รหัสบทความ SEITS 28

การพัฒนาบล็อกคอนกรีตด้วยวัสดุเหลือทิ้ง (ซิลิก้าฟูม ดินขาว เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ) จากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Development of concrete blocks with waste materials (silica fume, meta kaolin, bagasse ash, rice husk ash) from industrial plants for environmental friendliness

จักรพันธ์ แสงสุวรรณ[1*], กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ[2], ขวัญชนก อุนทะอ่อน[3], อนุรักษ์ เทพกรณ์[4]

[1*,2,3,4] อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
[1*] chak_sn@hotmail.com [2] jedwanna@yahoo.ncom
[3]kwanchanok.o@rmutp.ac.th และ [4]anuruk_note@hotmail.com

บทคัดย่อ

คอนกรีตบล็อกหรืออิฐมวลเบา เป็นวัสดุก่อผนังที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานอาคารที่พักอาศัย อาคารขนาดเล็ก อาคารพาณิชย์ โรงงาน เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ทำงานได้เร็วและประหยัดเวลา คอนกรีตบล็อกมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หินฝุ่น ทรายและน้ำ ผสมให้เข้ากันในลักษณะค่อนข้างแห้ง นำไปอัดเข้าแบบเป็นรูปบล็อกชนิดที่ต้องการ จากวิธีการนี้จึงใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกได้แก่ ซิลิก้าฟูม เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยและดินขาว เป็นต้น

จากการศึกษาคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของสารปอซโซลานใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอย เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยและดินขาว และทดสอบในด้านคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต ได้แก่ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58/2533 [1] และทดสอบคุณสมบัติ การไหลแผ่ของคอนกรีตที่นำไปใช้หล่ออิฐบล็อก เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของอิฐบล็อก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ส่วนผสมคอนกรีตแทนที่ด้วยดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ มีการไหลแผ่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟูม เถ้าแกลบและชานอ้อยในทุกปริมาณส่วนผสม และพบว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยดินขาวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้การไหลแผ่ของคอนกรีตลดลง และผลการรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้กำลังรับแรงอัดมากที่สุด และมากกว่าปอซโซลานชนิดอื่น เมื่อใช้ปริมาณน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 และ 0.60 ในขณะที่การทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกที่ได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58/2533 (ประมาณ 14.5 MPa. หรือ 145 ksc.)

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อก; สารปอซโซลาน; คุณสมบัติทางกล, ซิลิก้าฟูม ดินขาว, เถ้าชานอ้อย, เถ้าแกลบ

Abstract

Concrete block or lightweight brick, It is a widely popular wall building material. especially in residential buildings small buildings, commercial buildings, factories because they are cheap. easy to buy Work faster and save time Concrete block is a mixture of Portland cement, rock dust, sand and water mixed together in a relatively dry manner. to be compressed into the desired block form as a result of this method, pozzolanic material was partially replaced with cement in the concrete block mixture, namely silica fume, rice husk ash, bagasse ash and kaolin.

From the study of concrete blocks containing pozzolanic compounds used to partially replace cement with fly ash, rice husk ash, bagasse ash and kaolin, the mechanical properties of concrete were tested for concrete compressive strength and compressive strength of concrete. Brick block compared to industrial standard 58/2533 and tested for properties. The flow of concrete used to cast bricks and blocks to apply the results obtained from the study to the design of brick and block mixtures. which the study found the water to binder ratio was 0.50. The concrete mixture replaced by 15% kaolin had the lowest flow. Compared with the cement replacement mixture with silica fume. Rice husk ash and bagasse in all ingredients and found that when replacing cement with kaolin in increased quantities. will reduce the flow of concrete and the compressive strength of concrete when replacing cement with 15% kaolin gives the greatest compressive strength than other types of pozzolanic. When the water content per binder was 0.50 and 0.60 while the compressive strength test of the brick block was lower than the industrial standard 58/2533. (Approximately 14.5 MPa. or 145 ksc.)

Keywords : Concrete block, Pozzolanic material, The mechanical properties, silica fume, kaolin, Rice husk ash and bagasse

1. บทนำ (Introduction)

คอนกรีตบล็อกยังเป็นวัสดุก่อผนังที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานอาคารที่พักอาศัย อาคารขนาดเล็ก อาคารพาณิชย์ โรงงาน โกดังเก็บของและรั้ว เนื่องจากมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย ทำงานได้เร็วและประหยัดเวลา เพราะคอนกรีตบล็อกมีขนาดที่ใหญ่ มีความแข็งแรงทนทาน มีหน่วยน้ำหนักรวมปูนฉาบน้อยกว่าอิฐมอญ คอนกรีตบล็อกในเชิงพาณิชย์มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หินฝุ่น ทรายและน้ำ ผสมให้เข้ากันในลักษณะค่อนข้างแห้ง และนำไปหล่ออัดเข้าแบบเป็นรูปบล็อกชนิดที่ต้องการด้วยเครื่องเขย่าที่มีความถี่สูง ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการใช้งานคอนกรีตบล็อกมากขึ้น โดยจากแผนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564 ที่พยายามพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรในชนบทให้มีรายได้เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้มีศักยภาพในการจัดหาที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นด้วย โดยอาคารดังกล่าวมักใช้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อผนังเพราะการก่อสร้างไม่จำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือมากนัก จากเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงมีแนวความคิดในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกผสมซิลิก้าฟูม เถ้าแกลบและดินขาว เถ้าชานอ้อย โดยซิลิก้าฟูมเป็นผลพลอยได้จากโรงงานผลิตโลหะซิลิคอน (Silicon Metal) และเฟอร์โรซิลิคอนอัลลอย (Ferrosilicon Alloy) นอกจากนี้ประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตอ้อยอันดับที่ 5 ของโลก ซึ่งผลิตอ้อยได้มากกว่า 60 ล้านตันต่อปี มีชานอ้อยเหลือประมาณ 13 ล้านตัน [2] จากการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงทำให้มีเถ้าชานอ้อยเหลือเป็นปริมาณมาก ดังนั้นเถ้าชานอ้อยจึงเกิดปัญหาการฟุ้งกระจาย ทำให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม ยากในการกำจัดและจัดเก็บจากการศึกษาและวิจัยเถ้าชานอ้อยที่ผ่านมา [3] พบว่า เถ้าชานอ้อยมี

ส่วนประกอบของซิลิกาออกไซด์มากกว่าร้อยละ 60 สำหรับดินขาว ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) จัดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ได้จากการนำเอาดินขาว ดิบจากธรรมชาติ ($Al_2SiO_5(OH)_4$) มาปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน โดยวิธีการเผาในช่วงเวลา และอุณภูมิที่เหมาะสม ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือชมพู ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของธาตุเหล็กจะประกอบด้วยซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก และรองลงมาเป็นเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวัสดุปอซโซลานอื่นๆ ได้แก่ เถ้าแกลบ ที่สามารถนำมาใช้แทนที่ซีเมนต์ได้อีกด้วย

จากการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับเถ้าชานอ้อย พบว่า เถ้าชานอ้อยมีส่วนประกอบของซิลิกาออกไซด์มากกว่าร้อยละ 60 ที่ผ่านการบดละเอียด ทำให้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานได้ ทำให้สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนได้ โดยยังคงความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี หากมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง จะเป็นการช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้ง รวมทั้งช่วยลดพลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์ด้วย โดยการผลิตปูนซีเมนต์ต้องมีการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,400-1,500 องศาเซลเซียส พลังงานที่ใช้อาจเป็นน้ำมันเตาหรือถ่านหิน ซึ่งเม็ดปูนซีเมนต์ 1 ตันต้องใช้ถ่านหินประมาณ 220 กิโลกรัม หรือใช้น้ำมันประมาณ 125 ลิตร [4] การนำเถ้าชานอ้อยมาใช้ประโยชน์ จึงเป็นการช่วยลดพลังงานการผลิตปูนซีเมนต์และแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมด้วย

สำหรับการวิจัยครั้งนี้เป็นการขยายผลการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุในด้านผลความละเอียด จากการบดที่ใช้ปริมาณตัวบดต่างกัน ซึ่งทำให้การบดเถ้าชานอ้อยมีประสิทธิภาพมากขึ้นและประหยัดพลังงานมากขึ้นกว่าเดิม และนำเถ้าชานอ้อยมาพัฒนาส่วนผสมเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อยด้วยขบวนการผลิตในโรงงาน ซึ่งใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกในเชิงพาณิชย์ และยังคงความสามารถใช้งานได้เทียบเท่าและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58/2533 ที่กำหนดไว้ โดยทดสอบด้านคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกที่ถูกแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เถ้าลอย เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยและดินข้าว เป็นต้น เทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58/2533 และยังทดสอบคุณสมบัติด้านการทำงาน ได้แก่ การไหลแผ่ของคอนกรีตที่นำไปใช้หล่ออิฐบล็อก เพื่อนำผลที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของอิฐบล็อก ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์และเป็นพื้นฐาน เพื่อการพัฒนาวัสดุท้องถิ่นราคาต่ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1 วัสดุและส่วนผสมคอนกรีต

1. ปูนซีเมนต์ (Cement) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15
2. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายแม่น้ำร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 [5] มีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.51, ค่าร้อยละการดูดซึมเท่ากับ 1.30, ค่าร้อยละความชื้นผิวเท่ากับ 4.00 และความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) เท่ากับ 2.65
3. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ใช้หินปูน ขนาดเล็กที่สุดไม่เกิน 10 มิลลิเมตร ที่มีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 มีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 6.34 ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 1.00, ค่าร้อยละความชื้นผิวเท่ากับ 0.5 ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.) เท่ากับ 2.70 ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1600 kg/m^3
4. น้ำ ใช้น้ำประปาสะอาดผสมคอนกรีต (Water) มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต
5. วัสดุปอซโซลาน ได้แก่ ซิลิกาฟูล วัสดุดินขาว (Meta kaolin) เถ้าแกลบและชานอ้อย เป็นต้น

2.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบ UTM สำหรับใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกคอนกรีต
2. แบบหล่ออิฐบล็อกคอนกรีตตัวอย่างขนาด 7 x 19 x 39 ซม.
3. แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก ขนาด 10 x 20 ซม.

4. เครื่องผสมคอนกรีตขนาดผสม 140-150 ลิตร
5. เครื่องจี้คอนกรีต (Vibrator)
6. อุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว (Slump test) แบบไหลแผ่
7. โต๊ะทดสอบการไหลแผ่ (Flow table)
8. ถังน้ำสำหรับแช่ตัวอย่าง ขนาด 120 × 150 เซนติเมตร
9. เครื่องชั่งน้ำหนัก สามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.01 กรัม
10.เวอร์เนียคาลิปเปอร์

2.1.3 อัตราส่วนผสมที่ใช้ทดสอบ

สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยได้ถูกออกแบบตามการแนะนำของ ACI 211.1-1 [6] โดยออกแบบให้มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.60 และ 0.50 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ :ทราย: หิน 1 : 2.4 : 2.9 โดยปริมาตร ซึ่งปริมาณวัสดุที่ใช้สำหรับอัตราส่วนผสมของคอนกรีต 1 ลบ.ม. ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต (w/b = 0.60), (ปริมาณน้ำหนัก กก. ต่อลูกบาศก์เมตร)

ชื่อตัวอย่าง	% pozzolan replacement cement	ปริมาณวัสดุประสาน	ปริมาณซีเมนต์ (Kg/m^3)	ปริมาณซิลิกาฟูม (Kg/m^3)	ปริมาณดินขาว (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าแกลบ (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าชานอ้อย (Kg/m^3)	หิน (SSD) (Kg/m^3)	ทราย (SSD) (Kg/m^3)	น้ำ (Kg/m^3)
OPC	0	-	261	-	-	-	-	721	1066	157
OPC/PFA20	20	261	209	52	-	-	-	721	1066	157
OPC/PFA35	35	261	170	91	-	-	-	721	1066	157
OPC/MK10	10	261	235	-	26	-	-	721	1066	157
OPC/MK15	15	261	222	-	39	-	-	721	1066	157
OPC/RHA10	10	261	235	-	-	26	-	721	1066	157
OPC/RHA20	20	261	209	-	-	52	-	721	1066	157
OPC/BA10	10	261	235	-	-		26	721	1066	157
OPC/BA20	20	261	209	-	-		52	721	1066	157

ตารางที่ 2 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต (w/b = 0.50), (ปริมาณน้ำหนัก กก. ต่อลูกบาศก์เมตร

ชื่อตัวอย่าง	% pozzolan replacement cement	ปริมาณวัสดุประสาน	ปริมาณซีเมนต์ (Kg/m^3)	ปริมาณซิลิกาฟูม (Kg/m^3)	ปริมาณ MK (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าแกลบ (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าชานอ้อย (Kg/m^3)	หิน (SSD) (Kg/m^3)	ทราย (SSD) (Kg/m^3)	น้ำ (Kg/m^3)
OPC	0	-	261	-	-	-	-	721	1066	105
OPC/PFA20	20	261	209	52	-	-	-	721	1066	105
OPC/PFA35	35	261	170	91	-	-	-	721	1066	105
OPC/MK10	10	261	235	-	26	-	-	721	1066	105
OPC/MK15	15	261	222	-	39	-	-	721	1066	105
OPC/RHA10	10	261	235	-	-	26	-	721	1066	105
OPC/RHA20	20	261	209	-	-	52	-	721	1066	105
OPC/BA10	10	261	235	-	-		26	721	1066	105
OPC/BA20	20	261	209	-	-		52	721	1066	105

2.2 วิธีการทดสอบ

2.2.1 การทดสอบการไหลแผ่ของคอนกรีต โดยวิธีใช้โต๊ะการไหล (Flow Table)

การทดสอบการไหลแผ่เป็นการหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรือวัสดุประสานมีความสำคัญต่อความพรุนและขนาดในช่องว่างของคอนกรีต โดยที่ความพรุนและขนาดในช่องว่างของคอนกรีตอาจส่งผลต่อกำลังอัด และความสามารถในการแพร่กระจาย ซึ่งปัจจัยของความพรุนคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เมื่อคอนกรีตมีความพรุนน้อยหมายถึงคอนกรีตมีความแน่นดี ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้นและลดการซึมผ่าน และในปัจจุบันมีการนำวัสดุปอซโซลานมาใช้ในงานคอนกรีต วัสดุปอซโซลานบางชนิดอาจส่งผลให้ต่อปริมาณความต้องการน้ำที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 230 [7] โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์ โดยนำมอร์ต้าร์ใส่ลงในแบบหล่อ กระทุ้งด้วยแท่งเหล็ก 20 ครั้ง จากนั้นใส่มอร์ต้าร์จนล้นแบบ กระทุ้งอีก 20 ครั้ง ปาดให้เรียบ ยกแบบหล่อขึ้น หมุนแท่นโต๊ะขึ้นลง 25 ครั้ง วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของมอร์ต้าร์ 4 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยคำนวณหาค่าการไหลแผ่ โดยควบคุมอัตราการไหลให้อยู่ในช่วง 110 ± 5 ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 การทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ต้าร์โดยวิธีใช้โต๊ะการไหล

หลังจากทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่แผ่กระจายบนแท่นทดสอบจำนวน 4 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลาง จากนั้นคำนวณหาค่าการไหลแผ่ด้วยสมการดังนี้

$$\%Flow = [(D_2 - D_1)/D_1] \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

%Flow = ร้อยละการไหลแผ่ (ค่าร้อยละการไหลแผ่ที่ยอมให้ใช้เท่ากับร้อยละ 110 ± 5)

D1 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแบบทดสอบ

D2 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ต้าร์บนแท่นทดสอบ

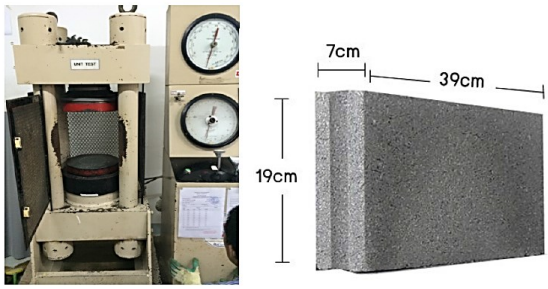
2.2.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Compressive Strength)

การทดสอบกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตรูปทรงทรงกระบอกของคอนกรีตแต่ละชนิด ขนาด 10 x 20 เซนติเมตร จำนวนชนิดละ 3 ตัวอย่าง ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 39 [7] เพื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตทรงกระบอก ภายหลังจากหล่อคอนกรีตทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบหล่อออกซึ่งตัวอย่างทดสอบที่เตรียมได้ จากนั้นตัวอย่างทดสอบจะถูกนำไปบ่มในสภาวะ บ่มน้ำ 28 วัน

ภาพที่ 2 ตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดรูปทรงกระบอก

2.2.3 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกแต่ละชนิด ขนาด 7 x 19 x 39 เซนติเมตร ชนิดละ 3 ตัวอย่าง ซึ่งดัดแปลงจากมาตรฐาน ASTM C 39

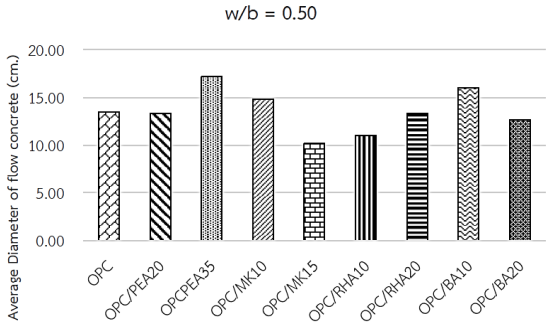


ภาพที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานของ ASTM C 39

3. ผลการทดสอบ

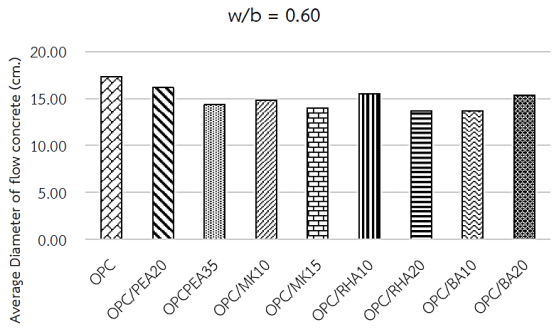
3.1 คุณสมบัติด้านการทำงานของคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลาน

จากการผสมคอนกรีตกับวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ ซิลิกาฟูล (PEA) เถ้าดินขาว (MK) เถ้าแกลบ (RHA) และเถ้าชานอ้อย (BA) เป็นต้น เข้ากันแล้ว จะดำเนินการทดสอบคุณสมบัติด้านการทำงานของคอนกรีตหรือค่ายุบตัว โดยวิธีใช้โต๊ะการไหลแผ่ (Flow Table) ตามมาตรฐาน ASTM C 1437 – 15 [8] โดยผลการทดสอบ พบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีการไหลแผ่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมซิลิกาฟูล เถ้าแกลบและชานอ้อยในทุกปริมาณส่วนผสม และพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าดินขาวที่ผสมมากขึ้น จะทำให้การไหลแผ่ของคอนกรีตลดลง ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของการทดสอบการไหลแผ่ของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

สำหรับที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 พบว่า คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานทุกชนิดในทุกปริมาณการผสมมีการไหลแผ่น้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา และเมื่อเทียบกับคอนกรีตผสมวัสดุเถ้าลอย เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยในทุกปริมาณส่วนผสม และยังพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าดินขาวที่ผสมมากขึ้น จะทำให้การไหลแผ่ของคอนกรีตลดลง ดังภาพที่ 4 และพบว่า คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีการไหลแผ่ของคอนกรีตน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวัสดุปอซโซลานทุกชนิดในทุกปริมาณการผสมดังภาพที่ 5

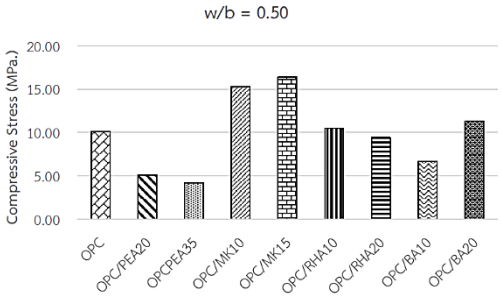


ภาพที่ 5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของการทดสอบการไหลแผ่ของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

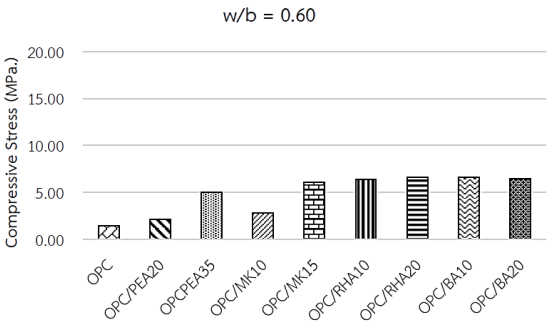
จากผลการทดสอบดังกล่าว พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวและคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 มีแนวโน้มทำให้การไหลแผ่น้อยกว่าคอนกรีตผสมซิลิกาฟูล และเถาชานอ้อยในทุกปริมาณการผสม อาจเกิดจากขนาดของอนุภาคเถ้าดินขาว [9] ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าเถ้าแกลบ [10] เถ้าชานอ้อย [11] และซิลิกาฟูล [12] ตามลำดับ ส่งผลทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำมีปริมาณมาก ดังนั้นน้ำที่ผสมอาจจะต้องใช้น้ำที่มีปริมาณมากพอ ที่จะทำให้การไหลของคอนกรีตดีขึ้น หรือในทางการแก้ปัญหาอาจจะต้องใช้น้ำร่วมกับสารลดน้ำ เพื่อให้คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวและเถ้าแกลบมีการไหลที่ดี และเพิ่มกำลังรับแรงอัดอีกด้วย

3.2 การรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดแบบทรงกระบอก

เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการทำงานของคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดเรียบร้อย จะดำเนินการเก็บตัวอย่างคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลานลงในแบบหล่อทรงกระบอกขนาด 10 x 20 เซนติเมตร ก่อนที่จะนำมาหล่อและอัดในแบบหล่อบล็อกคอนกรีต และนำไปบ่มด้วยความชื้นด้วยระยะเวลา 28 วัน หลังจากนั้นนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบ (UTM) โดยจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดแบบทรงกระบอก พบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุด ทั้งนี้อาจเกิดจากด้วยเถ้าดินขาวส่วนใหญ่มีขนาดของอนุภาคที่เล็ก จึงเข้าไปอุดช่องว่างที่อยู่ในคอนกรีตได้ดีกว่าเถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และซิลิกาฟูล ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

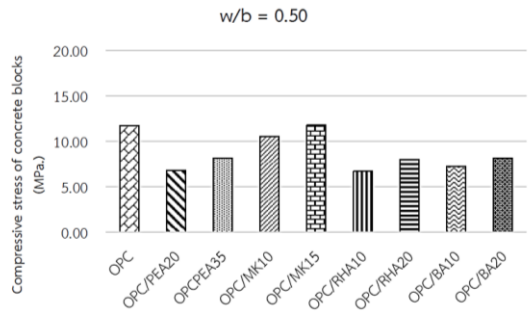


ภาพที่ 7 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

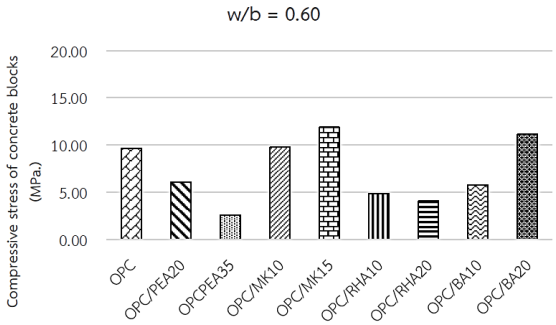
นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าดินขาวจากร้อยละ 10 โดยน้ำหนักซีเมนต์ เป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ จะสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ และสำหรับที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าดินขาว เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่มีกำลังรับแรงอัดดีกว่าคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมซิลิกาฟูล จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ขนาดของอนุภาคของเถ้าดินขาว เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยที่มีขนาดเล็กกว่าซิลิกาฟูลสามารถเข้าไปอุดช่องว่างของคอนกรีตได้ดีกว่าซิลิกาฟูล ทำให้คอนกรีตมีความทึบแน่นมากขึ้นและส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามด้วย ฉะนั้นจากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าดินขาวที่จะทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงสูงให้มีประสิทธิภาพ อาจจะต้องใช้กับคอนกรีตที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานที่ไม่สูงกว่า 0.5

3.3 ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลาน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกผสมกับวัสดุปอซโซลานในแต่ละส่วนผสม พบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 บล็อกคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับบล็อกคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานอื่นๆ โดยเฉพาะบล็อกคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าบล็อกคอนกรีตธรรมดา ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุเดียวกัน ได้แก่ เถ้าดินขาวส่วนใหญ่มีขนาดของอนุภาคที่เล็ก จึงเข้าไปอุดช่องว่างที่อยู่ในคอนกรีตได้ดีกว่าเถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยและซิลิกาฟูล ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของบล็อกคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50



ภาพที่ 9 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของบล็อกคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60

จากผลการทดสอบดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และ 0.60 การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าดินขาวที่ปริมาณร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ จะทำให้บล็อกคอนกรีตมีกำลังรับแรงสูง โดยเฉพาะที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 ซึ่งมีผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกคอนกรีตขัดแย่งกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก เนื่องจากเมื่อหล่อคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวในแบบหล่อบล็อกคอนกรีต จะต้องใช้การบดอัดที่ดี เนื่องจากป้องกันการเกิดโพรงหรือช่องว่างของบล็อกคอนกรีต จึงทำให้เกิดการอัดแน่นที่ดีขึ้นกว่าการหล่อลงในแบบหล่อทรงกระบอก

3.4 ราคาของอิฐบล็อกผสมวัสดุปอซโซลาน

จากการสำรวจราคาวัสดุปอซโซลานตามท้องตลาดทั่วไป ในปี พ.ศ. 2565 มีดังนี้

ตารางที่ 3 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต (w/b = 0.60), (ปริมาณน้ำหนัก กก. ต่อลูกบาศก์เมตร)

วัสดุ	น้ำหนัก (kg)	ราคา (บาท)	ราคาเฉลี่ย (บาท)/1 kg
ปูนซีเมนต์ตราช้าง (ประเภทที่ 1)	50	135	2.70
ซิลิกาฟูล (ไมโครซิลิกาฟูมที่มีคุณภาพสูง)	1,000	3,360 – 4,368 (100 – 130 $	3.86
เถ้าดินขาว	1	16.80 - 117.60 (0.5 – 3.5 $ US)	67.20
เถ้าชานอ้อย	0.7	25	35.71
เถ้าแกลบ 100%)	2.4	59 - 100	33.13

หมายเหตุ ราคาอ้างอิงใน Shopee และ Alibaba.com (26/03/2565)

ดังนั้นเมื่อเทียบเทียบราคาแต่ละอัตราส่วนผสมของบล็อกคอนกรีต โดยไม่คิดรวมราคากับมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวในปริมาณร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก มีราคาแพงที่สุด และมีราคาแพงมากกว่าคอนกรีตธรรมดามากกว่า 3 เท่า ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ราคาแต่ละอัตราส่วนผสมของคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานแต่ละชนิด

ชื่อตัวอย่าง	% pozzolan replacement cement	ปริมาณซีเมนต์ (Kg/m^3)	ปริมาณ ซิลิกาฟูม (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าดินขาว (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าแกลบ (Kg/m^3)	ปริมาณเถ้าชานอ้อย (Kg/m^3)	ราคา (บาท)/m^3
OPC	0	261	-	-	-	-	704.70
OPC/PFA20	20	209	52	-	-	-	765.02
OPC/PFA35	35	170	91	-	-	-	810.26
OPC/MK10	10	235	-	26	-	-	2,381.70
OPC/MK15	15	222	-	39	-	-	3,220.20
OPC/RHA10	10	235	-	-	26	-	1,495.88
OPC/RHA20	20	209	-	-	52	-	2,287.06
OPC/BA10	10	235	-	-		26	1,562.96
OPC/BA20	20	209	-	-		52	2,529.50

4. สรุปผล (Conclusion)

4.1 คุณสมบัติด้านการทำงานของคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลาน

1. ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีการไหลแผ่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมซิลิกาฟูล เถ้าแกลบและชานอ้อยในทุกปริมาณส่วนผสม และพบว่าเมื่อปริมาณเถ้าดินขาวที่ผสมมากขึ้น จะทำให้การไหลแผ่ของคอนกรีตลดลง

2. อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 พบว่า คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานทุกชนิดในทุกปริมาณการผสม มีการไหลแผ่น้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา และพบว่า คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีการไหลแผ่ของคอนกรีตน้อยที่สุด

ทั้งนี้อาจเกิดจากขนาดของอนุภาคเถ้าดินขาวส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าเถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และซิลิกาฟูลตามลำดับ ส่งผลทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสน้ำมีปริมาณมาก ดังนั้นน้ำที่ผสมอาจจะต้องใช้น้ำที่มีปริมาณมากพอ ที่จะทำให้การไหลของคอนกรีตดีขึ้น

4.2 การรับแรงอัดของคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลานแบบทรงกระบอก

1. อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 คอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุด ทั้งนี้อาจเกิดจากด้วยเถ้าดินขาวส่วนใหญ่มีขนาดของอนุภาคที่เล็ก จึงเข้าไปอุดช่องว่างที่อยู่ในคอนกรีตได้ดีกว่าเถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อยและซิลิกาฟูล

2. ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าดินขาว เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่มีกำลังรับแรงอัดดีกว่าคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตผสมซิลิกาฟูล

ทั้งนี้การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าดินขาวที่จะทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงสูงให้มีประสิทธิภาพ อาจจะต้องใช้กับคอนกรีตที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานที่ไม่สูงกว่า 0.5

4.3 การรับแรงอัดของอิฐบล็อกคอนกรีตผสมกับวัสดุปอซโซลาน

1. ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 บล็อกคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับบล็อกคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานอื่นๆ โดยเฉพาะบล็อกคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าบล็อกคอนกรีตธรรมดา

2. ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.60 พบว่า บล็อกคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีกำลังรับแรงอัดได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับบล็อกคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานอื่นๆ และบล็อกคอนกรีตธรรมดา รองลงมาได้แก่ บล็อกคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวร้อยละ 10 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และบล็อกคอนกรีตผสมเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าบล็อกคอนกรีตผสมซิลิกาฟูล บล็อกคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย และยังดีกว่าบล็อกคอนกรีตธรรมดาอีกด้วย

ทั้งนี้ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกคอนกรีตขัดแย่งกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก เนื่องจากเมื่อหล่อคอนกรีตผสมเถ้าดินขาวในแบบหล่อบล็อกคอนกรีต จะต้องใช้การบดอัดที่ดี เนื่องจากป้องกันการเกิดโพรงหรือช่องว่างของบล็อกคอนกรีต จึงทำให้เกิดการอัดแน่นที่ดีขึ้นกว่าการหล่อลงในแบบหล่อทรงกระบอก

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งเป็นงบประมาณรายจ่ายปี 2564 และขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิศวกรรมโยธา ที่พระนครเหนือที่ช่วยให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบวัสดุ ข้อมูล และการทดสอบบางส่วนจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และบริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด

6. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2530). มาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐาน เลขที่ มอก. 58/2533. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1619.

[2] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2527). รวมประกาศและระเบียบออกตามความใน

พระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาลทราย พ.ศ. 2527. กองนโยบายอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 24 (มกราคม - ธันวาคม 2547).

[3] สุวิมล สัจจวาณิชย์. (2545). ผลกระทบของเถ้าชานอ้อยในลักษณะวัสดุประสาน. วิศวกรรมสาร มก., 16(48), 18-22.

[4] ไกรวุฒิ เสมอภาค. (2546) ประสิทธิภาพในการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบล ในอำเภอเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์:กรุงเทพฯ. DOI : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_DOI=10.14457/NIDA.the.2003.260.

[5] American Society for Testing and Materials. “ASTM C C39/C39M - 12a. (1997). (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens) Annual Book of ASTM Standard. Vol. 04.02, Easton, MD, USA.

[6] American Concrete Institute. “ACI 211.1-91. (2000). Standard Practice for Selecting Proportion for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete, ACI Manual of Concrete Practice.” ACI Manual of Concrete Practice.: Part 1, Michigan.

[7] American Society for Testing and Materials, ASTM C230/C230M-14, (2014), Standard Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement, PA, USA.

[8] American Society for Testing and Material, ASTM C 1437, 1994, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA.

[9] ชัยศรี สุขสาโรจน์และพัชราภรณ์ ธรรมบำรุง. (2558). การศึกษาคุณสมบัติของจีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมจากดินขาวเถ้าปาล์ม และของเสียกากขี้แป้ง. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[10] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิสัณห์ คงทรัพย์. (2545). “ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว.” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 25 (ต.ค.-ธ.ค. 2545) : 373-389.

[11] เพ็ญชาย เวียงใต้ และเรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์. (2550). การศึกษาความคงทนของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย. ชลบุรี: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13.

[12] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2007). ซิลิกาฟูม. วารสารคอนกรีต ฉบับที่ 1 เดือนสิงหาคม 2007. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย.