กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก ขนาดโพรง และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ

ว่าที่ร้อยตรี ภูมิพันธ์ บุญมาตุ่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
ประธานกรรมการ

_____

(ศ. ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(อ. ดร.ธนากร ภูเงินขำ)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภูมิพันธ์ บุญมาตุ่น : กำลังอัด หน่วยน้ำหนัก ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ (COMPRESSIVE STRENGTH, UNIT WEIGHT, POROSITY AND WATER ABSORBTION OF CONCRETE BLOCK MANUFACTURED FROM PORTLAND CEMENT/RICE HUSK ASH BLENDS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นได้ของการประยุกต์ใช้เถ้าแกลบในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ พร้อมทั้งนำเสนอส่วนผสมที่เหมาะสม เถ้าแกลบเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง คอนกรีตบล็อกทดสอบผลิตขึ้นจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุเชื่อมประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1 ต่อ 9 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่นิยมใช้ในการผลิตบล็อกคอนกรีตซีเมนต์ ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าแกลบเนื่องจากแกลบมีความพรุนสูงกว่าปูนซีเมนต์ แต่เมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง ขณะที่ กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการพันธะเชื่อมประสาน อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานและชนิดของเหลว (น้ำหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้น้ำเป็นของเหลว ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นของเหลว ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นชะลายซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าแกลบออกมาได้มากขึ้น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเถ้าแกลบมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ สัดส่วนผสมเหมาะสมที่ให้กำลังอัดสูงสุดคืออัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานที่เท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบและปูนซีเมนต์ที่เท่ากับ 60 : 40 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากส่วนผสมเหมาะสมมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 24

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2557 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

PHUMPAN BOONMATUN : COMPRESSIVE STRENGTH, UNIT WEIGHT, POROSITY AND WATER ABSORBTION OF CONCRETE BLOCK MANUFACTURED FROM PORTLAND CEMENT/RICE HUSK ASH BLENDS. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research aims to study the possibility of application of Rich Hush Ash (RHA) in the production of concrete blocks to replace cement and to suggest a suitable mix ingredient. Rice husk ash is a by-product from a powerplant using husk ash as fuel. Test concrete blocks were manufactured at stone dust to binder ratio of 1:9 by weight, which is commonly used for cement concrete blocks. The porosity and water absorption of concrete blocks tends to increase with an increase in RHA replacement ratio because RHA has higher porosity than cement. Over the time, porosity and water absorption decrease while the strength increases due to the growth of cementitious products. The liquid to binder ratio and liquid type (water or sodium hydroxide) are also the factors controlling porosity and water absorption of test concrete blocks. The porosity and water absorption of concrete blocks increase with increasing liquid to binder ratio when water is used as liquid. Whereas the porosity and water absorption decrease with increasing the liquid to binder ratio when sodium hydroxide is used liquid because the increased sodium hydroxide leaches more silica and alumina from RHA. The unit weight of concrete blocks clearly decreases with increasing the RHA replacement ratio because RHA has lower specific gravity than cement. The optimum ingredient providing highest strength is the water to binder of 1.0 and RHA to cement ratio of 60:40. Based on the manufacturing cost analysis, the concrete block at this optimum ingredient has lower manufacturing cost than the cement concrete block up to 24%.

School of Civil Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2014 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์ ดร.ธนากร ภูเงินขำ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม โดยให้ความเอาใจใส่ด้วยความเมตตากรุณา อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นได้อย่างดี และยังปลูกฝังให้ผู้ศึกษามีความอดทน มีวินัย หมั่นค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข และ อาจารย์ ดร.ธนากร ภูเงินขำ ไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านของสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้และประสบการณ์อันมีค่าที่เป็นประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษา เป็นอย่างยิ่ง ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนให้รักการศึกษา และหมั่นหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องทดสอบพร้อมทั้งเครื่องมือทดสอบ และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 2 และ 3 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่สละเวลาอันมีค่ามาให้ความช่วยเหลือในการทำการศึกษาครั้งนี้ ท้ายที่สุดขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในการทำการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนสามารถทำการศึกษาครั้งนี้ได้สาเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ภูมิพันธ์ บุญมาตุ่น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข
กิตติกรรมประกาศ ค
สารบัญ ง
สารบัญตาราง ฉ
สารบัญรูปภาพ ช
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 เถ้าแกลบ 4
2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ 5
2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี 6
2.2 หินฝุ่น 7
2.3 คุณสมบัติของคอนกรีต 7
2.3.1 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต 7
2.3.2 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ 7
2.3.3 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต 8
2.4 สารเคมีช่วยในการประสาน 8
2.5 มาตรฐานการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก 8
2.6 จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) 9
2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
3 วิธีดำเนินการศึกษา 12
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 12
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 13

3.3 วิธีการเตรียมก่อนการทดสอบ 16
3.4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษา 18
3.5 วิธีการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อค 19
3.5.1 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก 19
3.5.2 ขนาดโพรงและการดูดซับน้ำ 20
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย 23
4.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก 23
4.2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก 27
4.3 ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก 29
4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก 34
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 36
5.1 สรุปผล 36
5.2 ข้อเสนอแนะ 37
เอกสารอ้างอิง 38
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก 40
ประวัติผู้เขียน 49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเถ้าแกลบ 6

2.2 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58/2533) 8

3.1 อัตราส่วนผสมของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้น้ำเป็นของเหลวในส่วนผสม 17

3.2 อัตราส่วนผสมของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้สารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสม 18

4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร 35

4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อ 1 ก้อนตัวอย่าง 35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	คอนกรีตบล็อก	1
1.2	ก่อคอนกรีตบล็อกในงานสร้างกำแพง	2
2.1	เถ้าแกลบ	4
2.2	หินฝุ่น	7
3.1	ตัวอย่างเถ้าแกลบก่อนผสม	12
3.2	ตัวอย่างหินฝุ่นก่อนผสม	13
3.3	เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์	13
3.4	เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machines)	13
3.5	แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์	14
3.6	ชุดทดสอบขนาดคละของมวลรวมละเอียด	14
3.7	เครื่องมือและอุปกรณ์ผสมคอนกรีต	15
3.8	เครื่องชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม	15
3.9	เครื่องมือวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (Venire)	16
3.10	ก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	19
3.11	การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	20
3.12	การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก	20
3.13	การอบตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ 100±5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	21
3.14	การบ่มน้ำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกเป็นเวลา 48 ชั่วโมง	21
3.15	การชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกในน้ำ	22
4.1	กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0	24
4.2	กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2	24
4.3	กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4	25
4.4	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0	28
4.5	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2	28
4.6	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4	29
4.7	ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0	30
4.8	ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2	31

4.9 ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4 31
4.10 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 32
4.11 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2 32
4.12 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4 33

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันคอนกรีตบล็อก (รูปที่ 1.1) เป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อผนังและกำแพง (รูปที่ 1.2) ของโครงสร้างอาคาร เช่น บ้านเรือน อาคาพาณิชย์ โกดัง และเล้าเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น การผลิตคอนกรีตบล็อกใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานหลัก ตามมาตรฐาน มอก.58/2533 กล่าวว่าคอนกรีตบล็อก หมายถึง ก้อนคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุที่เหมาะสมชนิดต่างๆ และมีพื้นที่หน้าตัดสุทธิที่ระนาบขนานกับผิวธาร น้อยกว่าร้อยละ 75 ของพื้นที่หน้าตัดรวมที่ระนาบเดียวกัน กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักบรรทุกต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20 กิโลกรัมต่อตารางเมตร และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 35

รูปที่ 1.1 คอนกรีตบล็อก

อย่างไรก็ตามการได้มาซึ่งวัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ก่อให้เกิดปัญหาด้านการทำลายธรรมชาติสิ่งแวดล้อมจากการระเบิดแหล่งหิน และกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปล่อยก๊าซเรือนกระจกทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน การผลิตปูนซีเมนต์ปริมาณ 1 ตัน จะปล่อยกาซเรือนกระจก (คาร์บอนไดออกไซด์) ออกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณ 1 ตัน เช่นเดียวกัน ดังนั้นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกคอนกรีตจะช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และช่วยลดต้นทุนการผลิต ซึ่งวิธีการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในงานคอนกรีตแต่ยังคงได้กำลังอัดเท่าเดิมที่นิยมกันคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน (วัสดุที่มีซิลิกาและอะลูมินาในปริมาณสูง) เช่น

เถ้าลอย เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย และเถ้าชีวมวล เป็นต้น นอกจากการใช้วัสดุปอซโซลานร่วมกับปูนซีเมนต์แล้ว จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Horpibulsuk et al., 2014) ได้ประยุกต์ใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ (อัลคาไลที่เป็นด่างสูง) กับเถ้าลอย (วัสดุปอซโซลาน) ในการผลิตคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยปราศจากการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิต

รูปที่ 1.2 ก่อคอนกรีตบล็อกในงานสร้างกำแพง

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบเพื่อเป็นวัสดุเชื่อมประสาน และหินฝุ่นเป็นมวลรวมหยาบ ซึ่งกระบวนการผลิตเป็นไปตามข้อกำหนดด้านกำลังอัดของมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย มอก.58/2533 ประเภทไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้น และวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทางการค้าเพื่อเป็นการสรุปสัดส่วนผสมที่เหมาะสมในด้านต้นทุนในการผลิตบล็อกคอนกรีต งานวิจัยนี้เป็นการนำเถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อลดปริมาณปูนซีเมนต์ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อมและลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อก และยังได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถใช้ได้ในงานก่อสร้างจริง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเถ้าแกลบในการผลิตบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก

1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก

1.2.3 เพื่อศึกษาชนิดของเหลวที่ใช้ในการส่วนผสม ได้แก่ น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเหมาะสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากเถ้าแกลบกับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าแกลบมาเป็นวัสดุปอซโซลานในการผลิตคอนกรีตบล็อก อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบเท่ากับร้อยละ 100, 90, 80, 70, และ 60 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 1.0, 1.2 และ 1.4 และศึกษาเปรียบเทียบการใช้น้ำประปาและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มเข้น 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสม สำหรับการศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อปริมาตรของหินฝุ่นเท่ากับ 1:9 ทุกอัตราส่วนผสม ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้ทั่วไปในการผสมคอนกรีตบล็อก

การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังอัดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกจะใช้ตัวอย่างทดสอบเป็นแท่งคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 0.10x0.10x0.10 ลูกบาศก์เมตร หลังการแกะแบบทำการห่อตัวอย่างด้วยพลาสติกใสเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นและบ่มตัวอย่างในอุณหภูมิห้องทดลองจนครบอายุที่ 7 และ 28 วัน เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642 (2006) ผลทดสอบที่ได้รับทั้งหมดจะนำมาวิเคราะห์หาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นในการผลิตกับต้นทุนคอนกรีตบล็อกทางการค้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเถ้าแกลบในการผลิตบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก

1.4.2 ทราบอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก

1.4.3 ทราบชนิดของเหลวที่ใช้ในการส่วนผสม ได้แก่ น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเหมาะสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนัก

1.4.4 ได้คอนกรีตบล็อกต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำลง

1.4.5 เป็นนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าแกลบ หินฝุ่น ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลาน ระยะก่อตัวคอนกรีต ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต มาตรฐานการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ขี้เถ้าแกลบ

นอกจากนี้สารปอซโซลานที่มีอยู่มากในประเทศไทย ได้แก่ เถ้าแกลบ เถ้าแกลบที่ผ่านการเผาที่สมบูรณ์มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสารที่ไม่ได้เผาไหม้และคาร์บอนต่ำการเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้ซิลิกาที่ไม่เป็นผลึกและว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา เมื่อบดให้ละเอียดและมีขนาดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถนำมาใช้เป็นสารปอซโซลานเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้

2.1 เถ้าแกลบ

ส่วนประกอบหลักของเถ้าแกลบ (รูปที่ 2.1) คือ ซิลิกา (SiO_2) สามารถนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางเคมี และการเผาที่อุณหภูมิสูง ซิลิกาในเถ้าแกลบมีทั้งที่เป็นซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) ซิลิกาผลึกสามารถแบ่งย่อยเป็นหลายชนิดตามความแตกต่างของรูปร่าง ลักษณะผลึกและความหนาแน่นของซิลิกา รูปร่างของผลึกมีหลายแบบ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์และเส้นยาว และซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีรูปร่างไม่เป็นผลึก (Non-crystalline Silica)

รูปที่ 2.1 เถ้าแกลบ

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

2.2.1.1 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธีการเผา เถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสิ่งที่เผาไหม้ไม่หมดและคาร์บอนปนอยู่มากและจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9-2.3 และยังขึ้นกับอุณหภูมิในการเผา เถ้าแกลบเผาที่อุณหภูมิเท่ากับ 500 มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.06 และความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มเป็น 2.20 และ2.30 ที่อุณหภูมิการเผาเท่ากับ 800 และ 1000 ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนลดน้อยลง ความละเอียดของเถ้าแกลบการวัดขนาดของอนุภาคของเถ้าแกลบนิยมใช้พื้นที่ผิวจำเพาะ ความละเอียดของเถ้าแกลบนอกจากขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีการบดแล้วยังขึ้นอยู่กับวิธีการเผาแกลบ เช่น เผาที่อุณหภูมิเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส ให้เถ้าแกลบที่มีพื้นที่ผิวสูงสุด ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้พื้นที่ผิวจะลดลงอย่างมากจากการเป็นผลึกและการทำลายโครงสร้างเซลล์ที่มีรูพรุน เถ้าแกลบเทาขาวที่เผาที่อุณหภูมิพอเหมาะบดละเอียดง่ายกว่าเถ้าแกลบดำโรงสี ในการบด 1 ชั่วโมงเท่ากัน พบว่าเถ้าแกลบเทาขาวมีความละเอียด 14,300 ตารางเซนติเมตร/กรัม ส่วนเถ้าแกลบดำมีความละเอียด 9,500 ตารางเซนติเมตร/กรัม การวัดพื้นที่ผิวนิยมใช้วิธีของเบลนหรือวิธี BET ซึ่งให้ค่าต่างกัน ความละเอียดของเถ้าแกลบวัดโดยวิธีของเบลน อยู่ระหว่าง 7,000-14,000 ตารางเซนติเมตร/กรัม และระหว่าง 20-150 ตารางเมตร/กรัม เมื่อวัดโยวิธี BET ดังนั้นการวัดความละเอียดโดยพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าแกลบจึงต้องระบุวิธีการวัดให้ชัดเจน เถ้าแกลบส่วนใหญ่ที่ใช้กันมีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 5-20 ไมครอน แต่ทั้งนี้ขนาดเฉลี่ยใหญ่ประมาณ 25 ไมครอน และขนาดเฉลี่ยเล็กที่ประมาณ 1 ไมครอนก็มีการใช้กันอยู่

2.2.1.2 ความเป็นวัสดุปอซโซลานของเถ้าแกลบ

ความเป็นวัสดุปอซโซลานของเถ้าแกลบสามารถวัดได้โดยการทดสอบค่าดัชนีตามกำลังมาตรฐาน ASTM C311 (2013) โดยการใช้ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ของมอร์ต้าร์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ค่าดัชนีกำลังคือค่ากำลังที่ทดสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของมอร์ต้าร์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน หากค่าดัชนีกำลังมีค่าสูงแสดงถึงความเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีของเถ้าแกลบ

2.2.1.3 คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีตสด

การที่เถ้าแกลบมีรูพรุนสูงมากละรูปร่างที่ไม่แน่นอนทำให้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบต้องการน้ำที่ใส่ผสมเพิ่มขึ้น การที่เถ้าแกลบต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำลง เพื่อแก้ปัญหานี้นำเถ้าแกลบมาบดให้ละเอียดขึ้นซึ่งจะทำลายรูพรุนของเถ้าแกลบได้และใช้สารลดน้ำเข้าช่วยเพื่อให้คอนกรีตยังมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่าเดิมและมี

ความสามารถในการเทตามต้องการ เวลาการก่อตัวระยะต้นและระยะปลายของเพสต์ที่ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนจะนานกว่าซีเมนต์เพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวต้นจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่ระยะเวลาการก่อตัวปลายเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก เถ้าแกลบทำให้การเยิ้มน้ำของคอนกรีตลดลง เนื่องจากเถ้าแกลบมีพื้นที่ผิวสูง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เถ้าแกลบผสมร่วมกับวัสดุปอซโซลานอื่น เช่น เถ้าถ่านหิน ซึ่งทำให้วัสดุประสานมีคุณสมบัติดีขึ้น

2.2.1.4 คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่ไม่มากจะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นกำลังรับแรงอยู่ในเกณฑ์ดี การผสมเถ้าแกลบทำให้การหดตัวแห้งเพิ่มขึ้น แต่การทนการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีของคอนกรีตดีขึ้น คุณสมบัติด้านอื่นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกำลังรับแรงของคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบมี SiO_2 สูงมาถึงประมาณร้อยละ 90 ทำนองเดียวกัน บุรฉัตร และ พิชัย บุรฉัตร และ เชิดพงศ์ [4] และสาโรจน์ และคณะ พบว่าเถ้าแกลบที่เผาในประเทศไทยมี SiO_2 อยู่ร้อยละ 92.28, 95.36 และ91.84 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition หรือ LOI) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่านดูดน้ำสูง และถ้ามีจำนวนมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบ

(ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2555)

ออกไซด์/ร้อยละ	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Other	LOI
ปูนซีเมนต์	20.0	5.0	3.0	60.0	1.1	2.4	1.5	2.0
เถ้าแกลบ	90.0	0.5	2.0	0.5	0.2	1.5	-	4.7

2.2 หินฝุ่น

หินฝุ่น (รูปที่ 2.2) ที่สามารถนำมาทำเป็นคอนกรีตบล็อกได้แก่ หินฝุ่นที่มีขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (ขนาดรูเปิด 2.38 มิลลิเมตร) เพื่อให้ก้อนคอนกรีตบล็อกที่ได้ออกมานั้นไม่ค่อยมีรูพรุนมากเกินไปและมีความแข็งแรงสามารถรับแรงอัดได้มาก

รูปที่ 2.2 หินฝุ่น

2.3 คุณสมบัติของคอนกรีต

2.3.1 ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีต

โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มวัสดุปอซโซลานในวัสดุประสานจะส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของวัสดุปอซโซลานที่เข้ามาแทนที่ เป็นผลมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลง รวมถึงปริมาณของสารลดน้ำพิเศษ (Super plasticizer) ที่มีมากเกินความต้องการจึงส่งผลกระทบดังกล่าว (Books, etal, 2000) เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตค่อนข้างมีความสำคัญในงานคอนกรีต ระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตจะบ่งบอกพฤติกรรมของคอนกรีต หลังจากการก่อตัวระยะปลายแล้ว คอนกรีตจึงเริ่มพัฒนาความสามารถในการรับน้ำหนัก เพราะฉะนั้น ระยะเวลาก่อตัวทั้งต้นและปลายจึงมีความสำคัญในในเรื่องของเวลาทางานในคอนกรีตทั่วไป (Pinto, 1999)

2.3.2 ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนซึ่งปล่อยออกมาตลอดเวลาของการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำโดยองค์ประกอบทางเคมี ความละเอียด และปริมาณของวัสดุมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาและปริมาณความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ในช่วงต้นจะมีการคลายความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก (Neville, 1995)

2.3.3 อัตราการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต

โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างมักคำนึงถึงกาลังอัดของคอนกรีตเป็นหลัก แต่ความเป็นจริงแล้วคอนกรีตต้องมีความสามารถทนต่อสภาพอากาศการกัดกร่อนทางเคมี และสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้นได้ คุณสมบัติส่วนหนึ่งของคอนกรีตประเมินได้จากการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตไม่ใช่วัสดุที่ทึบน้ำ แต่สามารถซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้า เมื่อน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้หรือซึมผ่านได้ในอัตราที่ช้าลง สารละลายต่างๆก็สร้างความเสียหายให้คอนกรีตได้น้อยลง ในทางตรงข้ามเมื่อคอนกรีตมีอัตราความซึมผ่านของน้าค่อนข้างสูงแสดงว่าสารละลายต่างๆ สามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตได้ง่าย เช่นสารละลายซัลเฟตซึมเข้าในเนื้อคอนกรีตทำให้เกิดการขยายตัวทำให้เกิดการแตกร้าว ดังนั้นอัตราการซึมผ่านของคอนกรีตบอกได้ถึงอายุใช้งานของคอนกรีตเพราะอัตราการซึมผ่านของน้ำมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

2.4 สารเคมีช่วยในการผสาน

การเชื่อมประสาน ทำจากสารปอชโซลานที่ประกอบด้วยซิลิกาและอะลูมินาเป็นหลัก เมื่อผสมกับด่าง สารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเร่งปฏิกิริยาด้วยความร้อน สามารถก่อตัวและแข็งตัวให้มีกำลังรับแรงได้ สามารถใช้วัสดุเชื่อมประสานเช่นเดียวกับซีเมนต์เพสต์สารปอชโซลานที่นิยมใช้กัน

2.5 มาตรฐานการรับน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ให้ความหมายของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hallow non-load-bearing concrete masonry unit) ว่าหมายถึง คอนกรีตบล็อกที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสมชนิดต่างๆ และจะมีสารอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ ใช้เป็นวัสดุสำหรับก่อผนังหรือกำแพงที่ออกแบบไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง โดยกำหนดความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าแต่ละก้อน ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58/2533)

ความต้านทานแรงอัดต่ำสุด (ksc) (เฉลี่ยจากพื้นที่รวม)	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
25	20

2.6 จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer)

จีโอโพลิเมอร์(Geopolymer) เป็นวัสดุสารผสมอลูมิโนซิลิเกตที่มีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัญฐานซึ่งพบครั้งแรกโดย ดร.Glukhovsky นักวิทยาศาสตร์จากประเทศโซเวียตใน ค.ศ. 1950 ซึ่งสารผสมอลูมิโนซิลิเกตมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าเป็นสารประกอบจีโอโพลิเมอร์อนินทรีย์ นิยามของจีโอโพลิเมอร์กำหนดขึ้นครั้งแรกโดย Prof. Joseph Davidovits นักวิทยาศาสตร์จากประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1970 จีโอโพลิเมอร์(Geopolymer) เป็นวัสดุสารผสมอลูมิโนซิลิเกตที่มีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัญฐานซึ่งพบครั้งแรกโดย ดร.Glukhovsky นักวิทยาศาสตร์จากประเทศโซเวียตใน ค.ศ. 1950 ซึ่งสารผสมอลูมิโนซิลิเกตมีชื่อเรียกอีกอย่างว่าเป็นสารประกอบจีโอโพลิเมอร์อนินทรีย์ นิยามของจีโอโพลิเมอร์กำหนดขึ้นครั้งแรกโดย Prof. Joseph Davidovits นักวิทยาศาสตร์จากประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1970 จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมของแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น โดยส่วนประกอบทางเคมีของแร่ธาตุนั้นจะอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นหลัก โดยจะถูกทำให้แตกตัวด้วยอัลคาไลหรือสารละลายที่เป็นด่างสูง ซึ่งได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) แล้วใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้สามารถเกิดการก่อตัวแข็งตัวและให้กำลังอัดได้ โดยโครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์นี้จะแตกต่างจากโครงสร้างของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์อย่างสิ้นเชิง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ จะทำให้เราได้วัสดุประสานที่สามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ทั้งหมดเลยทีเดียว และในอนาคตข้างหน้าคาดการณ์ว่าวัสดุจีโอโพลิเมอร์จะมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผลิตคอนกรีตและวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ

จีโอโพลิเมอร์มีองค์ประกอบทางโครงสร้างแตกต่างจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของวัสดุและการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมือนกัน การเกิดปฏิกิริยามีโครงสร้างหลักที่เกิดจากองค์ประกอบของซิลิเกต (Si) อะลูมิเนต (Al) และออกซิเจน (O) โดยใช้สารละลายที่มีความเป็นด่างสูงในการทำให้สารเหล่านี้แตกตัวออกมาทำปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็น Polymer Chain ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้ความร้อนในการเร่งปฏิกิริยาควบคู่กันไปด้วย เห็นได้ว่าการเกิดปฏิกิริยา Geopolymerization จะมีวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (A_2lO_3) ซึ่งพบได้มากในวัสดุปอซโซลานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อาทิเช่น เถ้าถ่านหิน (Fly ash) เถ้าแกลบ (Rice husk ash , RHA) หรือดินขาวเผา (Metakaolin) ดังนั้นวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับจีโอโพลิเมอร์ได้

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชุมพล จันทรสม (2528) ได้ทำการศึกษาสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยโดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ความข้นเหลวปกติ ระยะเวลาก่อตัว การคายน้ำ กำลังรับแรงดึง การต้านทานสารเคมี การขยายตัวและการหดตัวของคอนกรีตที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบและเถ้าลอยในอัตราส่วนที่ต่างกัน จากการศึกษาพบว่า กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม ถ้ามีแกลบมากจะทำ ให้กำลังสูงในช่วงแรกแต่ส่วนผสมต้องการน้ำ มากขึ้น ส่วนผสมที่มีเถ้าลอยมากจะมีกำ ลังสูงในช่วงปลายและคอนกรีตมีความสามารถทำงานได้มากขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำ ส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบและเถ้าลอยต้องเพิ่มน้ำ สำ หรับความข้นเหลวปกติ ระยะเวลาก่อตัว การคายน้ำ จะลดลง เพิ่มการต้านทานสิ่งแวดล้อมที่เป็นกรด

สหลาภ หอมวุฒิวงศ์ (2543) ได้ทำ การศึกษา สมบัติด้านการรับกำ ลงอัด และค่าการซึมของน้ำ ผ่านคอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลาน ได้แก่ เถ้าถ่านหินจากแม่เมาะและกาญจนบุรี, เถ้าปาล์มน้ำ มันและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้โดยบดวัสดุปอซโซลานค้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำ หนัก และนา ไปใช้แทนที่ปูน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0-70 โดยน้ำ หนักของวัสดุประสาน ผสมคอนกรีตให้มีค่ายุบตัวอยู่ในช่วง 50–100 มิลลิเมตร โดยการปรับปริมาณน้ำ คอนกรีตที่ผสมวัสดุปอซโซลานร้อยละ 55 และ 70 ได้ผสมสารลดน้ำพิเศษร้อยละ 1 ของวัสดุประสาน ทดสอบที่อายุ 7, 28, 90, 180 และ 365 วัน จากการศึกษาพบว่า เถ้าถ่านหินแม่เมาะให้ผลทดสอบที่ดี ใช้แทน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ในปริมาณสูง คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินจากจังหวัดกาญจนบุรีแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 20 ให้ผลด้านกำ ลังอัดและการซึมผ่านน้ำเทียบเท่าหรือต่ำ กว่าคอนกรีตปกติเล็กน้อย เถ้าปาล์มน้ำ มันบดละเอียดและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้บดละเอียดสามารถพัฒนาทั้งกำ ลังรับแรงอัดและการลดค่าการซึมของน้ำ ผ่านคอนกรีตได้ดี

อาภา สธนเสาวภาคย์ (2544) ได้ทำ การศึกษา ความต้านทานการกัดกร่อนของสารซัลเฟตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยหรือเถ้าแกลบ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะหรือเถ้าแกลบบดละเอียดจากการเผาแกลบในที่โล่ง ในอัตราส่วน 80 : 20 และ 60 : 40 นำ ตัวอย่างแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตเข้มข้นร้อยละ 5 จากการศึกษาพบว่า ยิ่งใช้เถ้าลอยมากก็จะลดการขยายตัวของคอนกรีตได้มาก มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าแกลบมีการขยายตัวลดลงมาก โดยเฉพาะส่วนผสมที่มีเถ้าแกลบร้อยละ40เ กิดการหดตัวเล็กน้อยแทนที่จะขยายตัวและมีน้ำ หนักเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

สมศักดิ์ พื้นชมภู (2544) ได้ศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของสารซัลเฟตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบ โดยใช้อัตราส่วน

ปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย หรือเถ้าแกลบเท่ากับ 80 : 20 และ 60 : 40 แล้วแช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปรับสภาวะ ให้มีความเป็นกรดที่ระดับ pH 3 และ pH 7 และนำ ตัวอย่างมอร์ต้าร์มา หากำ ลังรับแรงอัด การเปลี่ยนแปลงความยาวและน้ำ หนักของมอร์ต้าร์ จากการศึกษาพบว่า มอร์ต้าร์ที่ทำ จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบมีการขยายตัวน้อยที่สุด ส่วนผสมที่ใช้ เถ้าแกลบร้อยละ 20 ที่สภาวะ pH 3 มีการสูญเสียน้ำ หนักบางส่วนจากการกัดกร่อนที่บริเวณผิวของแท่งมอร์ต้าร์

Chatveera, B. and Lertwattanaruk, P. (2008) ได้ศึกษาผลกระทบของซัลเฟตที่มีต่อคอนกรีตที่ผสมเถ้าแกลบ โดยนำเถ้าแกลบดำแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 30และ 50 โดยน้ำ หนักของวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุประสานที่ 0.55 และ 0.65 แล้วนำ ไปแช่ในสารละลายโซเดียมและแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 5% พบว่าการใช้อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุที่ประสานน้อยลงมีผลดีต่อการต้านทานสารซัลเฟต และการใช้เถ้าแกลบดา สามารถต้านทานโซเดียมซัลเฟตได้ดี แต่การต้านทานซัลเฟตลดลงมากเมื่อแช่แมกนีเซียมซัลเฟต อัตราส่วนน้ำ ต่อประสานน้อยลงมีผลดีต่อการต้านทานซัลเฟต และการใช้เถ้าแกลบ สามารถต้านทานโซเดียมซัลเฟตได้ดี แต่การต้านทานซัลเฟตจะลดลงมากเมื่อแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน สำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกที่มีกำลังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533 ของเหลวที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก ได้แก่ น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เถ้าแกลบได้จากจังหวัดบึงกาฬ ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

3.1.3 หินฝุ่นที่มีขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (ขนาดรูเปิด 2.38 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากร้านทำคอนกรีตบล๊อก ส.มานะ จังหวัดนครราชสีมา

3.1.4 น้ำประปา

3.1.5 เกร็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 5 โมลาร์ ซึ่งเตรียมโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเถ้าแกลบก่อนผสม

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างหินฝุ่นก่อนผสม

รูปที่ 3.3 เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machines) ดังแสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machines)

3.2.2 แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 0.10x0.10x0.10 ลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 3.5)

รูปที่ 3.5 แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์

3.2.3 ชุดทดสอบขนาดคละของมวลรวมละเอียดด้วยตะแกรงร่อน (รูปที่ 3.6)

รูปที่ 3.6 ชุดทดสอบขนาดคละของมวลรวมละเอียด

3.2.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ผสมคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 เครื่องมือและอุปกรณ์ผสมคอนกรีต

3.2.5 เครื่องชั่งน้ำหนักที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม (รูปที่ 3.8)

รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม

3.2.6 เครื่องมือวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (Venire) (รูปที่ 3.9)

รูปที่ 3.9 เครื่องมือวัดขนาดแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก (Venire)

3.3 วิธีการเตรียมก่อนการทดสอบ

3.3.1 เตรียมวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดลองในอัตราส่วนผสมต่างๆโดยน้ำหนัก และเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต้องใช้ในการทดลอง หินฝุ่นทดสอบต้องร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หินฝุ่นที่มีขนาดโตเกินกว่าตะแกรงเบอร์ 8 ไม่นำมาเป็นส่วนผสมในการทดลอง

3.3.2 ทำการหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมต่างๆ กันโดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าแกลบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเท่ากับ 100:00, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำ หรือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโฮดรอกไซด์ (5โมลาร์) ต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0, 1.2 และ 1.4 ตามลำดับ อัตราส่วนวัสดุประสานต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1:9 ทุกอัตราส่วนผสม ตัวอย่างทดสอบถูกหล่อเป็นแท่งทรงลูกบาศก์ขนาด 0.10x0.10x0.10 ลูกบาศก์เมตร ในอัตราส่วนผสมชุดละ 8 ตัวอย่าง รวม 240 ตัวอย่าง สำหรับทดสอบการดูดซึมน้ำ จำนวน 72 ตัวอย่าง ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงสัดส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้น้ำเป็นของเหลวในส่วนผสม

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน % แกลบ : ซีเมนต์	น้ำ/ซีเมนต์	หินฝุ่น (กก.)	เถ้าแกลบ (กก.)	ปูนซีเมนต์ (กก.)	น้ำ (กก.)	จำนวนตัวอย่าง
1	100 : 0	1.0	13.5	1.50	-	1.5	8
2	90 : 10	1.0	13.5	1.35	0.15	1.5	8
3	80 : 20	1.0	13.5	1.20	0.30	1.5	8
4	70 : 30	1.0	13.5	1.05	0.45	1.5	8
5	60 : 40	1.0	13.5	0.90	0.60	1.5	8
6	100 : 0	1.2	13.5	1.50	-	1.8	8
7	90 : 10	1.2	13.5	1.35	0.15	1.8	8
8	80 : 20	1.2	13.5	1.20	0.30	1.8	8
9	70 : 30	1.2	13.5	1.05	0.45	1.8	8
10	60 : 40	1.2	13.5	0.90	0.60	1.8	8
11	100 : 0	1.4	13.5	1.50	-	2.1	8
12	90 : 10	1.4	13.5	1.35	0.15	2.1	8
13	80 : 20	1.4	13.5	1.20	0.30	2.1	8
14	70 : 30	1.4	13.5	1.05	0.45	2.1	8
15	60 : 40	1.4	13.5	0.90	0.60	2.1	8

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสม

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน % แกลบ : ซีเมนต์	น้ำ/ซีเมนต์	หินฝุ่น (กก.)	เถ้าแกลบ (กก.)	ปูนซีเมนต์ (กก.)	สารละลาย 5 โมล่าร์ (กก.)	จำนวนตัวอย่าง
1	100 : 0	1.0	13.5	1.50	-	1.5	8
2	90 : 10	1.0	13.5	1.35	0.15	1.5	8
3	80 : 20	1.0	13.5	1.20	0.30	1.5	8
4	70 : 30	1.0	13.5	1.05	0.45	1.5	8
5	60 : 40	1.0	13.5	0.90	0.60	1.5	8
6	100 : 0	1.2	13.5	1.50	-	1.8	8
7	90 : 10	1.2	13.5	1.35	0.15	1.8	8
8	80 : 20	1.2	13.5	1.20	0.30	1.8	8
9	70 : 30	1.2	13.5	1.05	0.45	1.8	8
10	60 : 40	1.2	13.5	0.90	0.60	1.8	8
11	100 : 0	1.4	13.5	1.50	-	2.1	8
12	90 : 10	1.4	13.5	1.35	0.15	2.1	8
13	80 : 20	1.4	13.5	1.20	0.30	2.1	8
14	70 : 30	1.4	13.5	1.05	0.45	2.1	8
15	60 : 40	1.4	13.5	0.90	0.60	2.1	8

3.4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์ของส่วนผสม ดังแสดงในสมการที่ 3.1

XXLBYYRHA-ZZ (3.1)

เมื่อ XX หมายถึง อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่ใช้ในการทดสอบ

LB หมายถึง อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน

YY หมายถึง ร้อยละการแทนที่ด้วยเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

RHA หมายถึง เถ้าแกลบ

ZZ หมายถึง ของเหลวที่ใช้ในส่วนผสม ได้แก่ น้ำหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตัวอย่างในการอ่านสัญลักษณ์ เช่น 1.0LB90RHA-NaOH หมายถึงคอนกรีตบล็อกที่มีการผลิตจากการใช้เถ้าแกลบแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 90 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสม

3.5 วิธีการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อค

3.5.1 กำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อค เริ่มต้นด้วยการนำส่วนผสมที่ออกแบบไว้มาเทในแบบหล่อขนาด 0.10x0.10x0.10 ลูกบาศก์เมตร แท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อคถูกบ่มในอากาศจนครบอายุ 7 และ 28 วัน (รูปที่ 3.10) แล้วนำไปวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อค (รูปที่ 3.11) หลังจากนั้น ถูกนำไปทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อคด้วยเครื่องทดสอบ ดังแสดงใน(รูปที่ 3.12)

รูปที่ 3.10 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 3.12 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อค

3.5.2 ขนาดโพรงและการดูดซับน้ำ

การทดสอบขนาดโพรงและการดูดซับน้ำดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C642 (2006) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดโพรงและการดูดซับน้ำเริ่มต้นด้วยการนำส่วนผสมที่ออกแบบไว้มาเทในแบบหล่อขนาด 0.10x0.10x0.10 ลูกบาศก์เมตร และบดอัดด้วยค้อนบดอัดจำนวน 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง เช่นเดียวกันกับการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังอัด ตัวอย่างถูกแกะออกจากแบบหล่อและบ่มในอากาศจนครบอายุ 7 และ 28 วัน หลังจากครบอายุการบ่ม ผู้วิจัยวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส (รูปที่ 3.13) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ ผู้วิจัยนำแท่งคอนกรีตบล็อคออกจากเตาอบแล้วนำไปแช่น้ำอีก 48 ชั่วโมง (รูปที่ 3.14) ต่อจากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก (รูปที่ 3.15) เพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ ขนาดโพรงและการดูดซับน้ำของคอนกรีตบล็อคสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.2 และ 3.3

$$Porosity\,(\%) = \left(\frac{W_{air} - W_{dry}}{W_{air} - W_{sat}} \right) x100 \qquad (3.2)$$

$$Absorption\,(\%) = \left(\frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{sat}} \right) x100 \qquad (3.3)$$

เมื่อ Porosity หมายถึง ขนาดโพรง (เปอร์เซ็นต์)

Absorption หมายถึง การดูดซับน้ำ (เปอร์เซ็นต์)

W_{sat} หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังการแช่ในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง (กรัม)

W_{dry} หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างหลังอบที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (กรัม)

W_{air} หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างในขณะที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

รูปที่ 3.13 การอบตัวอย่างคอนกรีตบล็อคที่ 100±5 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3.14 การบ่มน้ำตัวอย่างคอนกรีตบล็อคเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

รูปที่ 3.15 การชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อคในน้ำ

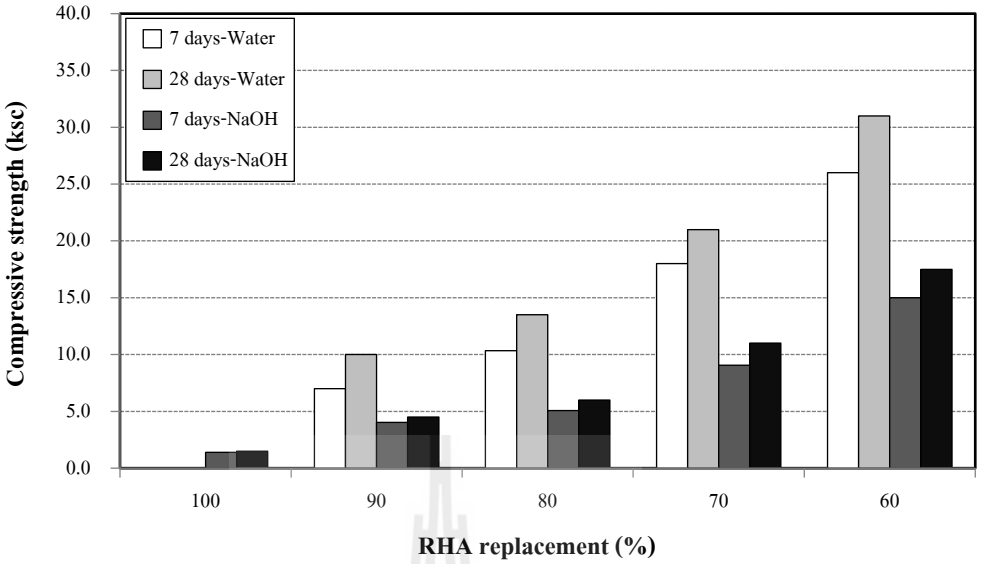
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการอภิปราย

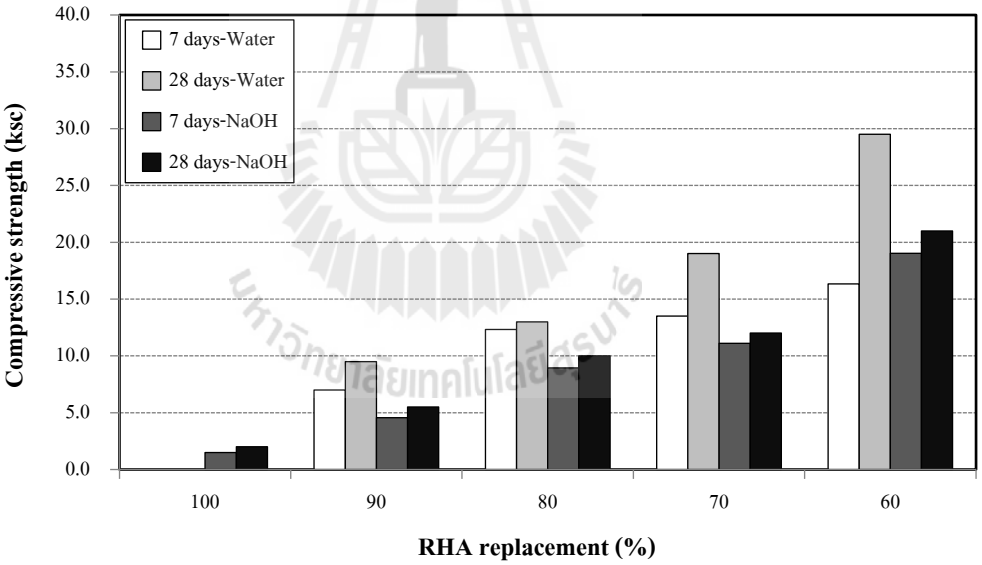
บทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ ขนาดโพรง และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน ของเหลวที่ใช้ในการส่วนผสม ได้แก่ น้ำและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ท้ายสุด ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสม เปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ไม่ใช้เถ้าแกลบเป็นส่วนผสม

4.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก

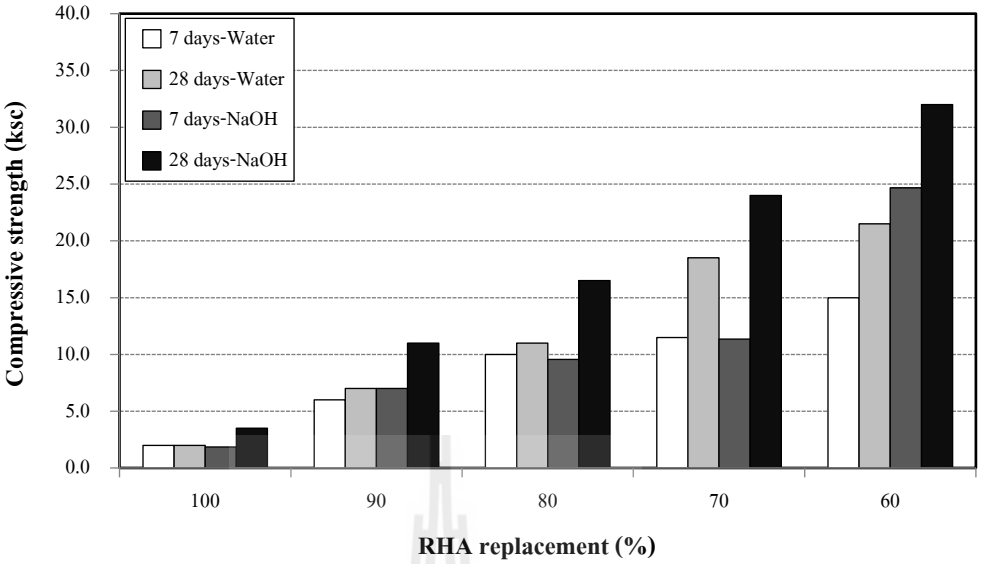
รูปที่ 4.1 ถึง 4.3 แสดงผลการทดสอบกำลังของคอนกรีตบล็อกที่มีการแปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดของเหลว และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดของเหลว และอายุบ่มส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีของอายุบ่ม 7 วัน กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกของ 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับ 2.0, 6.0, 10.0, 11.5 และ 15.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 7 วัน ของ 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับ 1.9, 7.0, 9.6, 11.4 และ 24.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนกรณีของอายุบ่ม 28 วัน กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกของ 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับ 2.0, 7.0, 11.0, 18.5 และ 21.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของ 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับ 3.5, 11.0, 16.5, 24.0 และ 32.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.1 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0



รูปที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2



รูปที่ 4.3 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นได้ว่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ และมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการเพิ่มขึ้นของปูนซีเมนต์เพิ่มผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน (Cementitious products) และส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์แคลเซียมเกตไฮเดรตและแคลเซียมอะลูมิโนซิลิเกตไฮเดรต นอกจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแล้ว ผลิตภัณฑ์แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในผลิตไฮเดรชั่นสามารถทำปฏิกิริยาซิลิกาและอลูมินาจากเถ้าแกลบและทำปฏิกิริยาปอซโซลาน เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตมากขึ้นภายในระบบของคอนกรีตบล็อก ขณะที่ กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้นไม่มากอาจเนื่องจากเถ้าแกลบที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับการใช้เถ้าแกลบเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตทั่วไป ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีการพัฒนาอย่างช้าๆ จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน มีปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 60 ทั้งในส่วนผสมที่ใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 5 โมลาร์

ปริมาณของน้ำในส่วนผสมมีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตบล็อก กล่าวคือ ปริมาณน้ำที่น้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อการบดอัดตัวอย่างและไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ขณะที่ปริมาณน้ำที่มากเกินไปทำให้ตัวอย่างเยิ้มและไม่สามารถบดอัดได้ ซึ่งเป็นพฤติกรรมเช่นเดียวกับดินซีเมนต์บดอัด (Horpibulsuk et al., 2006) ที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุ

ประสาน เท่ากับ 1.0 และอัตราส่วนผสมเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 100:0 ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการขึ้นรูปของคอนกรีตบล็อก เนื่องจากเถ้าแกลบมีรูพรุนสูงมากและรูปร่างที่ไม่แน่นอน คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบต้องการน้ำที่ใส่ผสมเพิ่มขึ้น ดังนั้นกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนผสมเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 100:0 จึงมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4 (รูปที่ 4.1-4.3) นอกจากนี้ ผลการทดสอบข้างต้นยังสามารถสังเกตพฤติกรรมของกำลังอัดเนื่องจากปริมาณของเหลวที่ใช้ในส่วนผสมเมื่อเปรียบกันระหว่างการใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือเมื่อใช้น้ำเป็นของเหลว อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังอัดไม่มากเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 100:0, 90:10 และ 80:20 แต่เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 70:30 และ 60:40 กำลังอัดมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน และกำลังอัดสูงสุดพบที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 และเมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40

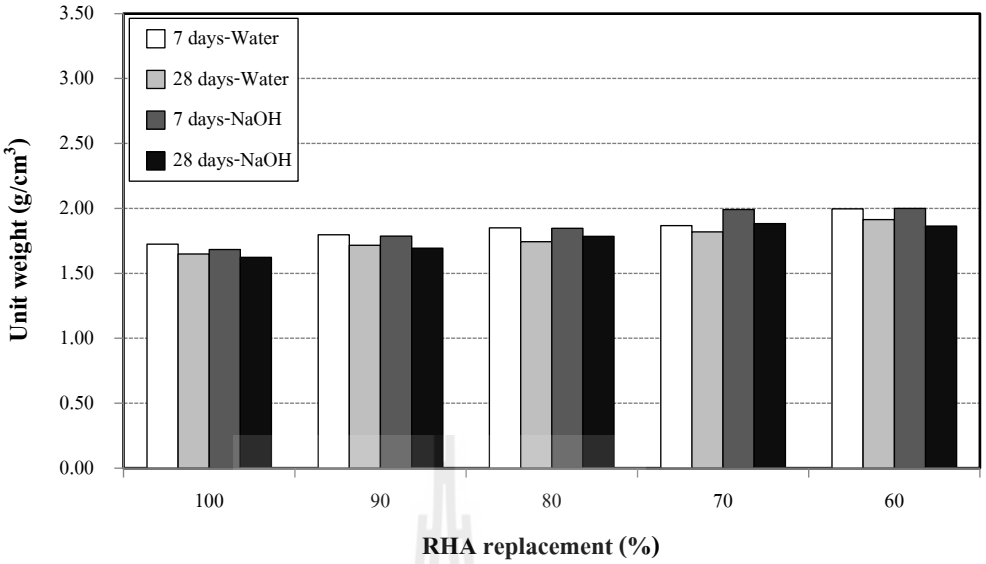
ในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสม กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างจากที่ใช้น้ำเป็นของเหลว ในกรณีของบล็อกคอนกรีตที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นของเหลว ปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต้องมากพอที่จะสามารถชะลายซิลิกาและอลูมินาที่อยู่ในเถ้าแกลบออกมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดเป็นสารประกอบโซเดียมอะลูมิโนซิลิเกตไฮเดรตร่วมกับสารประกอบแคลเซียมเกตไฮเดรตและแคลเซียมอลูมิโนซิลิเกตไฮเดรตที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลาน ดังนั้น กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน สำหรับทุกอัตราส่วนการแทนที่แกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 60:40 ที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4

เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58/2533 ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน ของคอนกรีตบล็อกเฉลี่ย 5 ก้อน มีค่าไม่น้อยกว่า 25.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 และปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 60 มีกำลังอัดเท่ากับ 26.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับทั้งการใช้น้ำเป็นของเหลว ขณะที่ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นของเหลว คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4 และปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 60 มีกำลังอัดเท่ากับ 24.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะเห็นว่าการผลิตคอนกรีตบล็อกจากวัสดุเหลือ

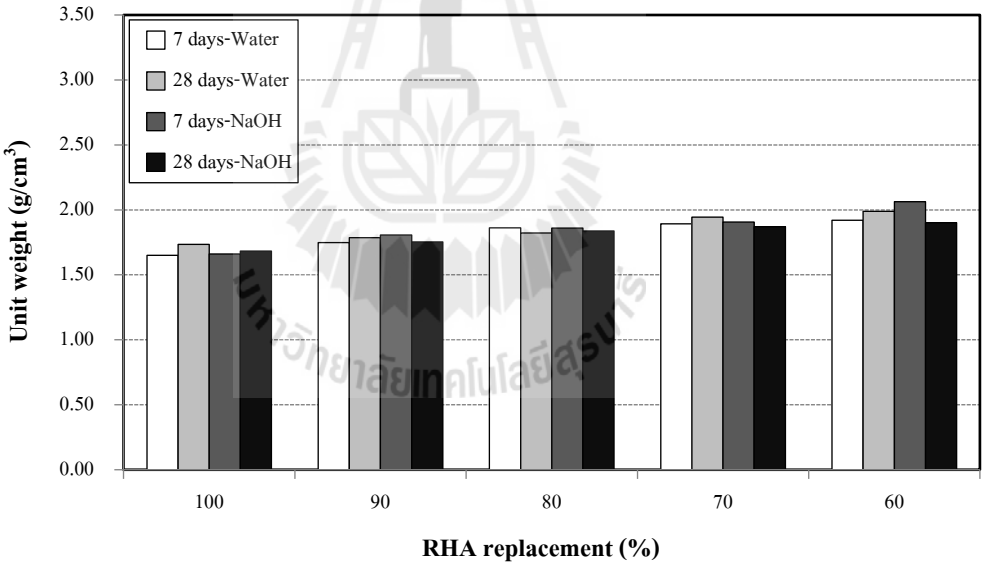
ทิ้งสามารถเป็นหนึ่งในทางเลือกที่น่าสนใจและช่วยลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาโลกร้อนจากการผลิตปูนซีเมนต์

4.2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก

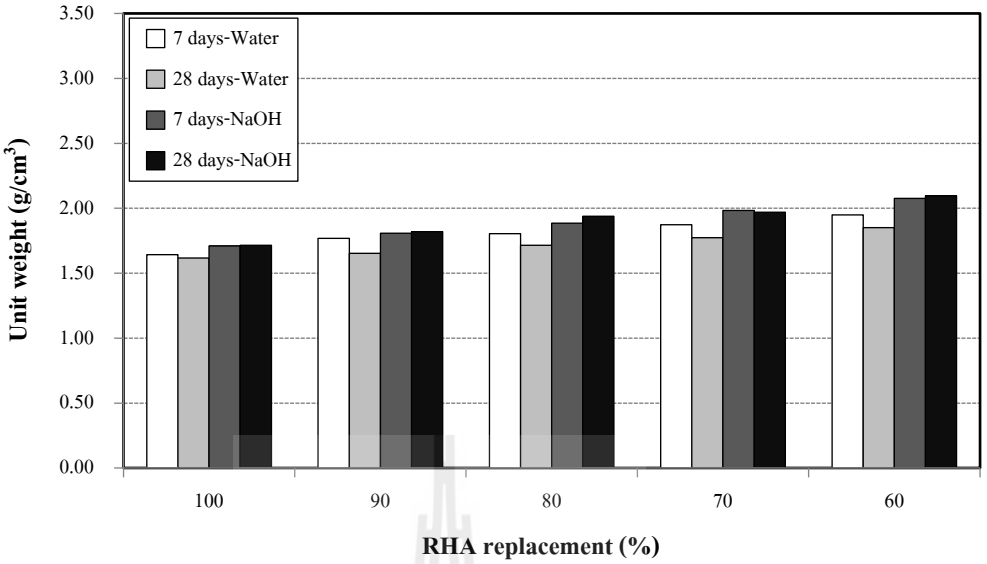
รูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่มีการแปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดของเหลว และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน จะเห็นได้ว่าการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าแกลบมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในกรณีหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกของ 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับ 1.64, 1.77, 1.80, 1.87 และ 1.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับ 1.71, 1.81, 1.89, 1.98 และ 2.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับ 1.62, 1.65, 1.71, 1.77 และ 1.85 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ขณะที่ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับ 1.71, 1.82, 1.94, 1.97 และ 2.09 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่มีการแปรผันอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน เมื่อใช้น้ำเป็นของเหลว ขณะที่ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ มีแนวโน้มมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์เชื่อมประสาน



รูปที่ 4.4 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0



รูปที่ 4.5 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2

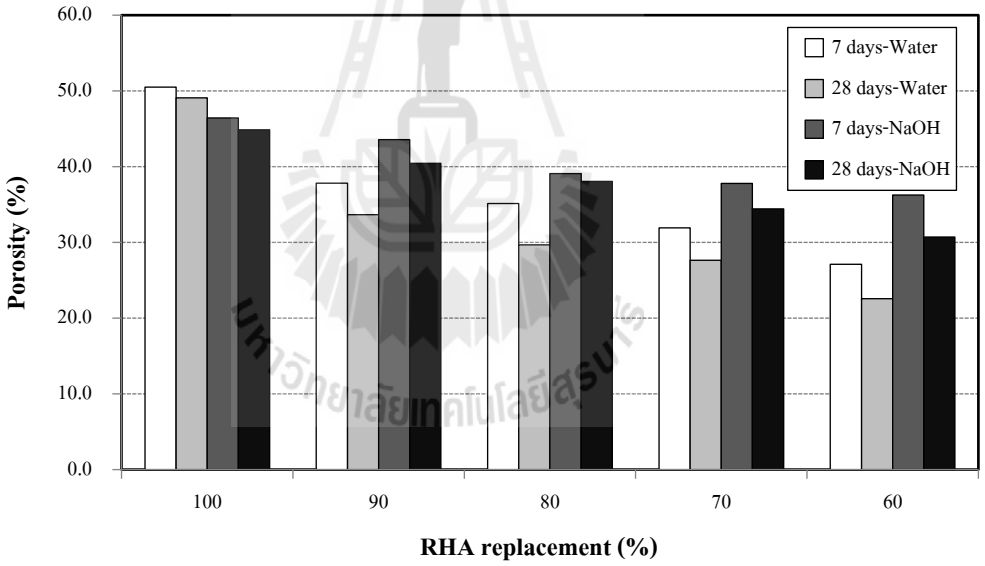


รูปที่ 4.6 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4

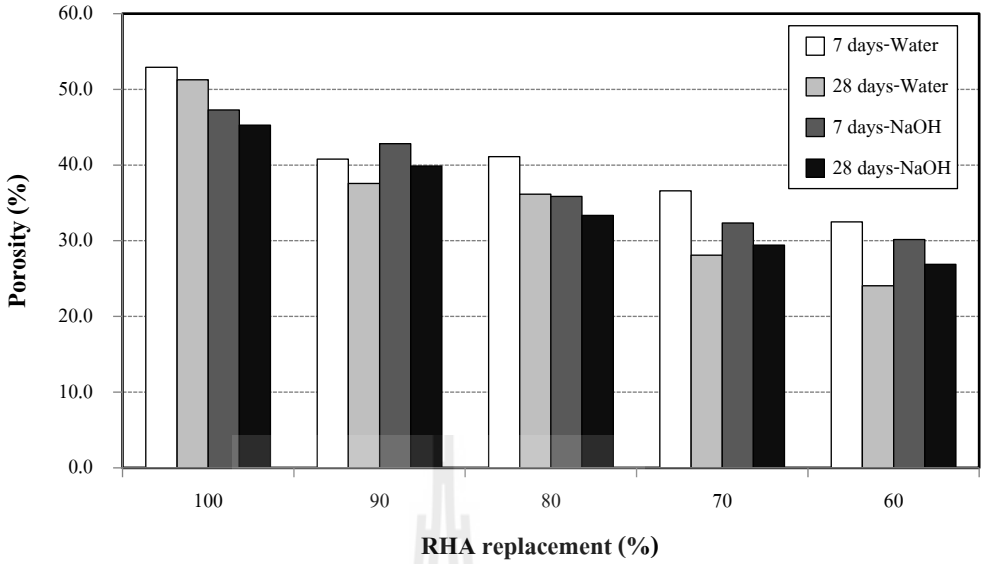
4.3 ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก

รูปที่ 4.7 ถึง 4.9 แสดงผลการทดสอบขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่มีการแปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดของเหลว และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน และรูปที่ 4.10 ถึง 4.12 แสดงผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่มีการแปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดของเหลว และอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังเช่น ในกรณีขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับร้อยละ 47.4, 42.1, 41.8, 37.3 และ 36.5 ตามลำดับ ขณะที่ ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับร้อยละ 47.5, 37.9, 32.9, 29.0 และ 28.1 ตามลำดับ ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับร้อยละ 44.4, 39.6, 38.9, 34.5 และ 33.4 ตามลำดับ ขณะที่ ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับร้อยละ 43.2, 33.8, 27.3, 36.6 และ 21 ตามลำดับ

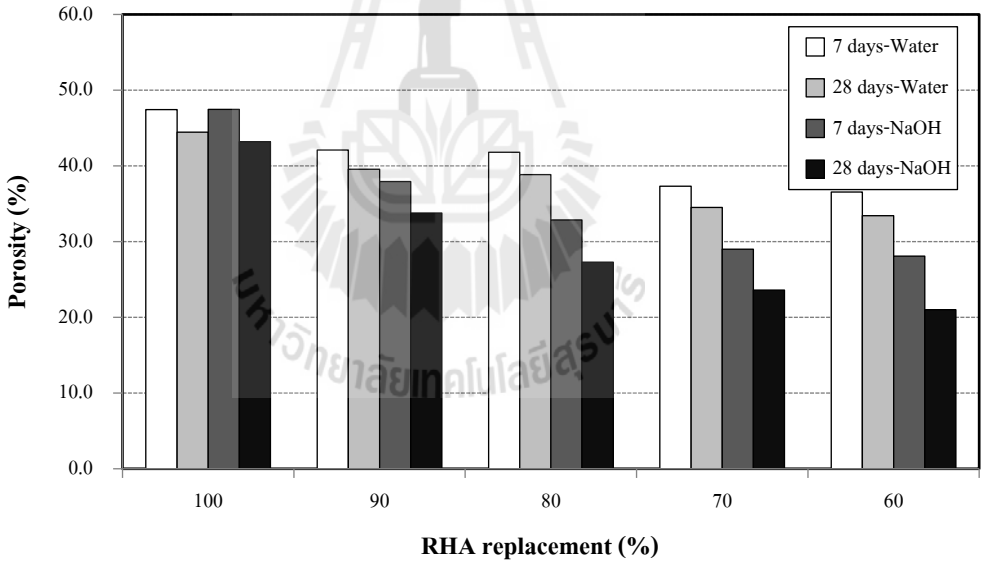
การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับร้อยละ 32.3, 28.4, 26.7, 21.8 และ 21.2 ตามลำดับ ขณะที่ การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุบ่ม 7 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับร้อยละ 30.7, 16.3, 19.1, 16.5 และ 14.8 ตามลำดับ การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของตัวอย่าง 1.4LB100RHA-Water, 1.4LB90RHA-Water, 1.4LB80RHA-Water, 1.4LB70RHA-Water และ 1.4LB60RHA-Water มีค่าเท่ากับร้อยละ 30.9, 19.6, 19.1, 20.0 และ 16.5 ตามลำดับ ขณะที่ การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 28 วัน ของ 1.4LB100RHA-NaOH, 1.4LB90RHA-NaOH, 1.4LB80RHA-NaOH, 1.4LB70RHA-NaOH และ 1.4LB60RHA-NaOH มีค่าเท่ากับร้อยละ 25.1, 17.9, 16.2, 12.4 และ 10.4 ตามลำดับ



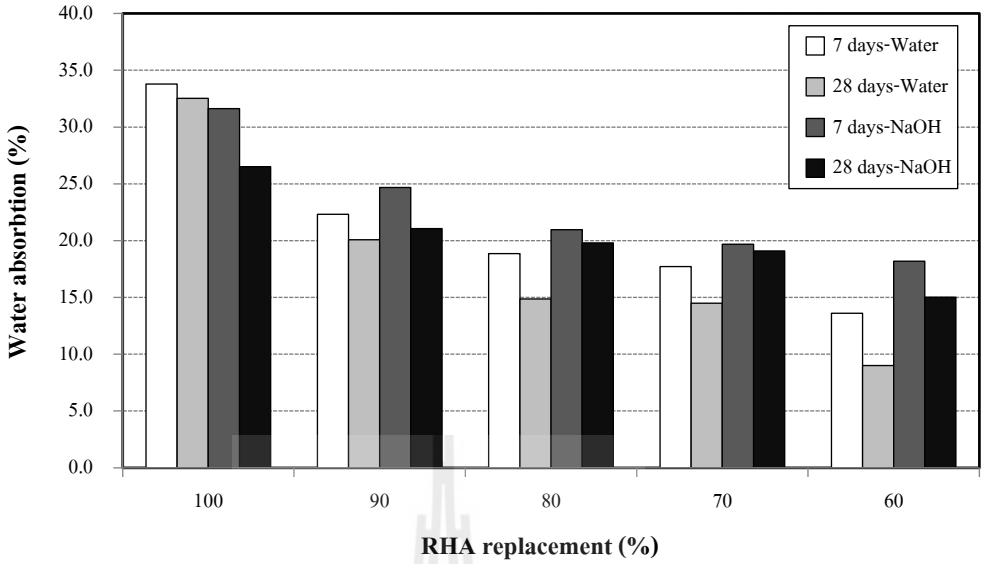
รูปที่ 4.7 ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0



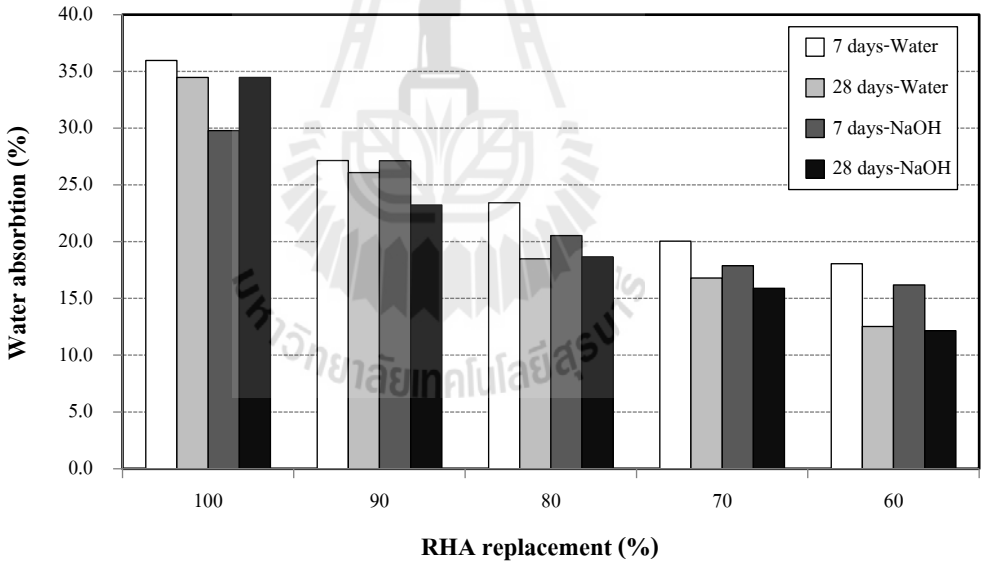
รูปที่ 4.8 ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2



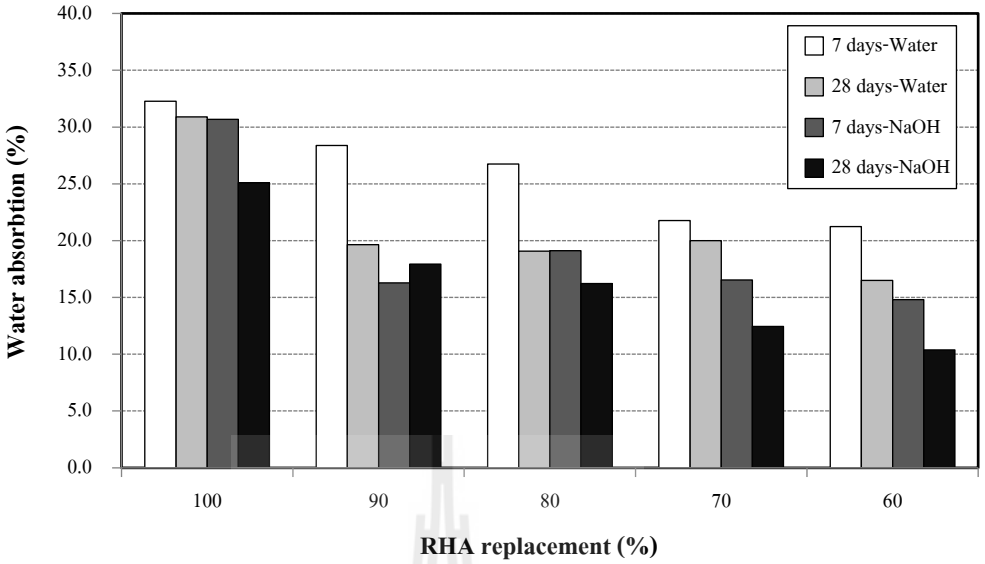
รูปที่ 4.9 ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4



รูปที่ 4.10 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0



รูปที่ 4.11 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.2



รูปที่ 4.12 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4

ภาพรวมของผลทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้สรุปว่าขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้าแกลบและขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้นจาก 7 วัน เป็น 28 วัน เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดมากขึ้นภายในระบบทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เชื่อมประสานมากขึ้น และส่งผลให้โพรงมีขนาดเล็กลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การที่ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์อาจเนื่องจากความพรุนของเถ้าแกลบที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และชนิดของเหลว (น้ำหรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์) ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก เมื่อใช้น้ำเป็นของเหลว เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้น ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลว ขนาดโพรงและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น การที่ผลการทดสอบผกผันแบบนี้อาจเนื่องจากปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถชะลายซิลิกาและอะลูมินาจากเถ้าแกลบออกมาทำปฏิกิริยามากขึ้น

4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก

งานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้กล่าวคือเถ้าแกลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในพื้นที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อกได้ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้แล้วยังช่วยลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก ผลการทดลองปรากฏว่าส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งให้กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน มอก.58/2533 ซึ่งกำหนดกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร การดูดซึมน้ำประมาณร้อยละ 9-11 คือ ส่วนผสมที่ใช้น้ำเป็นของเหลว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 (มีคุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 26.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 2.00 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 27.1 และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 13.6) และส่วนผสมที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลว ที่อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบเท่ากับ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4 (มีคุณสมบัติด้านค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 21.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 2.08 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 28.1 และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 14.8) เมื่อเปรียบเทียบบล็อกคอนกรีตที่ผลิตขึ้นในงานวิจัยนี้กับบล็อกคอนกรีตที่วางขายกันในท้องตลาด (ตารางที่ 4.1) ราคาต่อก้อนของคอนกรีตที่ใช้น้ำเป็นของเหลวเท่ากับ 3.60 บาท ราคาต่อก้อนของคอนกรีตที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นของเหลวเท่ากับ 13.78 บาท ขณะที่ ราคาต่อก้อนของบล็อกคอนกรีตที่ขายในท้องตลาดเท่ากับ 4.75 บาท หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เถ้าแกลบสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกคอนกรีตที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับบล็อกปูนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 60 ดังนั้น การนำเถ้าแกลบที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจและช่วยลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาโลกร้อนจากการผลิตปูนซีเมนต์

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

รายการเปรียบเทียบต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร	**กิโลกรัมละ (บาท)**	**ใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ**		**ใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบและโซดาไฟ**	
		1.0LB60RHA-Water กำลังอัดเท่ากับ 26.0 ksc		**1.4LB60RHA-NaOH กำลังอัดเท่ากับ 24.7 ksc**	
		จำนวน (กก)	**จำนวนเงิน (บาท)**	**จำนวน (กก)**	**จำนวนเงิน (บาท)**
1.ปูนซีเมนต์	2.4	72	172.8	72	172.8
2.หินฝุ่น	0.7	1620	1,134	1620	1,134
3.เถ้าแกลบ	0.5	108	54	108	54
4.โซดาไฟ	35.00	-	-	50.4	1,764
รวมเป็นเงิน			1,360.8		3,124.8

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อ 1 ก้อนตัวอย่าง

รายการเปรียบเทียบต่อ 1 ก้อนตัวอย่าง	**ขนาด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)**	**กำลังอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)**	**ขนาดโพรง (%)**	**การดูดซึมน้ำ (%)**	**น้ำหนักต่อก้อน (กิโลกรัม)**	**ต้นทุนการผลิต (บาท)**
Concrete Block	39x19x7	25.0*	-	9-11*	6	4.75
1.0LB60RHA-Water	39x19x7	26.0	27.1	13.6	6	3.60
1.4LB60RHA-NaOH	39x19x7	24.7	28.1	14.8	6	13.78

* ข้อมูลตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.58/2533

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้เถ้าแกลบผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตคอนกรีตบล็อก ส่วนผสมที่เตรียมในงานวิจัยนี้คือวัสดุเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์และเถ้าแกลบ) และหินฝุ่นในปริมาณ 1:9 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานจำนวน 3 ค่า ได้แก่ 1.0, 1.2 และ 1.4 และอัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์จำนวน 5 ค่า ได้แก่ 100: 0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตบล็อกที่ใช้น้ำเป็นของเหลว ที่อายุบ่ม 7 วัน และให้คุณสมบัติใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกตามมาตรฐาน มอก.58/2533 คืออัตราส่วนผสมระหว่าง เถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 ซึ่งจะให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 26.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 2.00 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 27.1 และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 13.6 ขณะที่ส่วนผสมที่มีความเหมาะสมเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นของเหลว ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.4 ซึ่งให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 24.7 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเท่ากับ 2.08 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 28.1 และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกเท่ากับร้อยละ 14.8

5.1.2 การใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกสามารถลดต้นทุนในการผลิต ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกจากการใช้น้ำเป็นของเหลวและเมื่อใช้อัตราส่วนผสมระหว่างเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 60:40 และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 1.0 จะมีต้นทุนการผลิตต่อ 1 ก้อนตัวอย่างเท่ากับ 3.60 บาท ซึ่งถูกกว่าราคาต้นทุนการผลิตของคอนกรีตบล็อกตามท้องตลาด ซึ่งมีต้นทุนการผลิตต่อ 1 ก้อนตัวอย่างเท่ากับ 4.75 บาท

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 คอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากเถ้าแกลบเป็นวัสดุประสานร่วมกับปูนซีเมนต์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ ในการผลิตคอนกรีตบล็อก ถึงแม้ว่าจะได้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกับตามมาตรฐาน มอก.58/2533 และมีคุณค่าในทางสิ่งแวดล้อม แต่ต้นทุนในการผลิตจะสูงขึ้นและอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

5.2.2 เถ้าแกลบเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีราคา แต่ถ้าหากโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกอยู่ไกลจากแหล่งวัสดุ ค่าขนส่งจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจด้านการต้นทุน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. (2530). **มาตรฐานอุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก.58/2533.** ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1295

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิมิตยงสกุล. (2540). **ผลกระทบของขี้เถ้าแกลบต่อคอนกรีตคุณภาพสูง**. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 3. พ.ศ. 2540. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า MAT5-1 ถึง MAT5-9

ชุมพล จันทรสม. (2528). **การศึกษาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมขี้ เถ้าแกลบและขี้ เถ้าลอย**. วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณัฐพงศ์ มกระธัช และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2550). **การศึกษาการใช้เถ้าแกลบ –เปลือกไม้เป็นวัสดุปอซโซ ลานเพื่อต้านทานการกัดกร่อนจากสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตและกรดซัลฟูริค**. รายงานการวิจัย. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ถนัดกิจ ชารีรัตน์. (2548). การประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอโพลิเมอร์ แห่งชาติ ครั้งที่ 21 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สมาคมคอนกรีตไทย.

นันทชัย ชูศิลป์ อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์ และ ชัย จาตุรพิทักษ์ กุล. (2552). **ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด**. รายงานโครงการปริญญาตรี. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และอินทรชัย หอวิจิตร. (2528). **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมขี่เถ้าลอยแม่เมาะ.** ขอนแก่น: สำนักงานเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาชนบท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สหลาภ หอมวุฒิวงศ์ .(2543). **การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการต้านทานสารเคมีของมอร์ต้าที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยคัดขนาด**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมศักดิ พื้นชมภู .(2545). **การศึกษาความต้านทานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยและผสมเถ้าแกลบต่อการกัดกร่อนของสารซัลเฟสในสภาวะกรด.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต . สาขาวิศวกรรม

สิน สินสกุล ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษา สสวท.

WEBMASTER เมื่อ JULY 7, 2013. หัวข้อ สาระน่ารู้การศึกษาวิทยาศาสตร์ http://secondsci.ipstdevsite.com/?p=713

อาภา สธนเสาวภาคย์ .(2544). **การศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของสารซัลเฟตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยหรือเถ้าแกลบ**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ASTM C311-11b. (2012). **Standard test methods for sampling and testing fly ash or natural pozzolans for using Portland-cement concrete**.

ASTM C 642-06 : American society for testing and material. (1995). **ASTM C 642-06: Historical Standard: ASTM C642-06 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete**. Annual book of ASTM standards, Vol. 04.02, Philadelphia.

Buchanan, F. (1807). โดย สิน สินสกุล ผู้เชี่ยวชาญด้านธรณีวิทยา สาขาวิทยาศาสตร์ มัธยมศึกษา สสวท. http://secondsci.ipst.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=45:2010-10-18-08-52-00&catid=19:2009-05-04-05-01-56&Itemid=34

Brooks, J.J., Johari, MAM, and Mazloom, M. (2000). **Effect of admixtures on the setting time of high-strength concrete.** Cement concrete Composites 22 : 293-301.

Chatveera, B. and P. Lertwattanaruk. (2008). **Evaluation of sulfate resistance of cement mortars containing black rice husk ash.** [www. sciencedirect. com]. 4 September 2010.

Horpibulsuk, S., Katkan, W., Sirilerdwattana, W., and Rachan, R. (2006). "**Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils : Laboratory and field study"**. *Soils and Foundations*. Vol.46, No.3, pp.351-366.

Horpibulsuk, S., Munsrakest, V., Udomchai, A, Chinkulkijniwat, A. and Arulrajah, A. (2014). **"Strength of sustainable non-bearing masonry unit manufacturing from calcium carbide residue and fly ash",** Construction and Building Materials. Vol.71, pp.210-215.

Neville, A.M. (1995). **Properties of Concrete**. 4 th ed (pp. 86). Addison Wesley Longman. England.

Pinto, R.C.A., Hover, KC. (1999). **Application of maturity approach to setting times**. ACI Mater.

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้น้ำเป็นของเหลวในส่วนผสม ที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ	น้ำ/ซีเมนต์	กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก (กก/ตร.ซม.)	
			7 วัน	28 วัน
1	100 : 0	1.0	-	-
2	90 : 10	1.0	7.0	10.0
3	80 : 20	1.0	10.3	13.5
4	70 : 30	1.0	18.0	21.0
5	60 : 40	1.0	26.0	31.0
6	100 : 0	1.2	-	-
7	90 : 10	1.2	7.0	9.5
8	80 : 20	1.2	12.3	13.0
9	70 : 30	1.2	13.5	19.0
10	60 : 40	1.2	16.3	29.5
11	100 : 0	1.4	2.0	2.0
12	90 : 10	1.4	6.0	7.0
13	80 : 20	1.4	10.0	11.0
14	70 : 30	1.4	11.5	18.5
15	60 : 40	1.4	15.0	21.5

ตารางที่ ก.2 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสมที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ	น้ำ/ซีเมนต์	กำลังอัดของคอนกรีตบล็อก (กก/ตร.ซม.)	
			7 วัน	28 วัน
1	100 : 0	1.0	1.4	1.5
2	90 : 10	1.0	4.0	4.5
3	80 : 20	1.0	5.1	6.0
4	70 : 30	1.0	9.1	11.0
5	60 : 40	1.0	15.0	17.5
6	100 : 0	1.2	1.5	2.0
7	90 : 10	1.2	4.6	5.5
8	80 : 20	1.2	8.9	10.0
9	70 : 30	1.2	11.1	12.0
10	60 : 40	1.2	19.0	21.0
11	100 : 0	1.4	1.9	3.5
12	90 : 10	1.4	7.0	11.0
13	80 : 20	1.4	9.6	16.5
14	70 : 30	1.4	11.4	24.0
15	60 : 40	1.4	24.7	32.0

ตารางที่ ก.3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้น้ำเป็นของเหลวในส่วนผสม ที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ	น้ำ/ซีเมนต์	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
			7 วัน	28 วัน
1	100 : 0	1.0	1.72	1.65
2	90 : 10	1.0	1.80	1.72
3	80 : 20	1.0	1.85	1.74
4	70 : 30	1.0	1.87	1.82
5	60 : 40	1.0	2.00	1.91
6	100 : 0	1.2	1.65	1.73
7	90 : 10	1.2	1.75	1.79
8	80 : 20	1.2	1.86	1.82
9	70 : 30	1.2	1.89	1.94
10	60 : 40	1.2	1.92	1.99
11	100 : 0	1.4	1.64	1.62
12	90 : 10	1.4	1.77	1.65
13	80 : 20	1.4	1.80	1.71
14	70 : 30	1.4	1.87	1.77
15	60 : 40	1.4	1.95	1.85

ตารางที่ ก.4 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสมที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	**อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ**	**น้ำ/ซีเมนต์**	**หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)**	
			7 วัน	**28 วัน**
1	100 : 0	1.0	1.68	1.62
2	90 : 10	1.0	1.79	1.69
3	80 : 20	1.0	1.85	1.79
4	70 : 30	1.0	1.99	1.88
5	60 : 40	1.0	2.00	1.86
6	100 : 0	1.2	1.66	1.68
7	90 : 10	1.2	1.81	1.75
8	80 : 20	1.2	1.86	1.84
9	70 : 30	1.2	1.91	1.87
10	60 : 40	1.2	2.06	1.90
11	100 : 0	1.4	1.71	1.71
12	90 : 10	1.4	1.81	1.82
13	80 : 20	1.4	1.89	1.94
14	70 : 30	1.4	1.98	1.97
15	60 : 40	1.4	2.08	2.09

ตารางที่ ก.5 ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้น้ำเป็นของเหลวในส่วนผสม ที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ	น้ำ/ซีเมนต์	ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อก (เปอร์เซ็นต์)	
			7 วัน	28 วัน
1	100 : 0	1.0	50.5	49.1
2	90 : 10	1.0	37.8	33.6
3	80 : 20	1.0	35.1	29.7
4	70 : 30	1.0	31.9	27.6
5	60 : 40	1.0	27.1	22.5
6	100 : 0	1.2	52.9	51.3
7	90 : 10	1.2	40.8	37.6
8	80 : 20	1.2	41.1	36.1
9	70 : 30	1.2	36.6	28.1
10	60 : 40	1.2	32.5	24.1
11	100 : 0	1.4	47.4	44.4
12	90 : 10	1.4	42.1	39.6
13	80 : 20	1.4	41.8	38.9
14	70 : 30	1.4	37.3	34.5
15	60 : 40	1.4	36.5	33.4

ตารางที่ ก.6 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสมที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	**อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ**	**น้ำ/ซีเมนต์**	**ขนาดโพรงของคอนกรีตบล็อก (เปอร์เซ็นต์)**	
			7 วัน	**28 วัน**
1	100 : 0	1.0	46.4	44.9
2	90 : 10	1.0	43.6	40.5
3	80 : 20	1.0	39.1	38.1
4	70 : 30	1.0	37.8	34.4
5	60 : 40	1.0	36.3	30.7
6	100 : 0	1.2	47.3	45.3
7	90 : 10	1.2	42.8	39.9
8	80 : 20	1.2	35.9	33.3
9	70 : 30	1.2	32.4	29.4
10	60 : 40	1.2	30.2	26.9
11	100 : 0	1.4	47.5	43.2
12	90 : 10	1.4	37.9	33.8
13	80 : 20	1.4	32.9	27.3
14	70 : 30	1.4	29.0	23.6
15	60 : 40	1.4	28.1	21.0

ตารางที่ ก.7 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และใช้น้ำเป็นของเหลวในส่วนผสม ที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ	น้ำ/ซีเมนต์	การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก (เปอร์เซ็นต์)	
			7 วัน	28 วัน
1	100 : 0	1.0	33.8	32.5
2	90 : 10	1.0	22.3	20.1
3	80 : 20	1.0	18.9	14.9
4	70 : 30	1.0	17.7	14.5
5	60 : 40	1.0	13.6	9.0
6	100 : 0	1.2	36.0	34.5
7	90 : 10	1.2	27.1	26.1
8	80 : 20	1.2	23.4	18.5
9	70 : 30	1.2	20.0	16.8
10	60 : 40	1.2	18.1	12.5
11	100 : 0	1.4	32.3	30.9
12	90 : 10	1.4	28.4	19.6
13	80 : 20	1.4	26.7	19.1
14	70 : 30	1.4	21.8	20.0
15	60 : 40	1.4	21.2	16.5

ตารางที่ ก.8 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่แปรผันปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุประสาน และและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 5 โมลาร์ เป็นของเหลวในส่วนผสมที่อายุการบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน

ตัวอย่างชุดที่	**อัตราส่วน ซีเมนต์:แกลบ**	**น้ำ/ซีเมนต์**	**การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก (เปอร์เซ็นต์)**	
			7 วัน	**28 วัน**
1	100 : 0	1.0	31.6	26.5
2	90 : 10	1.0	24.7	21.1
3	80 : 20	1.0	21.0	19.8
4	70 : 30	1.0	19.7	19.1
5	60 : 40	1.0	18.2	15.0
6	100 : 0	1.2	29.8	34.5
7	90 : 10	1.2	27.1	23.2
8	80 : 20	1.2	20.5	18.7
9	70 : 30	1.2	17.9	15.9
10	60 : 40	1.2	16.2	12.2
11	100 : 0	1.4	30.7	25.1
12	90 : 10	1.4	16.3	17.9
13	80 : 20	1.4	19.1	16.2
14	70 : 30	1.4	16.5	12.4
15	60 : 40	1.4	14.8	10.4

ประวัติผู้เขียน

ว่าที่ร้อยตรีภูมิพันธ์ บุญมาตุ่น เกิดเมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม พุทธศักราช 2523 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์) จากวิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี เมื่อปีพุทธศักราช 2544 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในบริษัท ไอบีเอ็ม (ประเทศไทย) จำกัด ตำแหน่ง ช่างเทคนิค และ หวหน้าส่วนงานช่างเทคนิค ต่อมาได้สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี และปริญญาโท (สาขาวิชารัฐศาสตร์) และได้ย้ายหน่วยงานมารับตำแหน่งหัวหน้าแผนกบริหารทรัพยากรมนุษย์และองค์กร ส่วนงานพัฒนาทรพยากรมนุษย์ด้านวิศวกรรม บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล (ประเทศไทย) จำกัด และหลังจากนั้นต่อมาได้รับมอบหมายให้รับตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการส่วนงานจัดซื้อจัดจ้าง โดยดูแลรับผิดชอบ การจัดซื้อจัดจ้างงานวิศวกรรม และงานวิศวกรรมโครงสร้าง ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการบริษัท ภูมิภัชวิศวกรรม จำกัด และกรรมการบริหารมูลนิธิสัมมาชีพ และได้เข้ามาศึกษาในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีพุทธศักราช 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี