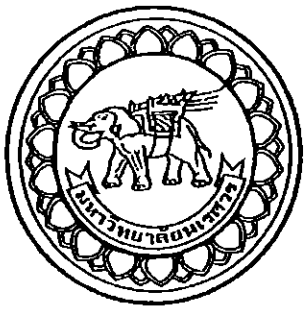


การใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

Utilization of Rice Husk Ash as Cement Replacement in Concrete Block Manufacture

นายรัตน์เกรียงไกร เปาเล้ง รหัส 49361577

นายสุรงค์ โพธิ รหัส 49370425

นายนายสิชล อนันตชัยสิริ รหัส 49370401

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 2 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน 15195895
เลขเรียกหนังสือ ฝร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ส369ก
2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก**		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายรัตน์เกรียงไกร	เปาเล้ง	รหัส 49361577
	นายสุรงค์	โพธิ	รหัส 49370425
	นายสิชล	อนันตชัยศิริ	รหัส 49370401
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. รัฐภูมิ	ปริชาตปรีชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2552		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร. รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร. สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ

(ดร. ปฤษทัศว์ศีตะปันย์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายรัตน์เกรียงไกร	เปาเล้ง	รหัส 49361577
	นายสุรงค์	โพธิ	รหัส 49370425
	นายสิชล	อนันตชัยศิริ	รหัส 49370401
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. รัฐภูมิ	ปริชาตปรีชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2552		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการพัฒนาส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกโดยการใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกของผู้ประกอบการในท้องถิ่นโดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยหลักสามชนิดที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัตถุดิบและคอนกรีตบล็อกคือ ชนิดของแหล่งเถ้าแกลบ ขนาดและความละเอียดของเถ้าแกลบ และปริมาณการแทนที่ของเถ้าแกลบ คุณสมบัติที่ทำการศึกษาคือ ความละเอียดของเถ้าแกลบ โครงสร้างของเถ้าแกลบ ความข้นเหลว ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น การพัฒนากำลังรับแรงอัด และความสามารถในการดูดซึม ด้วยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 0 ถึง 30% โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อใส่ปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความต้องการน้ำและระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น โดยที่กำลังรับแรงอัดจะมีค่าต่ำลง การบดเถ้าแกลบสามารถช่วยลดความพรุนของเถ้าแกลบส่งผลให้เถ้าแกลบมีความละเอียดขึ้น เถ้าแกลบที่ผ่านการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมงมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเถ้าแกลบที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 การแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 30% โดยน้ำหนักในคอนกรีตบล็อก จะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเท่ากับ 26 กก./ซม.^{2} ร้อยละการดูดซึมน้ำ 8.5% ซึ่งมีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานมอก. 58 – 2530 และขนาดของคอนกรีตบล็อกยังเป็นไปตามขนาดของคอนกรีตบล็อกโรงงาน

Project title	Utilization of Rice Husk Ash as Cement Replacement in Concrete Block Manufacture		
Name	Mr. Ratkraingkrai	Paoleng	ID. 49361577
	Mr. Surong	Poti	ID. 49370425
	Mr. Sichon	Anuntachaisiri	ID. 49370401
Project advisor	Dr. Ruttaphum	Prichatprecha	
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2009		

Abstract

This research aims to develop a combination of concrete block by the utilization of rice husk ash(RHA) replace cement partial to a reduction in concrete block manufacture by local operators. In this research was to study and compare the three main factors that affect the properties of raw material and concrete block is types of sources rice husk ash, size and fineness of RHA and volume replacement RHA. The parameter for this study was fineness of RHA, structure of RHA, consistency, setting time, development of compressive strength and ability of absorption with RHA replacement 0 to 30% by weight of binder. The tested result indicated that when increase of RHA result in water demand and setting time of increase but compressive strength for a lower. The ground RHA can reduce the porosity of the resulting RHA has increase fineness. RHA on the ground through a 2 hour feature better RHA to pass through the grill pan number 50. RHA replaced with 30% by weight in concrete blocks to 28 days will be compressive strength equals 26 kg /cm^2 water absorption 8.5% over the standard criteria Industrial Standards. 58-2530 and the size of the concrete block is the size of the concrete block factory.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับทุนอุดหนุนจากจากโครงงานอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี และท่านอาจารย์ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำการทำโครงงาน รวมไปถึงโรงงานเอ๋หล่อเสา โรงสีสิงหวัฒน์ โรงสีเจริญพาณิชย์ และโรงสีมุ่ยเฮง ที่อนุเคราะห์วัตถุดิบและอำนวยความสะดวกในการทำโครงงานครั้งนี้ จึงขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายรัตน์เกรียงไกร เปาเล้ง
นายสุรงค์ โพธิ
นายสิชล อนันตชัยศิริ

มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....จ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ซ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน.....2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....8
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....8

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....10
2.1 ข้อมูลของเถ้าแกลบในงานคอนกรีต.....10
2.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน.....12
2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา.....14

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....19
3.1 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....19
3.2 วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดสอบ.....19
3.3 วิธีในการทดสอบ.....20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 38

4.1 ผลการเก็บสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก และแหล่งเถ้าแกลบ 38

4.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าแกลบ 39

4.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก 45

4.4 ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงาน 46

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 48

5.1 บทสรุป 48

5.2 ข้อเสนอแนะ 48

เอกสารอ้างอิง 50

ภาคผนวก ก 52

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน.....8

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบจากโรงสีข้าว.....11

3.1 ความคลาดเคลื่อนของอายุตัวอย่าง..... 25

3.2 ความหนาแน่นปรอทและความหนืดของอากาศที่อุณหภูมิต่าง.....33

4.1 ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อก้อนของโรงงาน..... 38

4.2 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกของโรงงาน..... 39

4.3 ข้อมูลแหล่งเถ้าแกลบในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงโรงงาน..... 39

4.4 เปรียบเทียบปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ได้จริงที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบ..... 40

4.5 ผลการทดสอบความละเอียดของเถ้าแกลบ..... 42

4.6 ตารางร้อยละการดูดซึมน้ำและขนาดของคอนกรีตบล็อก..... 46

4.7 ตารางเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก..... 47

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย....3

1.2 เครื่องร่อนเถ้าแกลบ....5

1.3 เตรียมเครื่องบดเถ้าแกลบ 6

2.1 ผิวเถ้าแกลบ....11

2.2 ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบกับอุณหภูมิในการเผา....12

4.1 กราฟแสดงความข้นเหลวปกติที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบต่าง ๆ....40

4.2 กราฟแสดงค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบต่าง ๆ.... 40

4.3 กราฟแสดงคุณสมบัติของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์โดยการร่อนเถ้าแกลบ
ด้วยตะแกรงเบอร์ 50.... 41

4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์โดยการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....41

4.5 กราฟแสดงผลการลดลงของกำลังอัดเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมเถ้าแกลบ.....42

4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเถ้าแกลบด้วยเครื่อง SEM(Scanning Electron Microscope)
กำลังขยาย 200 เท่า....43

4.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเถ้าแกลบด้วยเครื่อง SEM(Scanning Electron Microscope)
กำลังขยาย 500 เท่า....43

4.8 โครงสร้างผลึกของเถ้าแกลบ.... 44

4.9 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก....45

4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก....47

ก1 เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต.... 52

ก2 เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด0.001 กรัม....52

ก3 เหล็กเส้นกลม....52

ก4 สายยาง....52

ก5 ถุงมือยาง....52

ก6 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์.....52

ก7 กระบอกตวง.... 53

ก8 เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กิโลกรัม.....53

ก9 เครื่องทดสอบแรงกด.... 53

ก10 แบบหล่อตัวอย่างซีเมนต์เพสต์..... 53

ก11 เครื่องบดเถ้าแกลบ.....53
ก12 เครื่องร่อนเถ้าแกลบ.....53
ก13 ถังบ่มตัวอย่างซีเมนต์เพสต์.....53
ก14 ที่ตัก.....53
ก15 เกรียง.....54
ก16 เทอร์โมมิเตอร์.....54
ก17 เครื่อง Blain Air-Permeability.....54
ก18 เครื่อง x-ray diffraction.....54
ก19 เครื่อง scanning electron microscope.....54
ก20 ถาด.....54
ก21 เครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก.....55
ก22 ขวดเลอแชททีเลียร์.....55
ก23 ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน เบอร์ 50.....55
ก24 หินฝุ่น.....55
ก25 เถ้าแกลบ.....55
ก26 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราเพชร.....55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

โดยทั่วไปแล้วต้นทุนที่สำคัญที่สุดในการผลิตคอนกรีตบล็อกคือปูนซีเมนต์ เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่ราคาสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับหินฝุ่นและทราย นอกจากนั้นแล้วปูนซีเมนต์ยังเป็นวัสดุที่ทำหน้าที่เชื่อมประสานให้เกิดการยึดจับกันของหินฝุ่นในกระบวนการขึ้นรูป และทำให้อิฐบล็อกมีความสามารถในการรับน้ำหนักเพื่อนำไปใช้งานได้ตามมาตรฐาน ดังนั้นในการลดต้นทุนของผู้ประกอบการจึงมุ่งเน้นที่จะลดการใช้ปูนซีเมนต์ให้ได้มากที่สุดโดยไม่ส่งผลกระทบด้านความสามารถในการรับน้ำหนัก ยิ่งไปกว่านั้นในการลดการใช้ปูนซีเมนต์ยังถือเป็นการลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่งด้วยโดย P.K. Metha (2002) ได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ และได้รายงานไว้ว่าในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันจะมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศในปริมาณเท่ากัน นอกจากนี้อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตปูนซีเมนต์รวมกันทั่วโลกถือว่าเป็นตัวการที่สำคัญในกระบวนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน(Global Warming) ดังนั้นการลดการใช้ปูนซีเมนต์จึงถือเป็นการลดภาวะโลกร้อนอีกทางหนึ่งด้วย

ประเทศไทยถือเป็นแหล่งปลูกข้าวอันดับต้นๆของโลก ทำให้มีแกลบที่ได้จากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตันต่อปี เมื่อนำแกลบไปเผาจะได้เถ้าแกลบ (rice husk ash) ในปริมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักแกลบที่นำไปเผา(ปริญญาและชัย, 2547) ซึ่งหากคำนวณปริมาณเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาในแต่ละปีจะพบว่ามีอยู่เกือบ1ล้านตัน จากการศึกษาของ Chindaprasert (1983) พบว่าการเผาแกลบที่อุณหภูมิในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้แกลบสีเทาขาว มีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) มีความพรุนสูง สามารถนำมาใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานได้ ส่วนแกลบที่ได้จากโรงสีเป็นแกลบดำมีความเป็นอสัณฐานน้อยกว่าแต่หากนำมาบดให้ละเอียดก็จะสามารถนำมาใช้แทนปูนซีเมนต์ได้บางส่วนเช่นกัน และยังพบอีกว่าการบดเถ้าแกลบให้มีขนาดเล็กยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาและลดความพรุนในเถ้าแกลบได้อีกด้วย

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าแกลบที่ได้จากแหล่งต่างๆในเขตใกล้เคียงกับพื้นที่โรงงานเป้าหมาย มาศึกษาหาความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก และนำเถ้าแกลบดังกล่าวไปพัฒนาส่วนผสมโดยมุ่งเน้นใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยไม่กระทบต่อคุณสมบัติสำหรับการใช้งานตามมาตรฐาน อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิต ลดการใช้ปูนซีเมนต์และยังเป็นการกำจัดของเสียอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาแนวทางในการนำเถ้าแกลบมาใช้ประโยชน์ในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก จากวัตถุประสงค์หลักดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็นวัตถุประสงค์ย่อยได้ดังนี้

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าแกลบจากแหล่งต่างๆ สำหรับพิจารณาหาแหล่งที่เหมาะสมกับการใช้งานในการทำคอนกรีตบล็อก

1.2.2 เพื่อหาขนาดของเถ้าแกลบที่เหมาะสมสำหรับการทำคอนกรีตบล็อก

1.2.3 เพื่อพัฒนาส่วนผสมที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานทั้งทางด้านประสิทธิภาพและราคา

1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางสำหรับโรงงานคอนกรีตบล็อกอื่นๆ ในการนำเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ทำให้เกิดองค์ความรู้แก่ประชาชนและผู้ประกอบการในการใช้เถ้าแกลบเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.3.2 ทำให้ลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผู้ประกอบการผลิตอิฐบล็อก

1.3.3 เพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขันให้กับผู้ประกอบการ

1.3.4 เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้และลดภาวะโลกร้อน

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 เถ้าแกลบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นวัสดุที่ได้จากโรงสีข้าว 3 โรงสีในจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ โรงสีเจริญพาณิชย์ โรงสีสิงหวัฒน์และโรงสีมุ่ยเฮง โดยเถ้าแกลบที่จะทำมาทดสอบคุณสมบัติจะพิจารณาจากระยะทางจากโรงสีถึงโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก, ราคาเถ้าแกลบและอุณหภูมิในการเผาเถ้าแกลบ

1.4.2 ขนาดของเถ้าแกลบที่ใช้ในการทดลองคือ เถ้าแกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันเบอร์ 50 และที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยประยุกต์ใช้วิธีของสรรค์ และพิชัย (พ.ศ. 2540)

1.4.3 อัตราการแทนที่ระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบคือ 100:0(Control), 90:10, 85:15, 80:20, 75:25 และ 70:30

1.4.4 หินฝุ่นที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่ได้จากโรงงานเอ๋หล่อเสา

1.4.5 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราเพชร

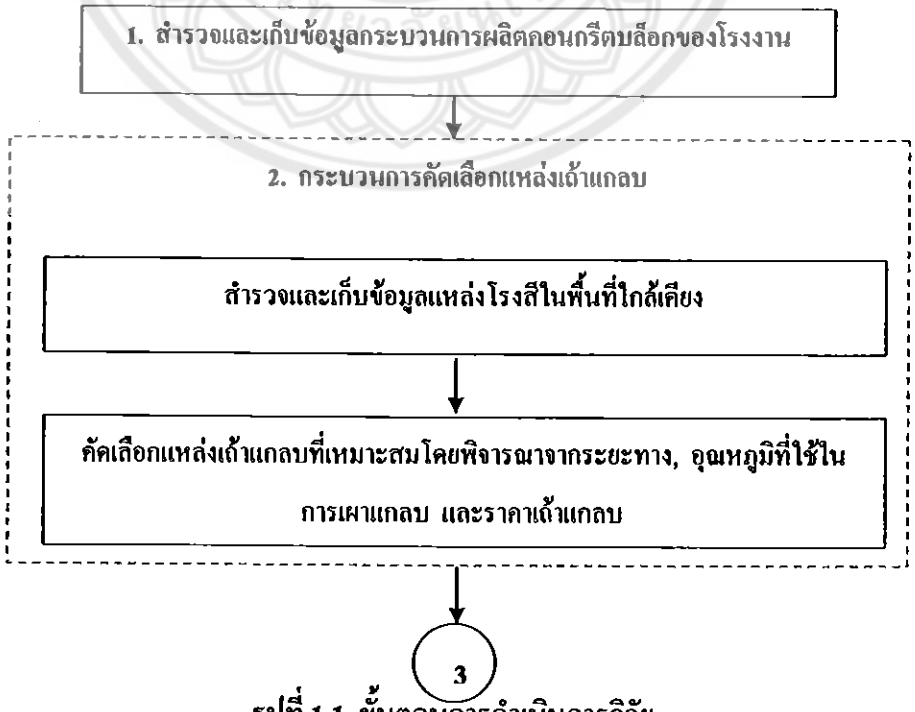
1.4.6 การทดสอบคุณสมบัติซีเมนต์เพสต์สดและแข็งตัวเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM

1.4.7 การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกแข็งตัวและการดูดซึมน้ำเป็นไปตาม มอก. (มาตรฐานอุตสาหกรรม) 58 – 2530

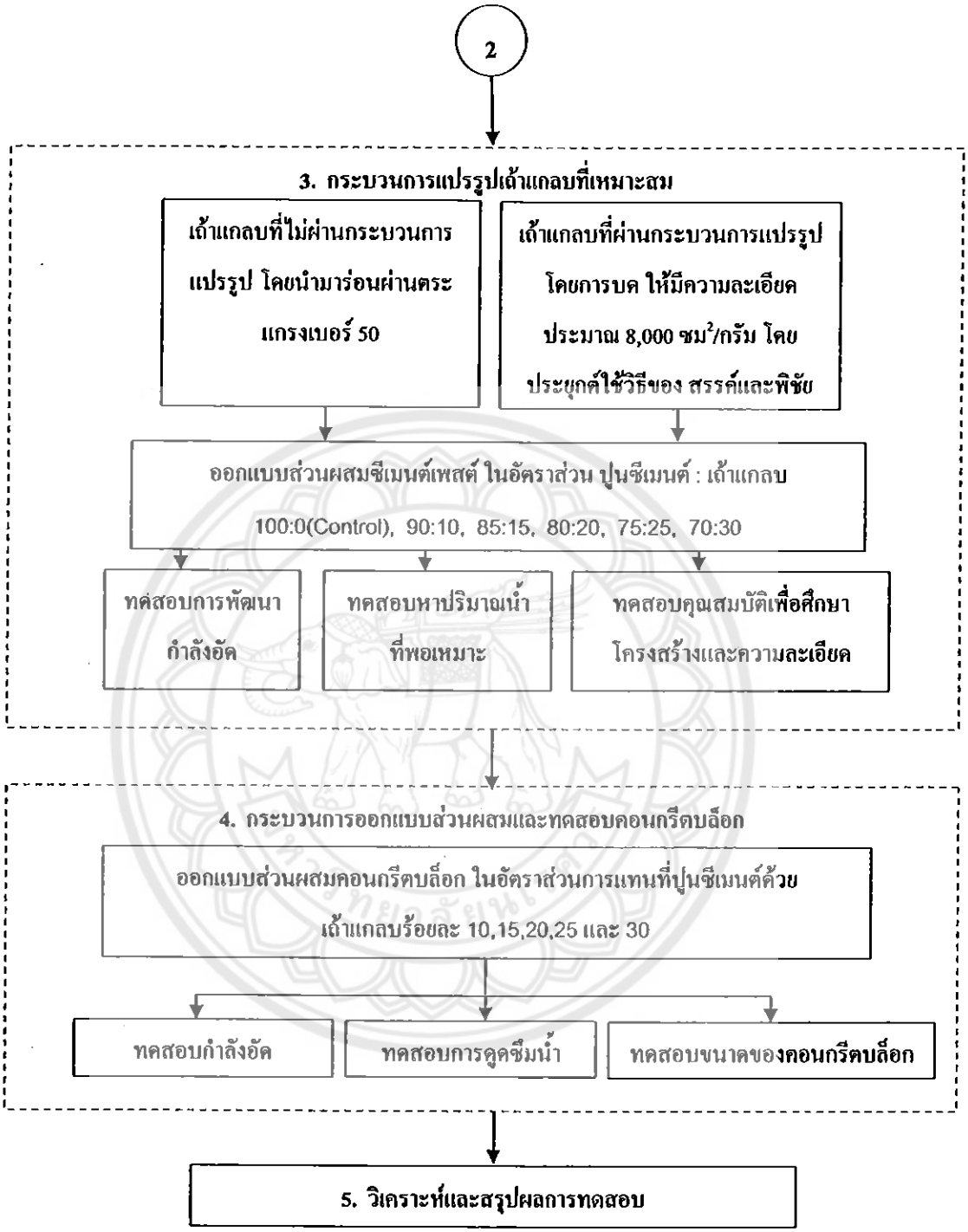
1.4.8 ขนาดของคอนกรีตบล็อกจะพิจารณาขนาดของคอนกรีตบล็อกจากโรงงานเป็นเกณฑ์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

แนวทางการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนหลักได้ห้าขั้นตอนคือ สำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงาน, กระบวนการคัดเลือกแหล่งเถ้าแกลบ, กระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบ, กระบวนการออกแบบส่วนผสมและทดสอบคอนกรีตบล็อก และวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

โดยมีรายละเอียดการดำเนินการวิจัยแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. สำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงานดังนี้
   1.1 สัดส่วนผสม
   1.2 ต้นทุนการผลิต
   1.3 ปริมาณการผลิต
2. กระบวนการคัดเลือกแหล่งเถ้าแกลบ
   2.1 สำรวจและเก็บข้อมูลแหล่งเถ้าแกลบในพื้นที่ใกล้เคียงโรงงานดังนี้
      2.1.1 ระยะทางจากแหล่งเถ้าแกลบถึงโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก
      2.1.2 ราคาเถ้าแกลบ
      2.1.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเถ้าแกลบ
   2.2 คัดเลือกแหล่งเถ้าแกลบที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากการเก็บข้อมูลข้อ 2.1
3. กระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบที่เหมาะสม
   3.1 เถ้าแกลบที่ได้จากโรงสีข้าวจะผ่านกระบวนการตากแดดเพื่อลดปริมาณความชื้นให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 10% แล้วเข้าสู่กระบวนการทดสอบเถ้าแกลบโดยแบ่งเป็น 2 วิธี
      3.1.1 แกลบที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 โดยมีกระบวนการดังนี้

รูปที่1.2 เครื่องร่อนเถ้าแกลบ

1) นำเถ้าแกลบที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นแล้วใส่ลงในตะแกรงเบอร์50 ประมาณ50กรัม
2) เปิดเครื่องร่อนทรายทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 3 นาที
3) นำเถ้าแกลบที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 หาคุณสมบัติของเถ้าแกลบ

3.1.2 แกลบที่ผ่านกระบวนการแปรรูปโดยการบดให้มีความละเอียดประมาณ 8,000 ซม^2/กรัม โดยประยุกต์ใช้วิธีของสรรค์และพิชัย(2540) โดยมีกระบวนการดังนี้

ก) ข)

ค)

รูปที่ 1.3 เตรียมเครื่องบดเถ้าแกลบ ก) เหล็กเส้นที่หุ้มด้วยสายยาง ข)นำเหล็กเส้นที่หุ้มด้วยสายยางใส่เครื่องบด ค) เครื่องบดเถ้าแกลบ

1) ใส่เหล็กเส้นกลมขนาด 12 มม.และ15 มม.ที่หุ้มด้วยสายยางแล้วนำใส่เครื่องบดที่ 1% โดยปริมาตรของเครื่องบด ด้วยเครื่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 71 เซนติเมตร กว้าง 51 เซนติเมตร ความเร็ว 31 รอบ/นาที
2) ใส่เถ้าแกลบ 3000 กรัมแล้วเปิดเครื่องบดทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง

3.2 ออกแบบอัตราส่วนปูนซีเมนต์:เถ้าแกลบ ที่อัตราส่วน 100:0(Control), 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30 เพื่อทดสอบคุณสมบัติดังนี้

3.2.1 ทดสอบการพัฒนากำลังอัด โดยการหล่อซีเมนต์เพสต์ขนาด 5 x 5 x 5 ซม. ที่อายุของตัวอย่าง 1, 3, 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบได้จากการหาค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่างรวมทั้งสิ้น132 ตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C 109 และ ASTM C 305

3.2.2 ทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม โดยทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์และระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM C 187 ASTM C 191

3.2.3 ทดสอบคุณสมบัติเพื่อศึกษาโครงสร้างและความละเอียด

1) ศึกษาโครงสร้างโดยวิธี SEM (Scanning Electron Microscope)

2) หาความละเอียดโดยวิธี Blaine Air Permeability Test

3) วิเคราะห์โครงสร้างผลึกโดยวิธี XRD (X-Ray Diffraction)

3.2.4 คัดเลือกกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมเพื่อใช้ในกระบวนการออกแบบส่วนผสมและทดสอบคอนกรีตบล็อกจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าแกลบข้างต้น

4. กระบวนการออกแบบส่วนผสมและทดสอบ โดยออกแบบส่วนผสมคอนกรีตบล็อกในอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 0(Control), 10, 15, 20, 25 และ 30 ทำการทดสอบคุณสมบัติดังนี้

4.1 คุณสมบัติกำลังรับแรงอัดที่อายุของตัวอย่าง 3, 7,14 และ28 วัน ผลการทดสอบได้จากการหาค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 72 ตัวอย่าง โดยจะมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 25 กก./ซม^2 ตามมาตรฐานมอก. 58 - 2530

4.2 ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำโดยนำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่อายุ 28 วัน นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน(1440 นาที) แล้วหาค่าการดูดซึมน้ำจากการหาค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 18 ตัวอย่าง โดยจะมีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกิน 25% ตามมาตรฐานมอก. 58 – 2530

4.3 หาขนาดของคอนกรีตบล็อกโดยใช้คอนกรีตบล็อกตัวอย่างที่อายุ 28 วัน โดยมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากคอนกรีตบล็อกของโรงงานไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

5. วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ย.52				ธ.ค.52				ม.ค.53				ก.พ.53			
	สัปดาห์				สัปดาห์				สัปดาห์				สัปดาห์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
สำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงาน	←	→														
กระบวนการคัดเลือกแหล่งเถ้าแกลบ		←	→													
ศึกษากระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบและทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติ					←	→										
กระบวนการออกแบบส่วนผสมและทดสอบคอนกรีตบล็อก									←	→						
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ													←	→		

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

แบ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการออกเป็น 2 หมวดดังนี้

1.7.1 หมวดค่าวัสดุ

ก. ค่าวัสดุสำหรับการทดสอบซีเมนต์เพสต์ 1,000 บาท

ข. ค่าวัสดุสำหรับการทดสอบคอนกรีตบล็อก

(ปูนซีเมนต์ หินฝุ่น ทราย สารผสมเพิ่มและวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ) 2,000 บาท

ค. ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์ 500 บาท

ง. ค่าวัสดุสำหรับการปรับปรุงเพื่อทำเครื่องบดเถ้าแกลบ 2,000 บาท

1.7.2 หมวดค่าใช้สอย

ก. ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเก็บข้อมูล 1,000 บาท

ข. ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายวัสดุ 1,500 บาท

ค. ค่าใช้จ่ายในการทดสอบ XRD และ SEM	3,000 บาท
รวมเป็นเงิน	11,000 บาท

(หนึ่งหมื่นหนึ่งพันบาทถ้วน)

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งจะมีส่วนผสมของ หิน ทราย น้ำ และปูนซีเมนต์ในกระบวนการผลิต ปูนซีเมนต์ถือเป็นส่วนผสมที่สำคัญต่อต้นทุนการผลิต ถ้าสามารถลดปูนซีเมนต์ได้โดยไม่ทำให้ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จะสามารถช่วยให้โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ส่วนหนึ่ง ในปัจจุบันมีผู้สนใจใช้วัสดุธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าลอย เถ้าหนัก และเถ้าแกลบ เป็นต้น นำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนโดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนของคอนกรีตบล็อก หรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตบล็อกให้ดีขึ้น

ในบทนี้จึงทำการศึกษาข้อมูลดังต่อไปนี้

- ข้อมูลของเถ้าแกลบในงานคอนกรีต
- ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน
- งานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 ข้อมูลของเถ้าแกลบในงานคอนกรีต

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

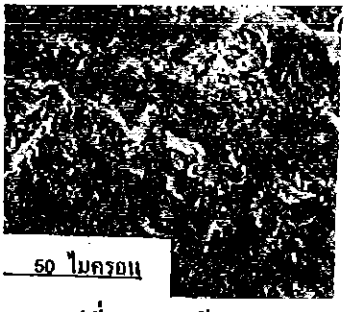
องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบมี SiO_2 สูงมาก ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition หรือ LOI) อุณหภูมิในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุด่าน ดูดน้ำสูง และถ้ามีจำนวนมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และเถ้าแกลบจากโรงสีข้าว

สารประกอบ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (%)	เถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว (%)
SiO_2	20.84	89.95
K_2O	0.22	1.49
Na_2O	0.1	0.07
CaO	66.28	0.5
MgO	1.24	0.23
Fe_2O_3	3.2	1.89
P_2O_5	NA	NA
SO_3	2.41	0.02
Cl	NA	NA
Al_2O_3	5.22	0.54
LOI	0.96	4.7

2.1.2 การบดและลักษณะของเถ้าแกลบเผาบดละเอียด

แกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะยังคงรักษาความพรุนและโครงสร้างเซลล์ไว้ได้ รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุนของเถ้าแกลบเผา แกลบที่เผาแล้วมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในการนำไปใช้เป็นวัสดุปอซโซลานจึงต้องบดเถ้าแกลบให้ละเอียด ให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นความละเอียดที่นำมาใช้งานได้ดี

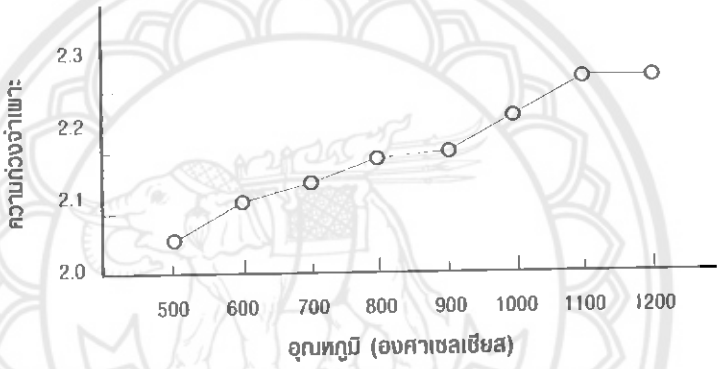


รูปที่ 2.1 ผิวเถ้าแกลบ

2.1.3 คุณสมบัติของเถ้าแกลบ

2.1.3.1 ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธีการเผา เถ้าแกลบที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีสิ่งที่เผาไหม้ไม่หมดและคาร์บอนปนอยู่มากและจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9 – 2.3 และยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผาดังแสดงในรูปที่ 2.2 การเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนลดน้อยลง



รูปที่ 2.2 ความถ่วงจำเพาะเถ้าแกลบกับอุณหภูมิในการเผา

2.1.3.2 ความละเอียดของเถ้าแกลบ

การวัดขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบนิยมใช้พื้นที่ผิวจำเพาะ ความละเอียดของเถ้าแกลบนอกจากขึ้นอยู่กับเวลาและวิธีในการบดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการเผาแกลบ การวัดพื้นที่ผิวนิยมใช้วิธีของเบลนหรือวิธี BET ซึ่งให้ค่าต่างกัน ความละเอียดของเถ้าแกลบวัดโดยวิธีของเบลนอยู่ระหว่าง 7,000 – 14,000 ซม^2/ก และระหว่าง 20 – 150 ม^2/ก เมื่อวัดโดยวิธี BET ดังนั้นการวัดความละเอียดโดยวิธีพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าแกลบต้องระบุวิธีวัดให้ชัดเจน

2.2 ปฏิกิริยาไฮรเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน

2.2.1 ปฏิปฏิกิริยาไฮรเดรชั่นและปฏิกิริยาปอซโซลาน

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นปฏิกิริยาหลักในการเปลี่ยนแปลงสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้เป็นสารเชื่อมประสานเพื่อพัฒนากำลังของคอนกรีต สารประกอบที่สำคัญต่อการพัฒนา

กำลังอัด คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และ ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เมื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับน้ำแล้วจะเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท Calcium silicate Hydrate (CSH) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Calcium Hydrate, $Ca(OH)_2$

โดยขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยา คือ เมื่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำแล้วจะเกิดเป็นไฮเดรท คอมพาวด์ (Hydrate Compound) โดยไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) และไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) จะแตกตัวออกเป็น 2 ส่วนเป็นไปตามสมการเคมีดังนี้

$$2C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3CH \qquad (2.1)$$

$$2C_2S + 4H \longrightarrow C_3S_2H_3 + CH \qquad (2.2)$$

เมื่อ C = CaO

S = SiO_2

H = H_2O

A = Al_2O_3

ปฏิกิริยานี้จะดำเนินต่อไป โดยแคลเซียมออกไซด์ CaO จะแยกตัวออกมาจากแคลเซียมซิลิเกต CaO SiO_2 เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ จนสารละลายเริ่มอิ่มตัวด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$หรือสารประกอบแคลเซียมซิลิเกต CaO SiO_2 ทำปฏิกิริยาจนหมดสารประกอบที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทั้ง 2 ส่วนคือ

1. แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรท ($3CaO\ SiO_2\ 3H_2O$) ซึ่งเป็นสารเชื่อมประสาน
2. แคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ แคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระนี้สามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้ ถ้ามีธาตุที่เหมาะสมมาร่วมทำปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (POZZOLANIC REACTION) ความหมายของปอซโซลานนั้นหมายถึง วัสดุซึ่งตัวมันเองไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน แต่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระ แล้วก่อตัวเป็นสารเชื่อมประสานดังนั้นเมื่อใส่วัสดุปอซโซลานในส่วนผสมซิลิกา SiO_2 และ อลูมินา Al_2O_3 จากวัสดุปอซโซลานจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระซึ่งเป็นสารประกอบที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงแรก โดยมีสมการเคมีดังนี้

$$3CH + 2S \longrightarrow C_3S_2H_3 \quad (2.3)$$

$$3CH + 2A \longrightarrow C_3A_2H_3 \quad (2.4)$$

เมื่อ C = CaO

S = SiO_2

H = H_2O

A = Al_2O_3

สารประกอบแคลเซียมซิลิเกทไฮเดรท $3CaO\ 2SiO_2\ 3H_2O$ และสารประกอบอลูมิเนทไฮเดรท $3CaO\ 2Al_2O_3\ 3H_2O$ เป็นสารประกอบที่ทำให้กำลังคอนกรีตเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาปอซโซลาน จากข้อมูลพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ และการแทนที่เถ้าแกลบในปูนซีเมนต์บางส่วน เมื่อปฏิกิริยาเกิดช้าจะเป็นการลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลงด้วย

2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกดังนั้นความเดิมและงานวิจัยที่ผ่านมาจะมุ่งเน้นด้านการใช้ปอซโซลานในงานคอนกรีตรวมทั้งด้านการผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยการเปลี่ยนแปลงและแทนที่สัดส่วนผสมด้วยวัสดุปอซโซลาน

2.3.1 งานวิจัยที่ผ่านมาทางด้านการใช้ปอซโซลานในงานคอนกรีต

2.3.1.1 การใช้ปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์โดยไม่ใช้สารผสมเพิ่ม

สรนัย เงินประถม, อำนาจ หวังเลิศสกุลชัย (2543) พบว่า กำลังอัดของแท่งทดสอบที่ผสมเถ้าถ่านหินบิทูมินัสในอัตราร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วัน มากที่สุดเท่ากับ 346.11 กก./ซม^2 หรือคิดเป็นร้อยละ 107.78 ของกำลังอัดจากแท่งทดสอบปกติที่อายุเดียวกัน ส่วนแท่งทดสอบที่ผสมเถ้าแกลบในอัตราร้อยละ 20 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วันมากที่สุดเท่ากับ 323.04 กก./ซม^2 หรือคิดเป็นร้อยละ 100.60 ของกำลังอัดจากแท่งทดสอบปกติที่อายุเดียวกัน ส่วนแท่งทดสอบที่นำเถ้าถ่าน

หินบิทูมินัสผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วน 5:5 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วัน มากที่สุดเท่ากับ 315.35 กก./ซม^2 หรือคิดเป็นร้อยละ 98.20 ของกำลังอัดจากแท่งทดสอบปกติที่อายุเดียวกัน

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, ทวิสัณห์ คงทรัพย์ (2545) พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจะมีการหดตัวแบบแห้งและความลึกของปฏิกิริยาคาร์-บอเนชั่นสูงกว่าคอนกรีตปกติ โดยที่การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ร้อยละ 20 จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 40 และความลึกของคาร์บอเนชั่นจะแปรค่าตามอัตราส่วนผลรวมของซิลิคอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์และไอรอน-ออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์ อย่างไรก็ตามการหดตัวแบบออโตจีเนียสและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากสารละลายกรดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

บุรฉัตร ฉัตรวีระ ณรงค์ศักดิ์ มากุล (2547) พบว่า หน่วยน้ำหนักในสภาพสดและค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบขาวบดละเอียดมากมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่โมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วันและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าแกลบขาวบดละเอียดมากเท่ากับร้อยละ 20 และ 30 ที่อายุ 28 และ 60 วัน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ นอกจากนั้นอุณหภูมิเพิ่มสูงสุดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติและมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบขาวบดละเอียดในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้น

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, ณรงศักดิ์ มากุล และอนัญญ์ รอดอนันต์ (2548) พบว่า ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบดำที่บดเป็นเวลา 240 นาที ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการขยายตัวของมอร์ต้าซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบลดลง ในขณะที่มอร์ต้าผสมเถ้าแกลบดำมีค่าอัตราการสูญเสียกำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่อบ่มในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต

ปริญญา จินดาประเสริฐ, อุกฤษฎ์ โข่ศรี (2548) พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบตั้งแต่ 40 – 80% จะมีกำลังต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาที่ 28 วัน แต่ถ้าอายุของคอนกรีดมากขึ้นที่ 90 วัน พบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบจะให้กำลังที่เพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะคอนกรีตที่ผสมทั้งเถ้าลอยและเถ้าแกลบในส่วนผสม 60:20:20 จะมีกำลังที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม ในด้านความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ พบว่า คอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบสามารถต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม

2.3.1.2 การใช้ปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์โดยใช้สารผสมเพิ่ม

บัณฑิต หิรัญสถิตพร (2534) พบว่า การใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% สามารถลดอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ลง 12 ถึง 21% กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นโดยที่การเพิ่มกำลังรับแรงอัดระยะต้นสูงกว่าการเพิ่มกำลังรับแรงอัดระยะปลาย และการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงอัดเดิมต่ำจะสูงกว่าส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงอัดเดิมสูง จากการศึกษาส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์:ขี้เถ้าแกลบ:ขี้เถ้าลอย 100:0:0, 80:20:0, 80:0:20 และ 60:20:20 พบว่าขี้เถ้าแกลบและขี้เถ้าลอยทำให้ความข้นเหลวปกติ กำลังรับแรงดึง การต้านทานสารเคมี การขยายตัว และการหดตัวเมื่อแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนระยะเวลาก่อตัวไม่เปลี่ยนแปลงแต่การคายน้ำลดลง การใส่สารลดน้ำพิเศษ 1.25% จะทำให้ระยะเวลาก่อตัวและกำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นแต่ความข้นเหลวปกติ การคายน้ำ การต้านทานสารเคมี การขยายตัว และการหดตัวเมื่อแห้งลดลง

วันทินี ภูกองชนะ, อรนุช มีชำนาญ (2546) พบว่า ปริมาณสารแคลเซียมคลอไรด์มีผลทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของเพสต์เร็วขึ้น โดยจะทำให้มอร์ต้าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วนมีการรับกำลังอัดสูงขึ้นแต่มีผลต่อกำลังในระยะต้นเท่านั้น ส่วนในระยะปลายมีผลต่อกำลังน้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของมอร์ต้าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบที่เหมาะสมที่สุดคือ การใช้เถ้าแกลบบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 10 และผสมสารแคลเซียมคลอไรด์ลงไปในปริมาณร้อยละ 2.0 จะเป็นการประหยัดปูนซีเมนต์และยังคงสามารถรับกำลังอัดได้มากกว่ามอร์ต้าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน

ชลินธร ชานะมัย, อรรถกฤษณ์ มหาเถตุ (2546) พบว่า การใช้เถ้าแกลบและสารเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีองค์ประกอบของคลอไรด์(ACC)ผสมในมอร์ต้าในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ ใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 30 และผสมสาร ACC ลงไปในปริมาณร้อยละ 2 โดยในอัตราส่วนผสมนี้จะช่วยเร่งกำลังอัดของมอร์ต้าในช่วง 3 วันแรกได้เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 30 และกำลังอัดในอายุ 28 วันจะตกลงกว่าปกติเพียงร้อยละ 7 เป็นการประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์และยังคงสามารถรับกำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ต้าปกติ

3.2.2 งานวิจัยที่ผ่านมาทางด้านการผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยการเปลี่ยนแปลงและแทนที่ฉัดส่วนผสมด้วยวัสดุปอซโซลาน

ภรพนา บุญมาและคณะฯ พบว่า สภาพนำความร้อน ความหนาแน่น และความเค้นอัดของคอนกรีตบล็อกมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมเส้นใยกากปาล์มน้ำมันและผสมเส้นใยชาน

อ้อยมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้นทั้งสองกรณี และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของทั้งสองกรณีคือ 15% โดยปริมาตร กรณีที่ผสมเส้นใยกากปาล์มน้ำมันมีค่าสภาพนำความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความเค้นอัดและค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 1.9411 W/m.K $1.78x10^3$ kg/m^3 $31.24x10^6$ N/m^2 9.42% ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ผสมเส้นใยชานอ้อยมีค่าสภาพนำความร้อน ค่าความหนาแน่น ค่าความเค้นอัดและค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 1.9375 W/m.K $1.91x10^3$ kg/m^3 1.51x106 N/m^2 8.52% ตามลำดับ

คมกริช น่วมจิตร, เชาวลิต เนตรสกุล, ธนากร ประทุมเกตุ พบว่า อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอนน้ำตาลต่อทรายต่อหินที่เหมาะสมคือ (0.80:0.20):2:4 มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 1440 นาที เท่ากับ 5.634 % และ 6.948 % มากกว่าอิฐบล็อกธรรมดาทั่วไปที่มีการดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.858 % ซึ่งตามมาตรฐานมอก. 58 - 2533 ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 25 สำหรับการรับกำลังอัดตามมาตรฐานมอก.58–2533 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25 กก./ซม^2 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน779/2548 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20.39 กก./ซม^2 อิฐบล็อกเมื่อปูนซีเมนต์ถูกแทนที่ด้วยกากตะกอนน้ำตาลทั้ง 2 ตัวอย่าง สามารถรับกำลังอัด เท่ากับ 37.646 กก./ซม^2 และ 35.416 กก./ซม^2 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการรับกำลังอัดสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนด

บุรฉัตร ฉัตรวีระ บัณฑิต รักษาดี (2547) พบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการแทนที่ของเถ้าแกลบในหินฝุ่นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 ในขณะที่หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าแกลบมีค่าลดลง นอกจากนั้นเมื่อร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบในหินฝุ่นมากขึ้นทำให้ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด ค่าการดูดซึมน้ำและการหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

อาทิมา ดวงจันทร์, สุวิมล สัจจวาณิชย์ (2548) พบว่า เมื่อปริมาณการแทนที่เถ้าชานอ้อยเพิ่มขึ้นต้องใช้น้ำในการผสมมากขึ้น เมื่อความละเอียดของเถ้าเพิ่มขึ้นช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมลงได้ร้อยละ 2 – 3 การแทนที่ร้อยละ 20 ให้ผลการพัฒนากำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ต้ามาตรฐานและมีค่าสูงกว่าร้อยละ 1 - 8 สำหรับเถ้าที่มีความละเอียดมากการแทนที่ร้อยละ 30 ให้ผลการพัฒนาในช่วงปลายใกล้เคียงกับมอร์ต้ามาตรฐานและได้เลือกสัดส่วนผสมที่เหมาะสมจากผลการศึกษาในช่วงต้นในการทำวิจัยเพื่อลองผลิตคอนกรีตบล็อกชนิดรับน้ำหนักและไม่รับน้ำหนัก และทดสอบคุณสมบัติทางกลในด้านกำลังอัด พบว่าเถ้าชานอ้อยมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์สำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกราคาถูกได้ โดยสามารถใช้แทนที่ซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 30 ทำให้ช่วยลดราคาลงโดยยังคงคุณสมบัติทางกลตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม

วทัชภพ เดชพันธ์, ประเสริฐ อิ่มนาง (2549) พบว่า เมื่อใช้เถ้าลอยทดแทนในปูนซีเมนต์เป็นปริมาณมากขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกต่ำลง การบ่มโดยคลุมพลาสติกใสทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่ามากกว่ากรณีบ่มในอากาศสูงสุดถึงร้อยละ 47.52

ประชุม คำพุฒ (2550) พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกจะลดลงเมื่อปริมาณอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์สูงขึ้นค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่ากำลังดัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำยางพารา และในด้านของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนั้นมีค่าต่ำมากเท่ากับ 0.139-0.188 วัตต์/เมตร.องศาเคลวิน โดยที่จะแปรผกผันกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปกติที่มีค่าเท่ากับ 0.502 วัตต์/เมตร.องศาเคลวินแล้ว แสดงว่าสามารถนำน้ำยางพารามาใช้เป็นสารผสมเพิ่มช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้นและเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดสอบและวัสดุเครื่องมือ ขั้นตอนการทดสอบ วิธีการคำนวณค่าผลการทดสอบแต่ละวิธีในการทดสอบตามรายละเอียดการดำเนินการวิจัยที่กล่าวไว้ในบทแรก

3.1 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

1. มาตรฐาน ASTM C 187 และมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 8
   (การทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต)
2. มาตรฐาน ASTM C 191 และมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 9
   (การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต)
3. มาตรฐาน ASTM C 109 , 305 และมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1 เล่ม 12 เล่ม 19
   (การทดสอบหากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์)
4. มาตรฐาน ASTM C 204-79 และมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 6-2521
   (ทดสอบหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ด้วยเครื่องมือ Blaine Air-Permeability)
5. มาตรฐานอุตสาหกรรม 58 – 2530
   (การทดสอบหากำลังอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อก)
6. มาตรฐาน ASTM C 108
   (การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮโดรลิก)

3.2 วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดสอบ

1. เถ้าแกลบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นวัสดุที่ได้จากโรงสีข้าว 3 โรงสีในจังหวัดพิษณุโลก ได้แก่ โรงสีเจริญพาณิชย์ โรงสีสิงหวัฒน์และโรงสีมุ่ยเฮง โดยเถ้าแกลบที่จะทำมาทดสอบคุณสมบัติจะพิจารณาจากระยะทางจากโรงสีถึงโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก,ราคาเถ้าแกลบและอุณหภูมิในการเผาเถ้าแกลบ
2. หินฝุ่นที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่ได้จากโรงงานเอ๋หล่อเสา
3. ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราเพชร

3.3 วิธีในการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติของซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบโดยใช้เข็มไวแคต

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติ (Normal Consistency) ของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 187
2) มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 8

วัสดุ

ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบตามอัตราส่วนที่ต้องการทดสอบประมาณ 500 กรัม

เครื่องมือ

1) เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต
2) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
3) หลอดแก้วสำหรับตวงขนาด 200 มล.
4) เกรียงเหล็ก จำนวน 1 อัน
5) ถาดสำหรับผสมซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 1 ใบ
6) ถุงมือยาง 1 คู่

วิธีการทดสอบ

1) ชั่งซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบจำนวน 500 ก. ใส่ลงในถาดสำหรับผสม
2) เกลี่ยซีเมนต์ให้เป็นลักษณะรูปกรวยภูเขาไฟ เทน้ำที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไป (ในการทดสอบครั้งแรกอาจใช้น้ำประมาณ 26% หรือ 130 มล.)ในขณะที่เทน้ำนั้นให้ใช้เกรียงเกลี่ย ซีเมนต์ด้านนอก เข้าไปด้านในด้วยเพื่อกันการระเหยของน้ำให้เทน้ำให้หมดภายในเวลา 30 วินาที
3) ปล่อยให้ซีเมนต์ดูดซึมน้ำเป็นเวลา 30 วินาที ในระหว่างนั้นอาจใช้เกียงช่วยป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออก
4) จากนั้นใช้มือ บีบ นวด ขยำ อย่างแรงเพื่อให้น้ำกับซีเมนต์ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึงเป็นระยะเวลา 90 วินาที
5) จากนั้นใช้มือทั้งสองปั้นซีเมนต์เพสที่ได้ให้เป็นก้อนกลมๆ อย่างรวดเร็วแล้วโยนจากมือหนึ่งไปอีกมือหนึ่งสลับกันไป จำนวน 6 ครั้งโดยให้มือทั้งสองห่างกันประมาณ 15 ซม.

6) ในขณะที่มือข้างหนึ่งถือซีเมนต์เพสรูปกลมอยู่นั้น ให้อัดซีเมนต์เพสเข้าไปทางด้านใหญ่ของแบบแหวนรูปกรวยของเครื่องมือไวแคต ที่ถือไว้ด้วยมืออีกด้านหนึ่ง

7) ปาดซีเมนต์เพสที่เกินออกมาของด้านใหญ่ออก โดยใช้มือเลื่อนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

8) วางแบบด้านใหญ่ลงบนแผ่นแก้ว แล้วปาดซีเมนต์เพสที่เกินอยู่ทางด้านเล็กออก โดยใช้เกรียงตัดเฉียงกับด้านบนของขอบแบบ จากนั้นให้ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย โดยใช้ปลายเกรียงแตะๆ เท่านั้นห้ามไม่ให้อัดซีเมนต์เพสด้วยแรงใดๆทั้งสิ้น

9) วางซีเมนต์เพสให้อยู่ใต้เข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ของเครื่องมือไวแคต (ควรตรวจสอบเครื่องมือก่อนการทดสอบทุกครั้ง)

10) เลื่อนปรายเข็มให้แตะกับผิวของเพสตรงกลางจากนั้นอ่านสเกลหน้าปัด

11) ปล่อยเข็มทันทีเมื่อผสมซีเมนต์เพสเสร็จแล้ว 30 วินาที

12) อ่านสเกลอีกครั้งหลังปล่อยเข็มไป 30 วินาที ซึ่งจะทำให้ทราบได้ว่าเข็มจมลงไปเท่าใด

13) เขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ (เป็น %) กับส่วนที่เข็มจม (เป็น มม.)

14) ทำการทดสอบซ้ำหลาย ๆ ครั้ง (จากข้อ 1- ข้อ 13) โดยใช้ซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง จนกระทั่งสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้กับส่วนที่เข็มจมลงไป 10 มม. ได้จากกราฟปริมาณน้ำที่หาได้ก็คือความข้นเหลวปกติของซีเมนต์นั้นๆ

การคำนวณ

ปริมาณที่ต้องใช้เพื่อให้ความข้นเหลวปกติ ให้คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง โดยคำนวณให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.1 และต้องรายงานให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.5

$$\text{ปริมาณน้ำ \%} = \text{น้ำหนักน้ำที่ใช้ กก.} / \text{น้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง กก.} \times 100 \qquad (3.1)$$

3.3.2 การทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบโดยใช้เข็มแบบไวแคต

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาระยะการก่อตัว (Time of Setting) ของซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบโดยใช้เข็มแบบไวแคต

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 191
2) มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 9

วัสดุ

ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบตามอัตราส่วนที่ต้องการทดสอบประมาณ 650 ก.

เครื่องมือ

1) เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต
2) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 ก.
3) หลอดแก้วสำหรับตวงขนาด 200 มล.
4) เกรียงเหล็ก จำนวน 1 อัน
5) ถาดสำหรับผสมซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบ 1 ใบ
6) ถุงมือยาง 1 คู่

วิธีทดสอบ

1) ชั่งซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบจำนวน 500 ก. ใส่ลงในถาดสำหรับผสม
2) เกลี่ยซีเมนต์ให้เป็นลักษณะรูปกรวยภูเขาไฟ เทน้ำที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงไป (ในการทดสอบครั้งแรกอาจใช้น้ำประมาณ 26% หรือ 130 มล.)ในขณะที่เทน้ำนั้นให้ใช้เกรียงเกลี่ยซีเมนต์ด้านนอก เข้าไปด้านในด้วยเพื่อกันการระเหยของน้ำให้เทน้ำให้หมดภายในเวลา 30วินาที
3) ปล่อยให้ซีเมนต์ดูดซึมน้ำเป็นเวลา 30 วินาที ในระหว่างนั้นอาจใช้เกียงช่วยป้องกันไม่ให้น้ำระเหยออก
4) จากนั้นใช้มือ บีบ นวด ขยำ อย่างแรงเพื่อให้น้ำกับซีเมนต์ผสมเข้ากันอย่างทั่วถึงเป็นระยะเวลา 90 วินาที
5) จากนั้นใช้มือทั้งสองปั้นซีเมนต์เพสที่ได้ให้เป็นก้อนกลมๆ อย่างรวดเร็วแล้วโยนจากมือหนึ่งไปอีกมือหนึ่งสลับกันไป จำนวน 6 ครั้งโดยให้มือทั้งสองห่างกันประมาณ 15 ซม.

6) ในขณะที่มือข้างหนึ่งถือซีเมนต์เพสรูปกลมอยู่นั้น ให้อัดซีเมนต์เพสเข้าไปทางด้านใหญ่ของแบบแหวนรูปกรวยของเครื่องมือไวแคต ที่ถือไว้ด้วยมืออีกด้านหนึ่ง

7) ปาดซีเมนต์เพสที่เกินออกมาของด้านใหญ่ออก โดยใช้มือเลื่อนเพียงครั้งเดียวเท่านั้น

8) วางแบบด้านใหญ่ลงบนแผ่นแก้ว แล้วปาดซีเมนต์เพสต์ที่เกินอยู่ทางด้านเล็กออก โดยใช้เกรียงตัดเฉียงกับด้านบนของขอบแบบ จากนั้นให้ตกแต่งผิวหน้าให้เรียบร้อย โดยใช้ปลายเกรียงแตะๆ เท่านั้นห้ามไม่ให้อัดซีเมนต์เพสด้วยแรงใดๆทั้งสิ้น (หมายเหตุ ขั้นตอนที่ 1-8 เป็นเช่นเดียวกับการทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติของซีเมนต์โดยใช้เข็มไวแคต)

9) หลังจากเตรียมตัวอย่างแล้ว ให้เก็บตัวอย่างไว้ในห้องเก็บความชื้นทันที แล้วเก็บไว้เช่นตลอดเวลา ยกเว้นเวลานำออกมาทอสอบหาระยะเวลาการก่อตัวเท่านั้น

10)ทำการทดสอบหารระยะที่เข็มจมลงไปเมื่อปล่อยเข็มขนาด 1 มม. เมื่อเวลาผ่านไปหลังจากที่เตรียมตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว 30 นาที และทำการทดสอบซ้ำทุกๆ 15 นาที (ทุกๆ 10 นาที สำหรับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสาม) จนกระทั่งได้ระยะเข็มจมน้อยกว่า 25 มม.

11)ในการทดสอบแต่ละครั้งให้เลื่อนปรายเข็มให้แตะกับผิวของซีเมนต์เพสต์ จากนั้นอ่านสเกลหน้าปัดแล้วปล่อยให้เข็มเลื่อนลงทันทีเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นจึงอ่านสเกลอีกครั้ง ทำให้ทราบได้ว่าเข็มจมลงไปเท่าไหร่

12)ในการทดสอบแต่ละครั้งไม่ควรทดสอบใกล้กว่าจุดเดิม 6.4 มม. หรือไม่ควรใกล้กว่า 9.5 มม.จากขอบด้านในของแบบรูปวงแหวน

13)หาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ผ่านไปในขณะที่เข็มจมลงไป 25 มม. จากกราฟ ระยะเวลาหาได้คือ ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์นั้นๆ

หมายเหตุ

1. ค่าที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้ เป็นค่าของระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้น (Initial Setting Time) เท่านั้น
2. ก่อนการทดสอบทุกครั้งควรทำความสะอาดเข็มและตัดเข็มให้ตรงอยู่เสมอ

3.3.3 การการทดสอบหากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบตามอัตราส่วนที่กำหนด ใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 50 มม. (2 นิ้ว)

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 109

2) มาตรฐาน ASTM C 305

วัสดุ

ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบที่ต้องการทดสอบประมาณ 3000 กรัม

เครื่องมือ

1) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 1 กรัม
2) หลอดแก้วสำหรับตวงขนาด 500 มล. จำนวน 1 ใบ
3) แบบหล่อตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50 มม.
4) เกรียงเหล็กจำนวน 1 อัน
5) ถุงมือยางจำนวน 1 คู่
6) ถาดสำหรับผสมซีเมนต์เพสต์จำนวน 1 ใบ
7) เครื่องผสมมอร์ต้า
8) แท่งกระทุ้งขนาด 13 x 25 มม. ยาวประมาณ 120 ถึง 150 มม.
9) เครื่องทดสอบแรงกด (Universal Testing Machine)
10) ภาชนะสำหรับบ่มตัวอย่าง

วิธีการทดลอง

1) ทาน้ำมันลงในแบบหล่อตัวอย่างบางๆ เพื่อสะดวกในการแกะแบบออกได้โดยง่ายและพยายามไม่ให้น้ำปูนไหลออกจากแบบหล่อตัวอย่าง
2) คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ผสมซีเมนต์เพสต์โดยใช้ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความข้นเหลวที่มากที่สุดและน้อยที่สุด
3) เทซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบตามจำนวนที่ต้องการลงในอ่างผสมซีเมนต์เพสต์ ผสมแห้งให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงเริ่มเดินเครื่องผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยความเร็วปานกลาง
4) ค่อยๆ เทน้ำปริมาณเท่าที่คำนวณได้จากข้อ 2 ลงในอ่างผสมให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 30 วินาที
5) เดินเครื่องไปเรื่อยๆ จนส่วนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

6) เทซีเมนต์เพสต์ใส่แบบตัวอย่าง โดยใส่ชั้นแรกหนาประมาณ 25 มม. ให้ครบทุกแบบหล่อ กระทุ้งแต่ละแบบหล่อจำนวน 32 ครั้งให้เสร็จภายใน 10 วินาที การกระทุ้งทำ 4 รอบ โดยแต่ละรอบให้ตั้งฉากกับรอบอื่นและกระทุ้งนั้นให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะให้ซีเมนต์เพสต์บรรจุให้ได้เต็มแบบหล่อเท่านั้นกระทุ้งให้เสร็จ 4 รอบในแต่หละช่องก่อนที่จะไปกระทุ้งช่องอื่นต่อไป เมื่อกระทุ้งชั้นแรกเสร็จหมดเรียบร้อยแล้ว ใส่ซีเมนต์เพสต์ส่วนที่เหลือให้เต็มครบทุกแบบ หล่อแล้วกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก โดยให้ซีเมนต์เพสต์เมื่อกระทุ้งเสร็จแล้วสูงกว่าแบบเล็กน้อย จากนั้นให้ใช้เกรียงแต่งให้เรียบร้อย

7) หลังจากที่หล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว เก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ในแบบไว้ในห้องเก็บความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วแช่ในน้ำสะอาด (ยกเว้นตัวอย่างที่จะทำการทดสอบเมื่ออายุ 24 ชั่วโมง) และหมั่นเปลี่ยนน้ำอยู่เสมอ

8) ทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ลูกบาศก์ตามอายุที่กำหนดไว้

9) ทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าลูกบาศก์ตามอายุที่กำหนดไว้ โดยอนุญาตให้มีความคาดเคลื่อนของอายุได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อนของอายุตัวอย่าง

อายุการทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
24 ชม.	± 1/2 ชม.
3 วัน	± 1 ชม.
7 วัน	± 3 ชม.
28 วัน	± 12 ชม.

ใบ19589ร
ปร.
ร369ก
2552

ก่อนการทดสอบให้เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งพร้อมทั้งทำความสะอาดตัวอย่างด้วย ในการทดสอบให้ทดสอบในเครื่องทดสอบแรงกดทั่วไปโดยให้แรงอัดทางด้านข้างที่มีผิวเรียบทั้งสองด้าน ทดสอบจนตัวอย่างแตกโดยใช้เวลาทดสอบ 20-80 วินาที

การคำนวณ

กำลังอัดของแต่ละก้อนคำนวณได้จากสูตร

$$f'c = P / A \qquad (3.2)$$

เมื่อ $f'c$ = กำลังอัด,ksc

P = แรงอัดประลัย,kg

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างจริง cm^2

3.3.4 การทดสอบหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ด้วยเครื่องมือ Blaine Air - Permeability

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้เครื่องแอร์เพอร์มีอะบิลิตี้แบบเบลน (Blaine Air-Permeability Apparatus) โดยใช้ค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะ(Specific surface) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ผิวภายนอกทั้งหมด ต่อหน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ คิดเป็นตารางเซนติเมตรต่อปูนซีเมนต์ 1 กรัม

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 204-79
2) มาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 6-2521

วัสดุ

1) ปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบและเถ้าแกลบ ประมาณ 300 กรัม
2) ปูนซีเมนต์มาตรฐาน เบอร์ 114 ของสำนักงานมาตรฐานแห่งสหรัฐอเมริกา ใช้ในกรณีที่ต้องการทดสอบปรับเทียบเครื่องมือ

เครื่องมือ

1) เครื่องแอร์เพอร์มีอะบิลิตี้ (The Blaine Air Permeability Apparatus) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้
   1.1 แอร์เพอร์มีอะบิลิตี้ (Permeability Cell) และแท่นรอง เป็นทรงกระบอกที่คงรูป มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.7 ± 1 มม. ทำด้วยแก้วหรือโลหะที่ไม่เป็นสนิม ขอบบนของเซลจะต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแกนยาวของเซล และในส่วนล่างของเซลจะต้องสวมลงได้สนิทกับปลายบนของมานอมิเตอร์ โดยที่อากาศไม่สามารถรั่วผ่านได้ที่ภายในเซลจะต้องทำบ่ากว้าง 0.5 ถึง 1 มม. ไว้ที่ระยะ 50 ± 15 มม. จากของบนเพื่อใช้เป็นที่วางแผ่นโลหะที่เจาะรูพรุน
   1.2 แผ่นโลหะ (Disk) แผ่นนี้จะต้องทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิม หนา 0.9 ± 0.1 มม. เจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. จำนวน 30 ถึง 40 รู กระจายอยู่ทั่วแผ่น และจะต้องสวมได้สนิทกับผิวในของเซลที่ส่วนกลางของโลหะจะมีเครื่องหมายอย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานวางด้านนั้นลงล่างทุกครั้ง เมื่อใส่ลงเซล เครื่องหมายนี้จะต้องไม่ล้ำเข้าไปในรู หรือล้ำเข้าไปในพื้นที่ของแผ่นโลหะ ที่วางอยู่บนบ่าของเซล
   1.3 แท่งอัด (Plunger) ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมเช่น Stanless Steel และจะต้องสวมกับเซลล์ได้พอดี โดยจะมีช่องว่างได้ไม่เกิน 0.1 มม. ที่ปลายล่างสุดของแท่งอัด จะต้องเป็นระนาบ และตั้งฉากกับแกนของแท่งอัดด้านข้าง ตลอดความยาวของแท่งอัดมี

แถบระบายอากาศ กว้าง 3 ± 0.3 มม. ที่ขอบบนของแท่งจะต้องทำเป็นบ่า เมื่อบ่านี้จดกับขอบบนของเซล ปลายล่างของแท่งอัดจะมีระยะห่างจากแผ่นโลหะ 15 ± 0.3 มม. พอดี

1.4 กระดาษกรองรูปวงกลม (Filler Paper) เป็นกระดาษกรองประเภทของเหลวไหลผ่านได้ช้า เนื้อปานกลาง และตัดเป็นวงกลมขอบเรียบ มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของเซลพอดี

1.5 มานอมิเตอร์ รูปตัว U (U-tube Manometer) เป็นหลอดแก้วรูปตัว U เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มม. ที่ส่วนบนข้างหนึ่งของมานอมิเตอร์ จะสวมพอดีกับเพอร์มิอะบิลิตี้เซล โดยอากาศไม่สามารถรั่วผ่านได้ ก้านมานอมิเตอร์ที่ติดกับเพอร์มิอะบิลิตี้เซล จะมีขีดบอกระดับโดยรอบที่ตำแหน่ง 125 ถึง 145 มม. ต่ำจากท่อดูดอากาศออก และยังมีขีดบอกตำแหน่งอีก 3 ขีดหมาย ที่ระยะ 15 ± 1 มม., 40 ± 1 มม., และ110 ± 1 มม. เหนือเส้นดังกล่าว ท่อดูดอากาศออกจะอยู่ที่ตำแหน่งสูงจากจุดต่ำสุดของหลอดตัว U ขึ้นมา 250 ถึง 305 มม. ในด้านก้านเดียวกันกับที่ต่อกับเพอร์มิอะบิลิตี้เซล ท่อนี้จะใช้ในการดูดอากาศออกจากก้านมานอมิเตอร์ มานอมิเตอร์จะต้องมีการยึดติดอยู่แน่น และอยู่ในแนวดิ่ง

1.6 ของเหลวสำหรับมานอมิเตอร์ (Manometer Liqid) มานอมิเตอร์จะต้องเติมของเหลวจนถึงกึ่งกลางของความสูง ด้วยของเหลวที่มีความหนาแน่น และความหนืดต่ำตลอดจนไม่ระเหยและดูดความชื้นในอากาศ ซึ่งได้แก่ ไดบิลทิสทาเลต (Dibutylphthalate) ไดบิลทิล 1, 2 เบนซีน ไดคาร์บอกซิเลต (Dibuty I 1, 2 Benzene dicarboxylate หรือน้ำมันแร่กดเบา (light grade of mineral oil))

1.7 นาฬิกาจับเวลา ได้ละเอียดถึง 0.5 วินาที

1.8 เครื่องชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กรัม

1.9 ปรอท

1.10 ปรอท

วิธีทดสอบ

1) การปรับเทียบเครื่องมือ (Calibration of Apparatus)

1.1 การหาปริมาตร (Bulk Volumn)ของปูนซีเมนต์ที่อัดตัวในเซล(Cell)พอดี

1.1.1 ใส่กระดาษกรองรูปกลม 2 แผ่น ในเพอร์มิอะบิลิตี้เซล โดยใช้แท่งกลมขนาดเล็กว่าเซลเล็กน้อย ค่อย ๆกดลงไปจนกระทั่งกระดาษกรองแบบเรียบ อยู่เหนือโลหะที่เจาะรูพรุนเทปรอทชั้นรีเอเจนต์ลงไปจนเต็ม ระวังอย่าให้มีฟองอากาศเกาะตามผนังเซล เวลาจับเซลควรจะใช้ปากคีบจับ (ในกรณีที่เซลทำจากวัสดุ

ชนิดอื่นที่ปรอทสามารถเคลือบผิวได้ ให้ป้องกันผิวภายในเซลโดยใช้น้ำมันทาบาง ๆ ก่อนเทปรอทไป) บันทึกอุณหภูมิห้องทดลองครั้งแรก

1.1.2 ปรับระดับของปรอทให้เสมอขอบของเซล โดยใช้แผ่นกระจกวางเหนือเซล แล้วกดเบา ๆ จนแผ่นกระจกแตะขอบบน ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เสร็จแล้วเทปรอทออกนำปรอทไปชั่ง (W_a เป็นกรัม)

1.1.3 เอากระดาษกรองรูปกลม 1 แผ่น ออกมาจากเซล ลองใช้ซีเมนต์ 2.80 กรัม อัดตามวิธีในหัวข้อ 1.4 โดยมีกระดาษกรอง 1 แผ่น อยู่ด้านล่างและอีก 1 แผ่น อยู่ด้านบน

1.1.4 เติมปรอทให้เต็มที่ว่างตอนบนเซลให้เต็ม ไล่ฟองอากาศและปรับผิวปรอทเสมอของบนเช่นคราวแรก

1.1.5 เทปรอทออกจากเซล นำปรอทไปชั่ง (W_b เป็นกรัม) บันทึกอุณหภูมิห้องทดลองครั้งที่ 2

1.1.6 หาปริมาตรของปูนซีเมนต์ให้ละเอียดถึง 0.005 ซม.^{3} จากสูตร

$$V = \frac{W_a - W_b}{D} \qquad (3.3)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของปูนซีเมนต์ ลบ.ซม.

D = ความหนาแน่นของปรอทเป็น กรัม/ลบ.ซม. ณ อุณหภูมิที่ทดสอบ (ตารางที่ 3.2)

หมายเหตุ

1) ปูนซีเมนต์ชั้นที่อัดจะต้องแน่นพอดี หากหลวมหรือแน่นจนกดให้มีปริมาตรเท่าที่ต้องการไม่ได้ให้ลองเพิ่มหรือลดปริมาณปูนซีเมนต์

2) ให้ทดสอบหาปริมาตรของปูนซีเมนต์อย่างน้อย 2 ครั้ง โดยเปลี่ยนปูนซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง ปริมาตรที่จะต้องมาใช้คำนวณต่อไปคือ ปริมาตรเฉลี่ยนที่ได้จากการทดสอบย่อย 2 ครั้ง โดยที่ค่าเหล่านั้นจะต่างกันไม่เกิน ± 0.005 ลบ.ซม.

3) ในการหาปริมาตรไม่จำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์มาตรฐาน

1.2 การเตรียมตัวอย่างมาตรฐาน (Preparation of Standard Sample) เทตัวอย่างมาตรฐานออกจากหลอดแก้วใส่ขวด ขนาดประมาณ 120 ลบ.ซม. และเขย่าขวดแรง ๆ 2 นาที เพื่อให้ซีเมนต์ตัวอย่างฟูไม่จับตัวกันเป็นก้อนหรือเกาะกันเป็นกระจุก ปล่อยขวดทิ้งไว้ 2 นาที แล้วเปิดฝาออกค่อย ๆ คนให้ส่วนละเอียดที่อยู่ผิวบนกระจายทั่ว

1.3 หาน้ำหนักของปูนซีเมนต์มาตรฐาน ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือ จะใช้น้ำหนักที่ทำให้ชั้นปูนซีเมนต์มีความพรุน 0.500 ± 0.005 สามารถคำนวณจาก

$$W = \rho V(1-\varepsilon) \qquad (3.4)$$

เมื่อ W = น้ำหนักปูนซีเมนต์มาตรฐานที่ต้องการทราบเป็นกรัม

ρ = ความหนาแน่นของตัวอย่าง (สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใช้เท่ากับ 3.15)

V = Bulk Volumn ของชั้นซีเมนต์เป็น ลบ.ซม. ได้จากการหาโดยข้อ 1.1

ε = ความพรุนที่กำหนดของชั้นปูนซีเมนต์ (0.500 ± 0.005)

1.4 การอัดเตรียมชั้นซีเมนต์

วางแผ่นโลหะบนบ่าเพอร์มิอะบิลิตี้ เอากระดาษกรอง 1 แผ่น วางบนแผ่นโลหะ โดยใช้แท่งกลมขนาดเล็กกว่าเซลเล็กน้อย กดตรงขอบ ๆ แผ่นลงไปให้สนิทกับแผ่นโลหะ ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ให้ละเอียดถึง 0.001 โดยปริมาณเท่ากับที่คำนวณได้ในข้อ 1.3 ใส่ลงไปในเซลเคาะเบา ๆ ที่ข้างเซล เพื่อให้ปูนซีเมนต์เรียบ และอยู่ในระดับราบ เอากระดาษกรองอีก 1 แผ่นวางบนปูนซีเมนต์แล้วใช้แท่งอัดแตะขอบบนของเซล ค่อย ๆ ชักเอาแท่งอัดขึ้นเล็กน้อยหมุนไป 90 องศา แล้วกดไปใหม่อีกครั้ง จากนั้นจึงชักแท่งอัดออกมาช้า ๆ ในการทดสอบแต่ละชุด (Determination) ให้ใช้กระดาษกรองใหม่ทุกครั้ง

1.5 การหาอัตราการไหลของอากาศผ่านชั้นซีเมนต์

1.5.1 เติมไดบิลทิลทาเลตลงในมานอมิเตอร์ประมาณครึ่งหนึ่งของความสูง

1.5.2 สวมเพอร์มิอะบิลิตี้ลงบนก้านมานอมิเตอร์ ระวังอย่าให้อากาศรั่วเข้าออกได้ตรงที่สวมต่อกันไว้ และระวังอย่าให้ปูนซีเมนต์สะเทือน (ในการต่อเซลกับก้านมานอมิเตอร์ควรใช้น้ำมันข้น ๆ หรือกรีส(Grease)) ทาเสียก่อน วิธีตรวจสอบว่ารั่วหรือไม่ โดยหาจุกมาอัดขอบบนของเซล ดูดอากาศออกจากก้านมานอมิเตอร์ แล้วเปิดลิ้น ปิด-เปิด ที่ท่อดูดอากาศ สังเกตดูว่าถ้าระดับของเหลวในมานอมิเตอร์ลดลงเรื่อย ๆ ก็แสดงว่าข้อต่อรั่ว

1.5.3 สูบอากาศออกจากก้านมานอมิเตอร์ช้า ๆ จนกระทั่งของเหลวมีระดับสูงถึงของขีดเส้นบนสุด แล้วปิดลิ้นปิด-เปิดให้แน่น จะเริ่มจับเวลาทันทีที่ระดับก้นของเมนิสกัส (Meniscus)ของของเหลวลดลงมาถึงขีดหมายเลข 2(นับจากบน) และหยุดจับเวลาทันทีที่ระดับก้นของเมนิสกัสของของเหลวลงมาถึงขีดหมายเลข 3(นับจากบน) บันทึกช่วงเวลาดังกว่างเป็นวินาที และอุณหภูมิขณะทดสอบ

1.5.4 การปรับเทียบเครื่องมือ จะต้องทดสอบ 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนซีเมนต์มาตรฐานใหม่ทุกครั้งแต่ละตัวอย่างต้องจับเวลาที่อากาศไหลผ่าน 3 ครั้ง การสอบเทียบจะต้องกระทำโดยบุคคลที่จะทำการทดลองค่าความละเอียดต่อไป ซีเมนต์มาตรฐานตัวอย่างอาจนำมาทำให้ฟูใช้ได้อีก ถ้าเก็บไว้ในที่แห้ง และทดสอบภายใน 4 ชั่วโมง หลังจากเปิดขวด เมื่อใช้งานไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง หากแท่งอัดเซลสึกหรอไป หรือของเหลวในมานอมิเตอร์ลดปริมาณลง หรือเปลี่ยนชนิดของกระดาษกรองที่ใช้ทดสอบ หรือเปลี่ยนการใช้เครื่องมือครั้งแรก เหล่านี้ต้องทำการทดสอบเทียบเครื่องมือทั้งสิ้น

2) วิธีทดสอบตัวอย่าง

2.1 อุณหภูมิตัวอย่าง

ปูนซีเมนต์ที่ทดสอบจะต้องมีอุณหภูมิเท่าอุณหภูมิห้องขณะทดสอบ

2.2 ปริมาณของตัวอย่าง

ปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่ทดสอบ จะต้องมีน้ำหนักเท่ากับปูนซีเมนต์มาตรฐานที่ใช้สอบเทียบยกเว้นไว้แต่เพียงกรณีที่ใช้ทดสอบหาค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 หรือประเภทที่มีความละเอียดสูงมาก จนน้ำหนักกดด้วยหัวแม่มือไม่อาจสามารถทำให้บ่าแท่งอัดแตะขอบบนของเซลได้ ในกรณีเช่นนี้น้ำหนักตัวอย่างจะต้องพอดีที่จะทำให้ความพรุนของชั้นปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.530 ±0.005

หมายเหตุ

หากวิธีการทดสอบนี้นำไปใช้กับวัสดุอื่น ๆ นอกเหนือจากปอร์ตแลนด์ซีเมนต์หรือถ้าตัวอย่างปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ใดไม่สามารถทำให้มีความพรุนตามกำหนดในข้อ 2.2 ได้ ก็ให้ใช้ปริมาณตัวอย่างหนักเท่ากับที่จะทำให้ชั้นปูนในเซลแน่นพอดี โดยการอัดด้วยหัวแม่มือ

2.3 การเตรียมชั้นปูนซีเมนต์

เป็นไปตามวิธีการอัดชั้นปูน ในข้อ 1.4

2.4 การทดสอบหาอัตราการไหลผ่านชั้นปูนซีเมนต์

กระทำตามวิธีการในข้อ 1.5 เว้นแต่ว่าในการหาระยะเวลาที่อากาศไหลผ่านตัวอย่างให้หาค่าเพียงครั้งเดียว

การคำนวณ

การคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ให้คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$S = \frac{S_s\sqrt{T}}{\sqrt{T_s}} \qquad (3.5)$$

$$S = \frac{S_s\sqrt{n_s}\sqrt{T}}{\sqrt{T_s}\sqrt{n}} \quad (3.6)$$

$$S = \frac{S(1-\varepsilon_s)\sqrt{\varepsilon^3}\sqrt{T}}{\sqrt{\varepsilon_s^3}\sqrt{T_s}(1-\varepsilon)} \quad (3.7)$$

$$S = \frac{S(1-\varepsilon_s)\sqrt{\varepsilon^3}\sqrt{n_s}\sqrt{T}}{\sqrt{\varepsilon_s^3}\sqrt{T_s}\sqrt{n}(1-\varepsilon)} \quad (3.8)$$

$$S = \frac{S_s\rho_s(1-\varepsilon_s)\sqrt{\varepsilon^3}\sqrt{T}}{\sqrt{\varepsilon_s^3}\sqrt{T_s}(1-\varepsilon)} \quad (3.9)$$

$$S = \frac{S_s\rho_s(1-\varepsilon_s)\sqrt{n_s}\sqrt{\varepsilon^3}\sqrt{T}}{\sqrt{\varepsilon_s^3}\sqrt{T_s}\sqrt{n}(1-\varepsilon)} \quad (3.10)$$

เมื่อ S = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างทดสอบเป็น ตร.ซม./กรัม

S_s = พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวอย่างมาตรฐานที่ใช้สอบเทียบเครื่องมือเป็น ตร.ซม./กรัม (3380 ตร.ซม./กรัม)

T = ช่วงเวลาที่ของเหลวในมานอมิเตอร์ลดต่ำลงมา ของตัวอย่างทดสอบ(วินาที)

T_s = ช่วงเวลาที่ของเหลวในมานอมิเตอร์ลดต่ำลงมาของตัวอย่างมาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่องมือ(วินาที)

n = ความหนืดของอากาศ ณ อุณหภูมิทดสอบตัวอย่าง (Poise)

n_s = ความหนืดของอากาศ ณ อุณหภูมิทดสอบ ตัวอย่างมาตรฐาน ขณะสอบเทียบเครื่องมือ (Poise ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 3 องศา เซลเซียส ให้ถือว่าเท่ากัน)

ε = ความพรุนชั้นตัวอย่าง

ε_s = ความพรุนของชั้นปูนซีเมนต์ตัวอย่าง (สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ อาจใช้ค่าเท่ากับ 3.15 กรัม/ลบ.ซม.)

ρ_s = ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์มาตรฐาน ในการทดสอบปรับเทียบเครื่องมือ (สามารถใช้ค่าเท่ากับ 3.15 กรัม/ลบ.ซม.)

หมายเหตุ

1) ค่า n สามารถนำมาใช้ได้จากตารางที่ 3.2

2) สูตรที่ (3.5) และ (3.6) เป็นการคำนวณค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อัดให้มีความพรุนเดียวกัน สูตรที่ (3.5) ใช้เมื่ออุณหภูมิขณะปรับเทียบเครื่องมือกับอุณหภูมิขณะทดสอบตัวอย่างต่างกันไม่เกิน ±3 °ซ.

3) สูตรที่ (3.7) และ (3.8) เป็นการคำนวณค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อัดให้มีความพรุนไม่เท่ากัน สูตรที่ (3.7) ใช้เมื่ออุณหภูมิขณะปรับเทียบเครื่องมือกับอุณหภูมิขณะทดสอบตัวอย่างต่างกันไม่เกิน ±3 °ซ.

4) สูตรที่ (3.9) และ (3.10) เป็นการคำนวณค่าความละเอียดของวัสดุอื่น ๆ นอกเหนือจากปอร์ตแลนด์ สูตรที่ (3.9) ใช้เมื่ออุณหภูมิขณะปรับเทียบเครื่องมือกับอุณหภูมิขณะทดสอบตัวอย่างต่างกันไม่เกิน ±3 °ซ.

คำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะในหน่วยของ ตร.ม./กก. โดยคูณด้วยค่า 0.1

ข้อมูลและผลการทดสอบ

1) สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และวัสดุที่มีเนื้อส่วนใหญ่เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้รายงานผลจากการหาค่าครั้งเดียว และจากชั้นปูนซีเมนต์ชั้นเดียว

2) สำหรับวัสดุที่มีความละเอียดสูงมาก และใช้เวลาทดสอบนานให้รายงานค่าเฉลี่ยของความละเอียด จากการทดสอบเพอร์มิอะบิลิตี้ 2 ครั้ง โดยค่าครั้งสองจะต้องไม่แตกต่างกันเกิน 2% แต่ถ้าแตกต่างกันเกิน 2% ให้ยกเลิก และทดสอบซ้ำจนกว่าจะได้ค่าตามต้องการ

หมายเหตุ

การที่หาค่าของความละเอียดได้ไม่สอดคล้องกันตามที่ระบุไว้ แสดงว่าจำเป็นต้องตรวจสอบวิธีทดสอบ และเครื่องมือ อนึ่ง จะต้องใช้ความระมัดระวังในการเตรียมชั้นปูนซีเมนต์ด้วย และต้องไม่ให้อากาศเข้าตรงรอยต่อระหว่างเพอร์มิอะบิลิตี้เซลและก้านมานอมิเตอร์ได้

3) ความเที่ยงตรงที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลองหลายแห่ง ปรากฏว่ามีค่าเท่ากับ 74 ซม^2. ต่อ 1 กรัม ดังนั้น ผลของการทดสอบที่จัดทำอย่างถูกต้องจากห้องทดลอง 2 แห่ง โดยใช้ตัวอย่างส่วนเดียวกัน จะมีโอกาสที่จะแตกต่างไม่เกิน 200 ตร.ซม. ต่อกรัม อยู่ร้อยละ 95

ตารางที่ 3.2 ความหนาแน่นปรอทและความหนืดของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิห้อง °C	ความหนาแน่นปรอท g/cm^3	ความหนืดของอากาศ n
16	13.56	0.01337
18	13.55	0.01341
20	13.55	0.01345
22	13.54	0.01348
24	13.54	0.01352
26	13.53	0.01355
28	13.53	0.01359
30	13.52	0.01363
32	13.52	0.01366
34	13.51	0.01370

3.3.5 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบหาการต้านทานต่อแรงกด และคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ

เอกสารอ้างอิง

ASTM C 140

มอก. 77-2517

วัสดุทดสอบ

1) อิฐบล็อก

เครื่องมือทดสอบ

1) Testing Machine
2) Vernier
3) เครื่องชั่ง
4) เกรียง
5) ตู้อบ
6) ภาชนะสำหรับใส่น้ำ
7) ปูนปลาสเตอร์

วิธีการทดสอบ

1) การรับแรงอัด (Compressive Strength)

1.1 คอนกรีตบล็อกตัวอย่าง 3 ก้อน มาวัดขนาดให้ละเอียดถึง 0.1 ซม.

1.2 นำปูนปลาสเตอร์เคลือบผิวของอิฐตัวอย่างด้านที่ใช้แรงกดทั้งสองด้านโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.2.1 ทาน้ำมันบนกระจกที่ตรึงไว้กับโต๊ะ (ทาให้แค่พอลื่นไม่ต้องหนามากนัก)

1.2.2 เทปูนปลาสเตอร์ที่ผสมเรียบร้อยแล้วบนแผ่นกระจก

1.2.3 นำด้านที่ใช้รับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกตัวอย่างกดลงบนปูนปลาสเตอร์โดยทันทีและพยายามให้ความหนาของปูนปลาสเตอร์ที่อยู่ระหว่างกระจกกับผิวของคอนกรีตบล็อกไม่เกิน 5 มม. พร้อมทั้งใช้เกรียงตกแต่งปูนปลาสเตอร์ทางด้านข้างให้มีขนาดพอดีกับความกว้างของคอนกรีตบล็อก

1.2.4 ทิ้งไว้ให้ปูนปลาสเตอร์เริ่มแข็งตัวจึงค่อย ๆ เลื่อนคอนกรีตบล็อกออกทางด้านข้างของกระจกโดยระวังไม่ให้ปูนปลาสเตอร์หลุดจากผิวอิฐ (ถ้ารีบเลื่อน

คอนกรีตบล็อกเร็วเกินไปจะทำให้ปูนไม่ติดกับคอนกรีตบล็อกได้ หรือถ้าปล่อยให้คอนกรีตบล็อกแข็งตัวเร็วเกินไปจะทำให้เลื่อนได้ยากซึ่งมักทำให้ปูนหลุดเช่นเดียวกัน)

1.2.5 เคลือบผิวคอนกรีตบล็อกที่ด้านรับแรงทั้งสองด้าน

1.3 ทิ้งให้แห้งอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

1.4 วางคอนกรีตบล็อกตัวอย่างให้ตรงกับจุดศูนย์กลางของเครื่องกดโดยให้ด้านที่เคลือบรับแรงกด

1.5 เดินเครื่องกดจนคอนกรีตบล็อกตัวอย่างแตกหักแล้วบันทึกค่า

1.6 กำลังรับแรงกดสูงสุดของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง

กำลังรับแรงกดสูงสุดของคอนกรีตบล็อก (kg/cm^2) = P_{max} / A_g (3.11)

เมื่อ P_{max} = แรงกดสูงสุด (kg)

A_g = พื้นที่รับแรงกดของคอนกรีตบล็อก(cm^2)

1.2 การดูดซึมน้ำ(Absorption)

1. แช่ตัวอย่างทดสอบ 3 ก้อน ในน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมง
2. นำคอนกรีตบล็อกตัวอย่างขึ้นจากน้ำ เช็ดผิวหน้าให้แห้งด้วยผ้าชื้นแล้วนำไปชั่งให้เรียบร้อยภายในเวลาไม่เกิน 3 นาที หลังจากขึ้นจากน้ำเป็นน้ำหนักสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Weight at saturated surface dry,W_s)
3. ชั่งน้ำหนักคอนกรีตบล็อกในน้ำ (W_i)
4. นำคอนกรีตบล็อกที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °C จนน้ำหนักคงที่โดยใช้เวลา 48 ชั่วโมงปล่อยให้เย็นเป็นอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักเป็นสภาพอบแห้ง (W_d)
5. หาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง

$$\text{Moisture content}(\%) = \frac{(W_s - W_d)}{W_d} x100\% \quad (3.12)$$

เมื่อ W_s คือ น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

W_d คือ น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกสภาพแห้งในตู้อบ

3.3.6 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิค

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของซีเมนต์ไฮดรอลิค (Hydraulic Cement)

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 188

วัสดุ

ซีเมนต์ผลที่ต้องการทดสอบหนักประมาณ 200 กรัม

เครื่องมือ

1) ขวดทดลองมาตรฐานเลอแชททีเลียร์ (Standard Le Chatelier Flask) **จำนวน 1 ใบ ขวด** มาตรฐานเลอแชททีเลียร์ จะมีรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 1 หน้าตัดของขวดเป็นรูปทรงกลม ขนาดของขวดตลอดจนระยะของขีดบอกค่าปริมาตรจะต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้
2) หลอดกรวงสำหรับกรอกซีเมนต์ผงลงในขวดมาตรฐาน จำนวน 1 ใบ
3) เทอร์โมมิเตอร์ (0 – 100 ^{o}c) จำนวน 1 อัน
4) น้ำมันก๊าด (kerosene) ปริมาตรประมาณ 1000 มล.
5) อ่างน้ำประมาณ 2000 มล. จำนวน 1 ใบ
6) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 ก.
7) ถาดสำหรับใส่ซีเมนต์จำนวน 1 ใบ

วิธีทดลอง

1) **จัดเตรียมน้ำในอ่างให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 ^{o}c ตามที่กำหนดไว้ พยายามควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำให้มีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลาการทดลอง**
2) **เทน้ำมันก๊าดลงในขวดทดลองมาตรฐานเลอแชททีเลียร์ จนกระทั่งระดับของน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่างขีดบอกปริมาตร 0 และ 1 มล. คอขวดซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าดความเช็ดให้แห้ง**
3) **จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำในข้อที่ 1 แล้วให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดและน้ำในอ่างเท่ากันอ่านค่าอุณหภูมิของน้ำและขีดค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง**
4) **ชั่งน้ำหนักของซีเมนต์และถาดใส่ จากนั้นค่อย ๆ ใส่ซีเมนต์ลงในขวดทดลองในการใส่ซีเมนต์ควรพยายามไม่ให้ซีเมนต์ตกกระจาย และจะต้องระวังไม่ให้ซีเมนต์เกาะติดตามคอขวดทดลองด้วย**

5) ให้หยุดใส่ซีเมนต์เมื่อระดับของน้ำมันก๊าดขึ้นมาอยู่ระหว่างช่วงของขีดบอกปริมาตรส่วนบนของขวดทดลอง จากนั้นทำการไล่ฟองอากาศซึ่งอาจเกาะอยู่กับผงซีเมนต์การไล่ฟองอากาศให้ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้วแล้วเอียงขวดและหมุนช้า ๆ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมาอีก

6) จุ่มขวดทดลองลงในอ่างน้ำอีกครั้งหนึ่ง เช่นเดียวกับข้อที่ 3 ก่อนจะอ่านปริมาตรทุกครั้ง ผู้ทำการทดลองจะต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในขวดทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่าง เพื่อที่จะไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในการอ่านครั้งแรกและครั้งที่สองต่างกันไม่เกินกว่า 0.2 ^{o}c

7) อ่านอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง

8) ช่างน้ำหนักของซีเมนต์ที่เหลือพร้อมถาดใส่ ผลต่างของน้ำหนักของการชั่งสองครั้งจะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง

9) ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จากข้อ 2 ถึง ข้อ 7 จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

หมายเหตุ ในการทำความสะอาดขวดทดลอง ให้ใช้น้ำมันก๊าดล้างเท่านั้น ห้ามใช้ล้างเป็นอันขาด

การคำนวณ

1) ผลต่างระหว่างปริมาตรที่อ่านได้ของครั้งแรกและครั้งที่สองจะเท่ากับปริมาตรของน้ำมันก๊าดที่ถูกแทนที่โดยซีเมนต์ที่ใช้

2) ผลต่างของน้ำหนักของซีเมนต์และถาดใส่ทั้งสองครั้ง จะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง

3) คำนวณหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ให้ได้ละเอียดถึงจุดทศนิยม 3 ตำแหน่งดังนี้

$$G_c = W_c / (V_c . \gamma_w) \qquad (3.13)$$

เมื่อ G_c = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

W_c = น้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบ , กรัม

V_c = ปริมาตรของปูนซีเมนต์จากการแทนที่ , ลบ.ซม.

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิ4C°เท่ากับ 1กรัม/ลบ.ซม.

4) ในการหาค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยให้ปัดเศษตัวเลขเหลือเพียงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

จากการเก็บสำรวจข้อมูลและทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ทำการแบ่งผลการทดสอบและการวิเคราะห์ 4 ส่วนหลัก ๆ คือ

- ผลการเก็บสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกและแหล่งเถ้าแกลบ
- ผลการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าแกลบ
- ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก
- ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงาน

4.1 ผลการเก็บสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกและแหล่งเถ้าแกลบ

4.1.1 สำรวจและเก็บข้อมูลกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงาน

เนื่องจากการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงานเอ๋หล่อเสาจะไม่ใช้ทรายในการผสมเพื่อให้คอนกรีตบล็อกที่ได้มีคุณภาพสูงกว่าโรงงานอื่น ทำให้ประเภทของต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อก้อนของโรงงานที่มีราคาสูงที่สุดคือ หินฝุ่น ดังตารางที่ 4.1 แต่ปูนซีเมนต์ก็ยังถือว่าเป็นต้นทุนหลักที่สำคัญในการผลิต สัดส่วนผสมที่ใช้ขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก ดังตารางที่ 4.2 โดยมีกำลังการผลิตคอนกรีตบล็อก 1200 ก้อนต่อวัน

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกต่อก้อนของโรงงาน

ประเภท	ราคา(บาท)/ก้อน	คิดเป็นเปอร์เซ็นต์
ปูนซีเมนต์	1.1	36.79
หินฝุ่น	1.36	45.48
ค่าแรง	0.5	16.72
ค่าไฟ	0.03	1.00
รวม	***2.99***	

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกของโรงงาน

วัตถุดิบที่ใช้ในการผสม	น้ำหนักต่อการผสม 1 ครั้ง (กก)	สัดส่วนผสม	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ปูนซีเมนต์	11.1	1	6.14
หินฝุ่น	158.51	14.28	87.72
น้ำ	11.1	1	6.14

4.1.2 สำรวจและเก็บข้อมูลแหล่งเถ้าแกลบในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงโรงงาน

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการสำรวจและเก็บข้อมูลแหล่งเถ้าแกลบในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงโรงงานดังตารางที่ 4.3 พบว่าโรงสีเจริญพาณิชย์มีอุณหภูมิในการเผาเถ้าแกลบสูงที่สุด และมีราคาเถ้าแกลบต่อตันที่ถูกที่สุด จึงเลือกแหล่งเถ้าแกลบของโรงสีเจริญพาณิชย์ใช้ทดสอบคุณสมบัติของเถ้าแกลบเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลแหล่งเถ้าแกลบในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงโรงงาน

แหล่งเถ้าแกลบ	อุณหภูมิในการเผาเถ้าแกลบ(ซ)	ระยะทางจากโรงสีถึงโรงงาน (กม.)	ราคาเถ้าแกลบต่อตัน (บาท)
โรงสีเจริญพาณิชย์	585.1	45	350
โรงสีสิงหวัฒน์	579.6	38	400
โรงสีมุ่ยเฮง	470.4	35	ไม่จำหน่าย

4.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าแกลบ

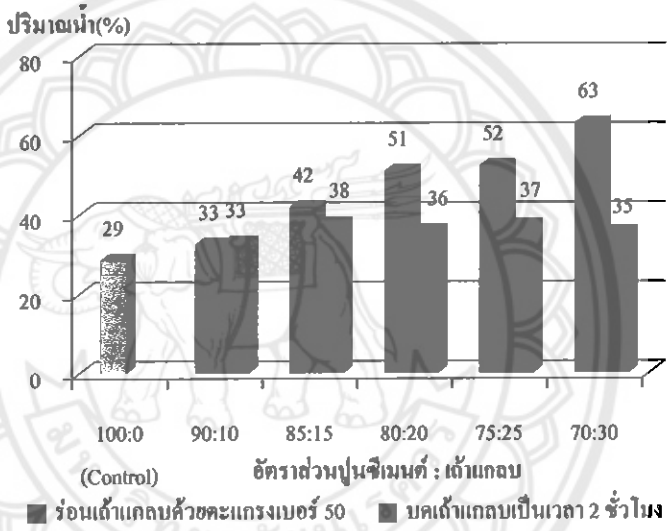
4.2.1 เปรียบเทียบปริมาณเถ้าแกลบที่ผ่านกระบวนการแปรรูป

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่สามารถนำมาใช้ได้จริงดังตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการร่อนเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50 จะให้ปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ได้จริงน้อยกว่าการบดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากขนาดของเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาแกลบจะมีขนาดใหญ่ เมื่อนำมาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 50 แล้วเถ้าแกลบส่วนใหญ่ จะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนการบดเถ้าแกลบจะทำให้เถ้าแกลบมีขนาดเล็กลง แต่ยังคงมีปริมาณการสูญเสียจากการติดค้างในเครื่องบด

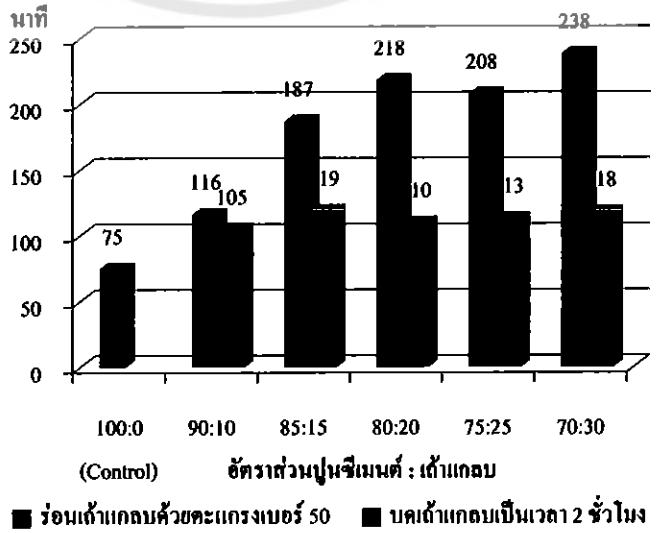
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ได้จริงที่ผ่านกระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบ

กระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบ	ปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ได้จริง (กก.)/2 ชม.	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่นำมาใช้จริง
ร่อนเถ้าแกลบด้วยเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50	0.66	32.8
บดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง	2.54	84.7

4.2.2 ผลการทดสอบการหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม



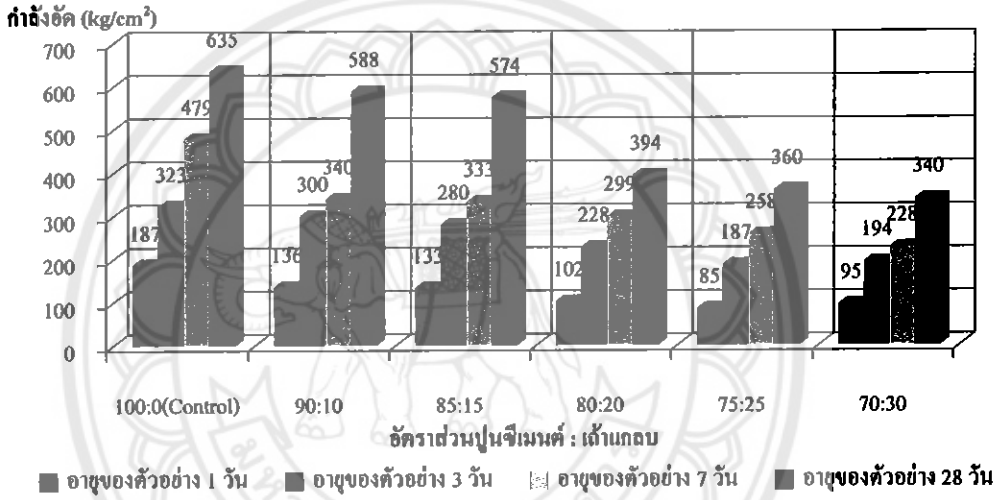
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความข้นเหลวปกติที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบต่าง ๆ



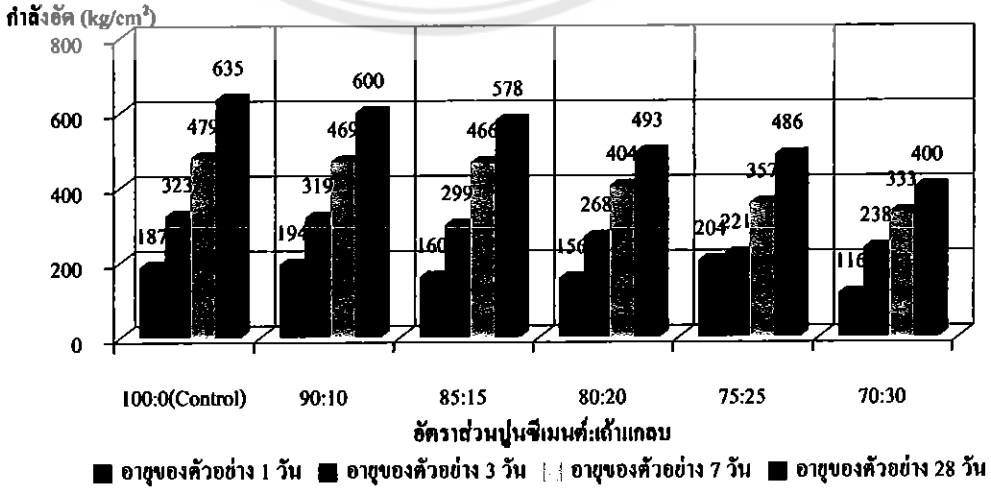
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าแกลบต่าง ๆ

จากผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม ดังรูปที่ 4.1,4.2 พบว่าเมื่อใส่ปริมาณเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์มากขึ้นจะส่งผลให้มีความต้องการน้ำในการทำปฏิกิริยาและใช้ระยะเวลาในการก่อตัวเริ่มต้นมากกว่าปูนซีเมนต์ไม่ผสมเถ้าแกลบ โดยในวิธีการบดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใกล้เคียงกับการใช้ปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมเถ้าแกลบกว่าวิธีการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 50

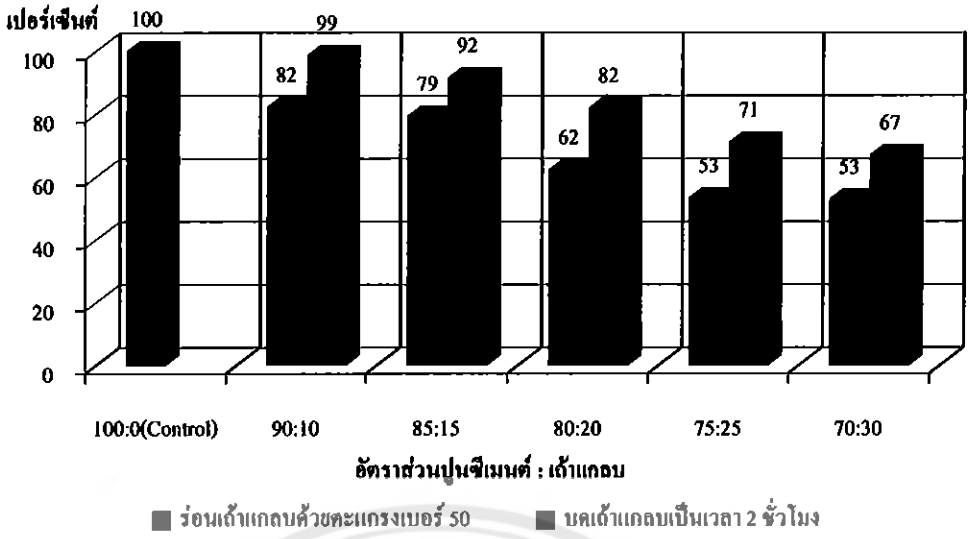
4.2.3 ผลการทดสอบการพัฒนากำลังอัด



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงคุณสมบัติของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์โดยการร่อนเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์โดยการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการลดลงของกำลังอัดเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์**ที่ไม่ผสมเถ้าแกลบ**

จากผลการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ดังรูป**ที่** 4.3, 4.4 **พบว่าเมื่ออายุของ**ตัวอย่างมากขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น โดยที่กำลังอัดจะมีค่า**ต่ำลงเมื่อใส่เถ้าแกลบแทนที่**ปูนซีเมนต์ในปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น การบดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 **ชั่วโมงจะมีความสา**มารถในการรับแรงอัดมากกว่าวิธีการร่อนเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**ดังรูปที่** 4.5

4.2.4 ทดสอบคุณสมบัติเพื่อศึกษาโครงสร้างและความละเอียด

4.2.4.1 ผลการทดสอบหาความละเอียดของเถ้าแกลบ

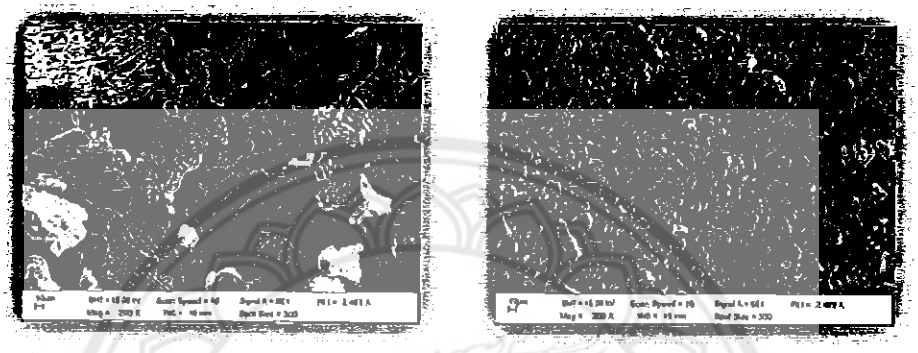
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความละเอียดของเถ้าแกลบ

ค่าความละเอียดโดยวิธี Blaine Air Permeability Test (ตารางเซนติเมตร/กรัม)		
Cement Type I	**บดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง**	**ร่อนเถ้าแกลบผ่านตะแกรงเบอร์ 50**
3200	2893	1081

ผลการทดสอบความละเอียดของเถ้าแกลบโดยวิธี Blaine Air Permeability Test ดังตารางที่ 4.5 จะเห็นว่าความละเอียดของเถ้าแกลบด้วยการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีความละเอียดมากกว่า

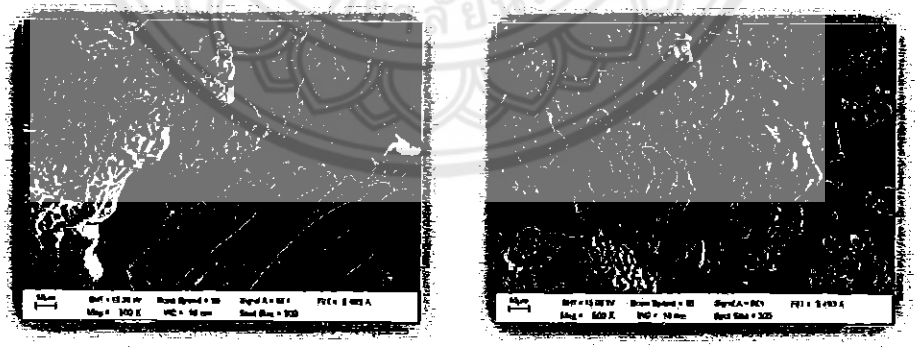
การร่อนเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50 เนื่องจากการบดจะช่วยให้เถ้าแกลบมีความพรุนลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการไหลผ่านของอากาศได้ช้ากว่าการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 50

4.2.4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของเถ้าแกลบโดยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM)



ก) ข)

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเถ้าแกลบด้วยเครื่อง SEM(Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 200 เท่า ก)ร่อนเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50 ข)บดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



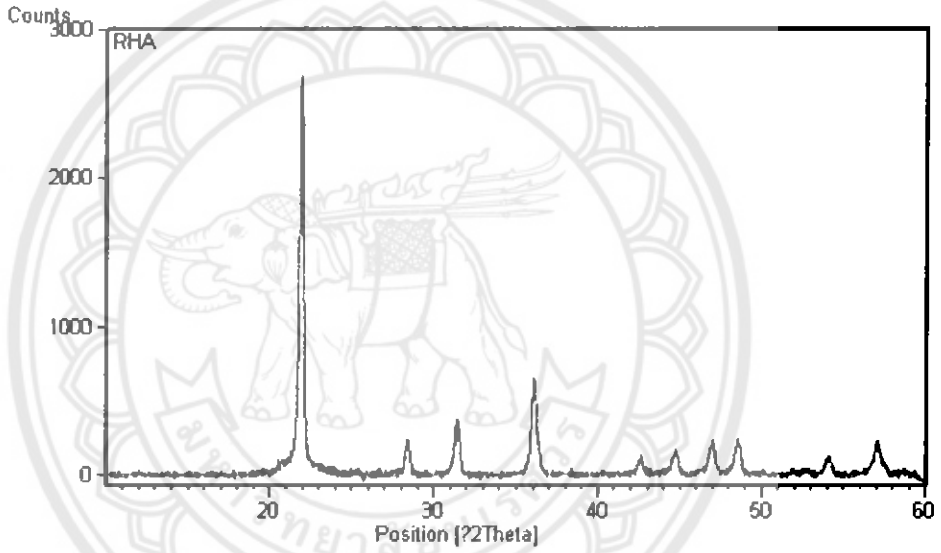
ก) ข)

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเถ้าแกลบด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) กำลังขยาย 500 เท่า ก)ร่อนเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50 ข)บดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเถ้าแกลบด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าการบดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจะมีความละเอียดมากกว่าร่อนเถ้าแกลบด้วยตะแกรงเบอร์ 50 และยังสามารถปรับโครงสร้างให้เถ้าแกลบมีความพรุนลดลง

4.2.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเถ้าแกลบ

การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเถ้าแกลบเครื่อง X-Ray Diffraction ดังรูปที่ 4.8 พบว่าเถ้าแกลบส่วนใหญ่รูปร่างผลึกเป็นแบบอสัณฐานจึงมีแนวโน้มที่เถ้าแกลบจะสามารถทำปฏิกิริยาได้



รูปที่4.8 โครงสร้างผลึกของเถ้าแกลบ

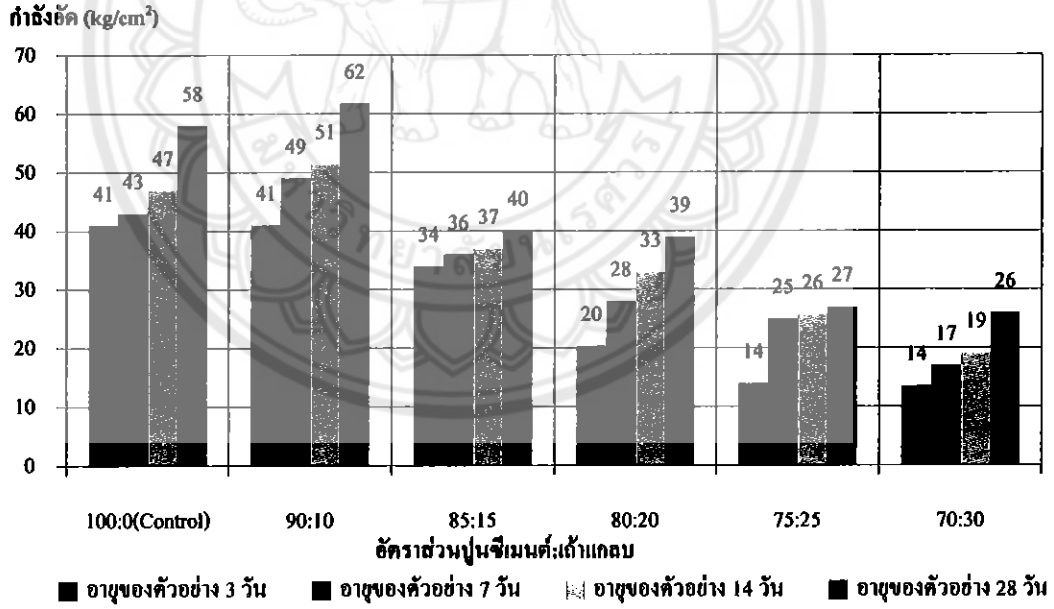
จากผลการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของเถ้าแกลบ เห็นได้ว่าเถ้าแกลบที่ผ่านกระบวนการบดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะมีคุณสมบัติที่สูงกว่าเถ้าแกลบที่กระบวนการร่อนเถ้าแกลบผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ดังนั้น จึงเลือกใช้เถ้าแกลบที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมงในกระบวนการออกแบบส่วนผสมและทดสอบคอนกรีตบล็อก

4.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก

จากการคัดเลือกกระบวนการแปรรูปเถ้าแกลบที่เหมาะสม จะได้วิธีการบดเถ้าแกลบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาใช้ในการออกแบบส่วนผสมในคอนกรีตบล็อกของโรงงานเพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยไม่กระทบต่อคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรม และได้ตามคุณภาพของโรงงาน

4.3.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

จากผลการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกดังรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่ออายุของตัวอย่างมากขึ้นจะทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้น โดยที่กำลังอัดจะมีค่าต่ำลงเมื่อใส่เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น แต่ที่ปริมาณเถ้าแกลบ 30เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ยังคงสามารถรับแรงอัดสูงกว่าที่มาตรฐานมอก. 58 - 2530 (25 กก./ซม^2) กำหนด ที่อายุของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง 28 วัน



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

4.3.2 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำและขนาดของคอนกรีตบล็อก

จากการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำโดยแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน(1440 นาที) เมื่อใส่เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มีร้อยละการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยมียังคงมีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำไม่เกินตามมาตรฐานมอก. 58 - 2530 (25 %) และขนาดของคอนกรีตบล็อกที่เปอร์เซ็นต์การแทนที่เถ้าแกลบต่าง ๆ มีความคลาดเคลื่อนไปจากคอนกรีตบล็อกของโรงงานต่ำกว่า 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.6 ตารางร้อยละการดูดซึมน้ำและขนาดของคอนกรีตบล็อก

เปอร์เซ็นต์การแทนที่เถ้าแกลบ		0(Control)	10	15	20	25	30
ร้อยละการดูดซึมน้ำ		6.8	7	7.2	7.8	7.9	8.5
ขนาดของคอนกรีตบล็อก (ซม.)	ความสูง	18.6	18.7	18.6	18.8	18.7	18.5
	ความยาว	39.3	39.1	39.2	39.2	39.2	39.2
	ความกว้าง	6.4	6.4	6.5	6.4	6.5	6.5
	ความหนา	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.5

4.4 ผลการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงาน

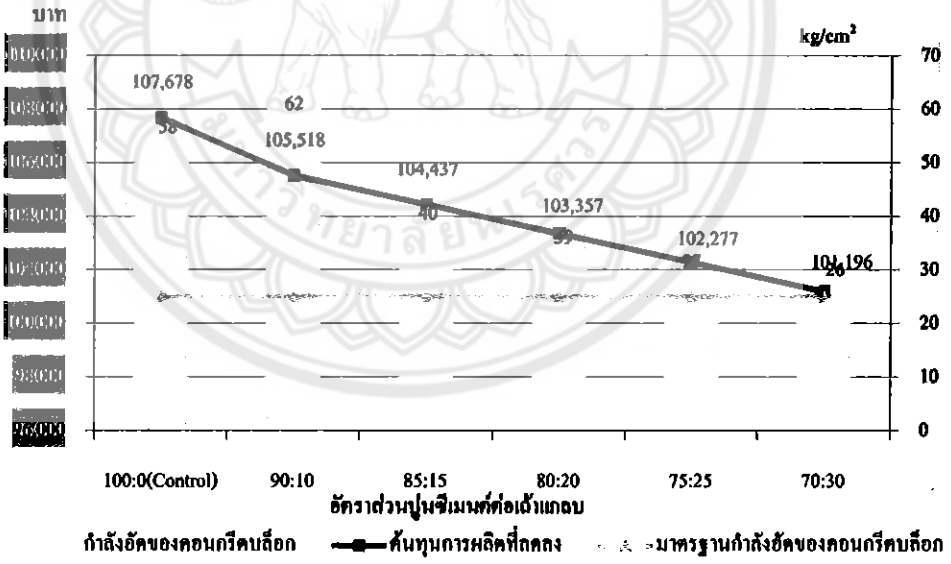
จากการสำรวจเก็บข้อมูลแหล่งเถ้าแกลบและโรงงานผลิตคอนกรีตบล็อก เมื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงานต่อเดือนโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าจะสามารถลดต้นทุนได้สูงสุดถึงประมาณ 8,000 ถึง 9,000บาท ที่การแทนที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยยังมีกำลังอัดเกินที่ มอก.25-2530 กำหนดดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก

ประเภทของต้นทุน	เปอร์เซ็นต์การแทนที่ เทียบกับ ราคา(บาท)/เดือน					
	0(Control)	10	15	20	25	30
ปูนซีเมนต์	39600	35640	33660	31680	29700	27720
หินฝุ่น	49095	49095	49095	49095	49095	49095
ค่าแรงงาน	18002	18002	18002	18002	18002	18002
ค่าไฟฟ้าในการผลิต	982	982	982	982	982	982
เถ้าแกลบ	0	573	859	1145	1432	1718
น้ำมันขนเถ้าแกลบ	0	245	367	490	612	734
ไฟฟ้าในการบดเถ้าแกลบ	0	555	555	555	555	555
รวม	107679	105092	103520	101949	100378	98806

หมายเหตุ 1) กำลังไฟฟ้าของเครื่องบดเถ้าแกลบ = 0.37 kw

2) ค่าไฟฟ้า 5 บาท/หน่วย



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อก

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เถ้าแกลบมีความเป็นวัสดุปอซโซลาน ซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกได้บางส่วน สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกโรงงาน ซึ่งได้สรุปผลและข้อเสนอแนะเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

5.1 สรุปผล

- เมื่อใส่ปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีความต้องการน้ำและระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น โดยที่กำลังรับแรงอัดจะมีค่าต่ำลง
- การบดเถ้าแกลบสามารถช่วยลดความพรุนของเถ้าแกลบและเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ดีขึ้น
- เถ้าแกลบที่ผ่านการบดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีคุณสมบัติที่ดีกว่าเถ้าแกลบที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50
- การใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกของโรงงานได้สูงสุดประมาณ 8,000 – 9,000 บาท โดยมีคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานมอก. 58 – 2530 และได้ตามคุณภาพของโรงงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การนำเถ้าแกลบไปใช้ในการผลิตจริงควรใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการใช้งานจริงจะมีความไม่แน่นอนของวัตถุดิบ สัดส่วนผสม และปัจจัยอื่น ๆ ส่งผลให้คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกลดลง
- ต้นทุนในการผลิตโดยใช้เถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอด อันเนื่องมาจากราคาค่าขนส่ง ราคาวัตถุดิบที่ถูกปรับเปลี่ยนไปตามเศรษฐกิจ
- เถ้าแกลบที่ได้จากโรงสีได้นำมาทดสอบแต่ละครั้งจะมีปริมาณความชื้นที่ไม่เท่ากัน ควรทำการลดปริมาณความชื้นให้มีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์(ประมาณ 7 วัน) ก่อนทำการใช้ผสมเพื่อขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก
- ในการบดเถ้าแกลบ โดยใช้เหล็กเส้นที่หุ้มด้วยสายยางใส่ในเครื่องบด เมื่อทำการบดแล้วเถ้าแกลบที่ได้อาจจะมีเศษของสายยางปะปนอยู่ด้วย ในการนำเถ้าแกลบไปใช้จะต้องนำเศษของสายยางออกก่อน

- ในการใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก จะต้องศึกษาการลงทุน ความคุ้มทุน และผลตอบแทนที่ได้ในการใช้เครื่องบดให้รอบคอบ เพราะจะต้องทำเครื่องในการบดเถ้าแกลบ

เอกสารอ้างอิง

สรนัย เงินประถม, อำนาจ หวังเลิศสกุลชัย (2543). **การศึกษาการรับกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ เถ้าลอยบิทูมินัส และเถ้าแกลบผสมเถ้าลอยบิทูมินัส**. ปริญญานิพนธ์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก library.kmutnb.ac.th/projects/edu/TTC/ttc0216t.html

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, ทวิสัณห์ คงทรัพย์ (2545). **ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว**. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์(ศูนย์รังสิต), ปทุมธานี. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก http://ptech.pcd.go.th/p2/download.php?file=userfiles%2Fconsult%2F4%2Fwaste_u7.pdf

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, ณรงค์ศักดิ์ มากุล, อนัญญ์ รอดอนันต์ (2547). ผลกระทบของเถ้าแกลบขาวบดละเอียดมากที่มีต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก http://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=1325

บุรฉัตร ฉัตรวีระ ณรงค์ศักดิ์ มากุล อนัญญ์ รอดอนันต์. (2548). ความทนทานของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบดำภายใต้การกระทำของ โซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จากhttp://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=756.

ปริญญา จินดาประเสริฐ, อุกฤษฎ์ โข่ศรี (2548). กำลังรับแรงและความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของคลอไรด์ ของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบ. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก http://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=760.

บัณฑิต หิรัญสถิตย์พร. (2534). การศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมขี้เถ้าแกลบ ขี้เถ้าลอย และสารลดน้ำพิเศษ. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก http://websis.kku.ac.th/abstract/thesis/meng/se/2534/se340003t.html.

วันทินี ภูกองชนะ, อรนุช มีชำนาญ (2546). **มอร์ต้าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าแกลบและสารแคลเซียมคลอไรด์**. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก http://library.kmutnb.ac.th/projects/edu/TTC/ttc0317t.html.

ชลินธร ชานะมัย, อรรถกฤษณ์ มหาเกตุ. (2546). **การศึกษาพฤติกรรมของซีเมนต์มอร์ต้าร์ผสมเถ้าแกลบและสารเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีองค์ประกอบของคลอไรด์**. สืบค้นเมื่อ 17 พฤศจิกายน 2552, จาก http://library.kmutnb.ac.th/projects/edu/TTC/ttc0327t.html.

ภรพนา บุญมา และคณะฯ. (2548). **สมบัติทางฟิสิกส์บางประการของคอนกรีตบล็อกแบบกลวงที่ผสมเส้นใยกากปาล์มน้ำมันและผสมเส้นใยชานอ้อย**. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2552, จาก e-nett.sut.ac.th/download/ECB/ECB09.pdf.

คมกริช น่วมจิตร, เชาวลิต เนตรสกุล, ธนากร ประทุมเกตุ. การศึกษาและพัฒนาอิฐบล็อกจากกากตะกอนน้ำตาล. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2552, จากeng.rmutsb.ac.th/doc_pdf/R-E51/cl-001/009.pdf.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ, บัณฑิต รักษาดี. (2547). การใช้เถ้าแกลบไม่บดในการผลิตคอนกรีตบล็อก. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2552, จาก http://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=1356.

อาทิมา ดวงจันทร์, สุวิมล สัจจวาณิชย์. (2548). คอนกรีตบล็อกผสมเถ้าชานอ้อย. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2552, จาก http://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=224.

วทัชภพ เดชพันธ์, ประเสริฐ อิ่มนาง. (2549). สมรรถนะเชิงกลของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2552, จาก http://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=1024.

ประชุม คำพุฒ. (2550). การศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติผสมเพิ่มในคอนกรีตบล็อก. สืบค้นเมื่อ 18 พฤศจิกายน 2552, จาก http://www.eit.or.th/ejournal/detail.php?id=1328.

ปิยรัตน์ เปาเล้ง, คมศักดิ์ บัวอิ่น. (2552). อิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาและขนาดของเถ้าแกลบต่อคุณสมบัติของมอร์ต้า.

รศ. ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ, รศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2549). ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต(ฉบับปรับปรุง)

American Society for Testing and Material, 1993, Annual Book of ASTM Standard, Vol 4.02, United State of America.

Prinya Chindaprasirt. (1983). LOW COST CEMENT FOR RURAL AREA

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. คู่มือปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี

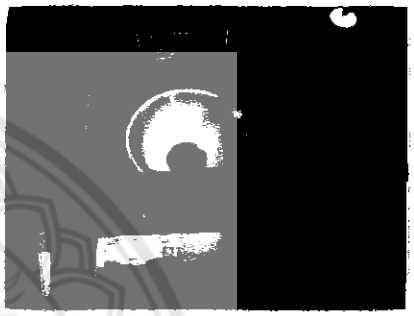
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. คู่มือปฏิบัติการวัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ

ภาคผนวก ก

ภาพอุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

1.อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ ก1 เครื่องมือทดสอบแบบไวแคต



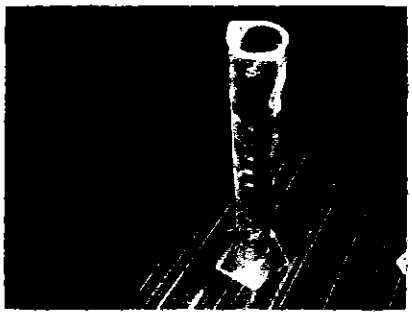
รูปที่ ก2 เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด0.001 กรัม

รูปที่ ก3 เหล็กเส้นกลม

รูปที่ ก4 สายยาง

รูปที่ ก5 ถุงมือยาง

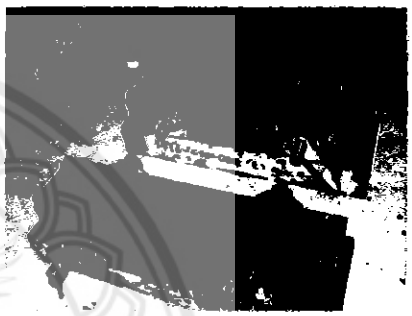
รูปที่ ก6 เครื่องผสมซีเมนต์เพสต์



รูปที่ ก7 กระบอกตวง

รูปที่ ก8 เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กิโลกรัม

รูปที่ ก9 เครื่องทดสอบแรงกด



รูปที่ ก10 แบบหล่อตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

รูปที่ ก11 เครื่องบดเถ้าแกลบ

รูปที่ ก12 เครื่องร่อนเถ้าแกลบ

รูปที่ ก13 ถังบ่มตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

รูปที่ ก14 ที่ตัก

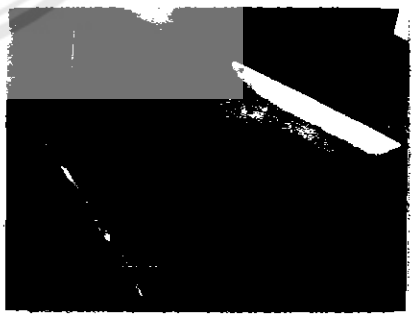
รูปที่ ก15 เกรียง

รูปที่ ก16 เทอร์โมมิเตอร์

รูปที่ ก17 เครื่อง Blain Air-Permeability

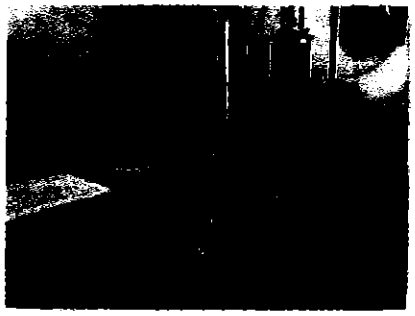
รูปที่ ก18 เครื่อง x-ray diffraction

รูปที่ ก19 เครื่อง scanning electron microscope

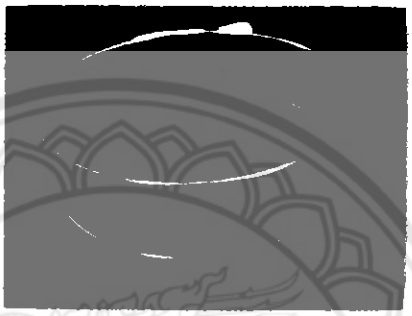


รูปที่ ก20 ถาด

รูปที่ ก21 เครื่องขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก



รูปที่ ก22 ขวดเลอแชททีเลียร์

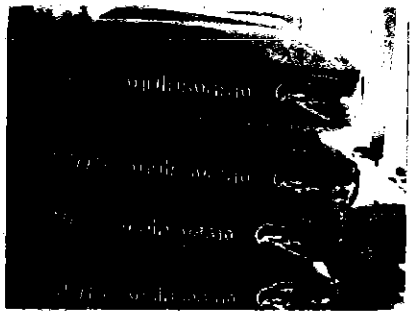


รูปที่ ก23 ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน เบอร์ 50

2.วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ ก24 หินฝุ่น

รูปที่ ก25 เถ้าแกลบ



รูปที่ ก26 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราเพชร