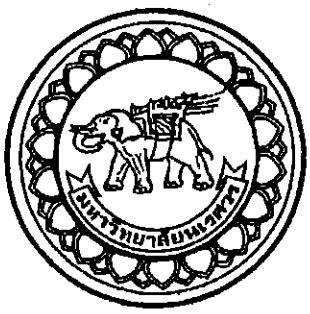


ผลของการผสมขี้เถ้าแกลบในคอนกรีตต่อกำลังอัด

The effect of rice-husk ash mixed in concrete on compressive strength

นายประสบโชค ไข่ขวัญ รหัส 53360408

นางสาวรัฐตะวัน ปานแสง รหัส 53360590

นางสาวอาทิตนันต์ อุ่นแก้ว รหัส 53360873

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

20 ก.ค. 2558

16909681

ฝ.

ฝ392 ง 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ผลของการผสมขี้เถ้าแกลบในคอนกรีตต่อกำลังอัด

ผู้ดำเนินโครงงาน	นายประสบโชค	ไข่ขวัญ	รหัส	53360408
	นางสาวรัฐตะวัน	ปานแสง	รหัส	53360590
	นางสาวอาทิตนันต์	อุ่นแก้ว	รหัส	53360873

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย นเรศวร

ปีการศึกษา 2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์บุญพล มีไชโย)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ผลของการผสมขี้เถ้าแกลบในคอนกรีตต่อกำลังอัด			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายประสบโชค	ไข่ขวัญ	รหัส	53360408
	นางสาวรัฐตะวัน	ป่านแสง	รหัส	53360590
	นางสาวอาทิตนันต์	อุ่นแก้ว	รหัส	53360873
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์			
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา			
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย นเรศวร			
ปีการศึกษา	2556			

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียดเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา คุณสมบัติที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ค่ายุบตัว กำลังรับแรงอัด อัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบอยู่ระหว่างร้อยละ 0, 15, 25 และ 35 ผลการทดสอบพบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา นอกจากนี้คอนกรีตผสมขี้เถ้าแกลบยังมีกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่สัดส่วนผสมที่ร้อยละ 35 ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่ต่ำลงกว่าคอนกรีตธรรมดา

Project title	The effect of rice-husk ash mixed in concrete on compressive strength	
Name	Mr. Prasobchock Khaikhwan	ID. 53360408
	Miss. Rattawan Pansang	ID. 53360590
	Miss. Atitanan Oungraw	ID. 53360873
Project advisor	Mr. Amphol Techovanich	
Major	Civil Engineering	
Department	Civil Engineering	
Academic year	2013	

.....

Abstract

This research aims to study the behavior of rich husk ash mixed in concrete compared to ordinary concrete. The properties studied include compressive strength and slump value. The ash mixing proportion is 0, 15, 25 and 35 percent.

Test results showed that the slump values of ash mixed concrete are less than that of normal concrete. The compressive strengths of ash mired concrete are higher than the ordinary concrete value. However, the strength of 35 % mixture is lower than the normal concrete value.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากอาจารย์อำพล เตโชวาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไข และชี้แนะแก้ไขรายงานโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้เขียนรู้สึกในความกรุณา และขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณครูช่างทุกท่าน ที่กรุณาความสะดวก และเอื้อเฟื้อในการใช้สถานที่และอุปกรณ์ทั้งในและนอกเวลาราชการ ในการปฏิบัติงานโครงงาน

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่คอยช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจด้วยดีในการทำโครงการครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นธุระติดต่อหาชี้เถ้าแกลบมาให้ และคอยเป็นกำลังใจเคียงข้างลูกๆตลอดมา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายประสบโชค ไข่ขวัญ
นางสาวรัฐตะวัน ปานแสง
นางสาวอาทิตนันต์ อุ่นแก้ว

สารบัญ

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
Abstract ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญรูป สารบัญตาราง ..... ฉ
บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 2
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2
1.6 แผนการดำเนินงาน 4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ 4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี **5**
2.1 ความรู้พื้นฐานของวัสดุทำวิจัย 5
2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5
2.1.2 ขี้เถ้าแกลบ 7
2.2 ปฏิกิริยา Hydration และ ปฏิกิริยา Pozzolan 10
บทที่ 3 วิธีการทดลอง **12**
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือวัสดุ และวิธีการดำเนินการวิจัย 12
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 12
3.3 ขั้นตอนในการออกแบบส่วนผสม 13
3.4 วิธีการทดลอง 15
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล **19**
4.1 การทดสอบหาขนาดคละของทราย 19

4.2 การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด 21

4.3 การทำสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต 22

4.4 การเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดที่อัตราส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบ 23

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 26

เอกสารอ้างอิง 27

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ 28

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 6

ตารางที่ 4.1 แสดงการทดสอบหาขนาดคละของทรายครั้งที่ 1 19

ตารางที่ 4.2 แสดงการทดสอบหาขนาดคละของทรายครั้งที่ 2 20

ตารางที่ 4.3 การยุบตัวของคอนกรีตสด 21

ตารางที่ 4.4 การรับกำลังอัดของคอนกรีต 23

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดคิดเทียบกับกำลังอัดที่ 0% 24

ตารางที่ 4.6 การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดในระยะการบ่ม 24

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง 17

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการทดสอบค่ายุบตัว 17

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดของก้อนคอนกรีต 18

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงร้อยละของทรายที่สะสมบนตะแกรงครั้งที่ 1 20

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงร้อยละของทรายที่สะสมบนตะแกรงครั้งที่ 2 21

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความยุบตัวของคอนกรีตสด 22

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการรับกำลังอัดของคอนกรีต 23

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดในระยะการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน 25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ทุกวันนี้ได้นำเถ้าลอย (fly ash) มาใช้เป็นส่วนผสมของ Portland cement ในกระบวนการผลิตคอนกรีต เนื่องจากเป็นการลดต้นทุนของวัตถุดิบทำให้คอนกรีตไหลตัวได้ดีเพิ่มความทนทานของคอนกรีตและลดปัญหาการแตกร้าว ฯลฯ แต่เนื่องจาก fly ash ที่ใช้ทุกวันนี้เกิดจากขี้เถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหิน หรือ ลิกไนต์ ประกอบไปด้วย สารซิลิกอนไดออกไซด์(SiO_2) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะปลิวปนไปกับก๊าซร้อน ออกจากปล่องของโรงงานผลิตไฟฟ้า ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงซึ่งถ้ามีปริมาณเถ้าปลิวขึ้นไปในชั้นบรรยากาศมากก็อาจจะทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศได้ ดังนั้นจึงเลือกนำขี้เถ้าแกลบ ที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบหรือเปลือกข้าวจากโรงสี มาใช้แทนเถ้าลอยเพื่อลดปริมาณการใช้ Portland cement ลดปัญหามลพิษ และลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากมีราคาถูกกว่าราคาของเถ้าลอยตามท้องตลาด โดยที่จะไม่ลดความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นการลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่งด้วย

ประเทศไทยถือว่าเป็นแหล่งปลูกข้าวอันดับต้นๆของโลก ทำให้มีแกลบที่ได้จากการสีข้าวของโรงสีประมาณ 5 ล้านตันต่อปี เมื่อนำแกลบไปเผาจะได้ขี้เถ้าแกลบในปริมาณร้อยละ20 ของน้ำหนักแกลบที่นำไปเผา ซึ่งหากคำนวณปริมาณขี้เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาในแต่ละปีจะพบว่ามีอยู่เกือบ1ล้านตันและพบว่าการเผาแกลบที่อุณหภูมิในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ขี้เถ้าแกลบ ที่มีความเป็นอสัณฐานมีความพรุนสูง สามารถนำมาใช้ผสมคอนกรีตเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานได้ และยังพบอีกว่าการบดขี้เถ้าแกลบให้มีขนาดเล็กยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาและลดความพรุนในเถ้าแกลบได้อีกด้วย

ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำขี้เถ้าแกลบมาศึกษาความเหมาะสมในการนำไปใช้ผสมกับ Portland cement เพื่อการผสมคอนกรีต และนำขี้เถ้าแกลบดังกล่าว ไปพัฒนาส่วนผสมโดยมุ่งเน้นใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนโดยไม่กระทบต่อคุณสมบัติสำหรับการใช้งานตามมาตรฐาน อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตและยังเป็นการกำจัดของเสียอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาแนวทางในการนำขี้เถ้าแกลบมาใช้ประโยชน์ในการแทนที่ Portland cement บางส่วน เพื่อการผสมคอนกรีตจากวัตถุประสงค์หลักดังกล่าว สามารถแบ่งออกเป็นวัตถุประสงค์ย่อยได้ดังนี้

1.2.1 ศึกษาผลของขี้เถ้าแกลบต่อกำลังอัดของคอนกรีต

1.2.2 ศึกษาความสามารถในการเทของคอนกรีต เมื่อผสมขี้เถ้าแกลบในอัตราส่วนที่กำหนด

1.2.3 ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีต โดยใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทำให้เกิดองค์ความรู้ในการใช้ขี้เถ้าแกลบเพื่อแทนที่ Portland cement ในการผลิตคอนกรีต

1.3.2 เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ และลดภาวะโลกร้อน

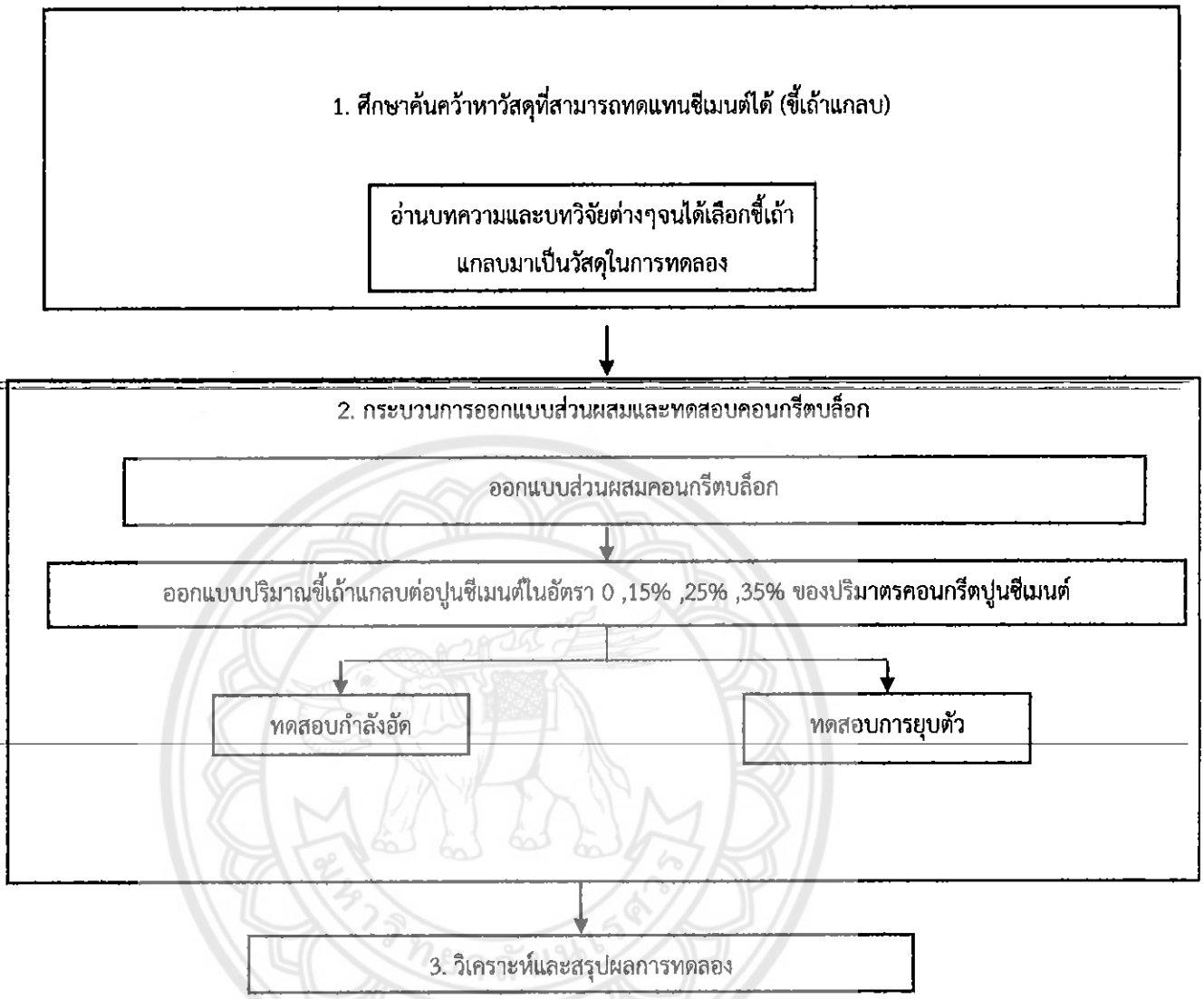
1.3.3 เพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มทางเลือกในการผลิตคอนกรีต โดยการใช้ ขี้เถ้าแกลบ

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ได้จากการผสมขี้เถ้าแกลบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการทดสอบอัตราการยุบตัว และความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกในปริมาณขี้เถ้าแกลบที่แตกต่างกัน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

แนวทางการดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปเป็นขั้นตอนหลักได้ 3ขั้นตอน คือ ศึกษาค้นคว้าหาวัสดุที่สามารถทดแทนซีเมนต์ได้(ขี้เถ้าแกลบ) , กระบวนการออกแบบส่วนผสมและทดสอบคอนกรีตบล็อก , วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองและสรุปผลทดสอบ แสดงในรูป 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.6 แผนการดำเนินงาน

เดือน / กิจกรรม	ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของขี้เถ้าแกลบ																				
2. ค้นหาแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในโครงงาน																				
3. ดำเนินการตามขั้นตอนของโครงงาน																				
4. วิเคราะห์ผลสรุป ของการผสมขี้เถ้าแกลบในคอนกรีต																				
5. เขียนโครงงานและจัดทำรูปเล่ม																				

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1. ค่าวัสดุสำนักงาน	500	บาท
2. ค่าวัสดุก่อสร้าง	1000	บาท
3. ค่าจ้างถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่ม	1500	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (ห้าพันบาทถ้วน)	3000	บาท

หมายเหตุ : ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในงานด้านวิศวกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นอุปกรณ์ก่อสร้างที่สำคัญซึ่งมีราคาแพง ถ้าสามารถลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ลง โดยให้คุณสมบัติทางด้านกำลังคงเดิมก็จะเป็นการประหยัดที่ดี ดังนั้นในอดีตที่ผ่านมาจึงมีผู้สนใจในวัสดุซีเมนต์ธรรมชาติ (Pozzolan) เช่นขี้เถ้าแกลบ จากการเผาแกลบ ซึ่งเป็นวัสดุทางธรรมชาติที่หาได้ไม่ยากนัก ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงงานจึงทำการศึกษาว่าจะสามารถนำเอาวัสดุ Pozzolan มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตร่วมกันปูนซีเมนต์ได้หรือไม่และคุณสมบัติที่ได้เป็นอย่างไร ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับโครงงาน โดยแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

- ความรู้พื้นฐานของวัสดุที่ทำโครงงาน
- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น(Hydration)และปฏิกิริยาปอซโซลาน(Pozzolan)

2.1ความรู้พื้นฐานของวัสดุที่ทำการวิจัย

2.1.1ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในทางวิศวกรรม โดยเมื่อผสมกับหิน ทราย และน้ำ ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้คอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งแรงทนทานคล้ายหินปูน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาส่วนผสมต่างๆที่อุณหภูมิประมาณ 1400 ถึง 1500 องศาเซลเซียส

2.1.1.1 วัตถุดิบวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตแบ่งได้ 2 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 ให้ธาตุแคลเซียมได้แก่ หินปูน ดินสิพอง ดินปูนขาว ประเภทที่ 2 ให้ธาตุซิลิกาและอลูมินา ได้แก่ หินเชล ดินเหนียว และหินชนวน

2.1.1.2 สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เมื่อเผาส่วนผสมของปูนซีเมนต์แล้วสารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกา อลูมินาและเหล็ก จะทำปฏิกิริยาเคมีร่วมกันได้สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่างดังตาราง

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	$3\ CaO.SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต	$2\ CaO.SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียม อลูมิเนต	$3\ CaO.Al_2O_3$	C_3A
เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4\ CaO.Al_2O_3\ Fe_2O_3$	C_4AF

2.1.1.3 อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นอกจากจำนวนของสารประกอบจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์แล้ว ชนิดของสารประกอบก็เป็นตัวสำคัญที่กำหนดคุณลักษณะต่างๆของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดังนี้

Tricalcium silicate (C_3S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้เร็วให้กำลังสูง และเกิดความร้อนมาก การเพิ่มยิปซั่มจะทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสภาพพลาสติกมากขึ้น และช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ช้าลง

Dicalcium silicate (C_2S) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับแรงได้ช้า ให้กำลังสูงและเกิดความร้อนน้อย การเพิ่มยิปซั่มจะได้ผลหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บ้างเล็กน้อย

Tricalcium Aluminate (C_3A) จะก่อตัวทันทีเมื่อผสมกับน้ำให้ความร้อนสูง จะทำให้กำลังรับแรงเล็กน้อยในวันแรกๆ และจะไม่ทำให้กำลังเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่จะมีประโยชน์คือ ช่วยเร่งปฏิกิริยาของไดแคลเซียมซิลิเกต

Tetracalcuim Aluminoferrite (C_4AF) จะก่อตัวอย่างรวดเร็วแต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียมอลูมิเนตเล็กน้อย

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) รวมประมาณ 70-80% และเป็นตัวความคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.1.1.4 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีส่วนประกอบที่สำคัญคือแคลเซียมจาก CaOประมาณ 60% และซิลิกาจาก SiO_2ประมาณ 20% ซึ่งทั้งสองธาตุนี้เป็นสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของไดแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีกำลังสูง

2.1.2 ขี้เถ้าแกลบ คือ ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบ ขี้เถ้าแกลบได้จากการเผาไหม้ในลักษณะแตกต่างกันบ้าง เช่น ถ้าเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีข้าว เป็นการเผาที่ใช้เวลาน้อยอุณหภูมิไม่สูงมากนักจะได้ขี้เถ้าที่เป็นสีดำเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีส่วนประกอบของคาร์บอนสูง มีขนาดใหญ่มีคุณสมบัติในการพัฒนากำลังเมื่อผสมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่ำ แต่ถ้าการเผาไหม้อยู่ในการควบคุมหรือใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการเผาไหม้นานพอ จะได้ขี้เถ้าแกลบที่มีลักษณะดี มีสีขาว ปริมาณคาร์บอนต่ำ และคุณสมบัติในการพัฒนากำลังเมื่อผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดีขึ้น

2.1.2.1 วัตถุดิบ คือ แกลบที่ได้จากโรงสีข้าวเปลือกปกติ

2.1.2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้าแกลบมีซิลิกาสูงมาก ประมาณร้อยละ 90 แคลเซียมต่ำมาก ไม่ถึงร้อยละ 1 และที่สำคัญมากคือเกือบไม่มีอนุมูลซัลเฟตเลย

2.1.2.3อิทธิพลของขี้เถ้าแกลบต่อการพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ขี้เถ้าแกลบมีลักษณะการเกิดและส่วนประกอบทางเคมีคล้ายขี้เถ้าลอย และเป็นสารปอซโซลานอย่างหนึ่ง โดยซิลิกา (SiO_2) ในขี้เถ้าแกลบสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)ในน้ำปูน

2.1.2.4 การใช้ประโยชน์จากแกลบ

การใช้แกลบเป็นการใช้ให้เกิดประโยชน์ ได้รับความสนใจมานานแล้ว เป็นผลให้มีการตีพิมพ์เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง โดยการแบ่งใช้ประโยชน์ออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ทางด้านเกษตรกรรม
   - ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เช่น ไก่ เป็ด วัว ควาย เพื่อกดดันทุน
   - ปูรองให้พวกสัตว์ปีก เป็นการใช้ประโยชน์ที่เก่าแก่ที่สุด
   - จากข้อมูลการวิเคราะห์แกลบพบว่ามีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นแต่เมื่อปล่อยให้แกลบถูกย่อยสลายในดินจะทำให้มีฟอสฟอรัสมากขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มกำลังซิลิกาขึ้นไปโดยพืช ซึ่งจะช่วยในการต้านแมลง
   - ได้มีการใช้แกลบเป็นตัวค้ำจุนสำหรับพืชที่กำลังเจริญเติบโต โดยเทคนิคที่ไม่ต้องอาศัยดินที่เรียกว่า Hydroponics สารอาหารที่จำเป็นจะอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งยังคงมีใช้ในวงจำกัดและแกลบจำเป็นต้องได้รับวิธีปฏิบัติที่เหมาะสม
2. ทางด้านอุตสาหกรรม
   - ใช้เป็นเชื้อเพลิง ในการสีข้าวสำหรับโรงสี ในการทำให้เกิดลมร้อนสำหรับเป่าข้าวเปลือกให้แห้งก่อนจะนำไปเก็บและนำไปสี แกลบมีค่าความร้อน 1000 - 1600 แคลอรี และจากการคำนวณพบว่ากำลัง 1แรงม้า ต้องการแกลบ 1.8-2.4 กก.

นอกจากนี้ยังใช้แกลบอัดเป็นฟืนสำหรับเตาผิงในวิธีเดียวกันกับการทำจากเศษไม้ ค่าความร้อนที่ได้เป็นค่าความร้อนที่ได้เป็น 6113 BTU/ปอนด์ สำหรับแกลบ และสำหรับไม้ประมาณ 8450 BTU/ปอนด์

- คาร์บอนไนเซชั่น (Carbonization) หรือ การกลั่นแห้งของแกลบ คือ การให้ความร้อนในปริมาณที่จำกัดหรืออากาศไม่เพียงพอ ซึ่งทำให้คาร์บอนละเอียดน้ำหนักเบาของเหลวที่มีลักษณะเหมือนน้ำมันดินและแก๊ส กระบวนการนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในสหรัฐอเมริกาในการผลิตนอกเนื้อจากถ่าน เช่น กรดแอซิติก เมทานอล แอซิโตน **เมทิลเอาทีล**คีโทน และน้ำมันดิน แต่ความสำคัญของขบวนการนี้ได้ลดน้อยลงเมื่อสารเคมีสามารถผลิตได้โดยวิธีอื่นที่ถูกกว่า
- ทำเป็นฉนวน เมื่อแกลบมีค่านำไฟฟ้าต่ำจึงเป็นฉนวนที่ดีใช้ทำฝ้าเพดาน แกลบที่นำมาใช้ต้องถูกทำให้ทนน้ำ ไฟ แมลง พบว่า กรดฟอสฟอริก 20% หรือ กรดบอริกต่อบอแรกซ์ 60:40 ให้ผลที่ดีในการทนไฟ แกลบที่ถูกทำปฏิกิริยาด้วยกรดจะมีค่านำไฟฟ้า 0.02 ต่ำกว่าแกลบที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ปัจจุบันการใช้ประโยชน์น้อยลงเนื่องจากมีพอลิยูรีเข้ามาแทนที่
- ทำเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น บล็อคคอนกรีต อิฐ ประเบื้องปูนพื้น เป็นต้น จุดประสงค์คือ เพื่อทำเป็นอิฐหรือคอนกรีตน้ำหนักเบาและมีสมบัติกันฉนวนดีขึ้น เช่น บล็อกที่ทำจากซีเมนต์ต่อขี้เถ้าแกลบเป็นอัตราส่วน 1:2:1 หรือประมาณ 16 ปอนด์ จะทนแรงดึงที่มากระทำต่อซีเมนต์ที่ผลิตได้
- ทำกระดาษ นอกจากปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในแกลบจะต่ำกว่าในไม้แล้วเส้นใยยังสั้นเกินไป ทำให้กระดาษที่ได้มีสมบัติไม่ดี และยังมีปัญหาเกี่ยวกับการเอาเพนโทซาน (Pentosan เป็นเฮมิเซลในแกลบ) และขี้เถ้าแกลบที่เหลือออกเพิ่มอีก จึงไม่เป็นที่นิยมในการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์
- ทำวัสดุสำหรับขัด

การใช้ประโยชน์นี้แบ่งออกเป็นหลายระดับ คือ

1. เป็นสารขัดถู (tumble-cleaning and polishing agent)
2. เป็นวัสดุสำหรับเป่า (soft-grit blasting materials)
3. เป็นสารสำหรับขัดในสบู่ถูมือ (abrasives in hand soaps)

จากการทดลองพบว่าแกลบยังคงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดผิวหน้าของท่อเหล็ก อลูมิเนียม ทองหรือบรอนซ์ เมื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้น และยังคงใช้ได้ดีกับการขัดส่วนเล็กๆที่ทำด้วยพลาสติก สามารถใช้แกลบทั้งอันเป็นสารขัดถู ถึงแม้จะมีขนาดเล็กลงระหว่างการใช้ก็ตาม

- ใช้เป็นฟิลเลอร์และสารเติมแต่ง
- ใช้เป็นตัวพาและสารชีมทรัพย์
- เป็นแหล่งของซิลิกา

ในแกลบมีซิลิกาประมาณ 20% ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีคุณภาพที่ดีเนื่องจากมีสิ่งเจือปนเปื้อนอื่นๆต่ำ ซิลิกาจากแกลบต้องแข่งขันกับซิลิกาที่มีราคาถูกจากวัสดุอื่นๆ เช่น ทรายเบนโทไนท์(bentonite) และดิน diatomaceous earth แต่ซิลิกาจากแกลบยังคงได้เปรียบเนื่องจากปริมาณของธาตุที่ไม่ต้องการต่ำ

2.1.2.5 การใช้ประโยชน์จากขี้เถ้าแกลบ

ขี้เถ้าที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ(สีเทา) หรือปราศจากคาร์บอน(สีชมพูหรือขาว) สามารถใช้แทนขี้เถ้าที่มีคาร์บอนสูง(สีดำ) ได้หลายประการ สิ่งหนึ่งที่ยังคงใช้คือใช้ทำสารขัดถูในเครื่องจักร สบู่ถูมือ เช่นเดียวกับการใช้ขี้เถ้าแกลบบดทำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวปรับสภาพดินตลอดไปจนถึง เป็นส่วนประกอบของสารขัดฟันในยาสีฟัน

1. ใช้เป็นสารดูดและขจัดน้ำมัน ระหว่างการเผา ผิวหน้าของซิลิกาที่อยู่ในรูปของกรดพอลิซิลิซิก จะถูกดึงเอาน้ำออกบางส่วนและเข้ากันได้ดีกับน้ำมันมากกว่าน้ำ จากลักษณะนี้รวมกับรูพรุนที่มีอยู่มาก ทำให้ขี้เถ้าแกลบสามารถดูดซับและเก็บน้ำมันหรือจารบีไว้ได้ในปริมาณมาก ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการใช้เป็นสารกำจัดน้ำมัน ตามสถานีบริการน้ำมัน โรงงานปฏิบัติการเครื่องจักร เครื่องยนต์ เป็นต้น
2. ใช้เป็นตัวพา เนื่องจากรูพรุนที่มากทำให้ขี้เถ้ามีประสิทธิภาพในการเป็นตัวพาสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา ยาฆ่าแมลง และยาฆ่าเชื้อราได้อีกด้วย
3. ใช้เป็นสารที่ทำให้ข้น (thickening agent)
4. ใช้เป็นสารดูดความชื้น โดยการนำไปผลิตเป็นซิลิกาเจล (precipitated silicic acid)
5. ทำวัสดุทนไฟ

นอกจากรูพรุนแล้วขี้เถ้ายังมีการต้านทานความร้อนสูงด้วยจึงเหมาะที่จะนำมาเป็นวัสดุทนไฟชนิดต่างๆ เช่นการเผาอิฐทนไฟน้ำหนักเบามาก และแผ่นเซรามิกดูดความชื้นที่มีรูพรุนละเอียด แผ่นนี้ใช้เครื่องทำความร้อนจากการใช้อากาศร้อน อิฐที่ได้มีความแข็งดี มีปริมาณคงที่และมีความเป็นฉนวนสูง และไม่ต้องใช้เลื่อยในการทำให้มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ อย่างไรก็ตามตลาดสำหรับอิฐทนไฟนี้ยังคงอยู่ในวงจำกัด

ยังมีการนำขี้เถ้าไปใช้ในฐานะที่เป็นแหล่งซิลิกาอีกมากมาย รวมไปถึงการใช้ขี้เถ้าที่ละเอียดเป็นสารช่วยการแขวนลอย(suspension agent) ในพอร์ซีเลนอีนาเมล ขี้เถ้ายังใช้ในการทำแก้วซิลิกา (silica glasses) ชนิดพิเศษหรือทำเป็นแก้วโซดา (soda-lime glasses) โดยแกลบนั้นถูกนำไปทำกับด่างก่อนนำมาเผา

กล่าวได้ว่าขี้เถ้าแกลบที่มีคาร์บอนต่ำเป็นแหล่งดีเลิศสำหรับก่อนนำมาเผาซิลิเกต การไม่มีคาร์บอนและสารอินทรีย์ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ขี้เถ้าที่เหลือจากกระบวนการผลิตซิลิกาคลอไรด์เหมาะสำหรับการนำมาผลิตซิลิเกต

2.2ปฏิกิริยา Hydration และ ปฏิกิริยา Pozzolan

2.2.1 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration)เป็นปฏิกิริยาหลักของการเปลี่ยนสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้เป็นสารเชื่อมและสานเพื่อพัฒนากำลังรับแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สารประกอบที่สำคัญต่อการพัฒนากำลังที่จะศึกษา คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับน้ำแล้วจะเกิดสารประกอบแคลเซียมไฮเดรท (Calcium silicate hydrate, (CSH)) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydrate, $Ca(OH)_2$) อีกประมาณ 20-25%

ขั้นตอนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น คือ เมื่อผงซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำแล้ว จะเกิดเป็น Hydrate Compound โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C2S) จะแตกตัวเป็น 2ส่วน ซึ่งสมการเคมีได้ดังนี้

$$2(3CaO\ SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO\ SiO_2\ 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2(2CaO\ SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO\ SiO_2\ 3H_2O + Ca(OH)_2$$

ปฏิกิริยานี้จะดำเนินไปเรื่อยๆ โดยแคลเซียม (CaO)จะแยกตัวออกมาจาก แคลเซียมซิลิเกต ($CaO\ SiO_2$) ไปเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จนสารละลายนั้นอิ่มตัวด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต ($CaO\ SiO)_2$ ทำปฏิกิริยาไปจนหมดจากสารละลาย

สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทั้ง 2 ส่วน คือ

1. Calcium Silicate Hydrate, CSH มีสูตรเคมีเป็น $3CaO\ SiO_2\ 3H_2O$ ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน

2. Calcium Hydroxide มีสูตรเคมีเป็น $Ca(OH)_2$แคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระนี้สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีกถ้ามีธาตุที่เหมาะสมมาร่วมกันทำปฏิกิริยา

2.2.2ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) ขี้เถ้าลอยและขี้เถ้าแกลบเป็นสารปอซโซลาน ความหมายของปอซโซลานหมายถึงวัสดุที่ไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ แล้วก่อตัวเป็นสารเชื่อมประสานดังนั้นเมื่อใส่วัตดุปอซโซลานในส่วนผสมซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) จากวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงแรก โดยอาจจะเขียนเป็นดังสมการเคมีได้ดังนี้

$$3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 \longrightarrow 3CaO\ SiO_2\ 3H_2O$$

$$3Ca(OH)_2 + 2Al_2O_3 \longrightarrow 3CaO\ 2Al_2O_3 3H_2O$$

สารประกอบ $3CaO\ 2SiO_2 3H_2O$ และ $3CaO\ 2Al_2O_3\ 3H_2O$ เป็นสารที่เพิ่มกำลัง จะสังเกตว่าปฏิกิริยานี้จะเกิดช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นด้วย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือวัสดุ และวิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้ขี้เถ้าแกลบมาเป็นส่วนผสมแทนปูนซีเมนต์Portland และทำการทดสอบความสามารถในการเทได้ จึงใช้เครื่องมือ และวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่องมือทดสอบต่างๆดังนี้

1.อุปกรณ์ชุดทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด

2.อุปกรณ์ชุดผสม และหล่อคอนกรีตเข้าแบบมาตรฐานทดสอบกำลังอัด

3.เครื่องมือทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

3.1.2 วัสดุที่ใช้

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่1

2.ทราย

3.หินขนาด ¾”

4.น้ำสะอาด

5.ขี้เถ้าแกลบ

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย สามารถลำดับขั้นตอนการทำงานได้ตามแผนภูมิการปฏิบัติการทดสอบ

1.การออกแบบส่วนผสมที่มีขี้เถ้าแกลบ

2.ผสมคอนกรีตตามที่ได้คำนวณ

3.การทดสอบค่าการยุบตัว ภายใต้มาตรฐาน ASTM C143

4.การบ่มคอนกรีต

5.การทดสอบคอนกรีตมาตรฐาน ASTM C192

3.3 ขั้นตอนในการออกแบบส่วนผสม

3.3.1 ออกแบบกำลังอัด

3.3.2 คำนวณอัตราส่วนผสม

1) fc'=240 ksc ที่ 28 วัน

กำลังที่ต้องการผลิต fc' + ksc= 240+(1.654x30)=289.62 ksc

2) จากแนวทางปฏิบัติทั่วๆไปเห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 cm
3) ข้อกำหนดใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น ¾" หรือ 20 mm
4) เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20mm และค่าความยุบตัว 8-10 cm โดยไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศ จะได้ปริมาตรน้ำที่ต้องใช้ 200 ลิตร/ลบ.ม.ของคอนกรีต
5) สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 289.62 ksc จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องใช้ = 0.55
6) ปริมาตรซีเมนต์ที่ต้องการ =200/0.55= 364 กิโลกรัม
7) หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบเมื่อกำหนดค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียด=2.8 และขนาดโตสุดของวัสดุหยาบเป็น 20mm จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น =0.62 ลบ.ม/ลบ.ม.ของคอนกรีต

   หน่วยน้ำหนักของหิน =1600 กก./ลบ.ม.

   ดังนั้น น้ำหนักของวัสดุผสมหยาบใช้ =0.62x1600 =992 กก./ลบ.เมตรของคอนกรีต
8) หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

   ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

   ปริมาตรของน้ำ = 200 / 1000= 0.200 ลบ ม

   ปริมาตรของซีเมนต์ = 364 / (3.15x1000)= 0.116

   ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ = 992 / (2.70x1000)=0.367

   ปริมาตรของฟองอากาศ = 0.02x1 = 0.02

   ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.703

   ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้ = 1-0.703 = 0.297

   น้ำหนักของทรายแห้ง = 0.297x2.6x1000 = 772 กก

   ฉะนั้นคอนกรีต 1 ลบ ม ต้องใช้

   ซีเมนต์ 364 กก

   น้ำ 200 กก.

   วัสดุผสมหยาบ 992 กก.

   วัสดุผสมละเอียด 772 กก.

3.3.3 การเตรียมวัสดุ

1. ทราย

นำทรายมาล้างให้สะอาดโดยน้ำที่สะอาด โดยสังเกตจากสีของน้ำที่ใช้ล้างทรายให้มีความสะอาดและนำไปผึ่งแดด ให้ทรายอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ดังรูปที่ 3.1

2. ขี้เถ้าแกลบ

นำขี้เถ้าแกลบที่หาได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เก็บไว้ในถังพลาสติก ปิดฝาให้สนิทก่อนที่จะนำมาผสม

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทดสอบหาขนาดคละของทราย

3.4.1.1 ทำความสะอาดทรายที่ได้จากแหล่งให้สะอาด หลังจากนั้นนำทรายไปผึ่งแดด

3.4.1.2 นำตะแกรงมาตรฐาน 4,8,16,50,100 และถาดมาเรียงกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า เปิดสวิตช์เครื่องเขย่าใช้เวลาประมาณ 10 นาทีแล้วปิดสวิชต์

3.4.1.3 ชั่งน้ำหนักทรายที่ค้างบนตะแกรงในแต่ละตะแกรง รวมทั้งทรายที่ค้างในถาดรองด้วยเครื่องชั่งที่อ่านค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม

3.4.1.4 คำนวณร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงในแต่ละขนาด

3.4.1.5 นำเอาค่าร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานแต่ละขนาดมาเขียนกราฟขนาดคละของทราย

3.4.2 การทดสอบหาค่าความยุบตัวและกำลังอัดของคอนกรีต

3.4.2.1 เตรียมตัวอย่างซีเมนต์และขี้เถ้าแกลบตามส่วนผสมที่คำนวณไว้คือร้อยละ 0 , 15 , 25 และ 35

3.4.2.2 ผสมอัตราส่วนผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสม

3.4.2.3 นำซีเมนต์ที่ผสมเสร็จแล้วมาใส่เครื่องทดสอบค่ายุบตัวแล้วทำการวัดค่ายุบตัวและจดบันทึก ดังรูปที่ 3.2

3.4.2.4 นำซีเมนต์ที่ผสมเสร็จเทลงในแบบที่เตรียมไว้ขนาด 15x15x15 ลบ.ซม. แล้วหุ้มด้วยพลาสติกใส

3.4.2.5 เมื่อผ่านไป24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วก้อนคอนกรีตที่ได้ไปแช่ในน้ำที่สะอาดและหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ

3.4.2.6 ทดสอบกำลังอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ ตามอายุ 7 , 14 และ 28 วัน

วิธีทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

1.เช็ดผิวก้อนตัวอย่างคอนกรีตให้แห้ง และทำความสะอาดผิวตัวอย่างด้วยผ้าสะอาดให้แห้ง

2.ชั่งน้ำหนักคอนกรีต

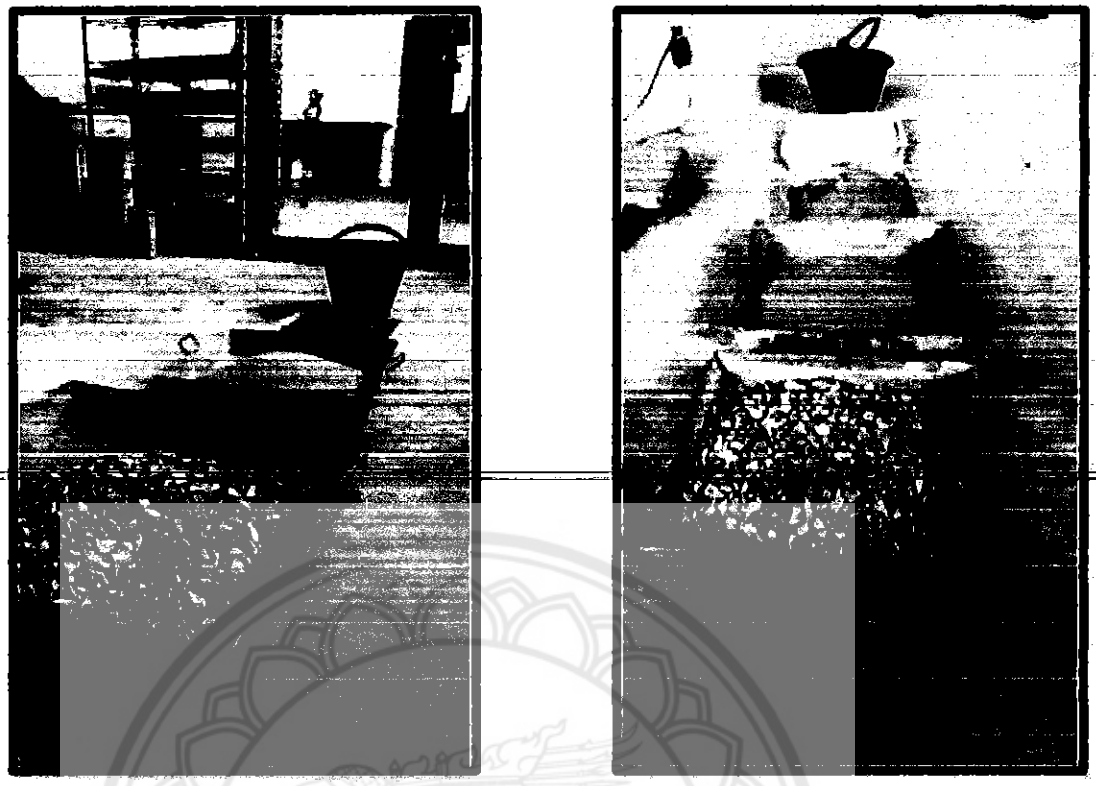
3.ทำความสะอาดผิวแทนกด ทั้งด้านบนและด้านล่างของเครื่องทดสอบแรงกด

4.วางก้อนตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกดแล้วเลื่อนผิวแท่นกดสัมผัสกับก้อนกดตัวอย่างทดสอบให้สนิท

5.ป้อนน้ำหนักลงในเครื่องทดสอบแรงกด

6.เปิดเครื่องทดสอบกำลังอัด สังเกตน้ำหนักกดลงบนก้อนตัวอย่างบนหน้าจอเครื่องกดจนกระทั่งก้อนทดสอบถึงจุดประลัยจนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตก

7.บันทึกค่ากำลังอัดสุดท้าย ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.2 ตัวอย่าง การทดสอบค่ายุบตัว

รูปที่ 3.3 ตัวอย่าง การทดสอบกำลังอัดของก้อนคอนกรีต

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เป็นการแสดงผลที่ได้จากการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ซึ่งจากผลที่ได้ดังกล่าวจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติของขี้เถ้าแกลบ ที่ใช้แทนที่ในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ โดยมีการทดลองดังนี้

4.1 การทดสอบหาขนาดคละของทราย

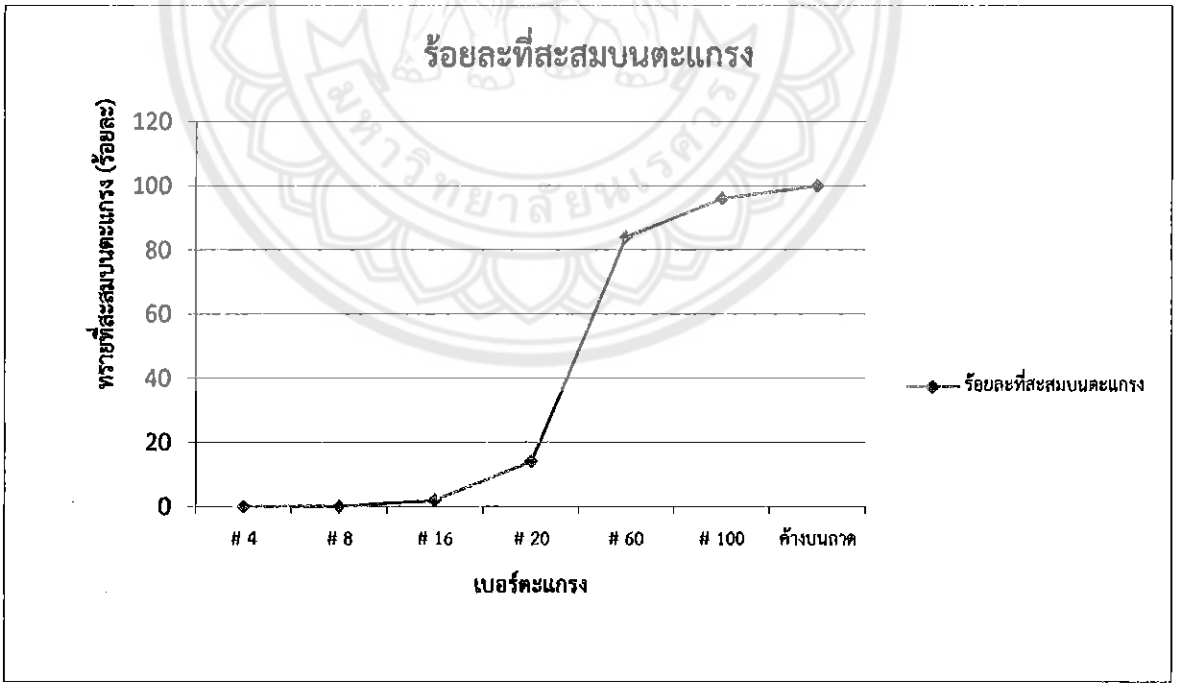
การทดสอบหาขนาดคละของทรายมีคุณสมบัติที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก โดยขนาดคละนั้นเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่3 ซึ่งผลการทดลองหาขนาดคละของทรายแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 และแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงการทดสอบหาขนาดคละของทรายครั้งที่ 1

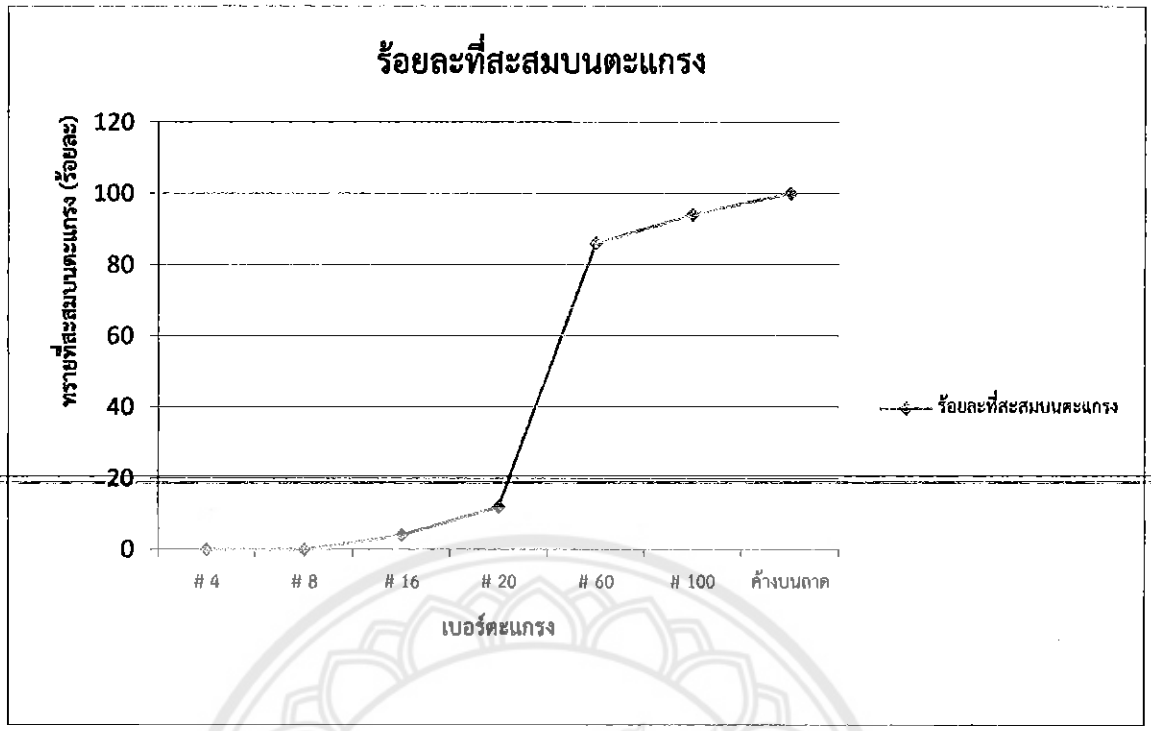
ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง(กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ผ่านบนตะแกรง
เบอร์ 4	0	0	0	100
เบอร์ 8	0	0	0	100
เบอร์ 16	4	2	2	98
เบอร์ 20	24	12	14	86
เบอร์ 60	140	70	84	16
เบอร์ 100	24	12	96	4
ถาด	9	4	100	0
รวม	200	100	-	-

ตารางที่ 4.2 แสดงการทดสอบหาขนาดคละของทรายครั้งที่ 2

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง(กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ผ่านบนตะแกรง
เบอร์ 4	0	0	0	100
เบอร์ 8	0	0	0	100
เบอร์ 16	8	4	4	96
เบอร์ 20	22	8	12	88
เบอร์ 60	144	74	86	14
เบอร์ 100	22	8	94	6
ถาด	12	6	100	0
รวม	200	100	-	-



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงร้อยละของทรายที่สะสมบนตะแกรงครั้งที่ 1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงร้อยละของทรายที่สะสมบนตะแกรงครั้งที่ 2

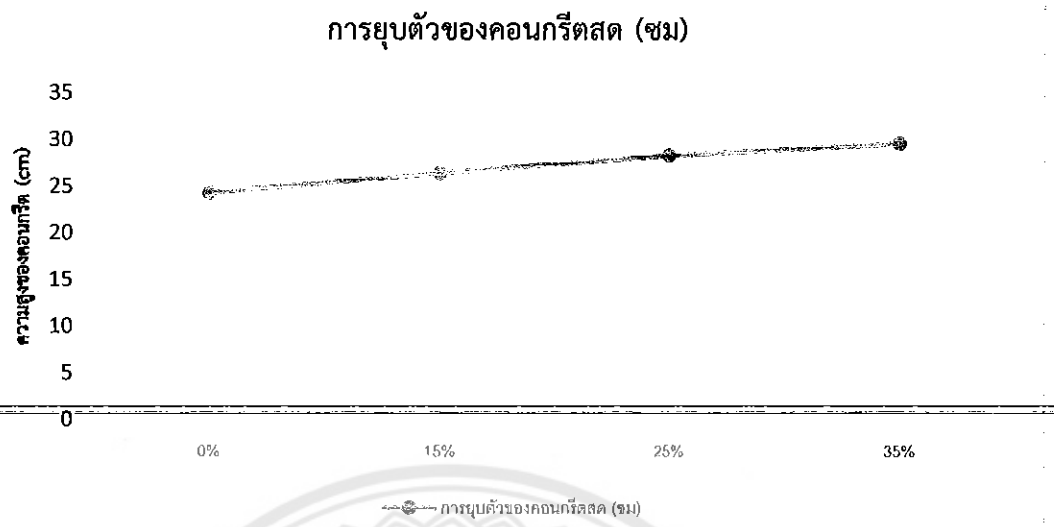
4.2 การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด

ค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีผลต่อความสามารถในการเทได้(Workability) มีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตโดยยิ่งมีค่าการยุบตัวน้อยความแข็งแรงยิ่งสูงขึ้นเป็นการควบคุมปริมาณน้ำไม่ให้มีมากจนเกิดการแยกตัวและเกิดทางน้ำเยิ้มสู่ผิวซึ่งจะทำให้เนื้อคอนกรีตเป็นโพรงเล็กทำให้ความแข็งแรงต่ำลงและอาจเกิดเป็นตามดก่อให้เกิดการรั่วซึมถ้าคอนกรีตนั้นเป็นถังน้ำหรือหลังคาดาดฟ้า

ค่าแสดงในตารางที่ 4.3 และกราฟในรูปที่ 4.3 พบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นจาก 24.3 , 26.4 , 28.3 ถึง 29.6 เซนติเมตร เมื่อผสมขี้เถ้าแกลบจาก 0 , 15 , 25 ถึง 35 %

ตารางที่ 4.3 การยุบตัวของคอนกรีตสด

	ผสมขี้เถ้าแกลบที่ 0%	ผสมขี้เถ้าแกลบที่ 15%	ผสมขี้เถ้าแกลบที่ 25%	ผสมขี้เถ้าแกลบที่ 35%
การยุบตัวของคอนกรีตสด (ซม)	24.3	26.4	28.3	29.6



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความยุบตัวของคอนกรีตสด

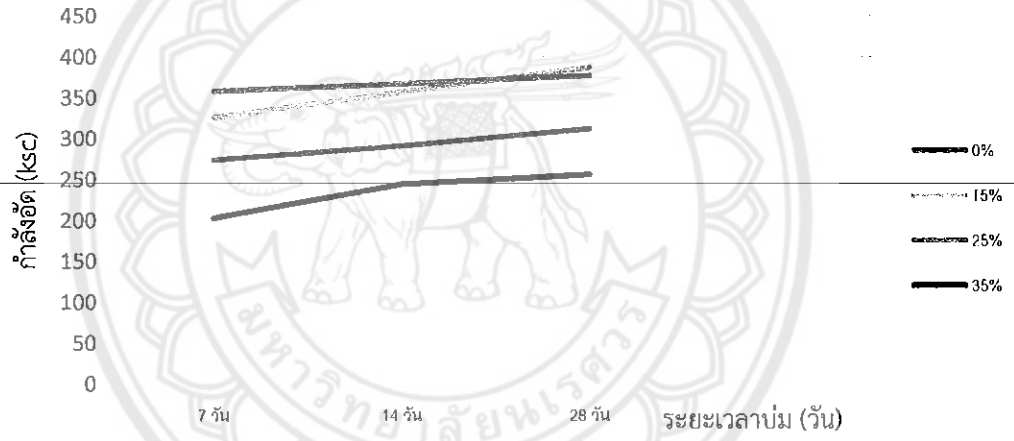
4.3 การทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีต

ค่าความสัมพันธ์ ระหว่างกำลังอัดของขี้เถ้าแกลบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มที่อัตราส่วนต่างๆของขี้เถ้าแกลบ

ผลที่ได้จากการทดสอบการรับกำลังอัดของขี้เถ้าแกลบสามารถนำมาใช้แสดงความสัมพันธ์ของค่าการรับกำลังอัดของขี้เถ้าแกลบที่มีอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อขี้เถ้าแกลบที่เปลี่ยนไปกับระยะเวลาการบ่ม คือ 7,14 และ 28 วัน ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่า ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม และค่ากำลังอัดมีค่าสูงสุดที่สัดส่วนขี้เถ้าแกลบ 15%-25% ค่ากำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อขี้เถ้าแกลบมีสัดส่วน 35% และมีกำลังอัดสูงสุดที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

ตารางที่ 4.4 การรับกำลังอัดของคอนกรีต

	กำลังอัดที่0% (ksc)	กำลังอัดที่15% (ksc)	กำลังอัดที่25% (ksc)	กำลังอัดที่35% (ksc)
7วัน	274	326	358	203
14วัน	291	357	367	244
28วัน	312	387	377	256



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการรับกำลังอัดของคอนกรีต

4.4 การเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัดที่อัตราส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบ

จากตารางที่ 4.5ตารางที่ 4.6และรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยเราทดสอบที่ระยะการบ่ม 7 , 14 และ 28 วันตามลำดับ สังเกตค่ากำลังอัดที่ได้จะมีการเพิ่มของกำลังอัดทุกช่วงเวลาของการบ่ม จนสูงสุดที่28วัน และค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นสูงที่สัดส่วนขี้เถ้าแกลบ 15%-25% แต่มีค่าลดลงที่สัดส่วน 35%

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดคิดเทียบกับกำลังอัดที่0%

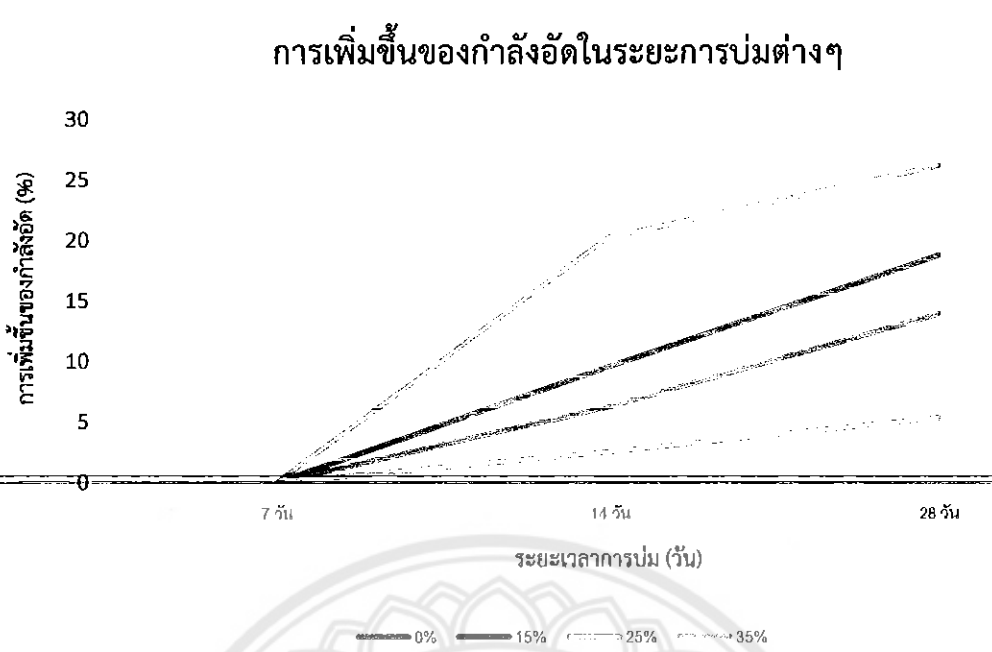
	กำลังอัดที่0%	กำลังอัดที่15%	กำลังอัดที่25%	กำลังอัดที่35%
% การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ระยะเวลาการบ่ม 7วัน (%)	0	18.978	30.657	-25.912
% การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ระยะเวลาการบ่ม 14วัน (%)	0	22.680	26.117	-16.151
% การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ระยะเวลาการบ่ม 28วัน (%)	0	24.039	20.833	-17.949

*(คิดเทียบกับกำลังอัดที่ 0%)

ตารางที่ 4.6 การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดในระยะการบ่ม

	7 วัน	14 วัน	28 วัน
การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ 0% (%)	0	6.204	13.869
การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ 15% (%)	0	9.509	18.712
การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ 25% (%)	0	2.514	5.307
การเพิ่มขึ้นของกำลังอัด* ที่ 35% (%)	0	20.197	26.108

*(คิดเทียบกับกำลังอัดที่7วัน)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดในระยะการบ่มที่ 7,14และ 28 วัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบ การยุบตัวของคอนกรีต และการหาค่ารับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปหาค่าความสัมพันธ์ได้ดังนี้

1. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นจาก 24.3 ถึง 29.6 เซนติเมตร เมื่อผสมขี้เถ้าแกลบในอัตราส่วนที่กำหนด
2. ที่ระยะการบ่ม 7 , 14 และ 28 วัน สังเกตค่ากำลังอัดที่ได้จะมีการเพิ่มของกำลังอัดทุกช่วงของการบ่ม จนมาสิ้นสุดที่28วัน ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงสุด
3. ปริมาณสัดส่วนของขี้เถ้าแกลบที่ 15% เหมาะสำหรับงานก่อสร้างมากที่สุด เนื่องจากมีกำลังอัดและ การยุบตัวที่เหมาะสม
4. ในการผสมของขี้เถ้าแกลบที่ 35% จะมีความสามารถในการรับแรงอัดได้ต่ำลง เพราะขี้เถ้าแกลบได้ไปแทนที่ในเนื้อซีเมนต์มากเกินไป

ข้อเสนอแนะ

ผู้ทดลองที่จะนำไปต่อยอด หรือ การทดลองครั้งต่อไป ควรจะทดลองดังนี้

- ทดลองผสมขี้เถ้าแกลบต่อปริมาณซีเมนต์ ในอัตราส่วนน้อยๆ เช่น ร้อยละ 5,10,15 เป็นต้น
- ทดลองควบคุมคุณภาพของขี้เถ้าแกลบที่นำมาผสม เช่น ความชื้น เวลาเผา เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. การประชุมใหญ่วิชาการทางด้านวิศวกรรม เรื่องการใช้ขี้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานในคอนกรีตกำลังสูง. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2539

2. ชัชวาล เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่7. กรุงเทพฯ,2542

3. มหาวิทยาลัยนเรศวร, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คู่มือปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555

4. วินิต ช่อวิเชียร์. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่8. กรุงเทพฯ : ดร. วินิต ช่อวิเชียร, 2539

5. สมนึก ตั้งเติมศิริกุล. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมขี้เถ้าลอย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

6. Braja M. Das. Principles of Geotechnical Engineering. 4th ed. Bonton : PWS Publishing, 1997