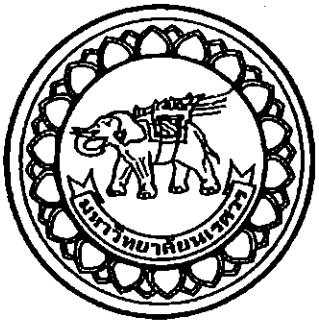


การวิเคราะห์มวลเบาจากดินตะกอนเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม และขี้เถ้าเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา

ANALYSIS OF LIGHT WEIGHT AGGREGATES FROM WASTE SOIL AND ASH FOR LIGHT WEIGHT CONCRETE

นายทรงวุฒิ น่วมศิริ รหัส 50365413

นายสิทธิชัย ดีอินทร์ รหัส 50365598

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1594497
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ท147 ก 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การวิเคราะห์มวลเบาจากดินตะกอนเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมและขี้เถ้าเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา

ผู้ดำเนินโครงงาน นายทรงวุฒิ น่วมศิริ รหัส 50365413

นายสิทธิชัย ดีอินทร์ รหัส 50365598

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การวิเคราะห์มวลเบาจากดินตะกอนเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรมและขี้เถ้าเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายทรงวุฒิ น่วมศิริ	รหัส 50365413
	นายสิทธิชัย ดีอินทร์	รหัส 50365598
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2553	

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษามวลเบาที่ผลิตจากดินตะกอนต่อเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200, 1300, 1350 และ 1400 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และกำลังอัด เพื่อนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา พบว่าปริมาณดินตะกอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม เพิ่มขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น แม้ว่าที่อัตราส่วนผสมดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก จะมีค่าเฉลี่ยกำลังอัด ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงที่สุด แต่ไม่มีการผสมกับเถ้าแกลบ ซึ่งไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นจึงพิจารณาที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การเพิ่มของอุณหภูมิการเผาส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง ส่งผลให้มวลเบามีน้ำหนักที่เบากว่า และพบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส มวลเบามีความพรุนตัวที่ดีกว่า จึงเลือกใช้มวลเบาในอัตราส่วนดังกล่าว เป็นมวลเบาในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 และทำการใส่มวลเบาแทนหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณมวลเบาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยกำลังอัดมีค่าลดลง แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น โดยมวลเบาที่แทนหิน ในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 66.6 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น และยังมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ไม่ผสมมวลเบา และเมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก. 409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานผู้ซึ่งให้ความรู้ ให้คำปรึกษา รวมทั้งข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการปฏิบัติการดำเนินโครงงาน การวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ และอาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงาน รวมทั้งเสียสละเวลาในการให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล นักวิจัย และคุณศุธีรพันธ์ พันธ์เลิศ ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สังกัดห้องปฏิบัติการเซรามิกส์ประยุกต์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ ในการทดสอบองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพของดินตะกอน และเถ้าแกลบที่ใช้ในโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณ โรงไฟฟ้าชีวมวลเชื้อเพลิงแกลบ เอ.ที ไบโอพาวเวอร์ จ.พิจิตร ที่อนุเคราะห์เถ้าแกลบ และบริษัท American Standard B&K (Thailand) Public Company Limited ที่ให้ความอนุเคราะห์ดินตะกอน ในการทำโครงงานนี้

ขอขอบพระคุณ ครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงงาน
ทรงวุฒิ น่วมศิริ
สิทธิชัย ดีอินทร์

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....4
2.1 คอนกรีต.....4
2.2 คอนกรีตมวลเบา.....6
2.3 วัสดุผสมคอนกรีตมวลเบา.....7
2.4 แกลบ และเถ้าแกลบ.....17
2.5 ดินตะกอน.....21
2.6 สมบัติของคอนกรีตสด.....22
2.7 การบ่ม และการถอดแบบหล่อคอนกรีต.....23
2.8 กำลังอัดคอนกรีต.....25
2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง.....27
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 36

3.1 ขั้นตอนการเตรียมขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน 37

3.2 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอน 37

3.3 ขั้นตอนการผสมขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน 37

3.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปมวลเบา 38

3.5 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของมวลเบา 39

3.6 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต และมวลเบา 40

3.7 ทดสอบสมบัติของคอนกรีตที่ผสมมวลเบา 41

บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ 44

4.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอน 44

4.2 ผลการศึกษามวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล 44

4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของมวลเบา และศึกษาลักษณะโครงสร้างมหภาคของมวลเบา 47

4.4 ผลการศึกษาคอนกรีตมวลเบา โดยการแทนหินด้วยมวลเบา 53

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 56

5.1 สรุปผล 56

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา 57

5.3 ปัญหาที่พบ และวิธีการแก้ไข 58

เอกสารอ้างอิง 59

ภาคผนวก ก 61

ภาคผนวก ข 67

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 69

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ....3

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....9

2.2 สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์....10

2.3 สารประกอบ และคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 – 5....12

3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีต และมวลเบา....41

ก.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....62

ก.2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....62

ก.3 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....62

ก.4 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส....62

ก.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส....63

ก.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส....64

ก.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส....65

ก.8 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส....66

ข.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา....68

ข.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา....68

ข.3 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา....68

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต	4
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	36
3.2	หม้อสำหรับบดผสมวัตถุดิบ	38
3.3	มวลเบาที่กำลังเตรียมเผา	38
3.4	ตะแกรงร่อนสำหรับคัดขนาดมวลเบา	39
3.5	เครื่องทดสอบกำลังอัด	40
3.6	ชิ้นงานคอนกรีตที่ได้จากการหล่อตามส่วนผสมต่าง ๆ	41
3.7	ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในสภาพแห้ง	42
3.8	ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในสภาพแขวนลอยในน้ำ	43
3.9	ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ	43
3.10	เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	43
4.1	XRD ของดินตะกอน	44
4.2	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส	45
4.3	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส	45
4.4	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส	46
4.5	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส	47
4.6	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา	48
4.7	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา	48
4.8	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา	49
4.9	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา	49
4.10	พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส	50
4.11	พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส	51
4.12	พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส	51
4.13	พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 ที่อุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส....52

4.15 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา....53

4.16 ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา....54

4.17 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา....54

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for the Testing of Materials
XRD	=	X-Ray Diffraction
°C	=	องศาเซลเซียส
cm^2/g	=	ตารางเซนติเมตรต่อกรัม
MPa	=	เมกะปาสคาล

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันคอนกรีตเป็นส่วนหนึ่งของการก่อสร้างอาคาร หรือบ้านเรือน เนื่องจากมีราคาถูก และมีความแข็งแรงทนทานสูง คอนกรีตโดยทั่วไปจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวม (หิน และทราย) และน้ำ โดยน้ำหนักของคอนกรีตส่วนใหญ่จะมาจาก 2 ส่วน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และมวลรวม เมื่อโครงสร้างอาคารมีขนาดใหญ่ ตัวฐานรากของอาคารจำเป็นที่จะต้องมีขนาดที่ใหญ่ เพื่อรองรับน้ำหนักของตัวอาคาร และน้ำหนักของสิ่งของอื่นๆ ซึ่งส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น จากปัญหาของค่าใช้จ่าย และน้ำหนักของคอนกรีตที่กล่าวมา จึงได้มีการพัฒนาคอนกรีตให้มีน้ำหนักที่ลดลง มีทั้งการลดน้ำหนักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และมวลรวม แต่สำหรับงานโครงสร้างที่ต้องรับน้ำหนักมากจำเป็นต้องใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จำนวนมาก เพื่อเพิ่มการยึดเกาะกันของคอนกรีต ดังนั้นคอนกรีตน้ำหนักเบาสำหรับงานโครงสร้าง จึงนิยมลดน้ำหนักของมวลรวม โดยใช้มวลรวมที่มีน้ำหนักเบาแทนที่การใช้หิน หรือทราย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา โดยวัสดุมวลเบาที่ใช้จะมีทั้งที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ดินเบา และหินภูเขาไฟ และจากการสังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash), ตะกรันจากเตาถลุง (Blast Furnace Slag), เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash) และวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลเบาดังกล่าวจึงมีน้ำหนักเบา และประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของหิน และทรายลงไปได้ ในปัจจุบันพบว่าขี้เถ้าแกลบจากอุตสาหกรรมเป็นอีกหนึ่งวัตถุดิบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นมวลเบา ซึ่งขี้เถ้าแกลบจากอุตสาหกรรมมีปริมาณมากขึ้น และพบว่าในแต่ละปีประเทศไทยมีปริมาณขี้เถ้าแกลบจากอุตสาหกรรมต่างๆ ที่เหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก แต่การนำขี้เถ้าแกลบไปใช้ให้เกิดประโยชน์ยังไม่มากเท่าที่ควร ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเพื่อนำขี้เถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์อย่างมากมาย นักวิทยาศาสตร์พบว่าขี้เถ้าแกลบมีซิลิกา (Silica, SiO_2) เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 70 - 90 และขี้เถ้าแกลบมีความพรุนมาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก มีสมบัติดูดซับดี อีกทั้งมีสมบัติเป็นฉนวนด้วย เนื่องจากขี้เถ้าแกลบมีราคาถูก และหาง่าย จึงนิยมนำมาทำวัสดุมวลเบาที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากนี้ยังมีวัสดุที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ ดินตะกอน จากข้อมูลในงานวิจัยพบว่าดินตะกอนได้ถูกนำมาใช้ในงานวิศวกรรมเป็นจำนวนมากแบ่งเป็นสองแนวทางหลัก คือ การนำดินตะกอนจากแหล่งต่างๆ มาผสมคอนกรีตแล้วศึกษาคุณสมบัติในด้านต่างๆ และการนำดินตะกอนทำเป็นวัสดุก่อสร้างอื่นๆ เช่น ใช้ทำอิฐมอญ, กระเบื้องมุงหลังคา หรือคอนกรีตบล็อกประสาน เป็นต้น ซึ่งการใช้ประโยชน์จากดินตะกอนยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด หรือนำดินตะกอนไปทิ้งโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ เนื่องจากในปัจจุบันการผลิตน้ำประปาของโรงงานอุตสาหกรรมจะมีตะกอนดินจากกระบวนการผลิตวันละหลายพันตันซึ่งเป็นปริมาณที่มาก และต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัด แนวทางในการนำดินตะกอนเหล่านี้ ซึ่งเป็นวัสดุในงานคอนกรีต จึง

เป็นประโยชน์เป็นอย่างมากในการนำกลับมาใช้ใหม่ ด้วยการนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา (บุญรักษ์, 2552)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอนมาใช้ทำคอนกรีตมวลเบา เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการช่วยแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมในการผลิตมวลเบาระหว่างดินตะกอน และขี้เถ้าแกลบในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล

1.2.2 ศึกษาอัตราส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลเบาที่สังเคราะห์ขึ้น

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนของปูนต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยมีมวลเบาทดแทนในส่วนของหิน

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ปริมาณส่วนผสมของขี้เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเชื้อเพลิงแกลบของบริษัท เอ.ที. ไบโอพาวเวอร์ จำกัด ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา และดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอเมริกันสแตนดาร์ดที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ใช้ดินตะกอนจากโรงงานอเมริกันสแตนดาร์ดในการทำมวลเบา

1.5.2 ใช้ขี้เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลเชื้อเพลิงแกลบของบริษัท เอ. ที. ไบโอพาวเวอร์ จำกัด ในการทำมวลเบา

1.5.3 อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อขี้เถ้าแกลบ ร้อยละ 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก

1.5.4 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของมวลเบา คือ ความหนาแน่นปรากฏ, ความหนาแน่นรวม, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังอัด

1.5.5 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

1.5.6 คอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 × 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.5.7 ศึกษาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้อัตราส่วนของปูนต่อทรายต่อหิน เท่ากับ

1 : 2 : 3 โดยมีมวลเบาทดแทนในส่วนของหินเท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก

1.5.8 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีตที่ผสมมวลเบา คือ ความหนาแน่นปรากฏ, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และกำลังอัด

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

- อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC)
- อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตุลาคม 2553 ถึง เมษายน 2554

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	พ.ศ. 2553			พ.ศ. 2554			
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ศึกษา และหาข้อมูลของขี้เถ้าแกลบ ดินตะกอน และคอนกรีตมวลเบา	←	→					
2	เตรียมขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน	←	—	→				
3	วิเคราะห์วัฏภาคของขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน		←	→				
4	ขึ้นรูปขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน เพื่อทำมวลเบา		←	—	→			
5	ทดสอบสมบัติของมวลเบา				←	→		
6	หล่อคอนกรีตมวลเบา				←	→		
7	ทดสอบสมบัติของคอนกรีตมวลเบา					←	—	→
8	สรุปผล และจัดทำรายงาน						←	→

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 คอนกรีต

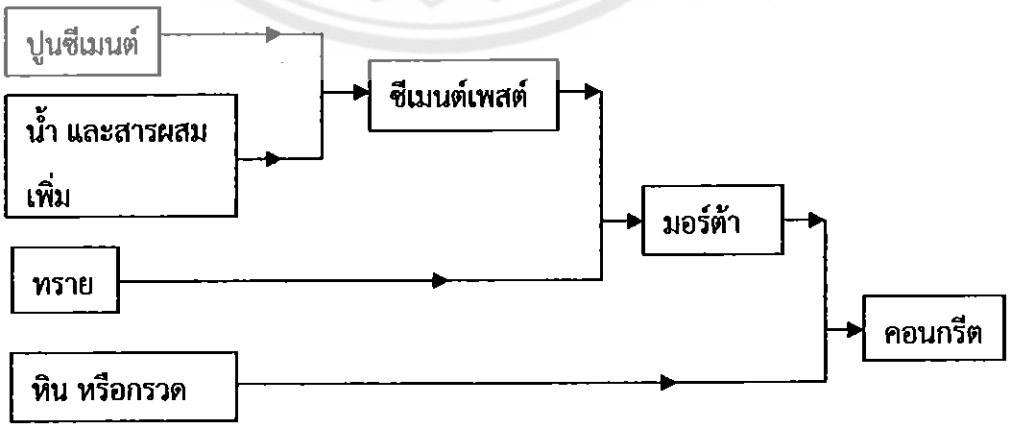
คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันทั้งนี้เพราะเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมหลายประการ เช่น สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามที่ต้องการได้, มีความคงทนสูง, ไม่ติดไฟ, สามารถเทหล่อได้ในสถานที่ก่อสร้าง, ตกแต่งผิวให้สวยงามได้ และที่สำคัญคือ มีราคาไม่แพง เมื่อเทียบกับราคาเหล็กรูปพรรณ

2.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

โดยทั่วไปคอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสมพื้นฐาน 2 ส่วน คือ

- ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ได้แก่ ปูนซีเมนต์, น้ำ และสารผสมเพิ่ม
- มวลรวม (Aggregates) ได้แก่ มวลรวมละเอียด หรือทราย และมวลรวมหยาบ เช่น หิน และกรวด เป็นต้น

เมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกัน จะได้คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้ เรียกคอนกรีตในสภาพนี้ว่า "คอนกรีตสด (Fresh Concrete)" หลังจากนั้นคอนกรีตจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งในเวลาต่อมา โดยจะมีกำลังหรือความแข็งแรงมากขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น และเมื่อมีสมบัติผ่านข้อกำหนดงานคอนกรีตตามที่ออกแบบไว้ จึงจะสามารถเปิดใช้งานรับน้ำหนักได้ต่อไป เรียกคอนกรีตภายหลังจากเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งแล้วนี้ว่า "คอนกรีตแข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete)"



รูปที่ 2.1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆ ของคอนกรีต
ที่มา: คอนกรีตเทคโนโลยี (2539)

2.1.2 หน้าที่ และสมบัติของส่วนผสม

2.1.2.1 ซีเมนต์เพสต์

มีหน้าที่ คือ เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม, หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ และให้กำลังแก่คอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ โดยสมบัติของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของปูนซีเมนต์, อัตราส่วนผสมน้ำต่อปูนซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น"

2.1.2.2 มวลรวม

ทำหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ และช่วยทำให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก สมบัติของมวลรวมที่สำคัญ คือ จะมีความแข็งแรง, การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ, คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี และมีความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

2.1.2.3 น้ำ

หน้าที่ของน้ำ คือ ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ, ใช้ผสมทำคอนกรีต, ใช้บ่มคอนกรีตก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับปูนซีเมนต์, หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ และเคลือบมวลรวม (หิน หรือกรวด และทราย)

2.1.2.4 สารผสมเพิ่ม

หน้าที่สำคัญของสารผสมเพิ่ม คือ ช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตสด หรือคอนกรีตแข็งตัวแล้ว เช่น เวลาการก่อตัว, ความสามารถเทได้, กำลังอัด และความคงทน เป็นต้น

2.1.3 คอนกรีตที่ดีกับคอนกรีตที่ไม่ดี

คอนกรีตที่ดี คือ คอนกรีตที่มีสมบัติทางวิศวกรรมทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตสด และคอนกรีตแข็งตัวแล้วเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานตามต้องการ และมีทุน หรือราคาที่เหมาะสม

ในสภาพคอนกรีตสด (ภายหลังการผสม, การลำเลียงคอนกรีตจากเครื่องผสมไปยังจุดเท, ใน การเทลงบนแบบหล่อ, การอัดแน่น และการแต่งผิวหน้า) ควรมีความข้นเหลวเหมาะสมกับการเท และการอัดแน่นคอนกรีต โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเครื่องจักร หรือแรงคนมากนัก มีเนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะกันอย่างเพียงพอ ไม่มีการแยกตัวขององค์ประกอบต่างๆ ในคอนกรีต (เช่น การแยกตัวของหิน หรือกรวดกับน้ำปูน) และไม่เกิดการเยิ้มขึ้นของน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีตมากเกินไป

ในสภาพคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ควรมีความแข็งแรง และความคงทน สามารถรับน้ำหนักหรือมีกำลังอัดตามที่ออกแบบไว้ได้อย่างปลอดภัยตลอดช่วงอายุการใช้งาน และควรมีสมบัติอื่นๆ ที่ดีอีกด้วย เช่น ความหนาแน่น, กำลังดัด, กำลังดึง, การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง, ความทึบน้ำ, ความต้านทานต่อแรงกระแทก และการเสียดสี, และความคงทนต่อการกัดกร่อนจากสารซัลเฟต เป็นต้น

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆ นอกจากนี้บางโครงสร้างยังต้องการผิวคอนกรีตที่เรียบ และมีช่องว่างอากาศที่ผิวน้อยที่สุดอีกด้วย

คอนกรีตที่ไม่ดี คือ คอนกรีตที่มีสมบัติไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน คอนกรีตที่ไม่ดีมักมีความข้นเหลว และเมื่อแข็งตัวแล้วอาจมีรูโพรง หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง

2.1.4 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

การทำคอนกรีตที่ดีนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้ และความเข้าใจด้านคอนกรีตเทคโนโลยีขั้นพื้นฐาน ซึ่งจะช่วยให้เลือกใช้วัสดุผสมคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม, เลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง และรวมทั้งการควบคุมกระบวนการผลิตคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน ทั้งนี้เพื่อจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีสมบัติดีสม่ำเสมอ สามารถเทลงแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการได้ มีความแข็งแรง และความคงทน และที่สำคัญ คือ ทำให้มีต้นทุน หรือราคาที่เหมาะสมอีกด้วย (วินิต, 2539)

2.2 คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา และมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป และเป็นนวัตกรรมรูปแบบใหม่ด้านวัสดุก่อสร้างที่ในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง ซึ่งองค์ประกอบของคอนกรีตมวลเบาคล้ายกับคอนกรีตทั่วไปที่ประกอบด้วยซีเมนต์ และมวลรวมเป็นหลัก แต่คอนกรีตมวลเบามีการใส่วัสดุชนิดมวลเบาผสมเข้าไปด้วยทำให้มีน้ำหนัก เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากคอนกรีตชนิดอื่นๆ คือ สามารถนำไปปลูกสร้างได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้างทั้งยังสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่า 50 ปี ด้วยสมบัติที่โดดเด่นนี้ทำให้มีการเปลี่ยนมาใช้คอนกรีตมวลเบาทดแทนอิฐมอญ หรือคอนกรีตบล็อกมากขึ้น โดยทั่วไปคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการผสมระหว่างทราย ซีเมนต์ ปูนขาว ยิปซั่ม และผงอลูมินา โดยมีฟองอากาศปริมาณร้อยละ 75 ทำให้มีน้ำหนักเบา, ลอยน้ำได้ ฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบาจะเป็นแบบเซลล์ปิด ไม่ดูดซึมน้ำ หรือดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมอญ 4 เท่า ความเบาของคอนกรีตจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน มีค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าคอนกรีตบล็อก 4 เท่า ดีกว่าอิฐมอญ 6 ถึง 8 เท่า ไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ ทนไฟที่ 1000 องศาเซลเซียสได้นาน 4 ชั่วโมง และกันเสียงได้ดี

คอนกรีตมวลเบาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ที่ได้จากการทำให้ฟองอากาศในคอนกรีตด้วยผงอลูมิเนียม หรือด้วยสารกักกระจายฟองอากาศในอัตราส่วนที่เป็นสูตรเฉพาะตัว ซึ่งผู้ผลิตหลายรายได้ใช้ระบบไอน้ำภายใต้ความดันทำให้เกิดฟองอากาศในคอนกรีต ซึ่งผู้ผลิตส่วนใหญ่ในประเทศไทยได้นำเข้าเทคโนโลยี และเครื่องจักรจากต่างประเทศ เช่น ประเทศเยอรมัน และออสเตรเลีย เป็นต้น ทำให้ราคาคอนกรีตมวลเบายังคงมีราคาสูงอยู่ คอนกรีตมวลเบามีหลายประเภท อาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

ซึ่งระบบนี้จะแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบามาเป็นส่วนผสม เช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ชานอ้อย หรือเม็ดโฟม ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานสั้น เสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้ สารเหล่านี้อาจจะติดไฟ และเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัยได้

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมีเป็นส่วนผสม เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมาก ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง คอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์ ต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง ซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกขาว

2.2.2 ระบบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

ซึ่งระบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ

ประเภทที่ 1 ใช้ปูนขาวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งประเภทนี้จะควบคุมคุณภาพได้ยาก ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ประเภทที่ 2 ระบบที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งเป็นสารให้กำลังในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง ทนทานกว่าการผลิตในระบบอื่นมาก

2.3 วัสดุผสมคอนกรีตมวลเบา

2.3.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานที่ให้กำลังแก่คอนกรีตที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งแบ่งออกได้หลายประเภทตามความเหมาะสมกับงาน สมบัติของปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ และกรรมวิธีการผลิต สารประกอบของวัตถุดิบจะทำปฏิกิริยากันในขั้นตอนการเผา การปรับส่วนประกอบทางเคมีจะให้ปูนซีเมนต์ที่มีสมบัติต่างกัน เมื่อผสมกับน้ำปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยา และเกิดการก่อตัว และแข็งตัว การผสมเถ้าลอยจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Reaction) ที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไป

2.3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้แก่ ออกไซด์ของธาตุแคลเซียมจำพวกหินปูน (Limestone) และหินชอล์ก (Chalk) และออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (Silicon) และอลูมิเนียมจำพวกดินเหนียว หินเชล (Shale) และหินชนวน (Slate) ในบางครั้งดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีทั้งออกไซด์ของแคลเซียม และซิลิกอน ได้แก่ ดินมาร์ล (Marl) นอกจากนี้การผลิตปูนซีเมนต์ยัง

ต้องการวัตถุดิบอย่างอื่น ได้แก่ ออกไซด์ของเหล็กซึ่งได้จากลูกรัง (Laterite) ออกไซด์ของอลูมิเนียม และเหล็ก ช่วยให้ปฏิกิริยาในเตาเผาเกิดขึ้นได้ง่าย และยังต้องการยิปซัม (Gypsum) เพื่อหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไป กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และกระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) โดยขึ้นอยู่กับสภาพของวัตถุดิบ การผลิตทำได้โดยการเผาวัตถุดิบที่ผ่านการบดละเอียด และผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิ 1500 - 1600 องศาเซลเซียส ในเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาเบื้องต้น ได้สารประกอบของแคลเซียมอลูมิเนต และเฟอร์ไรต์ (Calcium aluminate and Ferrite) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ที่อุณหภูมิประมาณ 1350 องศาเซลเซียส จะเกิดการหลอมละลายของแคลเซียมอลูมิเนต และเฟอร์ไรต์ (Calcium aluminate and Ferrite) และเริ่มทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ด (Clinkering) วัตถุดิบจะหลอมละลาย และประมาณร้อยละ 20 - 30 กลายเป็นของเหลว ที่อุณหภูมิ 1400 - 1600 องศาเซลเซียส ส่วนผสมจะทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดก้อนกลมขนาด 3 ถึง 40 มิลลิเมตร ในส่วนท้ายสุดของเตาอุณหภูมิจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว และปูนเม็ดจะออกจากเตาเผา อัตราการลดลงของอุณหภูมิมีผลต่อความเป็นผลึกของปูนเม็ด ในขั้นตอนสุดท้ายจะบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัมประมาณร้อยละ 2.5 - 3.0 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์เพื่อช่วยหน่วงการก่อตัว

2.3.1.2 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Manufacturing Process) จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็น 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) และกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

ก. กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (Marl) และดินเหนียว (Clay) มาบดผสมกันในสภาพที่เปียก และเติมน้ำเพิ่มลงในอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 30 – 40 มีลักษณะเหลว และไหลได้เรียกว่า Slurry หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผาในสภาพที่มีความชื้นสูง หม้อเผาในกรรมวิธีแบบเปียกจะต้องใช้ปริมาณความร้อนสูงกว่าหม้อเผาในกรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง เนื่องจากต้องใช้ความร้อนไล่ความชื้น Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

ข. กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) คือ กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone), หินดินดาน (Shale), ดินลูกรัง (Laterite) และทราย (Sand) มาบดผสมในสภาพที่แห้ง และในระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผาช่วยไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จแล้วจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดคล้ายแป้งเรียกว่า “วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)” หลังจากนั้นนำไปป้อนเข้าหม้อเผาในสภาพที่แห้งเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา

2.3.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบด้วยออกไซด์หลัก (Major Oxides) และออกไซด์รอง (Minor Oxides) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ออกไซด์หลักได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO), ซิลิกา (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) รวมกันได้กว่าร้อยละ 90 ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O และ K_2O), ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และยังมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอม และส่วนประกอบอื่นซึ่งจัดรวมอยู่ในการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา และกากที่ไม่ละลายในกรด และด่าง (Insoluble Residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากัน และรวมตัวกันอยู่ในรูปสารประกอบที่มีรูปร่างต่างๆ ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ การเผา และการเย็นลงของปูนเม็ด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์	
	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย
CaO	60 - 67	64.4
SiO_2	17 - 25	20.0
Al_2O_3	3 - 8	5.8
Fe_2O_3	0.5 - 6.0	3.2
MgO	0.1 - 4.0	0.5
Na_2O	0.1 - 1.3	0.5
K_2O	0.1 - 1.3	0.5
SO_3	0.5 - 3	2.6
สารประกอบอื่น	1 – 3	1.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	0.1 – 3.0	1.0
กากที่ไม่ละลายในกรด และด่าง	0.2 – 0.8	0.5

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

ก. สมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ได้แก่

- ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) $3CaO.SiO_2$ (C_3S)
- ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) $2CaO.SiO_2$ (C_2S)
- ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate) $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A)

- เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite)

$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3$ (C_4AF)

C_3S, C_2S, C_3A และ C_4AF มีปริมาณมากกว่าถึงร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดสมบัติของปูนซีเมนต์ สมบัติที่สำคัญได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.2 C_3S มีอยู่มากที่สุดประมาณร้อยละ 45 – 55 มีรูปร่างเหลี่ยมสีเทาแก่ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และเกิดความร้อนเรียกว่า ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Heat of hydration) และเกิดการก่อตัว และแข็งตัว C_3S ให้กำลังคอนกรีตดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก

C_2S มีอยู่ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 – 35 C_2S ที่บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบ คือ αC_2S เกิดที่อุณหภูมิ 1450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลงจะแปลงสภาพเป็น $\alpha' C_2S$ ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น βC_2S ที่อุณหภูมิต่ำลง และเป็น C_2S ที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจาก C_2S ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่บริสุทธิ์มีสารแปลกปลอมอื่นผสมทำให้การแปลงสภาพจาก βC_2S เป็น C_2S ไม่เกิดขึ้น ดังนั้น βC_2S จะมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ C_2S มีลักษณะเป็นเม็ดกลม เมื่อนำมาผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาเช่นกัน ความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะไม่สูง การพัฒนากำลังของ C_2S ช้ากว่า C_3S มาก นั่นคือ เริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์

C_3A มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 7 – 15 ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีสีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็ว และทำให้เพสต์ก่อตัวทันที ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีค่าสูงมาก การพัฒนากำลังของ C_3A จะเร็วมาก คือ สามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ

C_4AF มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 5 – 10 อยู่ในสภาพสารละลายของแข็ง (Solid solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยา และทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีค่าปานกลาง โดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมากเช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าต่ำ

ตารางที่ 2.2 สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ปริมาณ, ร้อยละ	45 - 55	15 - 35	7 - 15	5 – 10
อัตราการทำปฏิกิริยา	เร็ว (ชม.)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาที)
การพัฒนากำลังอัด	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
กำลังอัดสูงสุด	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) สมบัติหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
ความร้อนจากปฏิกิริยา	สูง	ต่ำ	สูงมาก	ปานกลาง

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

ข. สมบัติของสารประกอบรอง

สารประกอบรองมีอยู่ในจำนวนน้อย แต่มีผลกระทบต่อซีเมนต์เพสต์ และคอนกรีตทั้งขณะที่ยังไม่แข็งตัว และที่แข็งตัวแล้ว

- ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ เมื่อมีอยู่มากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วเกิดการขยายตัว และแตกร้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับ C_3A ทำให้เกิดเอททริงไกต์ (Ettringite) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น มาตรฐานกำหนดปริมาณ SO_3 ในปูนซีเมนต์ไม่ให้เกินร้อยละ 3.0
- ปูนขาวอิสระ ปกติมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 – 1.0 สามารถรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้าๆ ทำให้เกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาตรมาก ถ้าปูนขาวอิสระมีมากเกินจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวแล้วขยายตัว และแตกร้าวได้ พฤติกรรมนี้เรียกว่า "ความไม่คงตัว" (Unsoundness)
- แมกนีเซียมออกไซด์ บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระ และจะรวมตัวกับน้ำได้ช้ามากกินเวลานับปีทำให้เกิดความไม่คงตัวได้ การทดสอบโดยใช้วิธีออโตเคลฟ (Autoclave Test) ซึ่งวัดผลรวมของความไม่คงตัวที่เกิดจาก MgO และ CaO
- ออกไซด์ของอัลคาไล มีอยู่ร้อยละ 0.5 – 1.3 จะมีบทบาทสำคัญในกรณีที่มวลรวมเป็นซิลิกาที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา และทำปฏิกิริยากับอัลคาไล ปฏิกิริยานี้เรียกว่า "ปฏิกิริยาอัลคาไลมวลรวม" (Alkali-Aggregate Reaction) ทำให้ได้อัลคาไลซิลิกาเจล และเกิดการขยายตัวทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้
- ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ มีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1 – 0.2 ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก P_2O_5 ทำให้ C_3S สลายตัวเป็น C_2S กับ CaO นอกจากนี้ถ้ามี P_2O_5 มากพออาจทำให้เกิดความไม่คงตัวเพราะมีปูนขาวอิสระเกิดเพิ่มมากขึ้น

2.3.1.4 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบของปูนซีเมนต์สามารถปรับให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆ มาตรฐาน ASTM C150 แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทมีอยู่ในมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1 สารประกอบ และสมบัติบางประการแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Odinary Portland Cement) ใช้กันมากที่สุด สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ปูนชนิดนี้ให้กำลัง และเกิดความร้อนปานกลาง

ข. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2 หรือซีเมนต์ดัดแปลง (Modified Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำกว่า และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับทำคอนกรีตที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง

ค. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (Rapid Hardening Portland Cement) ให้กำลังสูงในระยะแรก และให้ความร้อนจากปฏิกิริยาสูง โดยมีปริมาณ C_3S สูง และความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว หรืองานที่ต้องการถอดแบบเร็ว

ง. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (Low Heat Portland Cement) ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาต่ำมากเพราะมีปริมาณของ C_3S ต่ำ ร้อยละ 25 – 30 แต่มี C_2S สูงถึงร้อยละ 50 – 60 เหมาะสำหรับใช้งานคอนกรีตหลา

จ. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต (Sulfate Resisting Portland Cement) ต้านทานซัลเฟตได้สูง มีปริมาณของ C_3A ต่ำ ไม่เกินร้อยละ 5 เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่อยู่ในที่มีเกลือ หรือสารละลายซัลเฟต เช่น โครงสร้างในทะเล (ผศ.อุบลลักษณ์, 2552)

ตารางที่ 2.3 สารประกอบ และสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 – 5

สารประกอบ และสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่				
	1	2	3	4	5
C_3S	49	46	56	25	30
C_2S	25	29	15	50	46
C_3A	12	6	12	5	5
C_4AF	8	12	8	12	13
ความละเอียด (ซม^2/กรัม)	3000	3000	4500	3000	3000
กำลังอัด (3วัน, กก./ซม^2)	180	150	310	80	120
ความร้อนปฏิกิริยา (28วัน, จูล/กรัม)	400	330	430	270	310

หมายเหตุ: กำลังอัดวัดจากลูกบาศก์มอร์ต้าร์ขนาด 50 มม.

ที่มา: เถ้าแกลบในงานคอนกรีต (2552)

2.3.2 มวลรวม

มวลรวม คือ วัสดุเฉื่อยที่ใช้เป็นวัสดุแทรกในคอนกรีต เช่น หิน, กรวด และทราย เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมมีปริมาตรถึงร้อยละ 70 – 80 ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด นอกจากนี้มวลรวมยังมีความสำคัญอื่นๆ อีก ได้แก่

- ทำให้คอนกรีตมีต้นทุน หรือราคาต่ำลง การเลือกใช้มวลรวมที่มีคุณภาพดีจะช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ให้น้อยลง มีผลให้ต้นทุน หรือราคาคอนกรีตลดลง

- มีผลกระทบต่อสมบัติของคอนกรีต สมบัติของมวลรวมเป็นตัวกำหนด หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight), โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) และความคงตัวของปริมาตร (Volume Stability) ของคอนกรีต

สมบัติของมวลรวมที่สำคัญ ได้แก่ ความพรุน (Porosity), ขนาดคละ หรือการกระจายของขนาด (Grading or Size Distribution), การดูดซึมความชื้น (Moisture Absorption), รูปร่างและลักษณะผิว (Shape and Surface Texture), กำลังวัสดุ (Crushing Strength) และชนิดของสารเจือปนที่เป็นอันตราย (Type of Deleterious Substances) และผลกระทบต่อสมบัติของคอนกรีตสด เช่น ความข้นเหลว (Consistency) และการยึดเกาะกัน (Cohesion) เป็นต้น

2.3.2.1 สมบัติทั่วไปของมวลรวม

มวลรวมควรมีสมบัติที่ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ง่ายแข็งแรง คงทน และมีราคาประหยัด นอกจากนี้มวลรวมควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

ก. ความแข็งแกร่ง (Strength)

มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือ จะรับแรงกดได้ 700 – 3500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้

ข. ความต้านทานต่อแรงกระแทก และการขัดสี (Impact and Abrasion Resistance)

เป็นสมบัติที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของมวลรวม และมีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ทำคอนกรีตที่ต้องรับแรงกระแทก หรือการขัดสี เช่น พื้นถนน, พื้นโรงงาน และพื้นสนามบิน เป็นต้น ดังนั้น มวลรวมที่ใช้งานได้ดีควรมีความแข็งแรง และมีเนื้อแน่น

ค. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์ได้ ก่อให้เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวจนเกิดรอยแตกร้าวกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าคอนกรีต เรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม (Alkali – Aggregate Reaction หรือ ARR)”

ง. รูปร่าง และลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture)

รูปร่าง และลักษณะผิวของมวลรวมมีอิทธิพลต่อสมบัติของคอนกรีตสดมาก

กว่าสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบ, มีรูปร่างแบน, หรือมีรูปร่างยาวเรียว จะทำให้คอนกรีตมีความต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่มากกว่ามวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยม ที่ระดับความสามารถเทได้ (Workability) เดียวกัน

จ. ขนาดคละ

ขนาดคละของมวลรวมมีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต การทำคอนกรีตที่ดีนั้น แต่ละอนุภาคของมวลรวมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ไม่ว่ามวลรวมนั้นจะมีขนาดเล็ก หรือใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำไปผสมรวมกันแล้วอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าให้มากที่สุด ซึ่งจะมีผลทำให้ประหยัดซีเมนต์เพสต์ที่จะต้องใช้ยึดมวลรวมกัน รวมทั้งอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกัน ดังนั้นการใช้มวลรวมที่มีขนาดคละที่เหมาะสมจึงช่วยให้ลดปริมาณซีเมนต์เพสต์ลง และช่วยประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตได้

2.3.3 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่ น้ำผสมคอนกรีต, น้ำล้างมวลรวม และน้ำบ่มคอนกรีต

คุณภาพ และปริมาณของน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรง และความคงทนของคอนกรีต น้ำผสมคอนกรีตควรสะอาด ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีสมบัติผ่านข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต นอกจากนี้น้ำผสมคอนกรีตจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้, ระยะเวลาการก่อตัว, การแข็งตัว, กำลัง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อีกทั้งต้องไม่มีผลทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม โดยปกติน้ำประปาที่มีสมบัติเหมาะแก่การบริโภคจะสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้ น้ำที่มีคลอไรด์ เช่น น้ำทะเล, น้ำเค็ม และน้ำกร่อย ไม่เหมาะสำหรับผสมคอนกรีต เพราะจะทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิมได้

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีตนั้น นอกจากจะมีผลต่อความเข้มข้นเหลว หรือความสามารถในการเทลงแบบหล่อคอนกรีตแล้ว ยังส่งผลต่อความแข็งแรง และความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย ดังนั้นการเลือกน้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

2.3.3.1 หน้าที่ของน้ำสำหรับงานคอนกรีต

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการดังนี้

ก. น้ำผสมคอนกรีต

ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อันมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด รวมทั้งกำลัง และความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ข. น้ำล้างมวลรวม

ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรกให้สะอาด เพื่อที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตได้

ค. น้ำบ่มคอนกรีต

ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น และเป็นการป้องกันปัญหาการแตกตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

2.3.3.2 การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีต

การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตนี้ สามารถทำได้โดยการทดสอบเทียบกับเวลาการก่อตัว และกำลังอัดระหว่างที่ใช้น้ำตัวอย่างกับที่ใช้น้ำควบคุม กรณีทดสอบตัวอย่างมอร์ตาร์ ให้ใช้น้ำกลั่นเป็นน้ำควบคุม

2.3.3.3 ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตจากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต (E.I.T. Standard 1014)

ก. ค่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น

ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องไม่เร็วเกินกว่า 60 นาที หรือ ไม่ช้าเกินกว่า 90 นาที เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ข. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด

ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ถ้าผลการทดสอบที่ได้นอกเหนือค่าที่กำหนด แสดงว่าน้ำนั้นมีผลกระทบต่อสมบัติของคอนกรีต อาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนแหล่งน้ำที่จะนำมาผสมคอนกรีต หรือถ้าผลการทดสอบแสดงว่าค่ากำลังอัดของตัวอย่างไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างที่ใช้น้ำควบคุม อาจใช้น้ำนี้แต่ต้องมีการเปลี่ยนส่วนผสมคอนกรีต

2.3.3.4 คุณภาพของน้ำล้างมวลรวม

น้ำล้างมวลรวมควรมีสมบัติเหมือนน้ำผสมคอนกรีต เพราะน้ำนี้จะเคลือบอยู่บนผิวของมวลรวม และสามารถเข้าไปทำอันตรายต่อคอนกรีตเหมือนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตได้ ข้อที่ควรระวัง คือ ต้องคอยเปลี่ยนน้ำที่ใช้ล้างมวลรวมอย่างสม่ำเสมอ เพราะเมื่อล้างไปช่วงเวลาหนึ่ง น้ำจะขุ่น การใช้ต่อไปจะไม่เกิดผลดี แต่กลับทำให้เกิดความสกปรกเพิ่มขึ้นด้วย

2.3.3.5 คุณภาพของน้ำบ่มคอนกรีต

น้ำที่ใช้บ่มคอนกรีตนั้นไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพสูงเท่ากับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต อย่างไรก็ตามไม่ควรมีสิ่งเจือปนในน้ำบ่มคอนกรีตในปริมาณมากพอที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต เช่น สารพวกซัลเฟต, สารที่ทำให้เกิดคราบสกปรก, น้ำมัน, กรด และเกลือ เป็นต้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้ผิวคอนกรีตเกิดรอยเปื้อน ถูกกัดกร่อน หรือเป็นตัวการทำให้สีจับกับผิวคอนกรีตได้ไม่ดี และหลุดร่อนในภายหลังได้

2.3.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่ม หรือน้ำยาผสมคอนกรีต หมายถึง สารใดๆ นอกเหนือไปจากปูนซีเมนต์, น้ำ และมวลรวม ที่ใช้เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตไม่ว่าก่อน หรือกำลังผสม เพื่อปรับปรุง หรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตสด หรือคอนกรีตแข็งตัวแล้วให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ

การจำแนกประเภทของสารผสมเพิ่มแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 ประเภท คือ

2.2.4.1 สารเคมีผสมเพิ่ม

เป็นสารเคมีที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนผสม หรือขณะผสม เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น ลดปริมาณน้ำมันส่วนผสม, เร่ง หรือหน่วงการก่อตัวและการแข็งตัว และปรับปรุงความสามารถในการใช้งานคอนกรีตสด เป็นต้น

2.2.4.2 แร่ผสมเพิ่ม

มีลักษณะเป็นผงละเอียด ที่เติมลงในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงความสามารถในการใช้งาน เช่น เพิ่มกำลัง, เพิ่มความคงทน, ทำให้คอนกรีตสดมีสมบัติในการยึดเกาะตัวดีขึ้น และยังสามารถใช้ทดแทนปริมาณปูนซีเมนต์ได้บางส่วน เป็นต้น

2.2.4.3 สารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ

ได้แก่ สารที่ไม่จัดอยู่ในสองประเภทแรก ซึ่งผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่างเท่านั้น ก่อนที่จะใช้สารผสมเพิ่ม ควรมีการศึกษาข้อจำกัดการใช้งาน การตรวจสอบคุณภาพ และการทดสอบประสิทธิภาพ รวมทั้งควรใช้ตามข้อแนะนำของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลเสียหายได้ (วินิต, 2539)

2.3.5 มวลเบา

มวลเบา (Lightweight Aggregate) คือ วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา และนิยมนำมาผสมกับคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น มวลเบามีความหนาแน่นระหว่าง 60 ถึง 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถจำแนกมวลเบาออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

2.3.5.1 มวลเบาที่ได้จากธรรมชาติ

มวลเบาชนิดนี้ได้แก่ เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) เพอร์ไลต์ (Perlite) พูไมต์ (Pumice) และสโคเรีย (Scoria) ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติเวลาที่ภูเขาไฟระเบิด มวลเบาประเภทนี้มีการดูดซึมน้ำมาก และนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนัก

2.3.5.2 มวลเบาที่ได้จากกระบวนการผลิต

มวลเบานี้นิยมใช้ผสมเป็นคอนกรีตมวลเบามากที่สุดสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

ก. มวลเบาจากดินเหนียว

ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ และนำไปเผาในเตาเผาแบบหมุน ที่อุณหภูมิประมาณ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมินี้ดินจะมีการขยายตัว

เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อดิน ลักษณะของดินพวกนี้มีรูปร่างกลมแข็ง ผิวเรียบแน่น แต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

ข. มวลเบาจากดินดาน

ได้จากการนำดินดานมาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ซึ่งวัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกัน และมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหิน ลักษณะจะเป็นหินที่มีความแข็งมาก หลังจากที่เผาจะนำมวลเบาที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ มวลเบาชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบา

ค. เถ้าลอยหลอม

ได้จากการนำเอาเถ้าลอยที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินไปทำให้เป็นเม็ดแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1400 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมินี้ อนุภาคของเถ้าจะเกาะกันซึ่งผิวของมวลเบาชนิดนี้ จะค่อนข้างเรียบ

2.3.5.3 มวลเบาที่ได้จากสารอินทรีย์

มวลเบาชนิดนี้ได้แก่ แกลบ, ขี้เถ้าแกลบ และขี้เลื่อย เป็นต้น นำมาผสมกับคอนกรีต ได้คอนกรีตมวลเบา แต่ไม่ทนความร้อน ลุกติดไฟได้ง่าย เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ดี

2.3.5.4 มวลเบาที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต

มวลเบาชนิดนี้ได้แก่ เถ้าหนัก (Bottom Ash) ที่ได้จากโรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Slag) ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก เป็นการพ่นน้ำลงไปบนตะกรันที่หลอมเหลวทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อตะกรันที่แข็งแล้ว หลังจากนั้นนำไปย่อยให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ และยังมีดินตะกอนที่ได้มาจากดินที่เป็นเศษเหลือทิ้ง หรือดินที่ตกหล่นจากกระบวนการของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งดินเหล่านี้จะถูกชะล้างด้วยน้ำประปาไปยังอ่างตกตะกอน และได้มีการนำดินตะกอนเหลือทิ้งมาทำเป็นวัสดุก่อสร้างต่างๆ เช่น ใช้ทำอิฐมอญกระเบื้องมุงหลังคา หรือคอนกรีตบล็อกประสาน เป็นต้น

ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุมวลเบาเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา หรืออิฐมวลเบา เป็นต้น เนื่องจากมวลเบาเหล่านี้มีความพรุน น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรง และเป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิต มวลเบาที่มีการนำมาศึกษา และพัฒนาเพื่อผลิตเป็นสินค้า ก็คือ เถ้าแกลบ เนื่องจากปริมาณเถ้าแกลบที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมีจำนวนมาก นอกจากนี้ยังรวมไปถึงดินตะกอนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

2.4 แกลบ และเถ้าแกลบ

แกลบ และเถ้าแกลบโดยทั่วไปมักจะใช้เป็นแหล่งในการสกัดซิลิกา ซึ่งมีข้อมูลงานวิจัยมานานหลายสิบปีเนื่องจากปริมาณแกลบที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีแนวทางการใช้งานแกลบ และเถ้าแกลบให้หลากหลาย โดยสามารถจำแนกการใช้งานแกลบ และเถ้าแกลบได้ 7 ประเภทดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 การใช้งานแกลบเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน

ประเภทที่ 2 การใช้งานแกลบเพื่อเป็นแหล่งซิลิกา (SiO_2)

ประเภทที่ 3 การใช้งานซิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อเป็นวัตถุดิบในงานเซรามิกส์

ประเภทที่ 4 การใช้งานซิลิกาจากแกลบเพื่อผลิตซิลิกอน (Si)

ประเภทที่ 5 การใช้งานแกลบเพื่อผลิตซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และซิลิกอนไนไตรล (Si_3N_4)

ประเภทที่ 6 การใช้งานเถ้าแกลบในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า

ประเภทที่ 7 การใช้งานเถ้าแกลบในอุตสาหกรรมคอนกรีต

ประเภทที่ 1 การใช้งานแกลบเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน เป็นที่นิยม และใช้กันมาก ในปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าแกลบที่ขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จำนวน 4 โรง มีกำลังการผลิตรวม 66 เมกะวัตต์ โดยไฟฟ้าพลังงานแกลบโรงแรกนั้น เริ่มใช้แกลบร่วมกับเศษไม้ผลิตไฟฟ้าขายตั้งแต่ พ.ศ. 2541 นอกจากนี้ยังมีผู้ผลิตไฟฟ้าจากแกลบอีกจำนวนหนึ่ง เพื่อใช้เองในโรงงาน

ประเภทที่ 2 การใช้งานแกลบเพื่อเป็นแหล่งซิลิกา (SiO_2) พบว่าเถ้าแกลบต้องทำการเผาก่อนที่นำมาสกัดซิลิกา ซิลิกาที่สกัดได้จะเป็นซิลิกาแบบอสัณฐาน (Amorphous silica) ต้องทำการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปผลึกเป็นควอต์ซ (Quatz) ทริดีไมต์ (Tridymite) และคริสโตบาลไลต์ (Crystoballite) โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามปริมาณ และคุณภาพผลึก ซิลิกาที่ได้ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่สกัดได้จากเถ้าแกลบ

ประเภทที่ 3 การสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อเป็นวัตถุดิบในงานเซรามิกส์ โดยการทำปฏิกิริยาเปลี่ยนซิลิกาให้เป็นมูลไลต์ (Mullite) ซึ่งมีสูตรทางเคมี คือ $3Al_2O_3 .2SiO_2$ คอร์ไดอิไรต์ (Cordierite, $2Al_2O_3 .2MgO.5SiO_2$) แมกนีเซียมซิลิเกต หรือแคลเซียมซิลิเกต โดยมูลไลต์เป็นองค์ประกอบของวัสดุทนไฟ นอกจากนี้ซิลิกาที่สกัดได้ยังสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตซีโอไลต์ได้อีกด้วย

ประเภทที่ 4 การสกัดซิลิกาจากแกลบเพื่อผลิตซิลิกอน (Si) โดยการทำปฏิกิริยารีดักชั่นซิลิกาให้เป็นซิลิกอน ซิลิกอนที่ผลิตได้สามารถนำไปผลิตโลหะอัลลอยด์ระหว่างซิลิกอนกับอลูมิเนียม ผลิตเป็นยางซิลิโคน หรือซิลิกอนผลึก (Polycrystal Silicon) การใช้งานแกลบในประเภทนี้ยังไม่แพร่หลายเนื่องจากต้องทำการสกัดซิลิกาให้มีความบริสุทธิ์ก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นซิลิกอน ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายสูงและไม่เป็นที่นิยมมากนัก

ประเภทที่ 5 การผลิตซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) และซิลิกอนไนไตรล (Si_3N_4) จากแกลบโดยทั่วไป SiC จะผลิตจาก SiO_2 และคาร์บอน ดังนั้นจึงมีหลายงานวิจัยที่เสนอการผลิต SiC จากเถ้าแกลบ เนื่องจากเถ้าแกลบมีทั้ง SiO_2 และคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ SiC เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตวัสดุทนไฟ วัสดุสำหรับงานขัด และสารตั้งต้นในการผลิตเซรามิกส์ชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์เช่นเดียวกับ Si_3N_4 ผลิตจาก SiO_2 และ Si โดยการรีดิวซ์ SiO_2 เป็น SiO ด้วยคาร์บอน ด้วยเหตุผลเดียวกันที่ว่าเถ้าแกลบมีทั้ง SiO_2 และคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

ประเภทที่ 6 การใช้งานเถ้าแกลบในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า อุตสาหกรรมผลิตเหล็กได้ใช้เถ้าแกลบในกระบวนการหล่อเหล็กหลอมแผ่นเรียบ (Flat Steel) โดยทั่วไปอุณหภูมิในการหลอมเหล็กจะ

ประมาณ 1400 องศาเซลเซียส ระหว่างที่เหล็กหลอมไหลลงในแบบหล่ออุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เหลือ 1250 องศาเซลเซียส จะเกิดการอุดตัน (Choking) และเป็นสาเหตุการให้แบบหล่อแตกได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเติมเถ้าแกลบให้กระจายตัวบนแบบหล่อ เพื่อป้องกันการลดลงของอุณหภูมิของเหล็กหล่อที่รวดเร็ว และลดความเสียหายจากการหล่อ

ประเภทที่ 7 การใช้งานเถ้าแกลบในอุตสาหกรรมคอนกรีต เถ้าแกลบบดนิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีต โดยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต และเพิ่มสมบัติด้านกำลังอัด ลดการซึมผ่านของคลอไรด์แก่คอนกรีตได้

2.4.1 สมบัติของเถ้าแกลบ

2.4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบจะแตกต่างกันไปบ้างขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว ทั้งนี้ความแตกต่างที่ปรากฏจะอยู่ในขั้นต่ำ นอกจากนี้สภาพดิน อากาศ และปุ๋ยมีผลต่อองค์ประกอบของเถ้าแกลบ โดยที่สภาพของดินปุ๋ยจะให้ส่วนประกอบของโพแตสเซียม และโซเดียมแตกต่างกันพอสมควร เถ้าแกลบที่เผาได้สมบูรณ์จะมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 90 นอกจากนี้จะเป็นออกไซด์ของโซเดียม โพแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ ปริมาณการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) จะค่อนข้างต่ำไม่เกินร้อยละ 5 ปริมาณ LOI ส่วนใหญ่จะเป็นคาร์บอน และสารที่เผาไหม้ไม่หมด ซึ่งถ้ามีปริมาณที่สูงแสดงว่าเถ้าแกลบผ่านการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และมีผลต่อการนำไปใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ โดยจะเพิ่มความต้องการน้ำ ทำให้กำลังรับแรงลดลงได้ ปริมาณคาร์บอน และส่วนที่ยังเหลือจากการเผาไหม้ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้ปริมาณซิลิกาลดลงด้วย

2.4.1.2 สถานะของซิลิกาในเถ้าแกลบ

ซิลิกาเป็นสารประกอบที่มีอยู่มากในเถ้าแกลบ และสำคัญที่สุด ความสามารถในการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับสถานะของซิลิกา ซึ่งซิลิกามีอยู่ 2 สถานะ ได้แก่ ซิลิกาแบบอสัณฐาน (Amorphous) และซิลิกาที่เป็นผลึก (Crystaline) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และระยะเวลาในการ เผา ซิลิกาที่เป็นผลึกค่อนข้างอยู่ตัว และเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา แต่ซิลิกาแบบอสัณฐานซึ่งได้จากการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิสูงซิลิกาจะเปลี่ยนรูปไปเป็นผลึกควอรตซ์ (Quartz) คริสโตบาไลต์ (Christobalite) และทริดิไมต์ (Tridimite)

2.4.1.3 ลักษณะทางกายภาพ

ก. โครงสร้าง และความพรุนของเถ้าแกลบบดละเอียด

แกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจะยังคงรักษาความพรุน และโครงสร้างเซลล์ไว้ได้ แกลบที่ผ่านการเผา และผ่านการบดละเอียดแล้วโดยมากจะยังคงมีลักษณะเป็นรูพรุน ทั้งนี้วิธีการบดละเอียดที่มากไปอาจทำให้โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และความเป็นรูพรุนลดลง ซึ่งจะมีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ และพื้นที่ผิวของเถ้าแกลบ นอกจากนี้อุณหภูมิของการเผามี

ผลต่อโครงสร้างทางจุลภาคของเถ้าแกลบเช่นกัน อัตราการให้ความร้อน และเวลามีผลต่อคุณภาพแกลบที่ได้ แกลบที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะให้ปริมาณเถ้าที่สูงกว่าแกลบที่เผาที่ 400 องศาเซลเซียส และเรียกขั้นตอนนี้ว่า Dispersed State อุณหภูมิการเผาที่ 700 องศาเซลเซียส ทำให้สีเถ้าแกลบเปลี่ยนจากสีเทาเป็นสีชมพู โดยได้ผลึกเช่นเดียวกับที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามอาจพบการจับตัวกันเป็นก้อนของเถ้าแกลบที่อุณหภูมิดังกล่าว การเผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการจับตัวของเถ้าแกลบมากขึ้นเนื่องจากเกิดการหลอมเกิดขึ้น

ข. ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธีการเผา และเถ้าแกลบที่ไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีคาร์บอนเหลืออยู่มาก และจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำ ความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบที่เผาไหม้ค่อยข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9 – 2.3 และยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเผา ถ้าเผาที่ 500 องศาเซลเซียส มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.06 และจะเพิ่มเป็น 2.2 และ 2.3 ที่อุณหภูมิการเผา 800 และ 1000 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของความถ่วงจำเพาะ เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ลดลง และการที่โครงสร้างของเซลล์ถูกทำลาย และความพรุนลดลงที่อุณหภูมิสูง

2.4.1.4 ความเป็นปอซโซลานของเถ้าแกลบ

ความเป็นปอซโซลานของเถ้าแกลบที่นิยมใช้วัดกันมีอยู่ 3 วิธี คือ

ก. ค่าดรรชนีความสามารถในการทำปฏิกิริยาของซิลิกาของเถ้าแกลบ ความสามารถในการทำปฏิกิริยาระหว่างสารปอซโซลานกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และน้ำ เป็นตัววัดความเป็นสารปอซโซลาน และเนื่องจากซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักของเถ้าแกลบ ดังนั้นความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบจึงขึ้นอยู่กับความเป็นอสัณฐานของซิลิกาในเถ้าแกลบ และในการวัดความเป็นปอซโซลานของเถ้าแกลบจึงนิยมใช้ค่าดรรชนีความสามารถในการทำปฏิกิริยาของซิลิกา (Silica Activity Index) โดยวัดการละลายของซิลิกาในเถ้าแกลบในสารละลายของด่าง 0.5 N NaOH ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที การทดสอบใช้เถ้าแกลบผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 325 ที่ ผ่านการกำจัดคาร์บอนโดยการเผาเพื่อหา LOI และผ่านการกำจัดสารประกอบอื่นโดยใช้กรดไนตริก (Nitric Acid) สารซิลิกาที่เหลืออยู่แสดงถึงปริมาณของซิลิกาที่มีอยู่ในเถ้าแกลบ และจึงนำไปทดสอบหาค่าดรรชนีความสามารถในการทำปฏิกิริยาของซิลิกาของเถ้าแกลบ ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70 - 85

ข. การเปลี่ยนแปลงในการนำไฟฟ้าของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ความสามารถในการทำปฏิกิริยา หรือความเป็นปอซโซลานของเถ้าแกลบสามารถวัดได้โดยการวัดความเปลี่ยนแปลงในการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ของสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว เมื่อทำปฏิกิริยากับเถ้าแกลบ วิธีการทดลอง โดยใช้สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว 200 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ผสมกับสารปอซโซลาน 5 กรัม วัดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าของสารละลายก่อนการใส่เถ้าแกลบ และหลังการใส่เถ้าแกลบ และคนอย่างสม่ำเสมอ 2 นาที จากผลการทดลองพบว่า เถ้าแกลบที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการ

ทำปฏิกิริยาสูง โดยมีการเปลี่ยนแปลงของการนำไฟฟ้าเท่ากับ 1.63 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเถ้าแกลบจะลดลงเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าลดลงเป็น 0.70 และ 0.56 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร เมื่อเผาที่ 700 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ค. ความเป็นปอซโซลานของเถ้าแกลบสามารถวัดได้โดยการทดสอบค่าดรรชนีกำลังตามมาตรฐาน ASTM C311 โดยใช้การวัดกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือปูนขาวแทนที่ด้วยเถ้าแกลบร้อยละ 20 ค่าดรรชนีกำลัง คือ ค่ากำลังที่ทดสอบได้เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือปูนขาว ล้วนแสดงถึงความเป็นปอซโซลานของเถ้าแกลบ

จากสมบัติของเถ้าแกลบที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เถ้าแกลบเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตมวลเบา และนอกจากการใช้มวลเบาจากเถ้าแกลบเป็นส่วนผสมคอนกรีตแล้ว ยังสามารถนำมวลเบามาใช้เป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) ทำหน้าที่ดูดซับพวกของเสียที่เป็นของเหลวจากการเกษตร หรือพวกสารเคมีประเภทของเหลว เช่น กรด เบส แอลกอฮอล์ และอื่นๆ ได้ หรือเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Filler) หรือพวกฉนวนกันความร้อนที่ใช้สำหรับงานด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงปัจจัยในการผลิตเถ้าแกลบมวลเบา ก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ใช้งานได้หลากหลาย และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากเถ้าแกลบได้ (ผศ.อุบลลักษณ์, 2552)

2.5 ดินตะกอน

ดินตะกอน คือ ดินที่ถูกน้ำพัดพาไปยังแหล่งอื่นแล้วเกิดการผุกร่อนในที่ที่ห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดเดิม อนุภาค หรือผลึกของดินตะกอน จะต้องอยู่ในสภาวะแขวนลอยระหว่างที่เกิดการพัดพาไปยังแหล่งอื่นด้วยน้ำ ทำให้อนุภาคของดินตะกอนมีความละเอียดมาก ซึ่งสามารถสรุปที่มาของการเกิดดินตะกอนได้ดังนี้

- กระบวนการทางอุทกวิทยา โดยธรรมชาติกระบวนการทางอุทกวิทยาต่างๆ เช่น การไหลของน้ำ แรงจากเม็ดฝน ทำให้เกิดการกัดเซาะของดิน วัตถุ และสารต่างๆ ชะล้าง และพัดพาตามแรงกระทำของน้ำ และนำไปตกตะกอนตามลำน้ำต่างๆ เมื่อกระแสน้ำไหลช้าลง โดยสารวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนก่อน และสารวัตถุที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปไกลกว่า และตกตะกอนภายหลัง
- กิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรม การทำถนน
- กิจกรรมของจุลินทรีย์น้ำเสีย ซึ่งโดยปกติแล้วในแหล่งน้ำต่างๆ มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณมาก มักมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี จุลินทรีย์เหล่านี้เมื่อมีการเจริญมากจะเกิดตายทับถมกลายเป็นซากอินทรีย์ตะกอนบริเวณท้องลำน้ำ เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย หนองน้ำ เป็นต้น

ดินตะกอน หรือตะกอนดินที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การผลิตน้ำประปา ซึ่งดินตะกอนเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดออกหลังกระบวนการผลิตน้ำประปา ในขั้นตอนการผลิต

น้ำประปานั้นเริ่มจากการตกตะกอนตามธรรมชาติ และมีการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำ เช่น เศษสวะ เศษไม้ สาหร่าย พืชน้ำ หรือถุงพลาสติก ด้วยตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด จากนั้นจึงเติมสารเคมี ได้แก่ สารส้ม และพอลิเมอร์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ตะกอนจับตัวเป็นก้อนโตขึ้น ตะกอนหนัก จะตกลงสู่พื้นล่างของถัง เหลือแต่น้ำใสไปยังบ่อกรองน้ำ น้ำจะถูกกรองด้วยผงถ่าน ทราย ละเอียด และหินหยาบ จากนั้นจึงเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค สุดท้ายเป็นการเติมปูนขาวในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างให้มีฤทธิ์เป็นกลาง ในส่วนของตะกอนเมื่อแยกน้ำออกไปแล้ว ตะกอนจะถูกปล่อยลงสู่บ่อกักตะกอนเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ จนตะกอนเหลวมีความเข้มข้น ประมาณร้อยละ 10-15 โดยน้ำหนัก จึงใช้เรือสูบตะกอนเหลวออกจากบ่อกักตะกอนไปยังบ่อตากตะกอน เมื่อทิ้งไว้ในบ่อตากตะกอนประมาณ 1 ปี จะได้ตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 25-40 โดยน้ำหนัก การขนย้ายตะกอนเหลวทำได้โดยใช้รถตักดินตัก ตะกอนใส่รถบรรทุกมายังลานตากตะกอน เมื่อดินตะกอนมีความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก จึงใช้รถบรรทุกขนย้ายออกจากโรงผลิตน้ำประปาได้

ในปัจจุบันมีการสร้างโรงผลิตน้ำแห่งใหม่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรที่หนาแน่นและการขยายตัวของสังคม ส่งผลให้มีดินตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้น แต่การนำไปใช้ประโยชน์มักไม่มาก จึงได้มีการนำดินตะกอนมาทำการวิจัย ซึ่งมีงานวิจัยหลายงานที่เกี่ยวกับแนวทางการใช้ประโยชน์ดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปาทั้งในด้านการเกษตร และด้านอุตสาหกรรม ตัวอย่างในการนำดินตะกอนมาใช้ประโยชน์ เช่น การทำดินเผานาโน ประโยชน์ที่ได้ คือ ได้ผลิตภัณฑ์ดินเผาที่มีน้ำหนักเบา แต่แข็งแรง มีการดูดซึมน้ำสูง ซึ่งช่วยในการรักษาความชื้นให้กับต้นไม้ ช่วยลดปริมาณดินตะกอนจากการผลิตน้ำประปา เป็นต้น (สุพิณ, 2552)

2.6 สมบัติของคอนกรีตสด

สมบัติของคอนกรีตสดมีความสำคัญมาก แม้ว่าคอนกรีตสดจะเป็นเพียงสภาพชั่วคราวของคอนกรีตก่อนการแข็งตัว แต่เนื่องจากสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่ดี ได้แก่ รูปร่าง และความสวยงาม, กำลัง, การเปลี่ยนรูปร่าง, ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ และความคงทนเหล่านี้ เป็นผลมาจากการอัดแน่นคอนกรีตสดที่ดี รวมถึงการลำเลียง การเท และการแต่งผิวหน้า ล้วนแต่เป็นผลมาจากสมบัติ “ความสามารถเทได้” ของคอนกรีตสดที่ดีทั้งสิ้น

คอนกรีตสดที่ดีจะต้องมีสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ มีเนื้อสม่ำเสมอเหมือนกันทุกส่วน, มีความสามารถเทได้ดี โดยไม่เกิดการแยกตัวขึ้น, ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป, มีเวลาการก่อตัวนานพอที่จะสามารถทำงานได้ทัน และยังอาจจำเป็นต้องมีสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานโดยเฉพาะด้วย

คอนกรีตสด (Fresh Concrete) คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความเข้มข้นเหลวเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้วที่มีรูปร่าง และสมบัติตามต้องการได้

ความสามารถเทได้ (Workability) คือ ปริมาณงานที่ใช้ในการอัดคอนกรีตสดให้แน่น โดยปราศจากการแยกตัว

การยึดเกาะ (Cohesion) คือ สมบัติของเนื้อคอนกรีตสดที่สามารถจับรวมเป็นกลุ่ม หรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก และเกี่ยวกับแนวโน้มของคอนกรีตสดที่จะเกิดการเยิ้ม หรือการแยกตัว

ความข้นเหลว (Consistency) คือ สภาพความเหลวของคอนกรีตสดซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่ ความข้นเหลวเป็นสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของความสามารถในการใช้งาน และสามารถวัดค่าได้ชัดเจนด้วยวิธีการทดสอบ เช่น ค่ายุบตัว และค่าการไหล เป็นต้น

การแยกตัว (Segregation) คือ การแยกออกจากกันขององวัสดุองค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตสด ทำให้ส่วนผสมมีเนื้อไม่สม่ำเสมอตลอดทุกส่วน

การเยิ้ม (Bleeding) คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง โดยเป็นปรากฏการณ์การคายน้ำของคอนกรีตสดเกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมตัวลง แล้วดันน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต

2.7 การบ่ม และการถอดแบบหล่อคอนกรีต

2.7.1 การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีต (Curing) คือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลทำให้การพัฒนากำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ

- เพื่อให้คอนกรีตมีการพัฒนาสมบัติด้านกำลัง และความคงทน
- เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตโดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มแรกโดยการรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการแต่งผิวหน้า และคอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว และควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลักการทั่วไปของการบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อน หรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อน หรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างด้วยน้ำฝน หลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ

2.7.1.1 การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ และการบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

ก. การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ

เป็นการเพิ่มน้ำ หรือความชื้นในผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่

คอนกรีตเริ่มแข็งตัวอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาการบ่มคอนกรีตที่กำหนด ควรคำนึงถึงความสามารถในการจัดหาน้ำ และวัสดุที่ใช้บ่ม น้ำที่ใช้บ่มควรมีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน ไม่มีสารเจือปนที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต หรือทำให้ผิวคอนกรีตเปลี่ยนสี และหลีกเลี่ยงการใช้น้ำบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ผิวคอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันที และเกิดการแตกร้าวได้ (Thermal Shock) วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีการบ่มที่ดีแล้ว ยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงด้วย จึงเหมาะกับงานคอนกรีตในอากาศร้อน

ข. การบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

เป็นการป้องกันความชื้นจากผิวคอนกรีต ไม่ให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอก โดยการใช้วัสดุปิดทับ ทำหน้าที่เป็นแผ่นคลุม หรือเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบ เช่น การใช้สารเหลว หรือน้ำยาบ่มคอนกรีตน้ำยาบ่มคอนกรีต ควรมีคุณภาพตามข้อกำหนด มอก. 841 หรือ ASTM C309 เป็นสารที่เคลือบบนผิวคอนกรีต ซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะเป็นแผ่นบาง (Membrane - Forming) สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการแข็งตัวของคอนกรีตในช่วงแรกได้

2.7.1.2 การบ่มที่อุณหภูมิสูง

การบ่มที่อุณหภูมิสูง หรือการบ่มแบบเร่งกำลัง สามารถเร่งอัตราการเพิ่มกำลังอัดได้อย่างรวดเร็ว จึงนิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ท่อ คาน และแผ่นพื้น เป็นต้น

การบ่มแบบนี้ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลาที่จะเริ่มบ่ม, อัตราการเร่งอุณหภูมิ, อุณหภูมิสูงสุดของการบ่ม, ระยะเวลาการคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ และอัตราการลดอุณหภูมิ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ควรได้มาจากผลการทดสอบ หรือประสบการณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อคอนกรีตที่บ่ม

ก. การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ (Low Pressure Steam Curing)

อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 40 – 100 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่ให้ผลดีที่สุดจะอยู่ระหว่าง 65 – 80 องศาเซลเซียส การเลือกอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มกำลังอัดและกำลังอัดสูงสุดที่ต้องการ อุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังอัดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กำลังอัดประลัยสูงสุดจะมีค่าต่ำ อุณหภูมิที่ต่ำจะให้กำลังอัดประลัยสูงสุด แต่ด้วยอัตราการเพิ่มกำลังอัดที่ต่ำ

การควบคุมอุณหภูมิ ควรทิ้งคอนกรีตไว้ประมาณ 2 - 6 ชั่งโมง หลังการหล่อก่อนที่จะสัมผัสกับไอน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเบื้องต้นก่อน และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง

ข. การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing)

หากต้องการบ่มคอนกรีตด้วยอุณหภูมิสูงเกิน 100 องศาเซลเซียสต้องให้ความกดดันสูงขึ้น และต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า “Autoclave” อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 160 – 210 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 6 – 20 atm มีข้อดี คือ สามารถใช้ได้ภายใน 24 ชั่งโมง เพราะคอนกรีตมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน, มีการหดตัว และการล้าลดลง

มาก, ทนเกลือซัลเฟตได้ดี และมีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม ในทางปฏิบัติ การบ่มแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง และใช้ได้กับคอนกรีตสูงเท่านั้น

2.7.2 การถอดแบบหล่อคอนกรีต

แบบหล่อคอนกรีต (Formwork) คือ แบบที่ทำจากวัสดุต่างๆ เช่น ไม้, ไม้อัด, เหล็ก, ไฟเบอร์กลาส, พลาสติก หรือคอนกรีต เป็นต้น เพื่อใช้หล่อคอนกรีตให้มีขนาด และรูปร่างตามต้องการโดยต้องออกแบบ และก่อสร้างแบบหล่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงอันเนื่องมาจากการเทคอนกรีต และการอัดแน่นคอนกรีต และการอัดแน่นคอนกรีต ยังต้องคำนึงถึงลักษณะผิวของคอนกรีตที่ปรากฏ หลังการถอดแบบ

การจำแนกชนิดแบบหล่อ อาจแบ่งตามลักษณะการรับแรงดัน และน้ำหนักของคอนกรีตได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ชิ้นส่วนที่รับแรงด้านข้าง และชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักในแนวดิ่ง หรืออาจแบ่งตามชนิดของโครงสร้าง เช่น แบบหล่อคอนกรีตทั่วไป และแบบหล่อคอนกรีตสำเร็จรูป แบบหล่อที่ดีจะให้ความประณีต ความสวยงาม และความแข็งแรงแก่โครงสร้างคอนกรีต

เนื่องจากเวลาถอดแบบหล่อคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีต และการบ่มคอนกรีตเป็นสำคัญ ดังนั้นการถอดแบบได้เร็ว เพื่อให้สามารถนำแบบไปใช้ซ้ำหลายๆ ครั้งนั้น จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้มีกำลังในระยะเริ่มแรกสูงเพียงพอ และในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมให้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ตามต้องการด้วย

จะถอดแบบหล่อได้ก็ต่อเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดเพียงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักอื่นๆ ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง ระยะเวลาในการถอดแบบหล่อขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น สมบัติของปูนซีเมนต์, ส่วนผสมคอนกรีต, ความสำคัญของโครงสร้าง, ชนิด และขนาดของโครงสร้าง, น้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง และอุณหภูมิ เป็นต้น

2.8 กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตสดจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น

2.8.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

2.8.1.1 สมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต

ก. ปูนซีเมนต์ เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังอัดของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ แม้ว่าจะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดต่างกันแล้ว อัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วย กล่าวคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูงโดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

ib44971
ฝง.
ท1477
2557

ข. มวลรวม มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันทั่วไป มักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นกรณีคอนกรีตกำลังสูง ซึ่งมีกำลังของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าคอนกรีตทั่วไป มวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยม หรือผิวหยาบ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่ากรวด ซึ่งมีผิวเรียบ ขนาดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตโดยทั่วไปที่ใช้ขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า

ค. น้ำ มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมี หรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำขุ่น หรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของสารแขวนลอยนั้น

ง. สารเพิ่มผสม ชนิด และปริมาณของสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษ มีผลต่อการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อควบคุมให้มีค่าการยุบตัวเท่ากัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำในส่วนผสมทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ใส่น้ำยา นอกจากนี้การใช้แร่ผสมเพิ่ม และสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ ก็มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตแตกต่างกัน ตามชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มนั้นๆ เช่น ซิลิกาฟูม จะช่วยให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังในระยะต้นสูงขึ้น จึงนิยมใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น

2.8.1.2 ส่วนผสมคอนกรีต

มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตอย่างมาก ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า

2.8.1.3 การทำคอนกรีต

ก. การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต หากใช้การตวงโดยปริมาตร จะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้สมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

ข. การผสมคอนกรีต จะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้เป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวม ได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีต หากกระทำอย่างไม่ทั่วถึง จะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่

ค. การลำเลียง, การเท และการอัดแน่นคอนกรีต จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะทำให้กำลังคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรู โพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลง

2.8.1.4 การบ่มคอนกรีต

ก. ความชื้น จะมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีต เพราะเมื่อปูนซีเมนต์เริ่มผสมกัน น้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างค่อยเป็นค่อยไป และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตราบใดที่ยังมีความชื้นอยู่ ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตจะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที การบ่มในห้องปฏิบัติการมักจะบ่มจนถึงอายุ 28 วัน

ข. อุณหภูมิ ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่ม จะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังเร็วกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

ค. เวลาที่ใช้ในการบ่มหากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ชัชวาลย์, 2540)

2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

2.9.1 การทดสอบความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

ความหนาแน่น เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดที่อาจแปรผันได้ตามปัจจัยต่างๆ เช่น ของไหลจะมีความหนาแน่นเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิ และความดันเปลี่ยนแปลงส่วนของแข็งชนิดเดียวกัน จะมีความหนาแน่นต่างกันได้ตามสภาพของโครงสร้าง มลทิน และรูพรุนในเนื้อของวัสดุนั้นๆ ในงานเซรามิกส์ จำเป็นต้องศึกษาเรื่องความหนาแน่นของวัตถุดิบ เนื่องจากความหนาแน่นของวัตถุดิบ ไม่ว่าจะเป็นวัสดุเซรามิกส์ เช่น ดิน หิน แร่ต่างๆ หรือวัตถุดิบเพื่อการขึ้นรูป ได้แก่ น้ำดิน รวมถึงความหนาแน่น ของน้ำเคลือบ ที่ใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.9.1.1 วิธีการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแห้งหลังเผา จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

ค. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s

ง. นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความหนาแน่นปรากฏ

จากสมการ
$$D = \frac{W_f}{V_a} \qquad (2.1)$$

เมื่อ D (Density) = ความหนาแน่นของชิ้นงาน หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W_f (Fired Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแห้งหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

V_a (Apparent Volume) = ปริมาตรของชิ้นงาน หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

จากสมการ $$V_a = \frac{W_f - W_{ss}}{\rho L} \quad (2.2)$$

เมื่อ W_{ss} (Immerse Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแขวนลอยในน้ำ หน่วยเป็นกรัม

ρL = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.9.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density)

2.9.2.1 วิธีการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแห้งหลังเผา จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. นำชิ้นงานไปต้มเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส

ค. นำชิ้นงานแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

จ. นำชิ้นงานออกมาแล้วซับน้ำด้วยผ้าชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพอิ่มน้ำจดบันทึกค่าเป็น W_s และคำนวณค่าโดยใช้สมการดังนี้

ร้อยละการดูดซึมน้ำ $$= \frac{W_s - W_f}{W_f} \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ W_s (Saturated Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพอิ่มน้ำ หน่วยเป็นกรัม

W_f (Fired Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแห้งหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

ความหนาแน่นรวม $$= \frac{W_f}{V_b} \quad (2.4)$$

เมื่อ W_f (Fired Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแห้งหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

V_b (Bulk Volume) = ปริมาตรของชิ้นงาน หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

จากสมการ $$V_b = \frac{W_s - W_{ss}}{\rho L} \quad (2.5)$$

เมื่อ W_{ss} (Immerse Weight) = น้ำหนักของมวลเบาสภาพแขวนลอยในน้ำ หน่วยเป็นกรัม

ρL = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (วีระยุทธ์, 2540)

2.9.3 การทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength)

2.9.3.1 วิธีการทดสอบ

ก. วัดขนาดชิ้นงาน จดบันทึกค่า

ข. นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

ค. นำชิ้นงานไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด Compressive Strength

ง. บันทึกค่ากำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่าง

จากสมการ $$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.6)$$

σ คือ ค่ากำลังอัดของชิ้นงาน (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

P คือ น้ำหนักกดสูงสุด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่รับแรงกดในแนวตั้งฉาก (ตารางมิลลิเมตร)

2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไกรวุฒิ เกียรติโกมล และคณะ (2540) ได้ศึกษาการแยก และคัดเลือกเอาเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะที่มีคุณภาพดี และเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีต โดยคอนกรีตที่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่ต้องมีสมบัติที่ใกล้เคียง หรือดีกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไป การวิจัยประกอบด้วยการแยกขนาดของเถ้าถ่านหินออกเป็นขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ โดยใช้เครื่องไซโคลน และได้ทดสอบองค์ประกอบทางเคมี ขนาดอนุภาค และความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินที่แยกได้ จากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของขนาดอนุภาคของเถ้าถ่านหินที่มีต่อกำลังอัด โดยแปรปริมาณของเถ้าถ่านหินในมอร์ต้าร์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าความละเอียด หรือขนาดอนุภาคของเถ้าถ่านหินเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญอย่างยิ่งต่อปฏิกิริยาปอซโซลาน เถ้าถ่านหินที่มีขนาดเล็กจะทำปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่อยู่ในกล่องดักฝุ่นของเครื่องไซโคลนซึ่งเป็นขนาดที่ละเอียดที่สุดในปริมาณไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ จะสามารถให้มอร์ต้าร์ที่มีกำลัง

อัดที่อายุ 14 วันเท่ากับมอร์ต้าร์มาตรฐาน และที่อายุ 28 วัน และ 60 วัน จะให้กำลังอัดเป็นร้อยละ 120 และร้อยละ 124 ของมอร์ต้าร์มาตรฐาน

ชัชพันธ์ ชาดี (2552) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ โดยการใช้ดินตะกอนน้ำประปาจังหวัดหนองคายเป็นส่วนผสม ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของอิฐดินซีเมนต์ ได้แก่ กำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ ปริมาณซีเมนต์ปริมาณทราย และปริมาณน้ำผลการศึกษาพบว่าอิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นจากดินตะกอนประปาหนองคายมีค่าความหนาแน่น อยู่ระหว่าง 1.41-1.72 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสมบัติการดูดซึมน้ำในสภาพชื้นของดินตะกอนประปาหนองคาย มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 8.84 - 23.12 และสมบัติการรับกำลังอัดของดินตะกอนประปาหนองคาย ในตัวอย่างที่มีการใช้ทรายคงที่ เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ และลดปริมาณดินตะกอนพบว่า มีความสามารถในการรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 22.74 - 103.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนตัวอย่างที่มีการใช้ปูนซีเมนต์คงที่ เพิ่มทราย และลดปริมาณดินตะกอนพบว่า มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดอยู่ระหว่าง 30.72 - 80.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และยังพบว่าปริมาณของปูนซีเมนต์, ทราย และน้ำ โดยทำการลดปริมาณของดินตะกอนลงตามอัตราส่วนจะส่งผลให้อิฐดินตะกอนน้ำประปาที่ผสมซีเมนต์ มีความสามารถในการรับกำลังแรงอัดเพิ่มมากขึ้น

ดนุพล ตันนโยภาส และจิรชาติ เจ้าสินเจริญ (2543) ได้ทำการศึกษาสมบัติของปูนสอที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา ด้วยอัตราส่วนผสมเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ก้อนปูนสอทดสอบมีอายุการบ่ม 3 ช่วง คือ 7, 14 และ 28 วัน ดำเนินการทดสอบทางกายภาพ และทางกล ประกอบด้วย การดูดซึมน้ำ ความถ่วงจำเพาะ กำลังอัด กำลังดัดและการกัดกร่อนด้วยกรดกำมะถัน ผลการทดสอบพบว่า เถ้าลอยสามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะที่อัตราส่วนร้อยละ 40 บ่มนาน 28 วัน โดยมีสมบัติค่าดูดซึมน้ำเฉลี่ยร้อยละ 5.82 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.05 กำลังอัดเฉลี่ยสูงสุด 297.25 kg/cm^2 และความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดกำมะถัน มีค่าร้อยละ 95.26 การใส่เถ้าลอยมีความหมาย และคุณค่าแก่งานคอนกรีตเทคโนโลยีมาก โดยเฉพาะในงานคอนกรีตโครงสร้าง ขณะที่เถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารานั้นควรพิจารณาในงานมวลรวมน้ำหนักเบา ไม่รับน้ำหนักมาก และหลีกเลี่ยงให้ผิวเผชิญสภาพทางเคมี

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และณรงค์ศักดิ์ มากุล (2544) ได้ศึกษาผลของความละเอียดของเถ้าแกลบที่มีผลต่อความคงทนของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ โดยทำการศึกษาการหดตัวแบบแห้ง และความคงทนต่อกรดไฮโดรคลอริก และกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ตัวแปรหลักได้แก่ ความละเอียดของเถ้าแกลบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4125 และ 8380 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ร้อยละการแทนที่ของเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ 20 และ 40 อัตราส่วนโดยปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ต่อปริมาณช่องว่างต่ำสุดของมวลรวมอัดแน่นจะมีค่าเท่ากับ 1.2 และ 1.4 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (ปูนซีเมนต์ และเถ้าแกลบ) โดยน้ำหนักที่ 0.7 จากผลการทดสอบพบว่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการแทนที่เพิ่มขึ้น และคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ผ่านการ

บดจะมีการหดตัวแบบแห้งน้อยกว่าคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ไม่ผ่านการบด ในขณะที่การสูญเสียน้ำหนักจากกรดซัลฟิวริก และกรดไฮโดรคลอริกของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบจะน้อยกว่าคอนกรีตปกติ

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และทวิสัณห์ คงทรัพย์ (2545) ได้ทำการศึกษาความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำ สมบัติที่ทำการศึกษา คือ การหดตัวแบบแห้ง การหดตัวแบบออโตจีเนียส ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่น และการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และซัลฟิวริกโดยใช้ปริมาณการแทนที่เถ้าแกลบดำในปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 และ 40 อัตราส่วนโดยปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นเท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.6 ในขณะที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.6, 0.7 และ 0.8 ตามลำดับ จากการทดสอบ พบว่าคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจะมีการหดตัวแบบแห้ง และความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นสูงกว่าคอนกรีตปกติ โดยที่การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบที่ร้อยละ 20 จะมีค่ามากกว่าร้อยละ 40 และความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอเนชั่นจะแปรค่าตามอัตราส่วนผลรวมของซิลิคอนไดออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และไอรอนออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์ อย่างไรก็ตามการหดตัวแบบออโตจีเนียส และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากสารละลายกรดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ

ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาคอนกรีตบดอัดที่ทำจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยแม่เมาะและเถ้าแกลบดำ โดยใช้การทดสอบการบดอัดด้วยวิธีกระทุ้งดัดแปลง (Modified Procter) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) และความหนาแน่นของคอนกรีตบดอัด ขึ้นอยู่กับความสามารถในการบดอัดของมวลรวมผสมและขนาดคละของมวลรวม และกำลังอัดของคอนกรีตบดอัดขึ้นอยู่กับ การบดอัด และการทำปฏิกิริยาของวัสดุประสานซึ่งจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุประสาน ทั้งเถ้าลอย และเถ้าแกลบดำสามารถใช้เป็นสารปอซโซลานทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตบดอัด การใช้สารลดน้ำพิเศษ (Super plasticizer) ทำให้ส่วนผสมเหลวขึ้น และช่วยให้การบดอัดของส่วนผสมที่แห้งทำได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้ส่วนผสมดังกล่าวมีกำลังดีขึ้น ผลการทดสอบสามารถใช้ เป็นแนวทางในการนำไปใช้งานในภาคสนามของคอนกรีตที่บดอัดด้วยลูกกลิ้ง (Roller Compacted Concrete, RCC)

เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2543) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของเถ้าก้นเตาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะเพื่อใช้เป็นวัสดุปอซโซลาน โดยปรับปรุงคุณภาพของเถ้าก้นเตาด้วยการบดให้มีความละเอียดมากขึ้น จากนั้นทดสอบสมบัติด้านกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และกำลังอัดของมอร์ต้าร์ เมื่อใช้เถ้าก้นเตา และเถ้าลอย แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผลการวิจัยพบว่าเถ้าก้นเตาก่อนการบดมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน และมีรูพรุนสูง การบดเถ้าก้นเตาทำให้รูพรุนแตกออก และมีความละเอียดสูงขึ้นอย่างมาก ส่วนเถ้าลอยมีลักษณะกลม องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย และเถ้าก้นเตาก่อน และหลังการบดจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย กำลังอัดมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย หรือเถ้าก้นเตาที่อายุต้นๆ จะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 100 เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าร์มาตรฐานที่อายุเท่ากันเมื่ออายุ 60 วันขึ้นไป มอร์

ต้าร์ที่ผสมเถ้าลอย และมอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าก้นเตาที่ผ่านการบดจะมีกำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 100 โดยมอร์ต้าร์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าก้นเตาที่บดแล้วร้อยละ 30 มีกำลังอัดสูงที่สุด คือ 112 ที่อายุ 90 วัน สำหรับมอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าก้นเตาที่ยังไม่ได้บดร้อยละ 20 มีกำลังอัดเท่ากับร้อยละ 46 ที่อายุ 7 วัน และเท่ากับร้อยละ 49 ที่อายุ 28 วัน ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 75 ค่อนข้างมาก ดังนั้นการนำเถ้าก้นเตาที่ยังไม่ได้บดมาเป็นวัสดุปอซโซลานจึงไม่เหมาะสม ส่วนมอร์ต้าร์ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าก้นเตาที่บดแล้วร้อยละ 20 มีกำลังอัดร้อยละ 97 ที่อายุ 7 วัน และร้อยละ 95 ที่อายุ 28 วัน นั่นคือ เถ้าก้นเตาบดละเอียดสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้เป็นอย่างดี

วัชรพงษ์ วงศ์เขียว (2552) ได้ศึกษาผลของเถ้าหนัก และซิลิกาฟูมต่อสมบัติกำลังอัด และสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตมวลเบา โดยคอนกรีตธรรมดาจะทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าหนักที่อัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเติม ซิลิกาฟูมในอัตรา ส่วนร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก แล้วจึงทำการบ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 7, 14, 28 และ 60 วัน ส่วนคอนกรีตมวลเบาจะทำการแทนที่ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าหนักที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และเติมซิลิกาฟูมในอัตราส่วนร้อยละ 2.5 และ 5 โดยน้ำหนัก แล้วทำการบ่ม 2 วิธี คือ บ่มด้วยไอน้ำที่ความดันสูงเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง และทิ้งไว้ในอากาศเป็นระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน จากผลการทดลองพบว่าหน่วยน้ำหนักโดยกำลังอัด และการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาที่มีการทดแทนปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าหนัก และมีการเติมซิลิกาฟูมเป็นสารเติมทั้งที่ผ่านบ่มด้วยไอน้ำที่ความดันสูง และไม่ผ่านการบ่มด้วยไอน้ำที่ความดันสูงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าหนัก และซิลิกาฟูมเพิ่มขึ้น ส่วนผลการทดลองของคอนกรีตธรรมดาพบว่าค่าการยุบตัว และค่าการนำความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าหนัก และซิลิกาฟูมเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากำลังอัดจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเถ้าหนักเพิ่มขึ้น แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมซิลิกาฟูมเป็นสารเติม

J. P. Behera และคณะ (2004) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุสังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งในการทดแทน Natural Aggregates ใน Concrete ได้ออกแบบส่วนผสมของ Concrete ตามมาตรฐาน Indian Standard ได้สูตร M 20 และ M 25 และใช้ปริมาณของ Fly Ash Aggregate ที่ร้อยละ 20, 30 และ 40 ของการแทนที่ Granite Aggregate โดยปริมาตรสำหรับการเตรียม Sintered Fly Ash Aggregates ใช้ส่วนผสมของร้อยละ 75-82 Fly Ash, ร้อยละ 8-20 Clay และร้อยละ 5-10 Coke Breeze at 1200 องศาเซลเซียส to 1300 องศาเซลเซียส โดยขึ้นรูปเป็นทรงกลม และกระบวนการ Sintering ของ Ash Particles จะเกิดการเชื่อมประสานขึ้นด้วย Ceramic Bonding ทำให้มีความแข็งเพิ่มขึ้นโดย Quartz Particles จะเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็น Crystobolite form และ Aluminosilicate ของ Mullite โดยสัดส่วนของส่วนผสมที่ใช้ ใช้มาตรฐาน Indian Standard ในการออกแบบ 2 แบบ คือ Concrete Grade M 20 (Strength 28 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และ M 25 (Strength 34 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้เท่ากับ 0.465 และ 0.425 ในสูตร M 20 และ M 25 ตามลำดับ และใช้อัตราส่วนขนาด Coarse Aggregates ของ 20 และ 10 มิลลิเมตร ใช้คงที่ที่ 60 : 40 ในทุกสูตรผสม และแทนที่ Natural

Aggregate สัดส่วนร้อยละ 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรของ Sintered Fly Ash Aggregate ดังสูตรทั้ง 4 สูตรคือ

Mix 1 Concrete ผสม Natural Granite Aggregate

Mix 2 Concrete ผสมร้อยละ 80 Natural Granite Aggregate และร้อยละ 20 Sintered Fly Ash Aggregate

Mix 3 Concrete ผสมร้อยละ 70 Natural Granite Aggregate และร้อยละ 30 Sintered Fly Ash Aggregate

Mix 4 Concrete ผสมร้อยละ 60 Natural Granite Aggregate และร้อยละ 40 Sintered Fly Ash Aggregate

สำหรับในแต่ละส่วนผสมก่อนหล่อลงแบบจะทดสอบการไหลตัวให้มีค่าเหมาะสมที่สุด แบบหล่อทรงกระบอกขนาด 150 x 300 มิลลิเมตร โดยทันทีที่หล่อเสร็จให้คลุมชิ้นงานด้วยผ้ากระสอบที่เปียกไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปบ่มต่อในบ่อบ่มซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบ Strengths ผลการทดสอบ พบว่าค่า Compressive Strength ของ Concrete ผสม Sintered Fly Ash Aggregate ให้ค่าต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ Normal Concrete ที่ผสม Granite Aggregate ค่าความแตกต่างที่ได้ต่ำกว่าร้อยละ 1 จากการนำ Sintered Fly Ash Aggregate มาใช้ในงานคอนกรีต จะช่วยลดน้ำหนักของตัวโครงสร้างอาคารลงได้ โดยแทบไม่ส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตเลย

K. Laursen และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจการใช้ Marine Clay and CaF_2-Rich Sludge เพื่อเป็นวัสดุในงาน Light-Weight Aggregates (LWA) โดย LWA เตรียมจาก Bench scale rotary kiln จาก University of Leeds เตรียม 3 ส่วนผสมที่ความแตกต่างของ Clay ต่อ Sludge ดังนี้ LWA-1: ร้อยละ 50/50, LWA-2 : ร้อยละ 70/30 และ LWA-3 : ร้อยละ 90/10 หลังจากผสมด้วยลูกบดขนาด 1–1.5 เซนติเมตร และปั้นเป็นทรงกลมด้วยมือแล้วนำไปเผาให้แห้งที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2–3 ชั่วโมง แล้วใส่ลงใน Bench-scale kiln ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดที่ 1200 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาน้อยกว่า 60 วินาที แล้วทิ้งไว้ 1–2 นาที หลังจากเผาในเตามวลรวมที่ได้จะมีสีน้ำตาลแดงที่ผิว และสีดำอยู่ภายในมวลรวมยังเกิดการขยายตัวเนื่องจากการปล่อย Gas และเกิดการ Decomposition ของแร่ธาตุทำให้เกิดเป็นของเหลวบางส่วน จึงมีฟอง Gas Bubbles แต่จะถูกกักไว้ภายใน ส่วนค่า Density ของ Aggregates จะต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สรุปแล้ว Light Weight Aggregates สามารถผลิตได้จากการผสมระหว่าง Marine Clay และ CaF_2- rich Semiconductor Industry Waste ที่ปริมาณแทนที่ร้อยละ 10, 30 และ 50 โดยส่วนผสมที่ได้จะมีการพองตัวที่ดีในการเผา และ Density ที่ได้จะต่ำกว่า Light Weight Aggregates ทั่วไป ส่วนการดูดซึมน้ำของ Aggregates จะสูงมาก เนื่องจากรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และส่วนผสมโดย

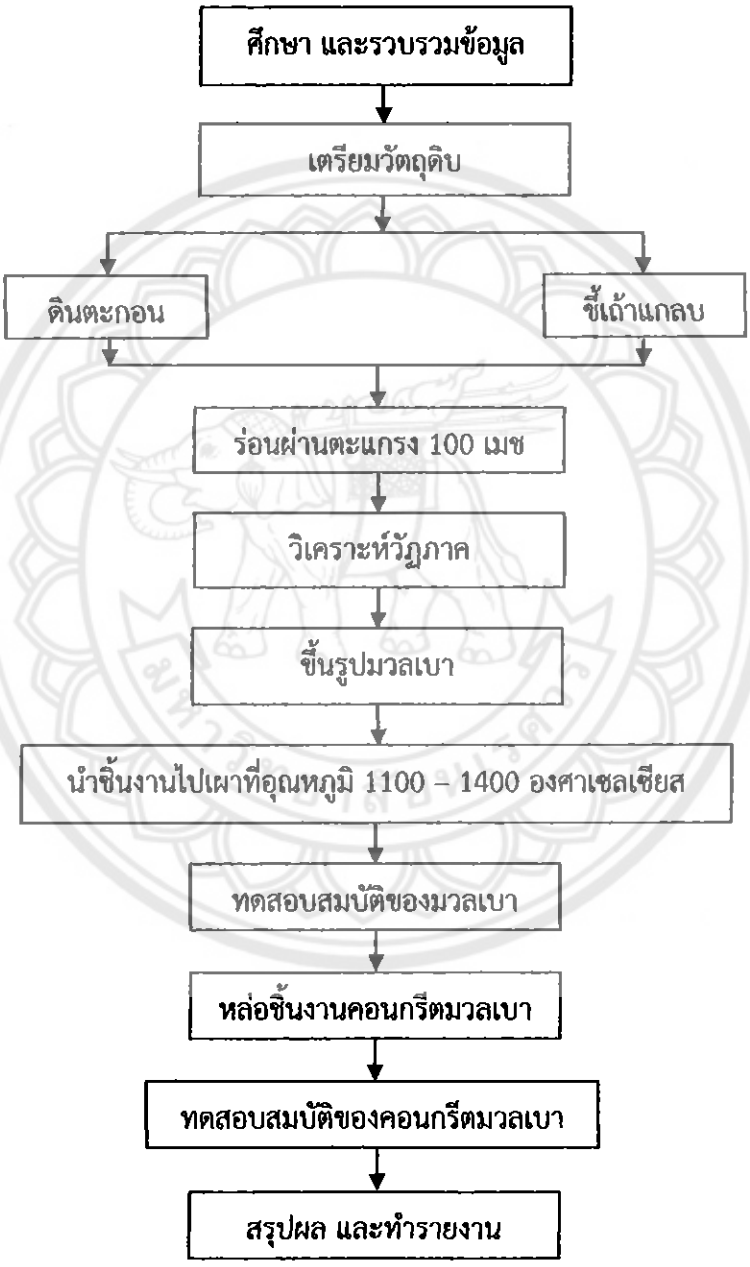
Aggregates ที่ผลิตได้จะเหมาะกับงาน Concrete Blocks ไม่รับน้ำหนัก ซึ่งปริมาณ Fluorine ที่เหลืออยู่จะยึดติดอยู่ใน Aggregates และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม หรือต่อมนุษย์

W. H. Yung (2009) ได้ศึกษาการใช้ดินตะกอนในงานคอนกรีตมาช่วยลดปัญหาของอ่างเก็บน้ำและลดการใช้หินทรายแทนมวลเบาในงานคอนกรีต โดยใช้วัสดุ Dredged Silt จากอ่างเก็บ น้ำทางภาคใต้ของไต้หวันที่ผ่านการทำให้แห้ง ร่อน และทำให้อยู่ในรูปของมวลรวมทรงกลม (Aggregate Pellets) ซึ่งผ่านการเผา (Sintered) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ LWA 1 ที่มีความหนาแน่น (Particle Densities) เท่ากับ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ LWA 2 เท่ากับ 1060 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์-เมตร ส่วนวัสดุอื่นประกอบด้วย Normal Weight Aggregates, ปูนซีเมนต์, Fly Ash, Slag, Superplasticizer และน้ำ โดยสมบัติของ Dredged silt มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2730 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และส่วนที่เป็นช่องว่าง (Void Ratio) = 1.78 ส่วนองค์ประกอบเคมีของดินตะกอนประกอบด้วย SiO_2 (ร้อยละ 56.87), Al_2O_3 (ร้อยละ 22.93) และ Fe_2O_3 (ร้อยละ 10.79) ใช้ส่วนผสม คือ Sintered Silt Dredged ส่วน Fly Ash, Slag และ Superplasticizer จะถูกเพิ่มเข้าไปเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ และผสมกับน้ำในปริมาณที่พอเหมาะ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.28, 0.32 และ 0.40 (ปริมาตรคอนกรีตเท่ากับ 140, 150 และ 160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยพิจารณาค่าจากการผลิตในโรงงาน SCLAC และทดสอบความแข็ง และทนทานที่ความแตกต่างของส่วนผสมของ SCLAC โดยทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของ SCLAC ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127 ส่วนตัวอย่างทรงกระบอก LWAC ขนาด 100 x 200 มิลลิเมตร หล่อตามมาตรฐาน ASTM C192 ในระหว่างหล่อจะใช้เครื่องเขย่าให้แน่นตัวในทุกชิ้นงานเก็บในแบบหล่อ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปบ่มในน้ำ (25±2 องศาเซลเซียส) จนถึงช่วงเวลาทดสอบ โดยทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C134 ส่วนกำลังอัดของชิ้นงานทรงกระบอก SCLAC ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C31 และค่า Rapid Chloride Penetrability Test ตามมาตรฐานASTM C 1202 โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาด 100 และ 50 มิลลิเมตร และใช้กระแส 60 โวลต์ ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง วัดประจุทั้งหมดที่ผ่านเข้าสู่ชิ้นงานคอนกรีตซึ่งแสดงถึงความต้านทานต่อ Chloride Ion ของคอนกรีต แล้วทำการทดสอบการกัดกร่อนของคอนกรีต โดยใช้ Sodium Sulfide Attack ตามมาตรฐาน ASTM C88-46T แช่ชิ้นงานใน Saturated Sodium Sulfide Solution ที่ระยะเวลา 16-18 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้วัดน้ำหนักของชิ้นงาน และวัดน้ำหนักหลังอบแห้งที่ระยะเวลา 12-16 ชั่วโมง ผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตพบว่าปริมาณของสาร Super Plasticizer จำเป็นต่อการเพิ่มค่าการไหลตัวเข้าแบบ เมื่อต้องการใช้น้ำปริมาณน้อยมาก ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า SCLAC ที่ปริมาตร 160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะให้กำลังอัดที่ดีกว่าและที่ความหนาแน่น และปริมาตรเดียวกันสัดส่วนที่ใช้น้ำต่อซีเมนต์ต่ำๆ จะให้ค่ากำลังอัดที่ดีกว่าเช่นกัน ในการทดสอบการกัดกร่อน เนื่องจากเกาะไต้หวันอยู่ในพื้นที่น้ำทะเลล้อมรอบ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตเนื่องจาก Calcium Hydroxide และการเกิด Calcium Carbonate ดังนั้นจึงทำให้ค่า pH Value ต่ำลงมาก และมีรูพรุนเกิดเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแทรกซึม

Chloride เข้าสู่โครงสร้างของคอนกรีต ผลทดสอบชิ้นงาน SCLAC หลังแช่ในน้ำทะเลสภาพเปียกสลับกับแช่ในสภาพแห้ง 15 ครั้ง ตามมาตรฐาน ASTM C452, ASTM C101 โดยชิ้นงานที่มีปริมาตรคอนกรีต 160 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ น้ำต่อซีเมนต์ 0.28 พบว่าจะมีการต้านทานการกัดกร่อนที่ดีสุด แต่ที่อัตราส่วนน้ำต่อ 0.4 จะมีการสูญเสียน้ำหนักรอยแตกร้าว และการละลายออกของ Gypsum และ Calcium Sulphoaluminate เกิดขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน

3.1.1 วิธีการทำ

3.1.1.1 นำขี้เถ้าแกลบมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช

3.1.1.2 เตรียมดินตะกอนให้อยู่ในรูปของดินที่มีลักษณะละเอียด

ก. นำดินตะกอนมาตากให้แห้ง ซึ่งจะได้ดินที่มีลักษณะเป็นของแข็ง

ข. นำดินตะกอน ที่แข็งเป็นก้อนมาทุบพอละเอียด ใส่ในหม้อบด แล้วนำไปวางบนเครื่องหมุน

ง. นำดินตะกอนที่ได้มาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช จะได้ดินตะกอนที่มีความละเอียด

3.2 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอน

3.2.1 วิธีการทดสอบ

3.2.1.1 นำดินตะกอนมาผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช

3.2.1.2 นำดินตะกอนที่ได้ บรรจุลงในภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง (Sample Holder) อัดผงตัวอย่างให้เรียบโดยใช้กระจกสไลด์

3.2.1.3 ใส่ภาชนะบรรจุสารของดินตะกอนที่เตรียมไว้ในเครื่อง XRD

3.2.1.4 เก็บข้อมูลของดินตะกอนที่ได้จากเครื่อง XRD

หมายเหตุ: มุมที่ใช้คือ (2Θ = 10 – 80 degrees)

3.3 ขั้นตอนการผสมขี้เถ้าแกลบ และดินตะกอน

3.3.1 วิธีการทำ

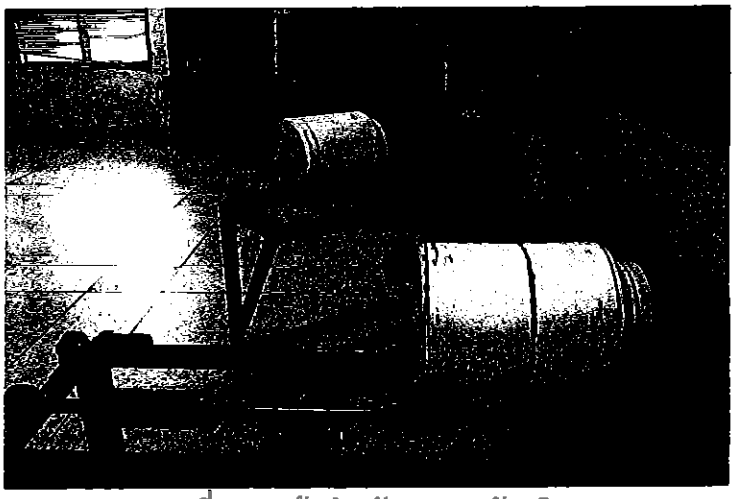
3.3.1.1 นำดินตะกอน และขี้เถ้าแกลบที่ได้มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด ซึ่งเป็นอัตราส่วนของดินตะกอนต่อขี้เถ้าแกลบ มีดังนี้ ร้อยละ 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก

3.3.1.2 นำดินตะกอน และขี้เถ้าแกลบไปทำการบดเปียก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.3.1.3 นำส่วนผสมที่ได้ไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยน้ำออกให้หมด

3.3.1.4 จากนั้นนำไปบดละเอียดโดยหม้อบดผสม

3.3.1.5 นำไปผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช



รูปที่ 3.2 หม้อสำหรับบดผสมวัตถุดิบ

3.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปมวลเบา

3.4.1 วิธีการทำ

3.4.1.1 นำผงดินละเอียดที่ได้จากการผสมตามสูตรในข้อ 3.3 นำมาใส่น้ำให้ส่วนผสมมีลักษณะพอเหนียว

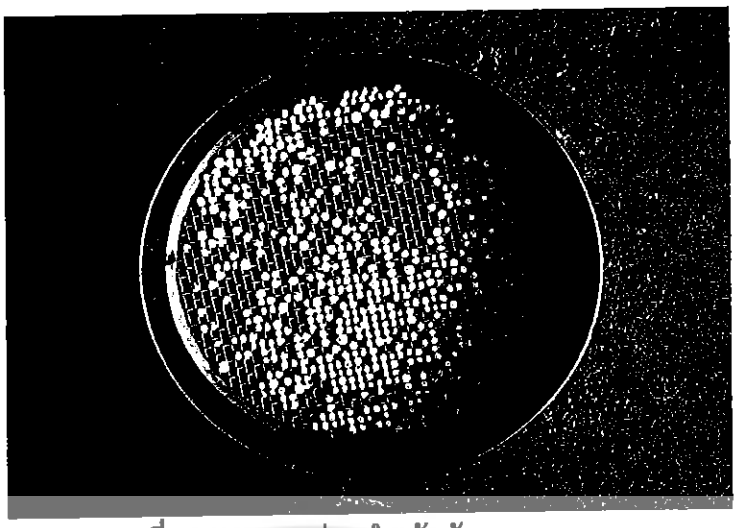
3.4.1.2 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการปั้นด้วยมือ ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 - 5 มิลลิเมตร

3.4.1.3 นำชิ้นงานไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 – 1400 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการให้ความร้อน (Heating Rate) ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 120 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงมาด้วยอัตราการเย็นตัว (Cooling Rate) ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.4.1.4 ได้ชิ้นงานมวลเบา

3.4.1.5 นำมวลเบามาคัดขนาดด้วยการร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 4 เมช และค้างอยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 6 เมช (3.35 - 4.75 มิลลิเมตร)

รูปที่ 3.3 มวลเบาที่กำลังเตรียมเผา



รูปที่ 3.4 ตะแกรงร่อนสำหรับคัดขนาดมวลเบา

3.5 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของมวลเบา

3.5.1 การทดสอบความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

3.5.1.1 วิธีการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของมวลเบาในสภาพแห้งหลังเผา จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. ชั่งน้ำหนักของมวลเบาในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

ค. ชั่งน้ำหนักของมวลเบาในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s

ง. นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความหนาแน่น จากสมการที่ 2.1 และ 2.2

3.5.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ และหาค่าความหนาแน่นรวมของมวลเบา

3.5.2.1 วิธีการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของมวลเบาในสภาพแห้งหลังเผา จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. นำมวลเบาไปต้มเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส

ค. นำมวลเบาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักของมวลเบาในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

จ. นำมวลเบาออกมาแล้วซับน้ำด้วยผ้า ชั่งน้ำหนักของมวลเบาในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s และคำนวณค่า จากสมการที่ 2.3, 2.4 และ 2.5

3.5.3 การทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength)

3.5.3.1 วิธีการทดสอบ

ก. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของมวลเบา จดบันทึกค่า

ข. นำมวลเบามาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่า

ค. นำชิ้นงานไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด Compressive Strength

ง. คำนวณค่ากำลังอัดของมวลเบา จากสมการที่ 2.6

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังอัด

3.6 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต และมวลเบา

3.6.1 วิธีการทำ

3.6.1.1 นำทรายละเอียด และหินมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช และ 4 เมช ตามลำดับ

3.6.1.2 ผสมสัดส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน ในอัตราส่วน 1 : 2 : 3 ใช้น้ำต่อซีเมนต์ ในอัตราส่วน 1 : 1 เทลงในแบบหล่อขนาด 5 × 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (พานิช, 2544)

3.6.1.3 ใส่มวลเบาแทนหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1)

3.6.1.4 นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3.6.2.3 เทลงในแบบหล่อขนาด 5 × 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแบบ

3.6.1.5 นำชิ้นงานที่ได้ไปบ่มในน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต และมวลเบา

แทนที่มวลเบาในหิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อัตราส่วนผสมของวัสดุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ปูน	ทราย	หิน	มวลเบา
0	16.7	33.3	50	0
25	16.7	33.3	37.5	12.5
50	16.7	33.3	25	25
75	16.7	33.3	12.5	37.5
100	16.7	33.3	0	50

รูปที่ 3.6 ชิ้นงานคอนกรีตที่ได้จากการหล่อตามส่วนผสมต่าง ๆ

3.7 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีตที่ผสมมวลเบา

3.7.1 การทดสอบความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

3.7.1.1 ขั้นตอนในการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแห้ง จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

ค. ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s

ง. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่น จากสมการที่ 2.1 และ 2.2

3.7.2 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

3.7.2.1 ขั้นตอนการทดสอบ

ก. นำคอนกรีตไปอบ โดยใช้เวลาในการอบไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง คงที่อุณหภูมิไว้ที่ 5 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแห้งทีละก้อน แล้วจดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. นำคอนกรีตแช่ลงในน้ำจนท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเอาคอนกรีตออก ใช้ผ้าเปียกซับน้ำบนผิวทีละก้อนแล้วชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s

ค. นำค่าน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแห้ง (W_f) และน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ (W_s) มาคำนวณหาค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำ จากสมการที่ 2.3

3.7.3 การทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength)

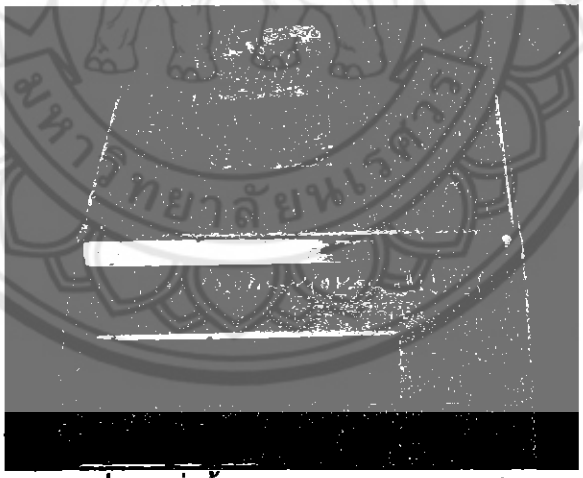
3.7.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

ก. วัดขนาดคอนกรีต จดบันทึกค่า

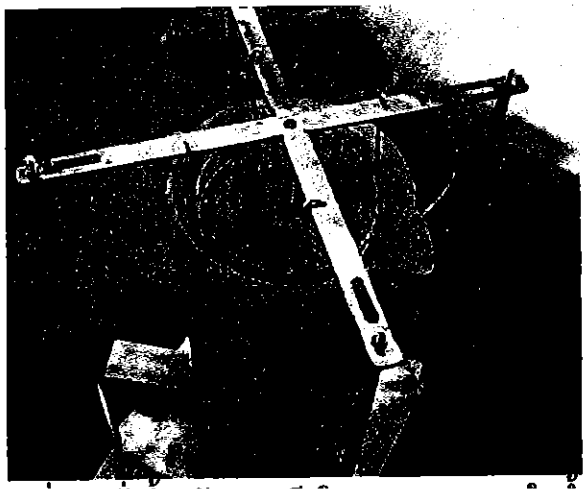
ข. นำคอนกรีตมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

ค. นำคอนกรีตไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด

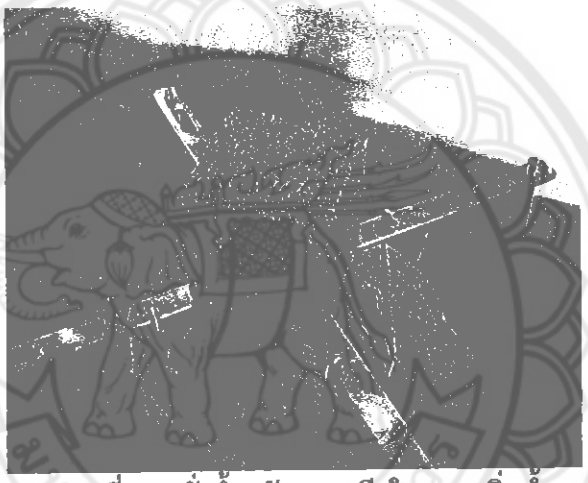
ง. บันทึกค่ากำลังอัดของคอนกรีต จากสมการที่ 2.6



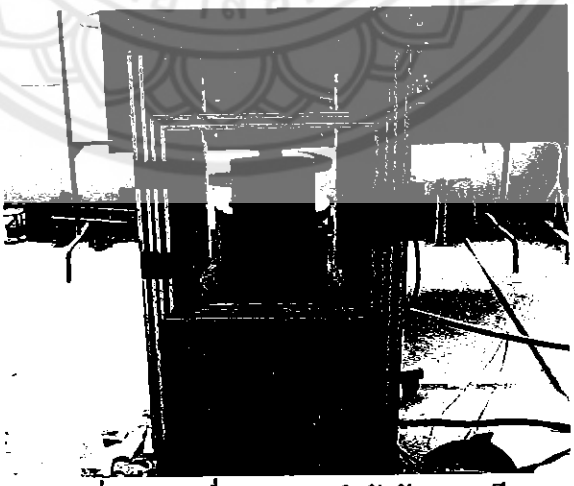
รูปที่ 3.7 ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในสภาพแห้ง



รูปที่ 3.8 ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในสภาพแขวนลอยในน้ำ



รูปที่ 3.9 ชั่งน้ำหนักคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ

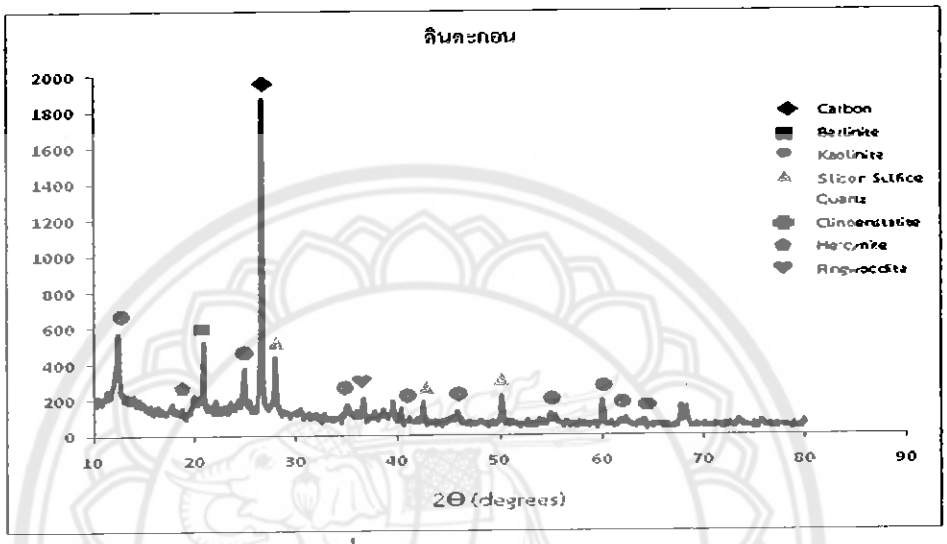


รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอน



รูปที่ 4.1 XRD ของดินตะกอน

ผลการวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอนด้วยเทคนิค XRD จากรูปที่ 4.1 พบแร่ธาตุต่างๆ ดังนี้ คาร์บอน (JCPDS No. 26-1076, Carbon), ควอตซ์ (JCPDS No. 46-1045, Quartz), เบอร์ลิไนต์ (JCPDS No. 10-0164, Berlinite), เคโอลิไนต์ (JCPDS No. 14-0164, Kaolinite), ซิลิกอนซัลไฟด์ (JCPDS No. 47-1376, Silicon Sulfide), ไคลโนเอนสตาไทต์ (JCPDS No. 35-0610, Clinoenstatite), เฮอซีไนท์ (JCPDS No. 34-0192, Hercynite) และ ริงวูดไดท์ (JCPDS No. 21-1258, Ringwoodite) โดยพบ เคโอลิไนต์ และ ควอตซ์ มากที่สุด ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่มักพบอยู่ในดิน โดยเคโอลิไนต์ มีลักษณะคล้ายดินเหนียว มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ทำเครื่องปั้นดินเผา อิฐ และวัสดุทนไฟ เนื่องจากมีความเหนียวเมื่อถูกน้ำสามารถปั้นเป็นรูปร่างที่ต้องการได้ เมื่อผ่านการเผาจะทำให้มีความแข็ง และทนทาน ควอตซ์เป็นซิลิกาอีกประเภทหนึ่ง มีความแข็ง ดังนั้นดินตะกอนที่นำมาวิเคราะห์จึงมีประโยชน์ในการขึ้นรูปมวลเบา ซึ่งความเหนียวของดินจะช่วยให้ปั้นขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น และยังช่วยเพิ่มสมบัติทางกลของมวลเบาอีกด้วย

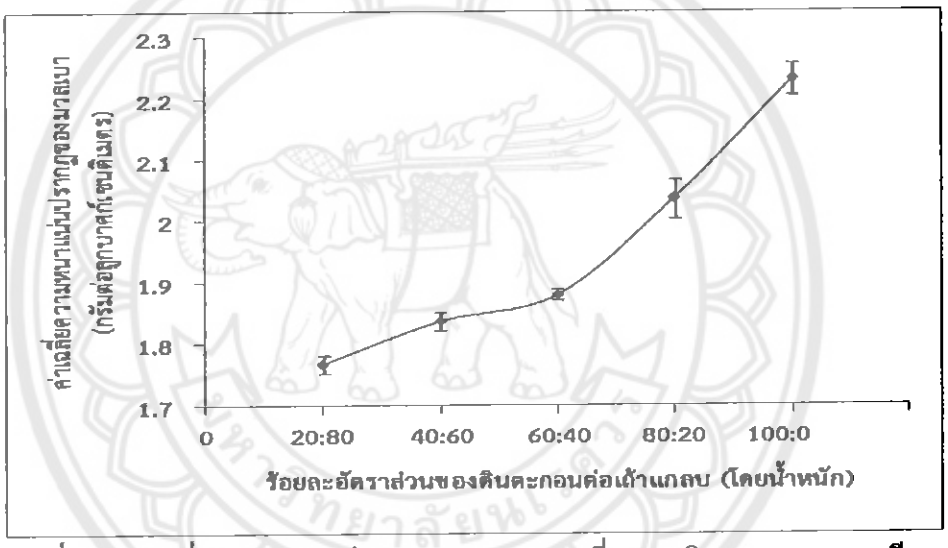
4.2 ผลการศึกษามวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล

การทดลองนี้ได้ทำการนำดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลมาผลิตเป็นมวลเบา เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบในการผลิต

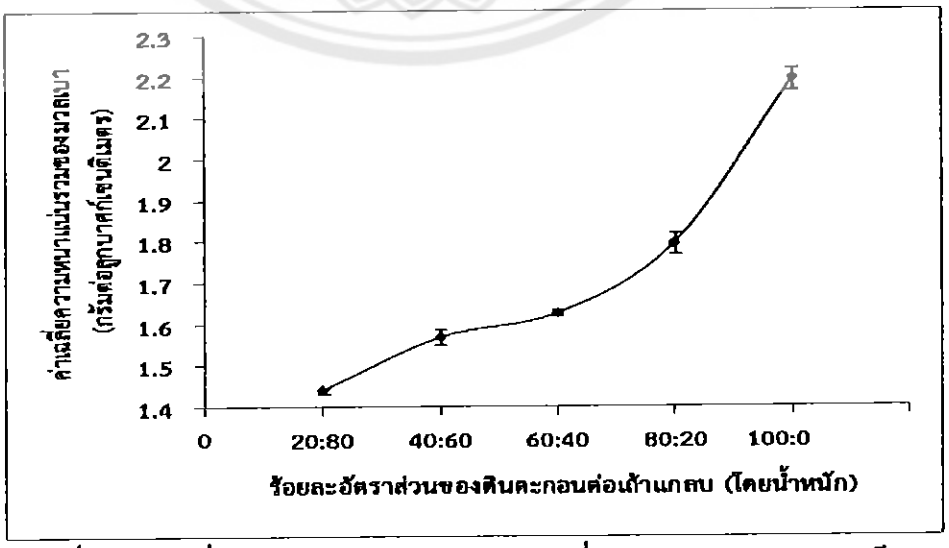
มวลเบา ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล โดยทำการพิจารณาที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ ร้อยละ 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 1200 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของมวลเบา คือ ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density), ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และทำการทดสอบสมบัติทางกลของมวลเบา คือ ค่ากำลังอัด

4.2.1 ปริมาณของดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของมวลเบา

ศึกษาอัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบที่ขึ้นรูปเป็นมวลเบา ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นปรากฏ และค่าความหนาแน่นรวม หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ได้ผลดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

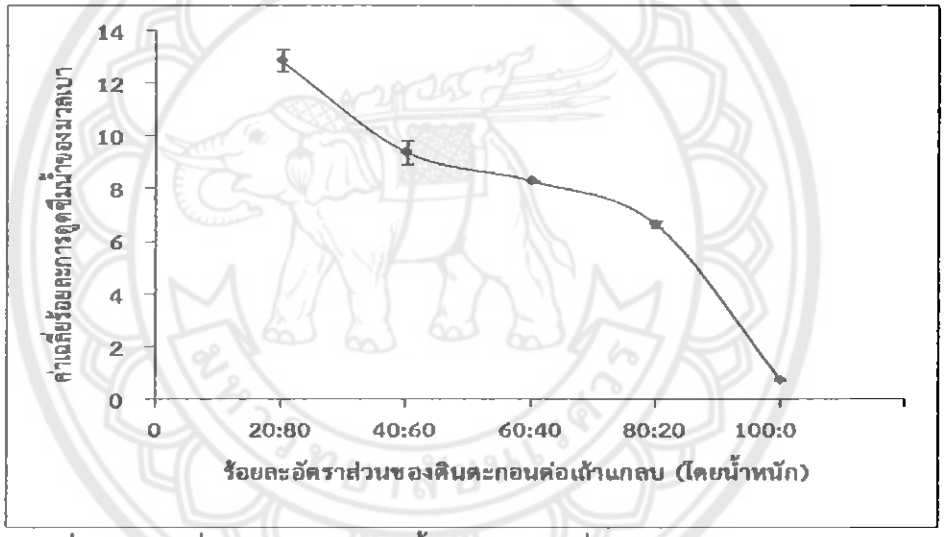


รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า การเพิ่มขึ้นของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินตะกอนส่งผลให้เนื้อส่วนผสมมีปริมาณดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดภายในมวลเบามากขึ้น เมื่อผ่านการเผา และเถ้าแกลบจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ทำให้เกิดช่องว่างภายในมวลเบา เมื่อปริมาณเถ้าแกลบลดลง มวลเบาจึงเกิดรูพรุนน้อยลง ส่งผลให้มวลเบามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.23 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.2.2 ปริมาณของดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ ที่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา

ศึกษาอัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบที่ขึ้นรูปเป็นมวลเบา ที่มีผลต่อค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ได้ดังรูปที่ 4.4

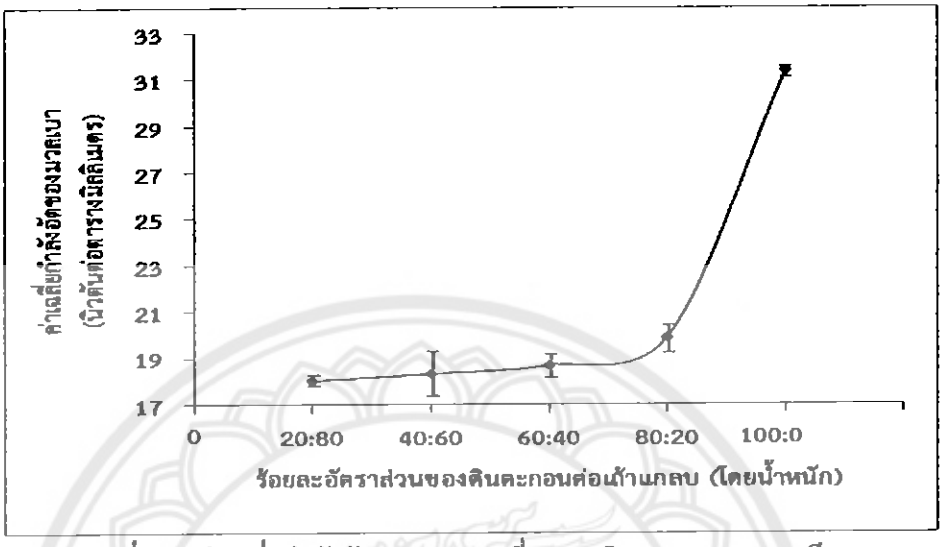


รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.4 พบว่า การเพิ่มขึ้นของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบามีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้น และปริมาณเถ้าแกลบที่ลดลง จะทำให้มวลเบามีเนื้อดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดกันภายในมวลเบามากขึ้น เมื่อผ่านการเผา ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมที่มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้มวลเบามีการดูดซึมน้ำน้อยลง โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุดเท่ากับ 0.72 ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก

4.2.3 ปริมาณของดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของมวลเบา

ศึกษาอัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบที่ขึ้นรูปเป็นมวลเบา ที่มีผลต่อค่ากำลังอัด หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.5 พบว่า การเพิ่มขึ้นของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังของมวลเบามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้น และปริมาณเถ้าแกลบที่ลดลง จะทำให้มวลเบามีเนื้อดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดกันภายในมวลเบามากขึ้น เมื่อผ่านการเผา และปริมาณเถ้าแกลบที่ลดลงทำให้เกิดรูพรุนภายในมวลเบาน้อยลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น ซึ่งค่ากำลังอัดจะสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงของมวลเบามากขึ้น ซึ่งค่าเฉลี่ยกำลังอัดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 31.37 เมกะปาสคาล ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก

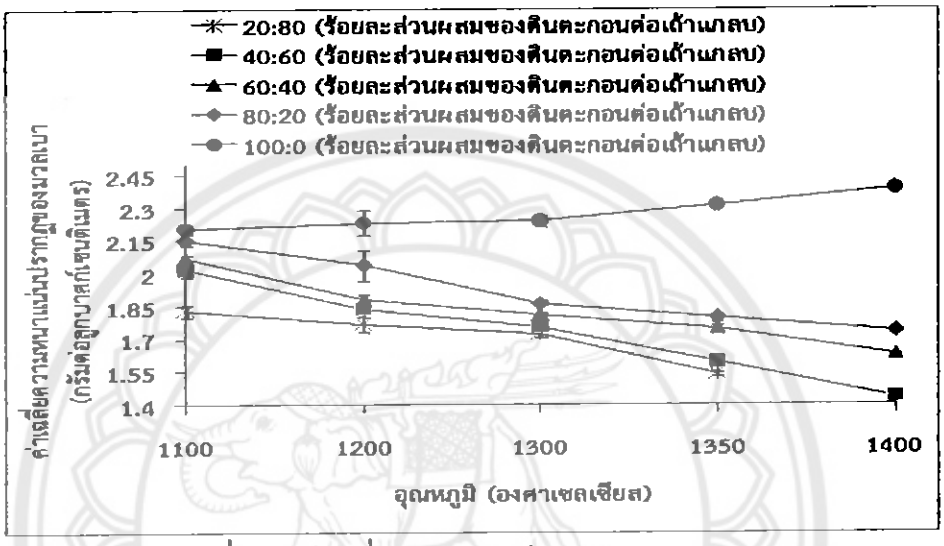
4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล และศึกษาลักษณะโครงสร้างมหภาคของมวลเบา

การทดลองนี้ได้ทำการนำดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้าชีวมวลมาผลิตเป็นมวลเบา เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของมวลเบา โดยทำการพิจารณาที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ ร้อยละ 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 1100, 1200, 1300, 1350 และ 1400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของมวลเบา ได้แก่ ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density), ความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และทำการทดสอบสมบัติทางกลของมวลเบา คือ ค่า

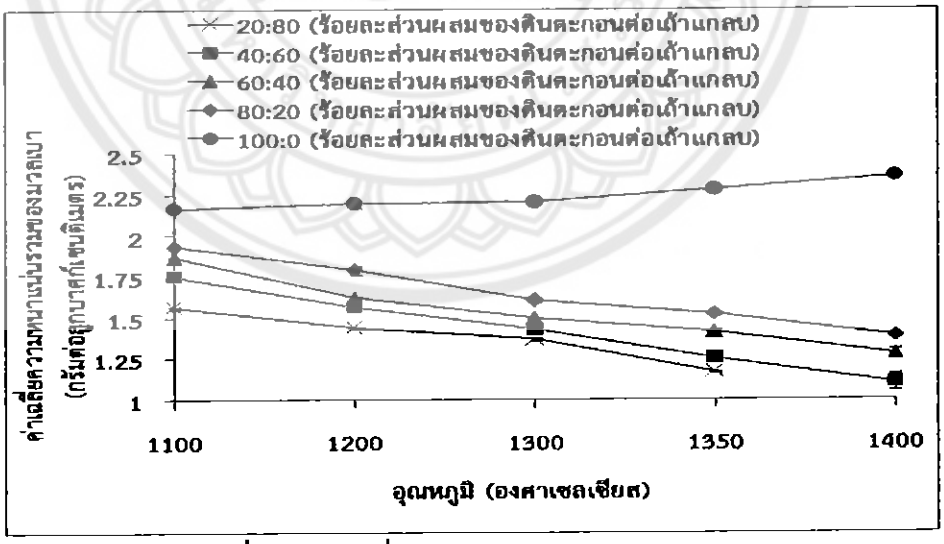
กำลังอัด และศึกษาโครงสร้างมหภาคของมวลเบาที่อัตราส่วนผสมดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ 80 : 20 ที่อุณหภูมิ 1100, 1200, 1300, 1350 และ 1400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

4.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของมวลเบา

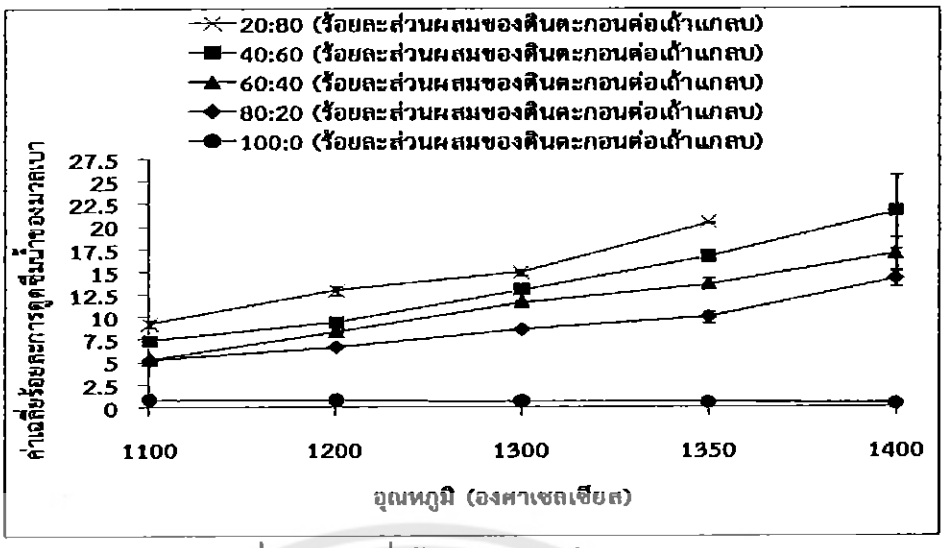
ศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อมวลเบา โดยทำการเผาที่ อุณหภูมิ 1100, 1200, 1300, 1350 และ 1400 องศาเซลเซียส ได้ดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9



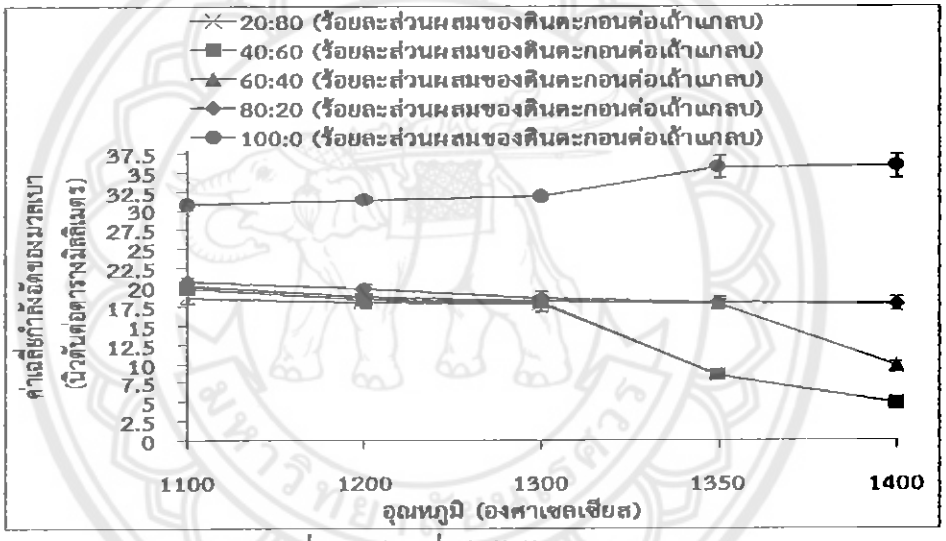
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมของมวลเบา



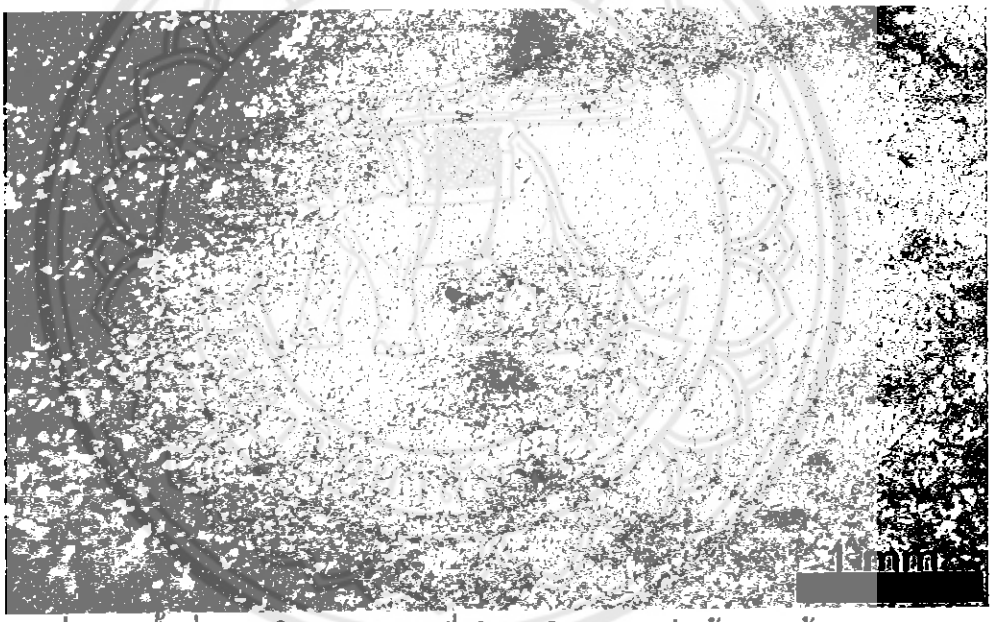
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา

จากรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 พบว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ, ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่าเฉลี่ยกำลังอัดมีค่าลดลง แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อดินตะกอน และเถ้าแกลบ โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาทำให้อนุภาคของดินตะกอนเกิดการหลอมตัวยึดติดกันได้มากขึ้นมีผลทำให้มวลเบามีความหนาแน่นที่เพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาของเถ้าแกลบ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาจะมากขึ้น และทำให้มวลเบามีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นมวลเบาจึงมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ, ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่ากำลังอัดที่ลดลง เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากมวลเบามีความพรุนตัวมากขึ้น และส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นด้วย แต่ที่อัตราส่วนร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก จะให้ค่าในทางกลับกัน คือ มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ, ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากดินตะกอนหลอมตัวยึดติดกันมากขึ้น

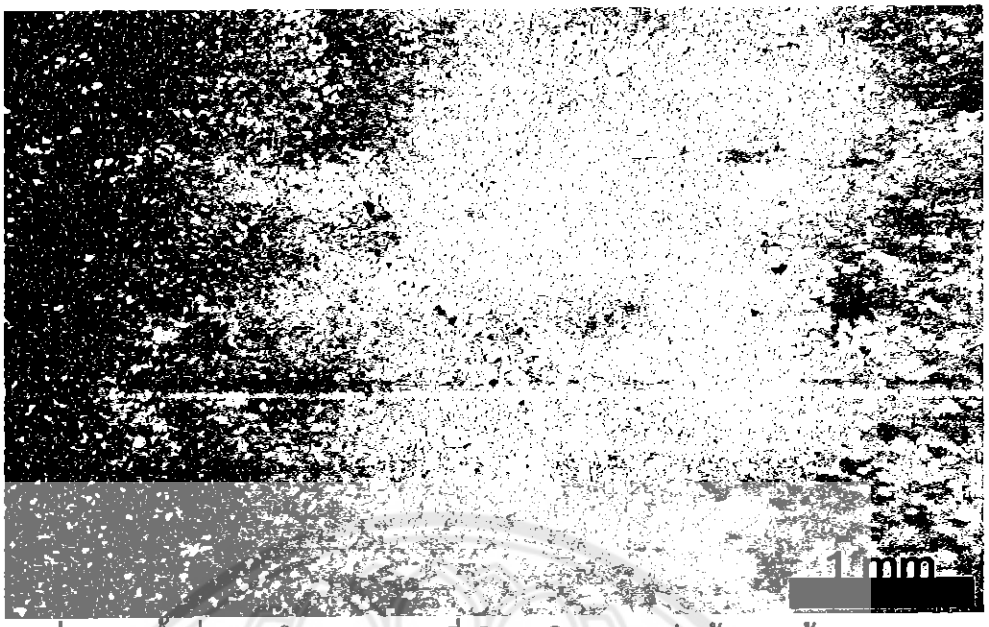
และไม่มีเถ้าแกลบ ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยให้เกิดรูพรุนภายใน จึงส่งผลให้ความหนาแน่น และค่ากำลังอัดมากขึ้น และพบว่าที่อัตราส่วนผสม 20 : 80 ที่เผาด้วยอุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส มวลเบาเกิดการหลอมละลาย เนื่องจากมวลเบาเกิดการพองตัวมาก ทำให้ผิวของมวลเบาสัมผัสกับเม็ดมวลเบาที่อยู่ใกล้เคียง แล้วดินเกิดการหลอมละลายติดกันระหว่างเม็ดมวลเบา จึงไม่สามารถนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกลได้

4.3.2 ศึกษาลักษณะความพรุนตัวของมวลเบา

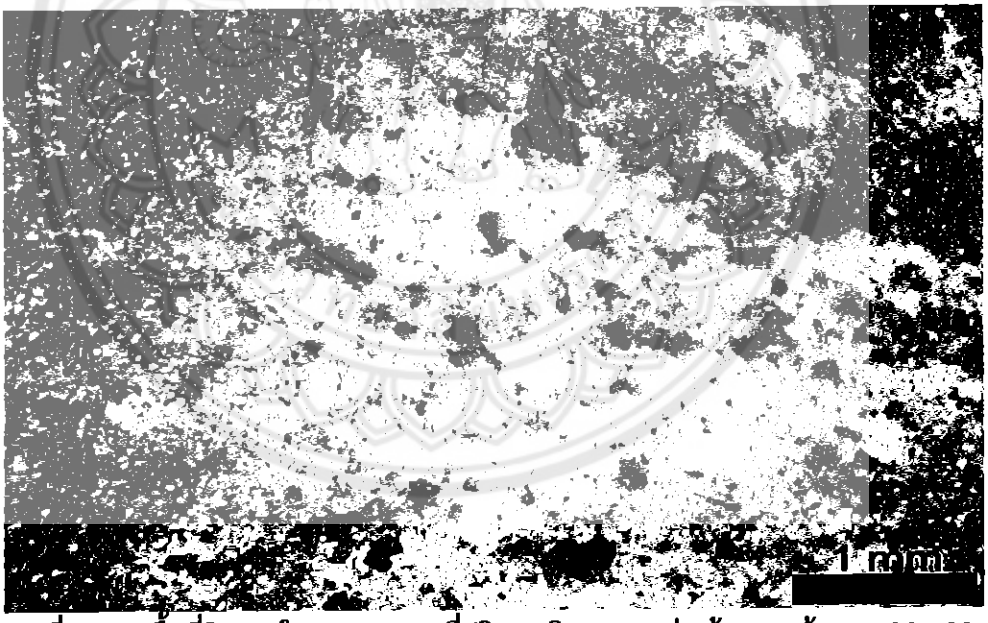
จากการศึกษาความพรุนตัวของมวลเบา ได้ดังรูปที่ 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 พบว่า มวลเบาจะมีความพรุนตัวมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น ในทุกๆ อัตราส่วน ยกเว้นที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก โดยมวลเบาที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส มีลักษณะความพรุนตัวที่ดีกว่ามวลเบาที่เผาด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่า



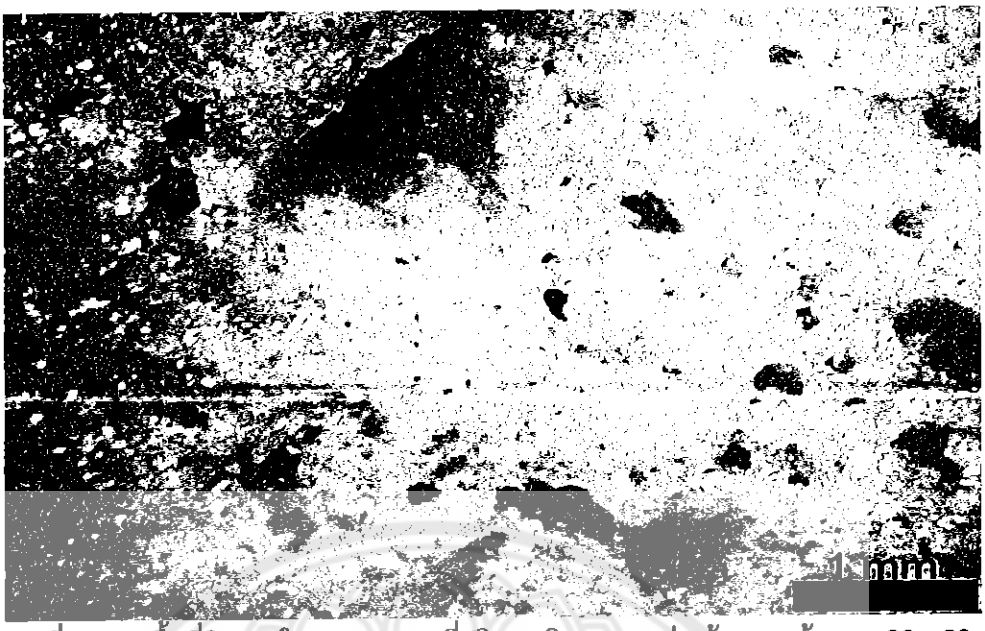
รูปที่ 4.10 พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค



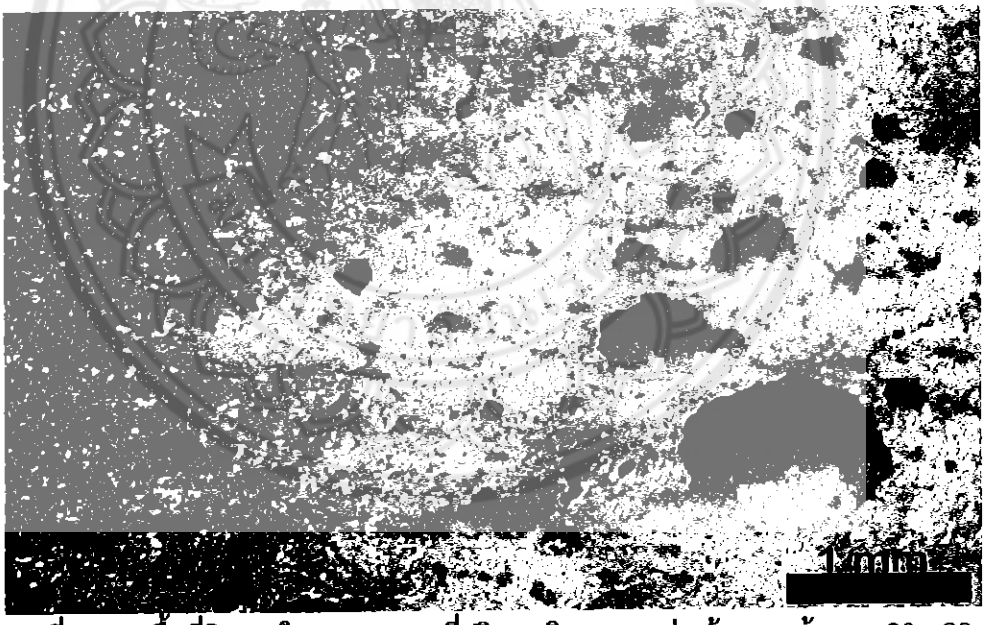
รูปที่ 4.11 พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค



รูปที่ 4.12 พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค



รูปที่ 4.13 พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1350 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค



รูปที่ 4.14 พื้นที่ผิวภายในของมวลเบาที่ปริมาณดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส ด้วยกล้องถ่ายภาพโครงสร้างมหภาค

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกล ในข้างต้นพบว่าที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น เนื่องจากมีอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบที่น้อย มวลเบาจึงมีรูพรุนน้อยลง ทำให้ความหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย

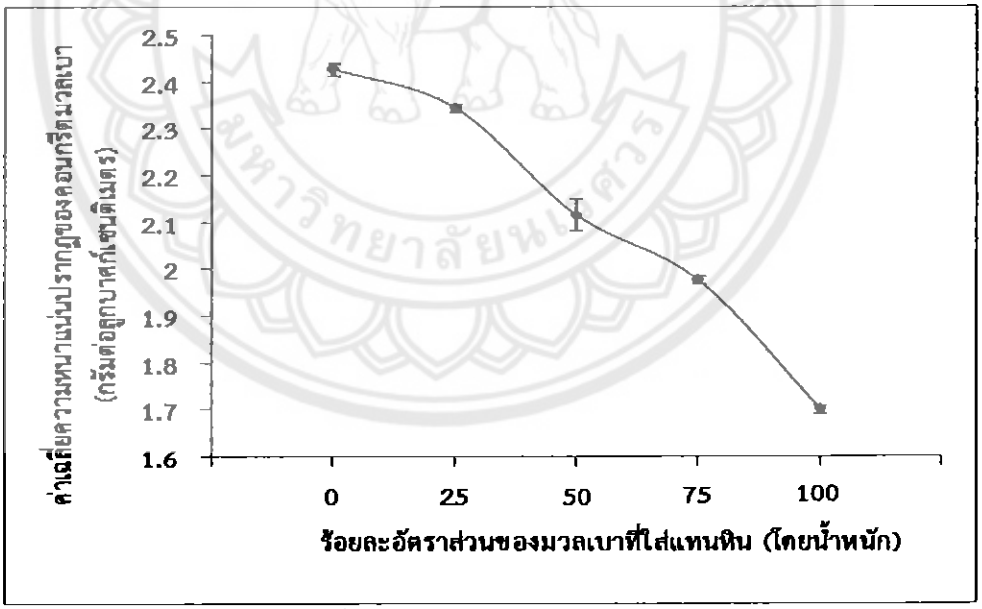
กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น แม้ว่าที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัดที่สูงกว่า เนื่องจากความพรุนตัวน้อย ความหนาแน่นมาก จึงทำให้มีน้ำหนักที่สูงกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้มวลเบาที่อัตราส่วนร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ณ อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส เป็นวัสดุผสมในการนำไปผลิตคอนกรีตมวลเบา

4.4 ผลการศึกษาคอนกรีตมวลเบา โดยการแทนหินด้วยมวลเบา

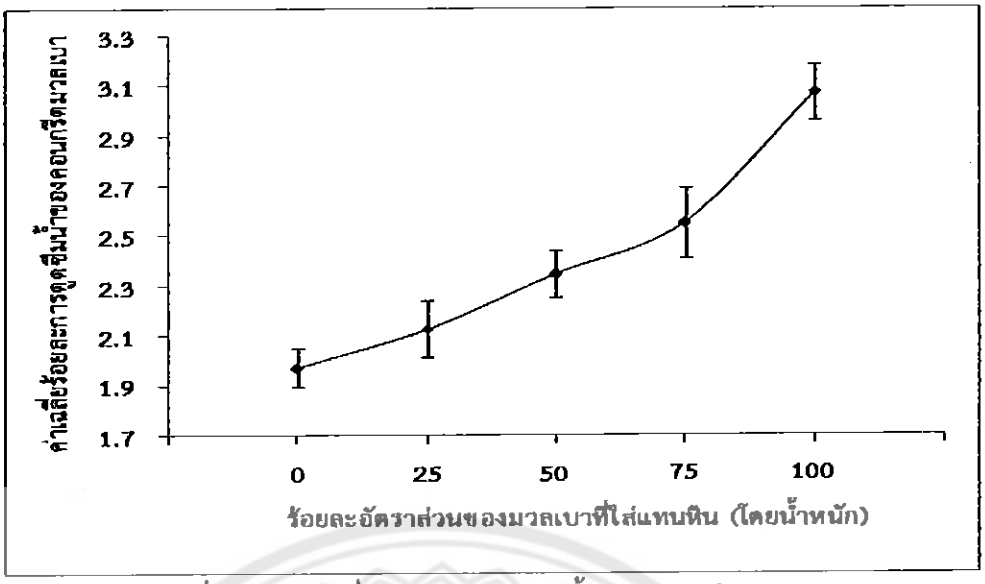
การทดลองนี้ได้นำมวลเบาที่อัตราส่วนผสมดินตะกอนต่อเถ้าแกลบเท่ากับร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก เผา ณ อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส มาเป็นวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยการนำมวลเบาใส่แทนหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เพื่อศึกษาปริมาณของมวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีต ได้แก่ ค่าความหนาแน่นปรากฏ, ร้อยละการดูดซึมน้ำ และกำลังอัด

4.4.1 ปริมาณมวลเบาที่แทนใส่หิน ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา

ศึกษาปริมาณมวลเบาที่ใส่แทนหิน ที่มีผลต่อความหนาแน่นปรากฏ และร้อยละการดูดซึมของคอนกรีตมวลเบา ได้ผลดังรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา

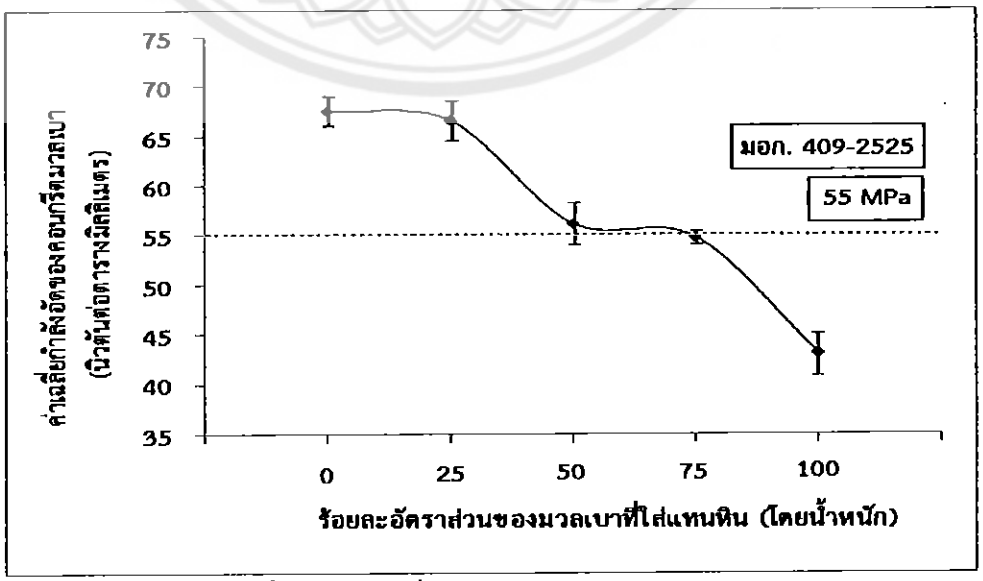


รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่าเมื่อปริมาณมวลเบาเพิ่มขึ้น และปริมาณของหินลดลง ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏมีค่าลดลง เนื่องจากมวลเบามีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน จึงส่งผลทำให้ความหนาแน่นในคอนกรีตลดลง ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลง เนื่องจากความพรุนตัวของมวลเบาทำให้ความหนาแน่นในคอนกรีตลดลง จึงสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

4.4.2 ปริมาณมวลเบาที่ใส่แทนหิน ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา

ศึกษาปริมาณมวลเบาที่ใส่แทนหิน ที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา ได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อปริมาณมวลเบาเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตลดลง เนื่องจากมวลเบามีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน จึงทำให้ภายในเนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นน้อยลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏที่ลดลง เมื่อปริมาณมวลเบาเพิ่มขึ้น

จากการทดลองพบว่า คอนกรีตมวลเบาที่ใส่มวลเบาในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก ให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตที่มีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ไม่ใส่มวลเบา แต่ให้น้ำหนักคอนกรีตที่เบากว่า อีกทั้งเมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก. 409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ยกเว้นที่อัตราส่วนมวลเบาที่ใส่แทนหินร้อยละ 75 และ 100 โดยน้ำหนัก

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดลองเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และการนำมวลเบามาใส่แทนหินเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา สามารถสรุปผลการทดลองที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และทางกล ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และกำลังอัด ตามลำดับ ดังนี้

5.1.1 อัตราส่วนผสมดินตะกอนต่อเถ้าแกลบที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของมวลเบา

ปริมาณดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณดินตะกอนส่งผลให้เนื้อส่วนผสมมีปริมาณดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดภายในมวลเบามากขึ้นเมื่อผ่านการเผา และเถ้าแกลบจะเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ทำให้เกิดช่องว่างภายในมวลเบา เมื่อปริมาณเถ้าแกลบลดลง มวลเบาจึงเกิดรูพรุนน้อยลง ส่งผลให้มวลเบามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก จะมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.23 และ 2.20 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบ ร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดเท่ากับ 0.72

5.1.2 อัตราส่วนผสมดินตะกอนต่อเถ้าแกลบที่มีผลต่อสมบัติทางกลของมวลเบา

เมื่ออัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบจะส่งผลให้ภายในมวลเบามีความพรุนมากขึ้น และทำให้ความหนาแน่นของมวลเบาลดลง ดังนั้นค่าเฉลี่ยจะมากขึ้น หรือลดลง จึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบที่เปลี่ยนไป ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยมวลเบาที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 31.37 เมกะปาสคาล และที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 20 : 80 โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังอัดต่ำสุดเท่ากับ 18.03 เมกะปาสคาล

5.1.3 อุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของมวลเบา

เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มวลเบามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาของเถ้าแกลบ ทำให้เกิดรูพรุนภายในมวลเบา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาจะมากขึ้น ทำให้รูพรุนมากขึ้น ความหนาแน่นภายในมวลเบาลดลง ดังนั้นจึงทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง และพบว่าที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 20 : 80 โดยน้ำหนัก เผาด้วยอุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส มวลเบาเกิดการหลอมละลายติดกัน เนื่องมวลเบาเกิดการพองตัวมาก ทำให้ผิวของมวลเบาสัมผัสกับเม็ดมวลเบาที่อยู่ใกล้เคียง แล้วดินเกิดการหลอมละลายติดกันระหว่างเม็ดมวลเบา

5.1.4 อุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางกลของมวลเบา

อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้มวลเบามีความพรุนตัวมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาของเถ้าแกลบมีมากขึ้น ความหนาแน่นภายในลดลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลงในทุก ๆ อัตราส่วน ยกเว้นที่อัตราส่วนดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนักจะให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากดินมีการหลอมตัวยึดติดกันได้มากขึ้น และไม่มีเถ้าแกลบซึ่งเป็นตัวช่วยให้เกิดรูพรุนผสมอยู่ ดังนั้นจึงให้ค่ากำลังอัดที่สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามวลเบา

5.1.5 ปริมาณมวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา

การแทนที่หินด้วยมวลเบา ส่งผลให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบามากขึ้น ตามปริมาณการใส่มวลเบาแทนหินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมวลเบามีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบามีค่าลดลง แต่มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น

5.1.6 ปริมาณมวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา

การเพิ่มปริมาณมวลเบาในคอนกรีตมวลเบา ทำให้ความหนาแน่นภายในคอนกรีตลดลง เนื่องจากมวลเบามีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน ส่งผลให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่ให้ค่ากำลังอัดลดลง คอนกรีตมวลเบาที่ใส่มวลเบาในอัตราส่วนร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก. 409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 ปริมาณดินตะกอน และเถ้าแกลบในปัจจุบันมีมากขึ้น จึงควรที่จะนำมาศึกษาเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น และเพื่อเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

5.2.2 ควรมีการศึกษาเพื่อนำวัตถุดิบเหลือทิ้ง หรือวัตถุดิบใหม่ๆ มาใช้ประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจที่จะทำการวิจัยต่อไป

5.3 ปัญหาที่พบ และวิธีการแก้ไข

ในการขึ้นรูปมวลเบาเพื่อทำเป็นเม็ดมวลเบา ต้องใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากบางอัตราส่วนผสมปั้นขึ้นรูปได้ยาก และเนื่องจากต้องใช้ปริมาณมวลเบาที่มาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดระยะเวลาในขั้นตอนการขึ้นรูปนี้ จึงเสนอให้ใช้เครื่องมือที่ช่วยในการขึ้นรูป หากไม่มีเครื่องมือดังกล่าว ให้หาแหล่งหรือสถานที่ ที่มีการใช้เครื่องมือที่สามารถใช้ขึ้นรูปได้ เพื่อเป็นการลดระยะเวลา และยังได้เม็ดมวลเบาในปริมาณที่มากขึ้น และมีขนาดสม่ำเสมอ

เอกสารอ้างอิง

ไกรวุฒิ เกียรติโกมล และคณะ (2540). **การคัดเลือกเถ้าถ่านหินที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีต.** วารสาร กฟภ. 2540 : เล่ม 3.หน้า 3-17.

ชัชพันธ์ ชาดี. (2552). **อิฐดินตะกอนน้ำประปาผสมซีเมนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาคุรุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิชาครุศาสตร์โยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2540). **คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่** 5. กรุงเทพฯ : บริษัทผลิตภัณฑ์ และวัตถุก่อสร้าง จำกัด.

ดนุพล ตันนโยภาส และ จิรชาติ เจ้าสินเจริญ. (2543). **ปูนสอผสมเถ้าลอยและเถ้าขี้เลื่อยไม้ยางพารา.** วารสารสงขลานครินทร์. 489-500.

สุพิณ แสงสุข. (2552). **ดินเผานาโน.** สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. http://www.csr.chula.ac.th.

บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. **สาระน่ารู้ : เถ้าแกลบ ของเหลือสารพัดประโยชน์** http://mtec.or.th/index.php.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ณรงศักดิ์ มากุล. (2544). **ผลของความละเอียดของเถ้าแกลบที่มีผลต่อความคงทนของคอนกรีต.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่7. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ทวิสัณห์ คงทรัพย์. (ตุลาคม-ธันวาคม 2545) **ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบดำจากโรงสีข้าว.** วารสารวิจัยและพัฒนา มธจ. 25. 373-389.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ (2543).**คุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบดำ.** การประชุมวิศวกรรมโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 6. เพชรบุรี.

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และ ศ.ดร.ปริญญา จินดาประสิฐ. (2552). **เถ้าแกลบในงานคอนกรีต.** อุบลาชธานี : ไชน์ แอนด์ เอ็นจีเนียริ่ง.

พานิช วุฒิพฤกษ์. (2544). **น้ำ : ส่วนผสมสำคัญในคอนกรีต.** สถาบันวิจัยกระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, (2525). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 409-2525.** กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม วิธีทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต.

เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2543). **การใช้เถ้าก้นเตาเป็นวัสดุปอซโซลาน.** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6. เพชรบุรี.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วัชรพงษ์ วงศ์เขียว. (2552). **การนำเถ้าหนักมาใช้เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ในคอนกรีตธรรมดา และคอนกรีตมวลเบา : สมบัติเชิงกลและสมบัติการนำความร้อน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(วัสดุศาสตร์), สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วินิต ช่อวิเชียร. (2539). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระยุทธ์ ลอประยูร. (2540). เอกสารประกอบการสอนวิชา 506309 Measurement and Tesing Lab Experiment IV Strength of Ceramic Material. สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

J. P. Behera et al., (2004). Light Weight Concrete with Sintered Fly ash Aggregate: A Study on Partial Replacement to Normal Granite Aggregate. IE (I) Journal-CV 85, 84-82.

K. Laursen et al., (2006). Recycling of an industrial sludge and marine clay as light-weight aggregates. Journal of Environmental Management 80, 208–213.

W. H. Yung, (2009). Durability of self-consolidating lightweight aggregate concrete using dredged silt. Construction and Building Materials 23, 2332 – 2337.

ภาคผนวก ก

ผลการทดลองสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของมวลเบา

ตางรางที่ ก.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	Apparent Density (g/cm^3)
20	80	1.77
40	60	1.84
60	40	1.88
80	20	2.04
100	0	2.23

ตางรางที่ ก.2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	Bulk Density (g/cm^3)
20	80	1.44
40	60	1.57
60	40	1.63
80	20	1.79
100	0	2.20

ตางรางที่ ก.3 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	% Water Absorption
20	80	12.87
40	60	9.40
60	40	8.30
80	20	6.66
100	0	0.72

ตางรางที่ ก.4 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	Compressive Strength (MPa)
20	80	18.03
40	60	18.32
60	40	18.67
80	20	19.84
100	0	31.37

ตารางที่ ก.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	Apparent Density (g/cm^3)
1100	20	80	1.83
	40	60	2.02
	60	40	2.07
	80	20	2.15
	100	0	2.21
1200	20	80	1.77
	40	60	1.84
	60	40	1.88
	80	20	2.04
	100	0	2.23
1300	20	80	1.72
	40	60	1.75
	60	40	1.81
	80	20	1.86
	100	0	2.24
1350	20	80	1.54
	40	60	1.59
	60	40	1.75
	80	20	1.80
	100	0	2.31
1400	20	80	หลอมละลาย
	40	60	1.43
	60	40	1.63
	80	20	1.73
	100	0	2.38

ตารางที่ ก.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	Bulk Density (g/cm^3)
1100	20	80	1.57
	40	60	1.76
	60	40	1.87
	80	20	1.94
	100	0	2.17
1200	20	80	1.44
	40	60	1.57
	60	40	1.63
	80	20	1.79
	100	0	2.20
1300	20	80	1.37
	40	60	1.43
	60	40	1.50
	80	20	1.61
	100	0	2.21
1350	20	80	1.17
	40	60	1.26
	60	40	1.41
	80	20	1.52
	100	0	2.28
1400	20	80	หลอมละลาย
	40	60	1.10
	60	40	1.28
	80	20	1.39
	100	0	2.36

ตารางที่ ก.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	% Water Absorption
1100	20	80	9.22
	40	60	7.40
	60	40	5.27
	80	20	5.19
	100	0	0.76
1200	20	80	12.87
	40	60	9.40
	60	40	8.30
	80	20	6.66
	100	0	0.72
1300	20	80	14.88
	40	60	13.04
	60	40	11.65
	80	20	8.61
	100	0	0.65
1350	20	80	20.38
	40	60	16.67
	60	40	13.66
	80	20	9.97
	100	0	0.49
1400	20	80	หลอมละลาย
	40	60	21.63
	60	40	17.00
	80	20	14.21
	100	0	0.36

ตารางที่ ก.8 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของมวลเบา ที่อุณหภูมิ 1100 - 1400 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอน	เถ้าแกลบ	Compressive Strength (MPa)
1100	20	80	18.57
	40	60	19.77
	60	40	20.21
	80	20	20.80
	100	0	30.73
1200	20	80	18.03
	40	60	18.32
	60	40	18.67
	80	20	19.84
	100	0	31.37
1300	20	80	17.77
	40	60	17.95
	60	40	18.29
	80	20	18.60
	100	0	31.85
1350	20	80	8.49
	40	60	8.57
	60	40	17.93
	80	20	18.01
	100	0	35.72
1400	20	80	หลอมละลาย
	40	60	4.84
	60	40	9.68
	80	20	17.91
	100	0	35.83
	60	40	17.93

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ ข.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา

มวลเบาแทนหิน (โดยน้ำหนัก)	Apparent Density (g/cm^3)
0	2.43
25	2.35
50	2.12
75	1.99
100	1.70

ตารางที่ ข.2 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

มวลเบาแทนหิน (โดยน้ำหนัก)	% Water Absorption
0	1.97
25	2.13
50	2.35
75	2.55
100	3.07

ตารางที่ ข.3 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

มวลเบาแทนหิน (โดยน้ำหนัก)	Compressive Strength (MPa)
0	67.6
25	66.6
50	56.2
75	54.8
100	43
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 409-2525)	55

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายทรงวุฒิ น่วมศิริ

ภูมิลำเนา 39 หมู่ 3 ตำบลหนองไผ่ อำเภอหนองขาหย่าง
จังหวัดอุทัยธานี 61130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองขาหย่างวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: s_n_siri@hotmail.com

ชื่อ นายสิทธิชัย ดีอินทร์

ภูมิลำเนา 35 หมู่ 5 ตำบลมะขามสูง อำเภอเมือง
จังหวัดพิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพุทธชินราชพิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tayee_13@hotmail.com