร์ต้าร์มาตรฐานเพิ่มกำลังอัดจาก 309 เป็น 347 เท่ากับเพิ่ม 38 กก/ซม^2 ซึ่งอัตราการเพิ่มของกำลังอัดเกือบเท่ากัน

มอร์ต้าร์ที่รับกำลังอัดได้ดีที่สุด คือ มอร์ต้าร์50C50R ซึ่งมีกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 50 และเถ้าแกลบร้อยละ 50 การเพิ่มปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 จะทำให้การรับกำลังอัดลดลง ดังเช่น มอร์ต้าร์ 65C35R ซึ่งมีกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 65 ผสมกับเถ้าแกลบร้อยละ 35 ที่อายุได้ 1 วัน รับกำลังอัด 4 กก/ซม^2 คิดเป็นร้อยละ 5 ของกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน ที่อายุ 28 วัน รับกำลังอัดได้ 109 กก/ซม^2 คิดเป็นร้อยละ 35 ของกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน และหลังจากอายุ 28 วันจะมีร้อยละของกำลังอัดเมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์มาตรฐานเกือบคงที่ประมาณร้อยละ 35 ตลอดอายุของการทดสอบ

เมื่อลดปริมาณของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ลงต่ำกว่าร้อยละ 50 จะทำให้การรับกำลังอัดลดลงตามไปด้วย ดังเช่น มอร์ต้าร์ 35C65R ซึ่งมีกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 35 และ เถ้าแกลบร้อยละ 65 ที่อายุ 1 วัน รับกำลังอัดได้ 4 กก/ซม^2 คิดเป็นร้อยละ 5 ของกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน ขณะที่อายุ 28 วัน การรับกำลังอัดเพิ่มขึ้นเป็น 146 กก/ซม^2 หรือคิดเป็นร้อยละ 47 ของกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐาน และมีกำลังอัดค่อนข้างคงที่คิดเป็นร้อยละ 47 ถึง 48 ของมอร์ต้าร์มาตรฐานจนถึงอายุ 180 วัน ดังแสดงในตารางที่ 6 และตารางที่ 7

รูปที่ 3 และ 4 พบว่ามอร์ต้าร์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบทุกอัตราส่วนมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานและการพัฒนากำลังอัดคล้ายกับมอร์ต้าร์ของปูนซีเมนต์ คือที่อายุ 1 ถึง 14 วัน มีการพัฒนากำลังอัดไปได้เร็วและหลังจากนั้นการพัฒนากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างช้าๆ และที่อายุ 60 วันขึ้นไปจะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟจะขนานกันทั้งหมดทุกอัตราส่วน แต่การรับกำลังอัดจะน้อยกว่ามอร์ต้าร์มาตรฐาน

ตารางที่ 5 ความข้นเหลวปกติ และระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบและเพสต์ของปูนซีเมนต์

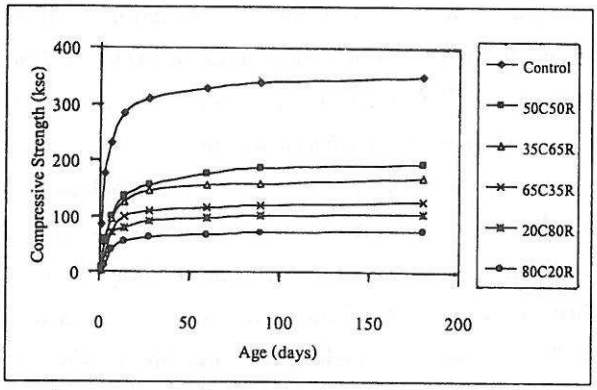
Paste	Normal Consistency (%)	Initial Setting Time (minute)	Final Setting Time (minute)
Cement	23.9	107	195
20C80R	62.0	422	775
35C65R	58.8	397	660
50C50R	55.8	345	635
65C35R	50.6	420	670
80C20R	43.7	502	680

ตารางที่ 6 กำลังอัดของมอร์ต้าร์และค่าร้อยละการไหลแผ่

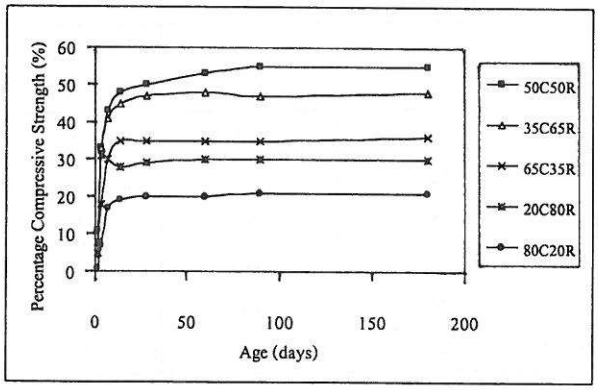
Specimen	Compressive Strength (ksc)							
	1-Day	3-Day	7-Day	14-Day	28-Day	60-Day	90-Day	180-Day
Control	85	176	230	283	309	328	337	347
20C80R	7	54	70	79	90	97	101	104
35C65R	4	58	94	126	146	156	158	167
50C50R	9	58	100	136	156	175	186	191
65C35R	4	31	70	99	109	115	119	126
80C20R	1	13	40	54	63	67	70	72

ตารางที่ 7 กำลังอัดของมอร์ต้าร์ส่วนผสมระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ เมื่อเปรียบเทียบเป็นร้อยละของกำลังอัดมอร์ต้าร์มาตรฐาน

Specimen	Percentage Compressive Strength (%)							
	1-Day	3-Day	7-Day	14-Day	28-Day	60-Day	90-Day	180-Day
Control	100	100	100	100	100	100	100	100
20C80R	8	31	30	28	29	30	30	30
35C65R	5	33	41	45	47	48	47	48
50C50R	11	33	43	48	50	53	55	55
65C35R	5	18	30	35	35	35	35	36
80C20R	1	7	17	19	20	20	21	21

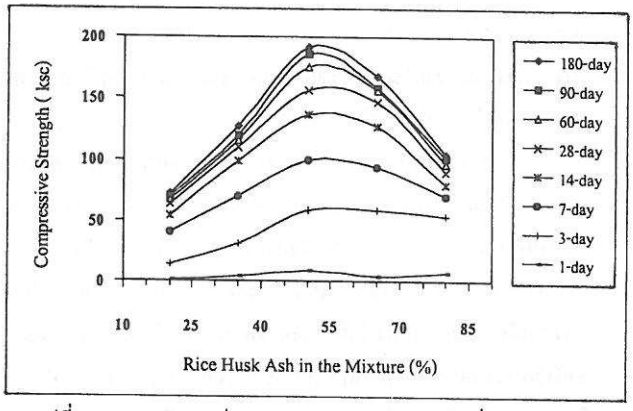


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบ เปรียบเทียบกับกำลังอัดมอร์ต้าร์มาตรฐาน



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่มีส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าแกลบเมื่อเปรียบเทียบเป็นร้อยละของกำลังอัดมอร์ต้าร์มาตรฐานกับอายุของการบ่ม

รูปที่ 5 พบว่ามอร์ต้าร์ของกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าแกลบโดยมีการแทนที่ของเถ้าแกลบระหว่างร้อยละ 35 ถึงร้อยละ 65 เป็นช่วงที่มอร์ต้าร์รับกำลังอัดได้ดี และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อเถ้าแกลบ เท่ากับ 50:50 โดยจะเริ่มเห็นความแตกต่างของการรับกำลังอัด ที่อายุ 7 วันขึ้นไป



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่อายุต่างๆ กับร้อยละของเถ้าแกลบในส่วนผสมของมอร์ต้าร์

5. สรุปผลการศึกษา

ผลจากการศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้

1.กากแคลเซียมคาร์ไบด์มีแคลเซียมออกไซด์สูงถึงร้อยละ 60 ซึ่งใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากการเผา (LOI) สูงมากประมาณร้อยละ 42

2. การก่อตัวของเพสต์ที่ใช้เถ้าแกลบผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์มีระยะเวลาการก่อตัวที่นานมาก ดังนั้นการนำไปใช้งานจะต้องพัฒนาเพื่อลดระยะเวลาการก่อตัวให้สั้นลง

3. มอร์ต้าร์ของส่วนผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ร้อยละ 50 กับเถ้าแกลบร้อยละ 50 เป็นส่วนผสมที่ดีที่สุดโดยให้กำลังอัดเท่ากับ 156 กก/ซม^2 ที่อายุ 28 วันและเพิ่มขึ้นเป็น 191 กก/ซม^2 ที่อายุ 180 วัน โดยที่ไม่ต้องใช้ปูนซีเมนต์ในส่วนผสม

4.จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำวัสดุประสานชนิดใหม่ คือ กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าแกลบมาใช้ในงานก่อสร้างได้เพราะให้กำลังอัดได้สูงระดับหนึ่ง แต่ต้องเลือกใช้ให้เหมาะกับงานที่รับกำลังไม่สูงนัก เช่น ในงานคอนกรีตหยาบ, ทำท่อระบายน้ำทิ้ง, ทางเดินเท้า เป็นต้น นอกจากนี้ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาวัสดุประสานชนิดใหม่ทางด้านการก่อตัวในช่วงอายุต้น ๆ ให้เร็วขึ้นและคุณสมบัติด้านความทนทานของวัสดุประสานเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้อย่างจริงจัง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา, กองวิทยาการกรมวิทยาศาสตร์ทหารบก ที่จัดหากากแคลเซียมคาร์ไบด์, คุณอภิญญา ธนาลาภสกุล ผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัทเอ็ม.ไทยอินดัสเทรียล จำกัด ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการผลิตกากแคลเซียมคาร์ไบด์ นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณอุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, คุณศักดิ์สินธ์ แววคุ้ม คุณจงกลณี ประดิษฐ์พงษ์, คุณสุธี สังข์เทศ, และ คุณศราวุธ เริงฤทธิ์ ที่ให้ความสะดวกในด้านการใช้เครื่องมือสำหรับการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

1. John, J.M., 1993, Inorganic Chemicals Handbook, Vol. 1, Marcle Dekker, New York, pp. 302-309.
2. อภิญญา ธนาลาภสกุล, 2540, ข้อมูลของ บริษัท เอ็ม. ไทยอินดัสเทรียลจำกัด พฤษภาคม
3. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2541, พื้นที่เพาะปลูกผลผลิตต่อไร่และผลผลิตของไทย, 1 หน้า
4. Gambhir, M.L., 1995, Concrete Technology, 2nd ed., New Delhi, McGraw-Hill, pp. 286-287, 362.
5. American Society for Testing and Materials, 1995, "ASTM C 618-94a: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete," Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, pp. 304-306.
6. Alex, B.W., 1981, Production of Rice Husk Ash and Its Applications in Mortar and Concrete, Master of Engineering Thesis, Asian Institute of Technology, 50 p.
7. American Society for Testing and Materials, 1995, "ASTM C150-95: Standard Specification for Portland Cement," Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02, pp. 91-95.
8. ปิติศานต์ กร้ำมาตร, 2539, การศึกษากำลังอัดของมอร์ต้าร์ที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมกับเถ้าถ่านหิน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 103 หน้า
9. Min-Hong, Z. and Malhotra, V.M., 1996, "High-Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash as a Supplementary Cementing Material," ACI Materials Journal, American Concrete Institute, Vol. 93, No.6, Nov.-Dec., pp. 629-636.
10. Moungnoi, W., 1994, Strength Development of Pozzolana-Cement Mortars Subjected to Accelerated Curing, Master of Engineering Thesis, Asian Institute of Technology, 52 p.
11. นราธิป จันทร์ทอง, สมิตร ส่งพิริยะกิจ, เสรี เกียรติยุทธชาติ และอวิรุทธ์ ทับทิมแท้, 2533, การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของขี้เถ้าแกลบเพื่อใช้ในการทำคอนกรีต, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 91 หน้า