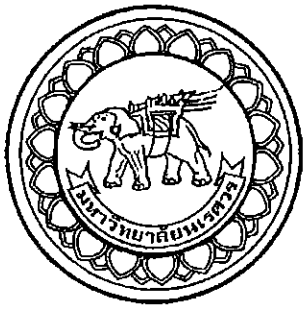


ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์โดยใช้ของเหลือทิ้งจากดินตะกอน จากโรงประปา ขี้เถ้าจากโรงงานน้ำตาล และขี้เถ้าจากโรงงานอิฐมอญ เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา

THE EFFECTS OF LIGHT WEIGTH AGGREGATES FROM WASTE SOIL, WASTE ASH FROM SUGAR FACTORY AND WASTE ASH FROM BRICK FACTORY FOR LIGHT WEIGTH CONCRETE

นายภูรีวรรธก์ ปานปั้น รหัส 51362442

นางสาววรัญยา ศรีตาบุตร รหัส 51365153

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 15946054
เลขเรียกหนังสือ ฝ8
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว 683 ว 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์โดยใช้ของเหลือทิ้งจากดินตะกอนจากโรงประปา ขี้เถ้าจากโรงงานน้ำตาล และขี้เถ้าจากโรงงานอิฐมอญเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา

ผู้ดำเนินโครงงาน นายภูรีวรรธก์ ปานปั้น รหัส 51362442
นางสาววรัญยา ศรีตาบุตร รหัส 51365153

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์มานะ วีรวิกรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์โดยใช้ของเหลือทิ้งจากดินตะกอนจากโรงประปา ขี้เถ้าจากโรงงานน้ำตาล และขี้เถ้าจากโรงงานอิฐมอญเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายภูรีวรรธก์	ปานปั้น	รหัส 51362442
	นางสาววรัญยา	ศรีตาบุตร	รหัส 51365153
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ธณิกานต์	ธงชัย	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2554		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนผสม และอิทธิพลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจาก 2 อัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยน้ำหนัก หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด เพื่อนำมาแทนหินในการผลิตคอนกรีตมวลเบา พบว่าที่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 80 : 20 โดยน้ำหนัก หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด แต่มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดสูงที่สุด จึงเลือกใช้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าว นำมาใส่แทนหินในผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนปูนต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 และทำการใส่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์แทนในส่วนของหิน ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยกำลังอัดมีค่าลดลง แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ใส่แทนที่หิน ในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 67.2 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่นที่ใส่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ และเมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบการต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก.409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย เป็นอย่างสูง ที่ให้โอกาสแก่ผู้ทำโครงงานในการดำเนินงานครั้งนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูล แนวทางปฏิบัติการดำเนินโครงงาน การวิเคราะห์ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมถึงแง่คิดในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ จนโครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการอันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงงานได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ ดร. พิทักษ์ เหล่ารัตนกุล นักวิจัย และคุณศุธีรพันธ์ พันธ์เลิศ ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สังกัดห้องปฏิบัติการเซรามิกประยุกต์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมเครื่องมือ และตลอดจนให้ความรู้ในเรื่องต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำโครงงานเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัวที่สนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษา และทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
ภูรีวรรธก์ ปานปั้น
วรัญยา ศรีตาบุตร

เมษายน 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... 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 สถานที่ดำเนินการวิจัย 3
1.7 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 คอนกรีต 5
2.2 คอนกรีตมวลเบา 9
2.3 วัสดุผสมคอนกรีตมวลเบา 10
2.4 ดินตะกอน 21
2.5 การซินเตอร์เซรามิก 22
2.6 สมบัติของคอนกรีตสด 25
2.7 การบ่ม และการถอดแบบหล่อคอนกรีต 26
2.8 กำลังของคอนกรีต 28
2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง 30
2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน....37

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน....37

3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ....38

3.3 การวิเคราะห์วัฏภาค....38

3.4 ขั้นตอนการบดผสม....39

3.5 การขึ้นรูป และการเผาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์....39

3.6 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของเม็ดมวลรวมเบาสังเคราะห์....39

3.7 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของเม็ดมวลรวมเบาสังเคราะห์....39

3.8 การขึ้นรูปชิ้นงานคอนกรีตมวลเบา....39

3.9 การบ่มคอนกรีตมวลเบา....40

3.10 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีตมวลเบา....40

3.11 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง....41

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์....42

4.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง....42

4.2 ผลการศึกษาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์....44

4.3 ผลการศึกษาคอนกรีตมวลเบา โดยการแทนหินด้วยเม็ดมวลเบาสังเคราะห์....62

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ....65

5.1 สรุปผลการทดลอง....65

5.2 ข้อเสนอแนะ....68

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข....69

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง 70

ภาคผนวก ก 72
ภาคผนวก ข 77
ภาคผนวก ค 82

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 84

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 12

2.2 คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญ....13

2.3 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ....15

2.4 แสดงกลไกการซินเตอร์....24

3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต และมวลเบา....40

4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....44

4.2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส....45

4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....50

4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....52

4.5 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....54

4.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....55

4.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ....58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.8 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ.....59

4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ.....61

4.10 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ.....61

ก.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 73

ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 74

ก.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 75

ก.4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 76

ข.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง.....78

ข.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง.....79

ข.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง.....80

ข.4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง.....81

ค.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา.....83

ค.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา.....83

ค.3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา.....83

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ปริมาตรของส่วนผสมคอนกรีต 6

2.2 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี 9

2.3 การซินเตอร์เซรามิก 22

2.4 กลไกการที่มีผลต่อการซินเตอร์ของอนุภาคผลึก 23

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 37

4.1 กราฟผลการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค XRD ของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา 42

4.2 กราฟผลการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค XRD ของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 43

4.3 กราฟผลการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค XRD ของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง 43

4.4 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส 46

4.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส 46

4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส 48

4.7 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส 49

4.8 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 51

4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 51

4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 53

4.11 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง 54

4.12 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง 56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะ-กอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง 56
4.14 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะ-กอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง 58
4.15 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง 60
4.16 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา 62
4.17 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา 63
4.18 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา 63

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันคอนกรีต (Concrete) ถือได้ว่าเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เข้ามามีบทบาท และความสำคัญต่อชีวิตคนเรามากขึ้น ทั้งที่อยู่อาศัย อาคาร บ้านเรือน ตลอดจนสาธารณูปโภคต่างๆ เช่น สะพาน เขื่อน ฯลฯ ล้วนแล้วแต่มีคอนกรีตเป็นส่วนประกอบในการก่อสร้างทั้งสิ้น ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคา และสมบัติต่างๆ โดยคอนกรีตนั้นประกอบด้วยส่วนผสมหลัก 2 ส่วน คือ ซีเมนต์เพสท์ (Cement Paste) ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ (Cement) น้ำ และสารผสมเพิ่ม (Admixture) ผสมกับส่วนของมวลรวม (Aggregates) อันได้แก่ มวลรวมละเอียด (Fine Aggregates) หรือทราย มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregates) เช่น หิน และกรวด เป็นต้น เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่งซึ่งนานพอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวเต็มที่แล้ว จะมีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มาก ทั้งนี้จะแปรไปตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น ซึ่งถึงแม้ว่าคอนกรีตจะเป็นวัสดุที่มีกำลังอัดสูง แต่มีข้อด้อยตรงที่เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักมากสำหรับชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ไม่จำเป็นต้องรับแรงกระทำมากนัก ทำให้การนำคอนกรีตธรรมดามาใช้งานจะทำให้ชิ้นส่วนของโครงสร้างนั้นมีน้ำหนักมากเกินไป และเป็นภาระสำหรับโครงสร้างโดยรวมในการที่จะต้องรับน้ำหนักกระทำส่วนเกินดังกล่าว ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา เพื่อให้เหมาะสำหรับใช้งานกับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่ต้องรับแรงกระทำมาก จึงนิยมลดน้ำหนักของมวลรวมโดยใช้มวลรวมที่มีน้ำหนักเบาแทนที่การใช้หิน หรือทราย โดยวัสดุมวลเบาที่ใช้จะมีทั้งจากธรรมชาติ เช่น ดินเบา หินภูเขาไฟ หรือทั้งจากการสังเคราะห์ขึ้น เช่น เถ้าลอย ตะกรันจากเตาถลุง เถ้าแกลบ และทั้งจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ (วินิต, 2554) ซึ่งจะเป็นการช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม และการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่าอีกด้วย โครงงานนี้จึงคิดที่จะนำวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมมาผลิตเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้แทนที่หินในคอนกรีต เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา ประเภทคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก สำหรับนำไปใช้งานที่ไม่ต้องการรับแรงกระทำมากนัก เช่น ผนังสำหรับกั้นห้องในอาคาร และที่พักอาคาร เป็นต้น ซึ่งวัสดุเหล่านี้ได้แก่ ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง โดยดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา จะเป็นดินตะกอนเหลือทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ใช้น้ำตามแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นดินตะกอนที่จะถูกทำให้ตกตะกอนจับตัวกันตกลงสู่ก้นบ่อแล้วจึงสูบออกนำมาตากให้แห้ง นอกจากนี้จะใช้ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง เป็นผลที่ได้มาจากกระบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งในกระบวนการสกัดน้ำอ้อยจะมีการลำเลียงอ้อยผ่านไปในชุดลูกหีบเพื่อรีดน้ำออกจากอ้อย และกากอ้อยที่ผ่านการสกัดน้ำอ้อยจะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายใต้หม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ดังนั้นกากอ้อยที่ถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้จึงกลายมาเป็นขี้เถ้าเหลือทิ้งในโรงงานดังกล่าว และวัตถุดิบสุดท้าย คือ ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง เป็นของเหลือทิ้งที่มาจากกระบวนการผลิตอิฐมอญ ซึ่งในขั้นตอนการเผาอิฐมอญของโรงงานแห่งนี้จะใช้เชื้อเพลิงเป็นแกลบ ขี้เลื่อย และเศษไม้ต่างๆ ในการเผาอิฐมอญ (อุบลลักษณ์, 2552) อีกทั้งยังพบว่าปริมาณของดินตะกอน และขี้เถ้าดังกล่าวมีจำนวนมาก และยังไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาคอนกรีตให้เหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องรับแรงกระทำมากนัก และช่วยลดของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โครงงานนี้จึงได้นำดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาอัตราส่วนผสมในการผลิตเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density) ร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด (Compressive Strength)

1.2.2 ศึกษาอัตราส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนของปูนต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยมีเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ทดแทนในส่วนของหินเท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังอัด

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์

1.3.2 ได้สมบัติทางกายภาพ และทางกล ของคอนกรีตมวลเบา ในอัตราส่วนปูนต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยมีเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ทดแทนในส่วนของหินเท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ปริมาณส่วนผสมของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังอัด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ใช้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาในการทำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

1.5.2 ใช้ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ในการทำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

1.5.3 ใช้ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ในการทำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

1.5.4 ทำการเผา (Sintering) ในช่วงอุณหภูมิ 1,200 - 1,400 องศาเซลเซียส (^{o}C)

1.5.5 อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ร้อยละ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยน้ำหนัก

1.5.6 อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ร้อยละ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยน้ำหนัก

1.5.7 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

1.5.8 แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

1.5.9 ศึกษาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนของปูนต่อทรายต่อหินเท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยมีเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ทดแทนในส่วนของหินเท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก

1.5.10 นำคอนกรีตที่ผสมเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ได้ไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน

1.5.11 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ และคอนกรีตที่ผสมเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังอัด

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

อาคารปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

1 กรกฎาคม 2554 – 30 เมษายน 2555

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	พ.ศ. 2554						พ.ศ. 2555			
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1	ศึกษาหาข้อมูลของดิน ตะกอน ขี้เถ้า และคอนกรีตมวลเบา	←	→								

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	พ.ศ. 2554						พ.ศ. 2555			
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.2	เตรียมดินตะกอนและขี้เถ้า			↔							
1.8.3	วิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอน และขี้เถ้า				↔						
1.8.4	ขึ้นรูปดินตะกอนและขี้เถ้า เพื่อทำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์					↔	↔				
1.8.5	ทดสอบสมบัติของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์							↔	↔		
1.8.6	ขึ้นรูปโดยการหล่อคอนกรีตมวลเบา									↔	
1.8.7	ทดสอบสมบัติของคอนกรีตมวลเบา										↔
1.8.8	สรุปผล และจัดทำรายงาน								↔	↔	↔

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 คอนกรีต

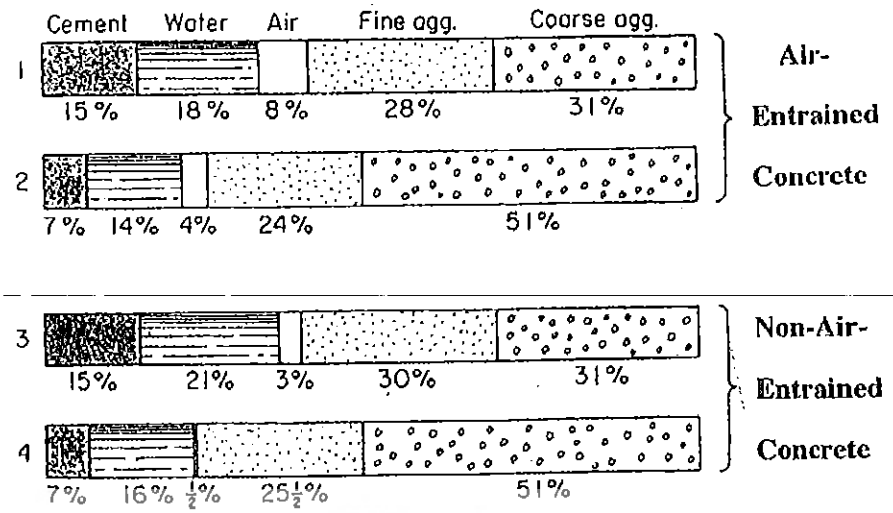
คอนกรีตเป็นวัสดุเปรียบเสมือนหินที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้งานเป็นโครงสร้าง จากการนำซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุประสานผสมกับทราย หิน หรือ กรวด ซึ่งเป็นวัสดุผสม และน้ำ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้ได้ซีเมนต์เพสท์มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานแทรกตามเม็ดทราย และก้อนหิน รวมตัวกันเป็นก้อนคอนกรีตในแบบหล่อ และจะแข็งตัวเมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง ทนแรงอัดได้ดีขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุการบ่มของคอนกรีต

คอนกรีตใช้เป็นวัสดุโครงสร้างได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ (เช่น อิฐ ไม้ หรือเหล็ก) เพราะสามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะขนาดได้ตามต้องการ โครงสร้างคอนกรีตที่เห็นกันอยู่ทั่วไป ได้แก่ พื้น คาน เสาของอาคาร พื้น คาน เสาของอาคาร พื้นถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ อัฒจันทร์ดูกีฬา หลังคาที่คลุมพื้นที่กว้างๆ ไม่มีเสาเกะกะในลักษณะคอนกรีตเปลือกบาง และเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น

2.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

ในเนื้อคอนกรีตอาจแยกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ซีเมนต์เพสท์ และวัสดุผสม ซึ่งคอนกรีตธรรมดาทั่วไปที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศจะมีปริมาตรของซีเมนต์เพสท์ประมาณร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 40 ซึ่งแยกเป็นปริมาตรของปูนซีเมนต์ร้อยละ 7 ถึงร้อยละ 15 น้ำร้อยละ 14 ถึงร้อยละ 21 และฟองอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 0.5 ถึงร้อยละ 3 ส่วนที่เหลือเป็นปริมาตรของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ จะมีปริมาตรของฟองอากาศแทรกอยู่ถึงร้อยละ 8 ดังรูปที่ 2.1

ซีเมนต์เพสท์ หรือ ที่เรียกว่า เพสท์ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ และฟองอากาศ เป็นส่วนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (คล้ายกาว) โดยจะไปแทรกตามช่องว่างของหิน และทราย และเคลือบ หรือ หุ้มเม็ดทราย และหินทั้งหมดให้เกาะรวมตัวจับกันเป็นก้อน ทำให้คอนกรีตสดลื่นเหลว และทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีกำลังรับแรงตามต้องการ ความแข็งแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์เพสท์



รูปที่ 2.1 ปริมาตรของส่วนผสมคอนกรีต ปริมาตรส่วนผสมที่ 1 และ 3 เป็นส่วนผสมแก่ปูน (Rich Mix) มีวัสดุผสมน้อย ปริมาตรส่วนผสมที่ 2 และ 4 เป็นส่วนผสมอ่อนปูน (Lean Mix) มีวัสดุผสมมาก

ที่มา: วินิต (2554)

คุณภาพของซีเมนต์เพสท์ ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio) ที่ใช้ในส่วนผสม และการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกทำให้คอนกรีตเกิดการก่อตัว และแข็งตัวตามมา ซึ่งการทำปฏิกิริยาทางเคมีจะช้าลงในช่วงหลัง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ และความชื้น

ในส่วนผสมอาจต้องใช้ปริมาณน้ำมากกว่าที่ต้องการเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีอย่างสมบูรณ์ เพื่อให้คอนกรีตนุ่มเหลว ทำงานง่าย แต่คุณภาพของคอนกรีตตลอดจนความทนทานต่อลมฟ้าอากาศจะลดลง ดังนั้นจึงต้องใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ให้เหมาะสม

วัสดุผสม แบ่งออกตามประเภทขนาดมี 2 กลุ่ม คือ วัสดุผสมละเอียด และวัสดุผสมหยาบ

วัสดุผสมละเอียด หมายถึงวัสดุที่มีขนาดเล็กที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 คือ มีขนาดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร (mm) ตามมาตรฐานสมาคมอเมริกันเพื่อการทดสอบวัสดุ (American Society Of Testing Materials หรือ ASTM) ASTM C 33 ซึ่งได้แก่ ทราย

วัสดุผสมหยาบ หมายถึง วัสดุผสมที่มีขนาดใหญ่ ไม่สามารถลอดผ่านตระแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แก่ หินย่อย หรือกรวด

การเลือกใช้วัสดุผสมนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีวัสดุผสมอยู่ประมาณร้อยละ 60 ถึงร้อยละ 80 ของปริมาตรทั้งหมด ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพ และราคา

คอนกรีต วัสดุผสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตต้องแข็งแกร่ง รับแรงอัดได้ดี ทนทาน ไม่ขยายตัวมาก และสะอาดโดยไม่มีสารจำพวกที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีต

นอกจากนี้วัสดุผสมต้องมีส่วนขนาดคละ (Gradation) ที่ดี เพื่อช่วยให้ได้คอนกรีตที่ได้มีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ มีช่องว่าง (Void) น้อย ลดการใช้ซีเมนต์เพสท์ลง และทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลง

ในเนื้อคอนกรีตนั้นอาจจะมีสารผสมเพิ่มผสมอยู่ด้วย เช่น สารเคมีผสมเพิ่ม (Chemical Admixture) หรือสารผสมเพิ่มแบบเร่งธาตุ (Mineral Admixture) ที่ใช้สำหรับเติมลงในส่วนผสมเพื่อปรับปรุงให้คอนกรีตสด (Fresh Concrete) หรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีคุณสมบัติอื่นที่ต้องการ เช่น ทำให้คอนกรีตสดมีความสามารถเท (Workability) ได้ดีขึ้น หรือก่อตัวช้าลง เป็นต้น แต่ทั้งนี้ต้องใช้การผสมเพิ่มในอัตราที่พอเหมาะตามคำแนะนำของผู้ผลิต มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดผลเสียหรือเกิดผลในทางตรงกันข้าม

อัตราส่วนผสมของคอนกรีตจะได้จากการออกแบบหาปฏิภาคส่วนผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีความข้นเหลวง่ายในการทำงาน ทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวมีกำลังรับแรง และความคงทนตามที่ต้องการ และในราคาที่ประหยัด อีกทั้งการลำเลียง การเท การทำให้คอนกรีตแน่นตัว ตลอดจนการบ่มคอนกรีต (Curing Concrete) เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้คอนกรีตมีคุณภาพตามต้องการ

โดยการผสมต้องผสมให้ทั่วพอที่จะกระจายวัสดุต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ และกระจายซีเมนต์เพสท์ไปบนผิวของวัสดุผสมโดยทั่วถึง การลำเลียง การเท และการสั่น หรือเขย่าคอนกรีต ต้องพยายามไม่ให้เกิดการแยกตัว เพราะมีผลต่อกำลัง และความทนทานของคอนกรีต ในการสั่น หรือเขย่าควรทำให้ทั่วถึงเพื่อทำให้คอนกรีตไหลลงไปเต็มทุกส่วนของแบบ เพื่อขับไล่ฟองอากาศและเพื่อไม่ให้หินรวมกันเป็นกระจุก ซึ่งจะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม หรือคอนกรีตใกล้ๆ ดีขึ้น การบ่ม หรือบำรุงคอนกรีตควรกระทำต่อเนื่องกันให้นานที่สุดเท่าที่จะนานได้ ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงมากขึ้นตามอายุ

2.1.2 ประเภทของคอนกรีต

โครงสร้างคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน มีทั้งชนิดที่หล่อกับที่ (Cast In Situ) ซึ่งใช้กันไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 เป็นแบบที่สะดวก และคุ้นเคยกันมากเพราะทำได้ง่าย โดยการผสมคอนกรีตจากวัสดุที่เตรียมไว้แล้วลำเลียงไปเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ เมื่อคอนกรีตได้อายุสามารถถอดแบบหล่อออก แล้วบ่มคอนกรีตด้วยน้ำอีกเป็นเวลาพอสมควร แล้วจึงสามารถใช้เป็นโครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกตามที่ออกแบบไว้ได้ และอีกชนิด คือ คอนกรีตหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete) ซึ่งผลิตจากโรงงาน เช่น ระบบพื้นอาคาร พื้นสะพาน เสาเข็มคอนกรีตสำหรับฐานราก เป็นต้น

คอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างอาจแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.2.1 คอนกรีตล้วน (Plain Concrete)

ใช้เพียงคอนกรีตอย่างเดียว ไม่มีวัสดุอื่นมาเสริม หรือร่วมด้วยเลย ได้แก่ โครงสร้างที่มีแต่แรงอัดกระทำอย่างเดียว เช่น ฐานเครื่องจักรที่หนามากๆ หรือเขื่อนกันดินแบบที่ใช้น้ำหนักของตัวเขื่อนด้านแรงดันของดิน (Gravity Wall) ที่สูงไม่เกิน 1.00 เมตร (m) เป็นต้น

2.1.2.2 คอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete)

ใช้เหล็กเส้นเสริมร่วมกับคอนกรีตโดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีต เป็นโครงสร้างที่มีทั้งแรงอัด และแรงดึงกระทำซึ่งเกิดจากโมเมนต์ดัด ส่วนใดของโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดก็ให้คอนกรีตทำหน้าที่ต้านทานแรงอัด และส่วนใดที่ต้องรับแรงดึงก็ใช้เหล็กเสริมทำหน้าที่ทานแรงดึง ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีคุณสมบัติต้านทานแรงอัดได้ดีมาก แต่มีคุณสมบัติด้อยในด้านรับแรงดึง ส่วนเหล็กเสริมมีคุณสมบัติต้านทานทั้งแรงดึง และแรงอัดได้ดี ประกอบกับเหล็กเสริม และคอนกรีตมีสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวใกล้เคียงกัน จึงช่วยกันรับ และถ่ายแรงได้ดี โครงสร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีความแข็งแรงมากกว่าโครงสร้างแบบคอนกรีตล้วน จึงเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน

2.1.2.3 คอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรง (Pre Stressed Concrete)

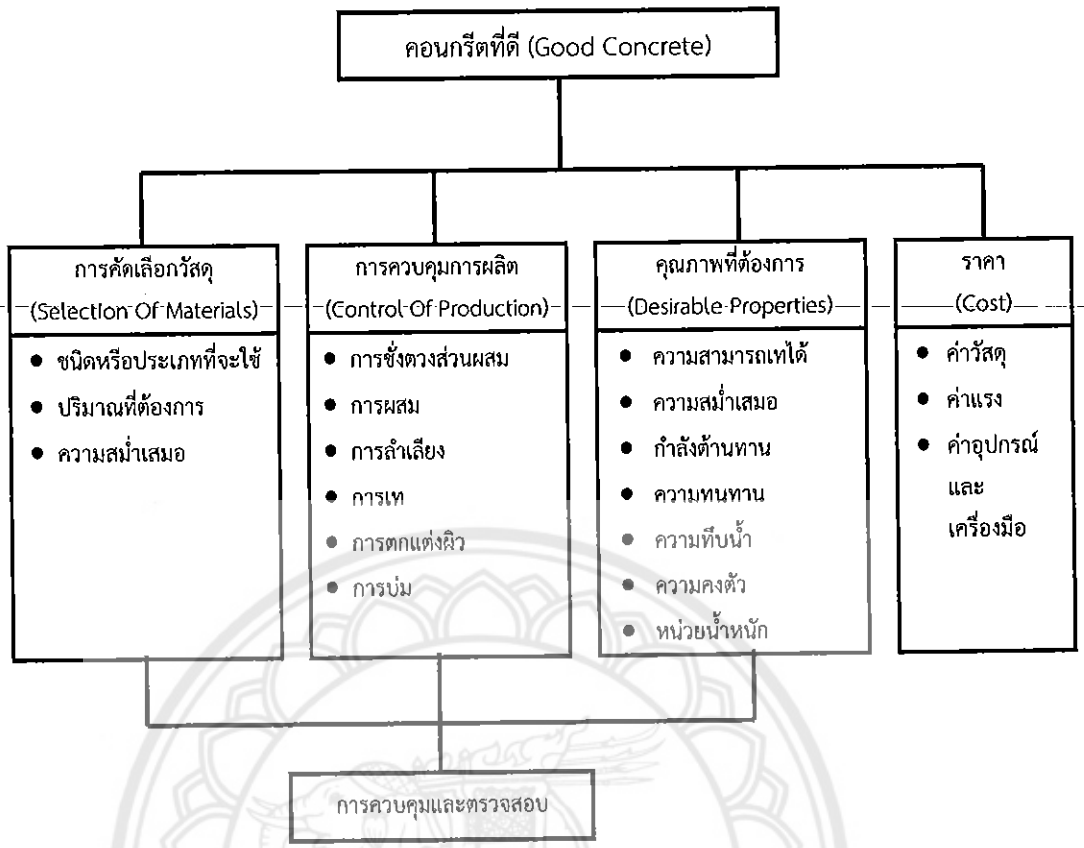
เป็นคอนกรีตที่สามารถรับน้ำหนักได้สูงมากขึ้น ซึ่งประเภทของคอนกรีตอัดแรง ได้แก่ ประเภทอัดแรงก่อน (Pre-Tensioning) และประเภทอัดแรงภายหลัง (Post-Tensioning)

ประเภทอัดแรงก่อน จะทำการดึงลวดอัดแรงก่อน แล้วจึงหล่อคอนกรีต ตัวอย่างการอัดแรงประเภทนี้ ได้แก่ เสาเข็ม คานสำเร็จรูป พื้นสำเร็จรูป เป็นต้น

ประเภทอัดแรงภายหลัง การอัดแรงประเภทนี้ จะหล่อคอนกรีตก่อนแล้วจึงทำการดึงลวดอัดแรงภายหลัง ตัวอย่างการอัดแรงประเภทนี้ ได้แก่ พื้นแผ่นเรียบไร้คาน (Flat Plate) คานสะพาน เป็นต้น

2.1.3 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

การนำคอนกรีตไปใช้เป็นโครงสร้าง สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่จำเป็นต้องทราบนั่นคือ คุณสมบัติที่สำคัญ และประโยชน์ของวัสดุคอนกรีต ซึ่งจะทำให้สามารถเลือกใช้สัดส่วนผสมของคอนกรีตให้เหมาะสมกับงาน อีกทั้งต้องทราบวิธีดำเนินการเพื่อให้ได้คอนกรีตที่ดี ที่จะช่วยให้เทคอนกรีตได้สะดวก ไม่เป็นโพรง และได้คอนกรีตที่มีกำลังความแข็งแรง และความทนทานที่พึงประสงค์ ในราคาที่ประหยัด รูปที่ 2.2 แสดงปัจจัยต่างๆ ที่ควรได้รับการพิจารณาเพื่อทำให้ได้คอนกรีตที่ดี มีคุณภาพและความคงทนตามต้องการ และในราคาที่ประหยัด ในแต่ละปัจจัยที่แสดงในรูปนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน หากสามารถดำเนินการควบคุม และตรวจสอบให้เกิดความเหมาะสมกันดี ก็อาจเรียกขบวนการทำ หรือ ผลิตคอนกรีตนั้นว่า มีความสมดุลและเหมาะสม (Balance)



รูปที่ 2.2 ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี
ที่มา: วินิต (2554)

2.2 คอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา และมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เป็นนวัตกรรมรูปแบบใหม่ด้านวัสดุก่อสร้างในปัจจุบันที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง ซึ่งองค์ประกอบของคอนกรีตมวลเบาคล้ายกับคอนกรีตทั่วไปที่ประกอบด้วยซีเมนต์ และมวลรวมเป็นหลัก แต่คอนกรีตมวลเบาจะมีการใส่วัสดุชนิดมวลเบาผสมเข้าไปด้วยทำให้มีน้ำหนักที่ลดลง อีกทั้งคอนกรีตมวลเบามีสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากคอนกรีตชนิดอื่นๆ คือ สามารถนำไปปลูกสร้างได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง ทั้งยังสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทน และมีอายุการใช้งานนานกว่า 50 ปี ด้วยสมบัติที่โดดเด่นนี้ ทำให้มีการเปลี่ยนมาใช้คอนกรีตมวลเบาทดแทนอิฐมอญ หรือคอนกรีตบล็อกมากขึ้น โดยทั่วไปคอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากการผสมระหว่างทราย ซีเมนต์ ปูนขาว (Lime, CaO) ยิปซั่ม (Gypsum, $CaSO_4.2H_2O$) และผงอลูมินา (Alumina Powders, Al_2O_3) โดยมีฟองอากาศปริมาณร้อยละ 75 ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ ฟองอากาศภายในคอนกรีตมวลเบาจะเป็นแบบเซลล์ปิด ไม่ดูดซึมน้ำ หรือดูดซึมน้ำน้อยกว่าอิฐมอญ 4 เท่า ความเบาของคอนกรีตจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้าง ใช้เป็นฉนวนกันความร้อน มีค่าการต้านทานความร้อนดีกว่า

คอนกรีตบล็อก 4 เท่า ดีกว่าอิฐมอญ 6 ถึง 8 เท่า โดยไม่สะสมความร้อน ไม่ติดไฟ ทนไฟที่ 1,000 องศาเซลเซียส ได้นาน 4 ชั่วโมง และกันเสียงได้ดี

2.2.1 ประเภทของคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา มีมากมายหลายประเภท หากมองเพียงภายนอกอาจแทบไม่แตกต่างกัน แต่แท้จริงแล้ว คอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบ และกระบวนการผลิตที่ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแตกต่างกันด้วย คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปอาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1.1 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

2.2.1.2 ระบบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

ซึ่งระบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ

ประการที่ 1 ใช้ปูนขาวมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งประเภทนี้จะควบคุมคุณภาพได้ยาก ทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ประการที่ 2 ระบบที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate หรือ CSH) ซึ่งเป็นสารให้กำลังในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง ทนทานกว่า

2.3 วัสดุผสมคอนกรีตมวลเบา

ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาคล้ายกับคอนกรีตทั่วไป คือ ซีเมนต์เพสท์ และวัสดุผสม แต่คอนกรีตมวลเบานั้นมีการใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตทั่วไป ได้แก่ มวลเบาที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติเวลาที่ภูเขาไฟระเบิด มวลเบาที่ได้จากกระบวนการผลิต เช่น ดินเหนียว ดินดาน เถ้าลอยหลอม และมวลเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ เช่น แกลบ ขี้เถ้าแกลบ ขี้เลื่อย และขี้เถ้าชานอ้อย เป็นต้น

2.3.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ เป็นผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูดเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ หินปูน หรือดินปูนขาวกับดินเหนียว หรือหินดาน จนรวมตัวผสมกัน โดยมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ แคลเซียม (Calcium, Ca) และอลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminium Silicate) โดยปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้หมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัว และแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน อัตราการก่อตัว และแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิด ขึ้นอยู่กับความละเอียด และส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรง และความทนทานเมื่อแข็งตัวแล้ว ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสม และการให้ความชื้นในขณะที่เริ่มแข็งตัว ตำรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันในทางวิชาการว่า "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟแอสปดิน โดยในปี ค.ศ. 1842 นายโจเซฟได้ทำการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ของวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียว เมื่อนำมาบดจะได้ผงปูนซีเมนต์ หลังจากผสมรวมกับน้ำ และแข็งตัวจะมีสีเหลือง – เทา คล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ประเทศอังกฤษ นายโจเซฟจึงตั้งชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในขณะนั้นยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวกันไม่ดี

2.3.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปัจจุบัน เพราะเมื่อนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไปผสมรวมกับทราย และน้ำ จะได้เป็นมอร์ต้า (Mortar) ซึ่งนำไปใช้เป็น ปูนก่อ สำหรับงานก่ออิฐหรือหิน หรือปูนฉาบ สำหรับงานฉาบปูน เป็นต้น หากนำไปผสมรวมกับ หินกรวด ทราย และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็ง และทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีต ได้แก่ ฐานรากตอม่อ เขื่อน กำแพงกันดิน พื้น และถนน ซึ่งเมื่อเสริมด้วยเหล็กเส้นจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้น หลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ และอื่นๆ

2.3.1.2 สารประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ ซึ่งได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน (Silicon, Si) อลูมิเนียม (Aluminium, Al) และเหล็ก (Iron, Fe) สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาทางเคมี และรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ดในรูปของผลึกละเอียดมาก

สารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังจากการเผาแล้ว ได้แก่

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate หรือ C_3S)

ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate หรือ C_2S)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate หรือ C_3A)

และ เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalciumaluminoferrite หรือ C_4AF)

ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งได้ให้ชื่อย่อของสารประกอบเหล่านี้ตามอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ โดยใช้ชื่อย่อของออกไซด์ของธาตุใดๆ ด้วยอักษรของธาตุนั้นเพียงตัวเดียว คือ CaO ย่อเหลือตัว C, SiO_2 ย่อเหลือตัว S, Al_2O_3 ย่อเหลือตัว A และ Fe_2O_3 ย่อเหลือตัว F

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆ อีกที่ได้หลังจากการเผา เช่น แมกนีเซียม-ออกไซด์ (Magnesium Oxide, MgO) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Oxide, TiO_2) แมงกานีส-ออกไซด์ (Manganese Oxide, Mn_2O_3) โพแทสเซียมออกไซด์ (Potassium Oxide, K_2O) และโซเดียมออกไซด์ (Sodium Oxide, Na_2O) ซึ่งปะปนอยู่เป็นจำนวนน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียมซิลิเกต	$3CaO.SiO_2$	C_3S
ไดแคลเซียมซิลิเกต	$2CaO.SiO_2$	C_2S
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

ที่มา: วินิต (2554)

2.3.1.3 อิทธิพลของสารประกอบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

สารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ มีผลกระทบต่อคุณสมบัติต่างๆ ของปูนซีเมนต์เมื่อนำไปผสมกับน้ำเพื่อทำเป็นมอร์ตาหรือคอนกรีต เช่น อัตราการทำปฏิกิริยากับน้ำ การให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮโดรชัน กำลังรับแรงอัดในระยะแรก (Early Strength) และระยะหลัง (Ultimate Strength) ความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต (Sulphate) เป็นต้น ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านต่างๆ ของสารประกอบที่สำคัญ

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญ

คุณสมบัติด้านต่างๆ	พฤติกรรมของสารประกอบแต่ละตัว			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราการทำปฏิกิริยา	ปานกลาง	ช้า	รวดเร็ว	ช้า
ความร้อนของปฏิกิริยา	ปานกลาง	น้อย	มาก	น้อย
การพัฒนากำลังรับแรง:				
ระยะแรก (Early)	เร็ว	ช้า	เร็ว	ช้า
ระยะหลัง (Ultimate)	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความทนทานต่อการกัดกร่อน	ปานกลาง	สูง	น้อย	-

ที่มา: วินิต (2554)

C_3S เป็นสารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วในระยะแรก (ประมาณ 14 วันหลังการผสม) มีอัตราการทำปฏิกิริยากับน้ำปานกลาง ก่อตัวภายในไม่กี่ชั่วโมง ให้ความร้อนปานกลาง คือ ประมาณ 120 แคลอรี่ต่อกรัม (Calorie/Gram) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

C_2S ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นในระยะหลัง (ตั้งแต่ 14 - 28 วัน และเรื่อยไปเมื่อได้รับการบ่มชื้น) ทำปฏิกิริยากับน้ำค่อนข้างช้า ให้ความร้อนน้อย (ประมาณ 60 แคลอรี่ต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน มีความทนทานสูงต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต และมีการหดตัวน้อย (Drying Shrinkage)

C_3A ทำให้เกิดกำลังรับแรงอัดได้เร็วมากในระยะแรก (ประมาณ 1 วันหลังการผสม) เพราะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อตัว และแข็งตัวเร็ว ให้ความร้อนมาก (ประมาณ 210 แคลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ไม่ช่วยให้มีกำลังรับแรงอัดในระยะหลัง ทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness) และไม่ทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต

C_4AF ไม่ค่อยมีส่วนในการพัฒนากำลังรับแรงอัดทั้งในระยะแรก และระยะหลัง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ ให้ความร้อนน้อย (ประมาณ 100 แคลอรีต่อกรัม) เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันสารประกอบนี้ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา – ดำ

แมกนีเซียมออกไซด์ หากมีอยู่ในปูนซีเมนต์เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนักทำให้เกิดความไม่คงตัว โดยมีการขยายตัวในมอร์ต้า และคอนกรีต เกิดการแตกร้าวเสียหาย

ปูนขาวอิสระ (Free Lime) นี้จะทำให้ปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากที่ปูนซีเมนต์แข็งตัวแล้ว หากมีอยู่เกินกว่าร้อยละ 3 จะทำให้เกิดความไม่คงตัว และก่อตัวช้า

ยิบซัม ทำให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติก่อตัวและแข็งตัวช้าลง หากมีอยู่มาก จะทำให้เกิดความไม่คงตัว และทำให้กำลังรับแรงน้อยลง

โพแทสเซียมออกไซด์ และโซเดียมออกไซด์ ซึ่งเป็นด่าง (Alkalies) ทำให้เพิ่มกำลังรับแรงอัดในระยะแรก แต่กำลังรับแรงอัดในระยะหลังลดลง ถ้าผสมใช้กับวัสดุผสมที่ทำปฏิกิริยากับด่าง อาจทำให้เกิดการขยายตัวในมอร์ตา หรือคอนกรีตเกิดการแตกร้าวเสียหาย นอกจากนี้ยังทำให้ปูนซีเมนต์ที่บรรจุอยู่ในถุง จับตัวเป็นก้อนเร็ว

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบ C_3S และ C_2S รวมกันเป็นปริมาณถึงร้อยละ 70 - 80 ของปริมาณทั้งหมด สารประกอบทั้งสองจะเป็นตัวควบคุม ทำให้มอร์ตา หรือคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดทั้งในระยะแรก และระยะหลัง หากต้องการให้เกิดกำลังรับแรงอัดเร็วในระยะแรก จะต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่มีสารประกอบ C_3S ผสมอยู่มาก ซึ่งปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันก็จะมากด้วย ทำนองเดียวกันเมื่อต้องการให้มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดในเวลาต่อมา ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่มีสารประกอบ C_2S ผสมอยู่มากเช่นกัน ส่วนในกรณีที่ต้องการให้คอนกรีตมีความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตที่มีอยู่ในดิน หรือน้ำ ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่มีสารประกอบ C_3A ผสมอยู่น้อย

2.3.1.4 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

มาตรฐาน ASTM C 150 และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก) มาตรฐาน ม.อ.ก.15 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศที่รุนแรง หรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อน และทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อ-สะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High – Early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่า ซูปเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรก เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง ที่มีเนื้อผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตโดยการเปลี่ยนสัดส่วนผสม (เพิ่ม C_3S และลด C_2S) หรือโดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็ว หรือรื้อถอดแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น และคาน ที่ต้องถอดที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ประเภทนี้เพียง 3 วัน จะมีกำลังเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ธรรมดาที่หล่อแล้วได้ 28 วัน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด อัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างช้าๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อน เนื่องจากให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะก่อตัวและแข็งตัว

ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate - Resistant) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ (มี C_3A ต่ำสุด) สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่ที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำหรือดินที่มีด่างสูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า ตราปลาฉลาม

ในต่างประเทศ ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทดังกล่าวข้างต้นอาจมีทั้งชนิดกระจายกักฟองอากาศ หรือไม่กระจัดกักฟองอากาศ ปูนซีเมนต์ชนิดกระจายกักฟองอากาศจะมีสารสำหรับกระจายกักฟองอากาศผสมอยู่ด้วย สารดังกล่าวทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก กระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีต ช่วยต้านทานไม่ให้น้ำในคอนกรีตแข็งตัวก่อนที่คอนกรีตก่อตัว จึงเหมาะกับงานหล่อคอนกรีตในภูมิประเทศที่มีอากาศหนาวจัด นอกจากนี้ยังทำให้ใช้น้ำผสมน้อยลง เพราะฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เทคอนกรีตง่าย ลดการแยกตัว เป็นผลให้กำลังคอนกรีตดีตามไปด้วย

ตารางที่ 2.3 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ

สารประกอบ	ประเภทหนึ่ง	ประเภทสอง	ประเภทสาม	ประเภทสี่	ประเภทห้า
ไตรแคลเซียมซิลิเกต : C_3S	49	46	56	30	43
ไดแคลเซียมซิลิเกต : C_2S	25	29	15	46	36
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต : C_3A	12	6	12	5	4
เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ : C_4AF	8	12	8	13	12

ที่มา: วินิต (2554)

จากตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นความแตกต่างของปริมาณสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภท ดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง และประเภทสาม มีปริมาณของอลูมิเนต (Aluminet) และเฟอร์ไรท์ (Ferrite, Fe_2O_3) ที่เท่ากัน แต่ในปูนซีเมนต์ประเภทสามใช้ปริมาณ C_3S มากกว่า และใช้ปริมาณ C_2S น้อยกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสอง และประเภทห้า มีปริมาณ C_3A น้อย ทำให้มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตได้สูง ส่วนปริมาณของ C_3S จะถูกลดลง โดยเพิ่มปริมาณของ C_2S มากขึ้น ทำให้การก่อตัว และแข็งตัว ดำเนินไปอย่างช้าๆ โดยช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทสี่ เป็นประเภทที่เกิดความร้อนต่ำ เนื่องจากมีปริมาณของ C_3S กับ C_3A น้อยกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ทำให้การเกิดแรงอัดในระยะแรกช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง

2.3.2 มวลรวม

มวลรวม คือ วัสดุเฉื่อยที่ใช้เป็นวัสดุแทรกในคอนกรีต ได้แก่ หิน กรวด และทราย เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมวลรวมมีปริมาตรถึงร้อยละ 70 - 80 ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด นอกจากนี้มวลรวมยังมีความสำคัญอื่นๆ อีก ได้แก่ การทำให้คอนกรีตมีต้นทุน หรือราคาต่ำลง การเลือกใช้มวลรวมที่มีคุณภาพดีจะช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ให้น้อยลง มีผลให้ต้นทุนหรือราคาคอนกรีตลดลง และมวลรวมนั่นยังส่งผลกระทบต่อสมบัติของคอนกรีต ซึ่งสมบัติของมวลรวมเป็นตัวกำหนด 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

มวลรวมควรมีสมบัติที่ทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ง่าย แข็งแรง คงทน และมีราคาประหยัด นอกจากนี้มวลรวมควรมีสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

ก. ความแข็งแรง (Strength)

มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือ จะรับแรงกดได้ 700 - 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) ขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้

ข. ความต้านทานต่อแรงกระแทก และการขัดสี (Impact And Abrasion Resistance)

เป็นสมบัติที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของมวลรวม และมีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ทำคอนกรีตที่ต้องการแรงกระแทก หรือการขัดสี เช่น พื้นถนน พื้นโรงงาน และพื้นสนามบิน เป็นต้น ดังนั้นมวลรวมที่ใช้งานได้ดีควรมีความแข็งแรง และมีเนื้อแน่น

ค. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทสามารถทำปฏิกิริยากับด่างในปูนซีเมนต์ได้ ก่อให้เกิดเป็นวุ้น และ

ขยายตัวจนเกิดรอยแตกร้าวกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าคอนกรีต เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาแอลคาไลมวลรวม (Alkali-Aggregate Reaction หรือ ARR)

ง. รูปร่าง และลักษณะผิว (Particle Shape And Surface Texture)

รูปร่าง และลักษณะผิวของมวลรวมมีอิทธิพลต่อสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว มวลรวมที่มีผิวหยาบ มีรูปร่างแบน หรือมีรูปร่างยาวเรียว จะทำให้คอนกรีตมีความต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่มากกว่ามวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยม ที่ระดับความสามารถเทได้เดียวกัน

จ. ขนาดคละ

ขนาดคละของมวลรวมมีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต การทำคอนกรีตที่ดีนั้น แต่ละอนุภาคของมวลรวมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ไม่ว่ามวลรวมนั้นจะมีขนาดเล็ก หรือใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำไปผสมรวมกันแล้วอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าให้มากที่สุด ซึ่งจะมีผลทำให้ประหยัดซีเมนต์เพสต์ที่จะต้องใช้ยึดมวลรวม รวมทั้งช่วยอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกัน ดังนั้นการใช้มวลรวมที่มีขนาดคละที่เหมาะสมจึงช่วยให้ลดปริมาณซีเมนต์เพสต์ลง และช่วยประหยัดปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตได้

2.3.3 น้ำ

คุณภาพ และปริมาณของน้ำผสมคอนกรีต เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรง และความคงทนของคอนกรีต น้ำผสมคอนกรีตควรสะอาด ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีสมบัติผ่านข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต นอกจากนี้น้ำผสมคอนกรีตจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้ ระยะเวลาการก่อตัว การแข็งตัว กำลัง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อีกทั้งต้องไม่มีผลทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม โดยปกติน้ำประปาที่มีสมบัติเหมาะแก่การบริโภคจะสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้ แต่น้ำที่มีคลอไรด์ (Chloride, Cl_2) เช่น น้ำทะเล น้ำเค็ม และน้ำกร่อย ไม่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีต เพราะจะทำให้เหล็กเสริมในโครงสร้างคอนกรีตเป็นสนิมได้

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในส่วนผสมคอนกรีตนั้น นอกจากจะมีผลต่อความเข้มข้นเหลว หรือความสามารถในการเทลงแบบหล่อคอนกรีตแล้ว ยังส่งผลต่อความแข็งแรง และความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้วด้วย ดังนั้นการเลือกน้ำที่มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

2.3.3.1 หน้าที่ของน้ำสำหรับงานคอนกรีต

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่ น้ำผสมคอนกรีต น้ำล้างมวลรวม และน้ำบ่มคอนกรีต

ก. น้ำผสมคอนกรีต

ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งจะทำให้ส่งผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด รวมทั้งกำลัง และความคงทนของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

ข. น้ำล้างมวลรวม

ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรกให้สะอาด เพื่อที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตได้

ค. น้ำบ่มคอนกรีต

ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น และเป็นการป้องกันปัญหาการแตกตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

2.3.3.2 การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีต

การทดสอบคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีตนี้ สามารถทำได้โดยการทดสอบเทียบกับเวลาการก่อตัว และกำลังอัดระหว่างที่ใช้น้ำตัวอย่างกับที่ใช้น้ำควบคุม กรณีทดสอบตัวอย่างมอร์ต้า ให้ใช้กับน้ำกลั่นเป็นน้ำควบคุม

2.3.3.3 ข้อกำหนดคุณภาพของน้ำผสมคอนกรีต

จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต ตามมาตรฐาน 1014 สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสถ.) หรือ The Engineering Institute of Thailand (E.I.T) ได้แก่

ก. ค่าเวลาการก่อตัวเริ่มต้น

ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องไม่เร็วเกิดกว่า 60 นาที หรือไม่ช้าเกินกว่า 90 นาที เมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ข. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัด

ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้น้ำควบคุม

ถ้าผลการทดสอบที่ได้นอกเหนือค่าที่กำหนด แสดงว่าน้ำนั้นมีผลกระทบต่อสมบัติของคอนกรีต อาจแก้ไขโดยการเปลี่ยนแหล่งน้ำที่จะนำมาผสมคอนกรีต หรือถ้าผลการทดสอบแสดงว่าค่ากำลังอัดของตัวอย่างไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของค่ากำลังอัดเฉลี่ยของตัวอย่างที่ใช้น้ำควบคุม อาจยังใช้น้ำนี้ แต่ต้องมีการเปลี่ยนส่วนผสมคอนกรีต

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 และหลุดล่อนได้ภายหลังได้

2.3.4 สารผสมเพิ่ม

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

การจำแนกประเภทของสารผสมเพิ่มแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 3 ประการ คือ

2.2.4.1 สารเคมีผสม

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, 2554)

2.3.5 มวลเบา

มวลเบา (Lightweight Aggregate) คือ วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบา และนิยมนำมาผสมกับคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น มวลเบามีความหนาแน่นระหว่าง 60 ถึง 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) 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 และนำไปเผาในเตาเผา ที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งที่อุณหภูมินี้ดินจะมีการขยายตัวเนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ในเนื้อดิน ลักษณะของดินพวกนี้มีรูปร่างกลมแข็ง ผิวเรียบแน่น แต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

ข. มวลเบาจากดินดาน

ได้จากการนำดินดานมาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งวัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกัน และมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหิน ลักษณะจะเป็นหินที่มีความแข็งมาก หลังจากที่เผาจะนำมวลเบาที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ มวลเบาชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบา

ค. เถ้าลอยหลอม

ได้จากการนำเอาเถ้าลอยที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหิน ไปทำให้เป็นเม็ด แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิอนุภาคของเถ้าจะเกาะกันซึ่งผิวของมวลเบาชนิดนี้จะค่อนข้างเรียบ

2.3.5.3 มวลเบาที่ได้จากสารอินทรีย์

มวลเบาชนิดนี้ ได้แก่ แกลบ ขี้เถ้าแกลบ และขี้เลื่อย เป็นต้น นำมาผสมกับคอนกรีต ได้คอนกรีตมวลเบา แต่ไม่ทนความร้อน ลุกติดไฟได้ง่าย เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ดี

2.3.5.4 มวลเบาที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต

มวลเบาชนิดนี้ ได้แก่ เถ้าหนัก (Bottom Ash) ที่ได้จากโรงงานไฟฟ้า ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และตะกรันเตาถลุงเหล็ก (Slag) ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก เป็นการพ่นน้ำลงไปบนตะกรันที่หลอมเหลวทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อตะกรันที่แข็งแล้ว หลังจากนั้นนำไปย่อยให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ และยังมีดินตะกอนที่ได้มาจากดินที่เป็นเศษเหลือทิ้ง หรือดินที่ตกหล่นจากกระบวนการของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งดินเหล่านี้จะถูกชะล้างด้วยน้ำประปาไปยังอ่างตกตะกอน และได้มีการนำดินตะกอนเหลือทิ้งมาทำเป็นวัสดุก่อสร้างต่างๆ เช่น ใช้ทำอิฐมอญ กระเบื้องมุงหลังคา หรือคอนกรีตบล็อกประสาน เป็นต้น

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

2.4 ดินตะกอน

ดินตะกอน คือ ดินที่ถูกน้ำพัดพาไปยังแหล่งอื่นแล้วเกิดการผุกร่อนในที่ห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิดเดิม อนุภาค หรือผลึกของดินตะกอน จะต้องอยู่ในสภาวะแขวนลอยระหว่างที่เกิดการพัดพาไปยังแหล่งอื่นด้วยน้ำ ทำให้อนุภาคของดินตะกอนมีความละเอียดมาก ซึ่งสามารถสรุปที่มาของการเกิดดินตะกอนได้ดังนี้

กระบวนการทางอุทกวิทยา โดยธรรมชาติกระบวนการทางอุทกวิทยาต่างๆ เช่น การไหลของน้ำแรงจากเม็ดฝนทำให้เกิดการกัดเซาะของดิน วัตถุ และสารต่างๆ ชะล้าง และพัดพาตามแรงกระทำของน้ำ และนำไปตกตะกอนตามลำน้ำต่างๆ เมื่อกระแสน้ำไหลช้าลง โดยสารวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะตกตะกอนก่อน และสารวัตถุที่มีขนาดเล็กจะถูกพัดพาไปไกลกว่า และตกตะกอนภายหลัง

กิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ อุตสาหกรรม การทำถนน

กิจกรรมของจุลินทรีย์น้ำเสีย ซึ่งโดยปกติแล้วในแหล่งน้ำต่างๆ มีจุลินทรีย์อาศัยอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน้ำเสียซึ่งมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนในปริมาณมาก มักมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี จุลินทรีย์เหล่านี้เมื่อมีการเจริญมากจะเกิดตายทับถมกลายเป็นซากอินทรีย์ตกตะกอนบริเวณท้องลำน้ำ เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย หนองน้ำ เป็นต้น

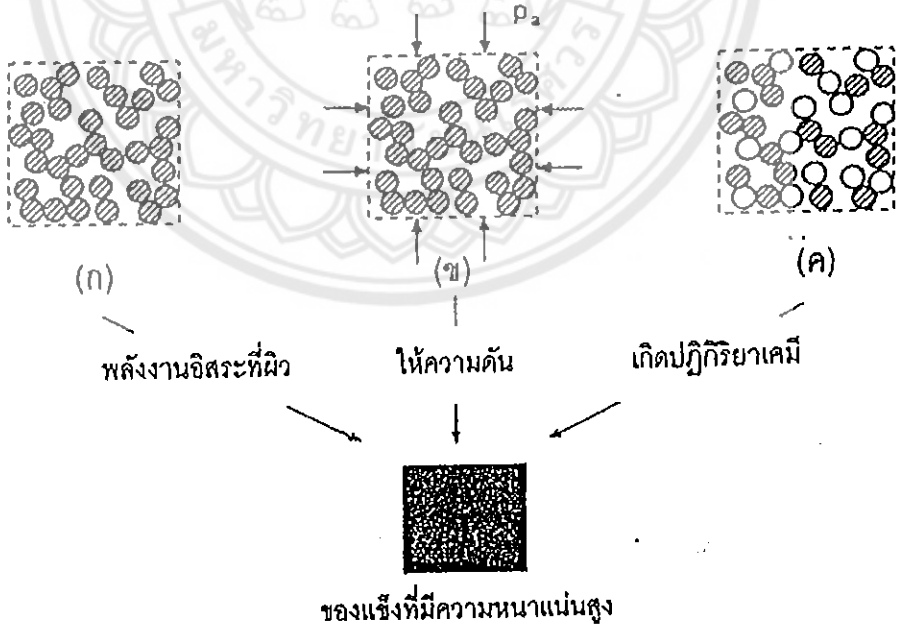
ดินตะกอน หรือตะกอนดินที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การผลิตน้ำประปา ซึ่งดินตะกอนเป็นสิ่งที่ต้องทำการกำจัดออกหลังกระบวนการผลิตน้ำประปา ในขั้นตอนการผลิตน้ำประปานั้นเริ่มจากการตกตะกอนตามธรรมชาติ และมีการแยกวัสดุที่ปนมากับน้ำ เช่น เศษสวะ เศษไม้ สาหร่าย พืชน้ำ หรือถุงพลาสติก ด้วยตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด จากนั้นจึงเติมสารเคมี ได้แก่ สารส้ม และพอลิเมอร์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้ตะกอนจับตัวเป็นก้อนโตขึ้น ตะกอนหนัก จะตกลงสู่พื้นล่างของถัง เหลือแต่น้ำใสไปยังบ่อกรองน้ำ น้ำจะถูกกรองด้วยผงถ่านทรายละเอียด และหินหยาบ จากนั้นจึงเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค สุดท้ายเป็นการเติมปูนขาวในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับสภาพความเป็นกรดเป็นด่างให้มีฤทธิ์เป็นกลาง ในส่วนของตะกอนเมื่อแยกน้ำออกไปแล้ว ตะกอนจะถูกปล่อยลงสู่บ่อกักตะกอนเกิดการตกตะกอนโดยธรรมชาติ จนตะกอนเหลวมีความเข้มข้น ประมาณร้อยละ 10 - 15 โดยน้ำหนัก จึงใช้เรือสูบตะกอนเหลวออกจากบ่อกักตะกอนไปยังบ่อตากตะกอน เมื่อทิ้งไว้บ่อตากตะกอนประมาณ 1 ปี จะได้ตะกอนเหลวที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 25 - 40 โดยน้ำหนัก การขนย้ายตะกอนเหลวทำได้โดยใช้รถตักดินตักตะกอนใส่รถบรรทุกมายัง

ลานตากตะกอน เมื่อดินตะกอนมีความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก จึงใช้รถบรรทุกขนย้ายออกจากโรงผลิตน้ำประปาได้

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

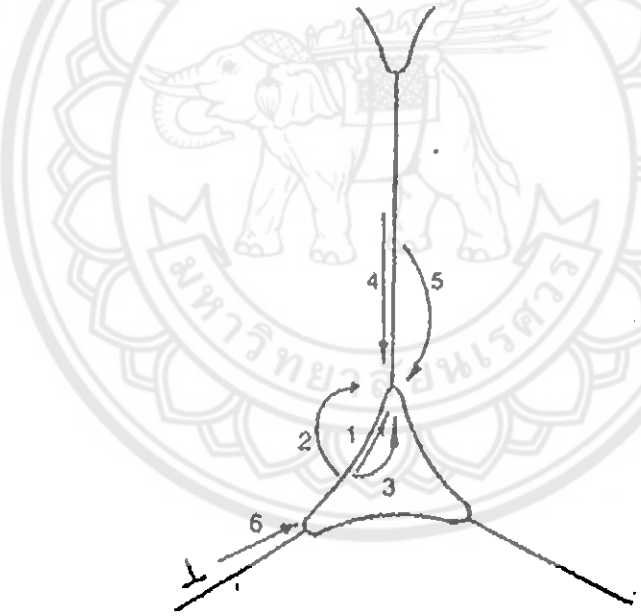
2.5 การซินเตอร์เซรามิก

การซินเตอร์เป็นกระบวนการที่สำคัญอย่างยิ่งในการผลิตเซรามิก เซรามิกจะถูกเผาที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้โครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ตามที่ต้องการ ซึ่งจะส่งผลให้ได้คุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการด้วย กระบวนการซินเตอร์เกิดขึ้นได้ด้วยพลังงานสำหรับการซินเตอร์ (Driving Forces For Sintering) และจะเกิดขึ้นควบคู่กับการลดพลังงานอิสระรวมของระบบ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ความโค้งของผิว ความดันจากภายนอก และปฏิกิริยาเคมี ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 พลังงานขับสำหรับการซินเตอร์
ที่มา: สยาม (2551)

ถ้าในระบบใดๆ ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ความดันที่ได้จากภายนอกจะเป็นตัวการสำคัญในการให้พลังงานขับในการซินเตอร์ โดยความดันจะให้แก่ระบบขณะที่มีการให้ความร้อนไปด้วย ในทางปฏิบัติความดันจะมีความสำคัญต่อพลังงานขับในการซินเตอร์มากกว่าความโค้งของผิวมาก ปฏิกิริยาเคมีก็มีผลต่อพลังงานขับในการซินเตอร์ ซึ่งพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีนั้นจะมีค่าสูงกว่าพลังงานขับที่เกิดจากความโค้งของผิว และความดันจากภายนอกมาก ถึงแม้การเกิดปฏิกิริยาเคมีจะให้พลังงานขับสูงมาก แต่ค่าพลังงานที่ได้จะไม่ได้ถูกใช้โดยตรงในกระบวนการแน่นตัวของเซรามิกชั้นสูง เนื่องจากการควบคุมโครงสร้างจุลภาคทำได้ค่อนข้างยากเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น ดังนั้นพลังงานขับที่กล่าวมานั้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในการซินเตอร์ แต่การซินเตอร์จะเกิดขึ้นจริงเมื่อมีการถ่ายโอนมวลสารขึ้นสำหรับของแข็งที่มีโครงสร้างผลึก การถ่ายโอนมวลสารจะเกิดขึ้นได้ด้วยกระบวนการแพร่ การถ่ายโอนมวลสารในวัสดุที่มีโครงสร้างผลึกเชิงซ้อนจะเกิดขึ้นในเส้นทางเฉพาะหนึ่งๆ และจะเป็นตัวกำหนดกลไกการซินเตอร์ การถ่ายโอนมวลสารนั้นจะเกิดขึ้นจากบริเวณที่มีศักย์ทางเคมีสูง หรือที่เรียกว่าแหล่งเริ่มต้นของมวลสาร ไปสู่บริเวณที่ศักย์ทางเคมีต่ำ ที่เรียกว่าปลายทางของมวลสาร ซึ่งกลไกการซินเตอร์มีทั้งสิ้น 6 กลไก ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกการที่มีผลต่อการซินเตอร์ของอนุภาคผลึก
ที่มา: สยาม (2551)

โดยกลไกทั้งหมดนี้จะทำให้เกิดการเติบโตของคอระหว่างอนุภาค ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างอนุภาค และทำให้เกิดความแข็งแรงของอนุภาคผง ในกระบวนการซินเตอร์จะมีเพียงบางกลไกเท่านั้นที่จะทำให้เกิดการหดตัว (Shrink) และการแน่นตัว (Density) ของอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงกลไกการซินเตอร์

กลไก	แหล่งเริ่มต้นของมวลสาร	ปลายทางของมวลสาร	เกิดการแน่นตัว	ไม่เกิดการแน่นตัว
การแพร่ที่พื้นผิว	พื้นผิว	คอคอด		/
การแพร่ผ่านแลตทิส	พื้นผิว	คอคอด		/
การขนส่งแบบไอ	พื้นผิว	คอคอด		/
การแพร่ผ่านขอบเกรน	ขอบเกรน	คอคอด	/	
การแพร่ผ่านแลตทิสจากขอบเกรน	ขอบเกรน	คอคอด	/	
การไหลแบบพลาสติก	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	/	

ที่มา: สยาม (2551)

การซินเตอร์เป็นกระบวนการที่ต่อเนื่อง โครงสร้างจุลภาคของผงที่ถูกอัดจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการซินเตอร์ ซึ่งจะผ่านขั้นตอนสำคัญ 3 ช่วง คือ การซินเตอร์ช่วงเริ่มต้น (Intial Stage Sintering) การซินเตอร์ช่วงกลาง (Intermediate Stage Of Sintering) และการซินเตอร์ช่วงสุดท้าย (Final Stage Of Sintering) การแบ่งช่วงการซินเตอร์จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอนุภาคที่มาเชื่อมต่อและการหายไปของรูพรุน

การซินเตอร์ช่วงเริ่มต้นจะเกิดการเรียงตัวใหม่ของอนุภาค และการเจริญเติบโตของบริเวณระหว่างอนุภาค ที่เรียกว่า คอคอด อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.4 โดยการเติบโตนี้จะเกิดจากการแพร่ การขนส่งแบบไอ การไหลแบบพลาสติก สำหรับระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคทรงกลมจะมีการแน่นตัวขึ้นพร้อมกับการเติบโตของคอคอด ซึ่งมีผลทำให้ความแตกต่างของความโค้งที่ผิวหายไป การซินเตอร์ในช่วงนี้จะเกิดขึ้นจนกระทั่งรัศมีของคอมมีค่าประมาณ 0.4 – 0.5 เท่าของรัศมีอนุภาค และสำหรับระบบผงที่มีความหนาแน่นเบื้องต้นประมาณ 0.5 – 0.6 เท่าของความหนาแน่นทางทฤษฎี จะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 0.65 เท่าของความหนาแน่นทางทฤษฎี

การซินเตอร์ช่วงกลางจะเริ่มต้นเมื่อรูพรุนมีรูปร่างสมดุล การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอนุภาคในช่วงกลางนี้แสดงดังรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าขนาดคอคอดจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ปริมารรูพรุนน้อยลง สัมพันธ์กับการหดตัวของอนุภาค จุดศูนย์กลางของอนุภาคจะเข้ามาใกล้กันมากขึ้นและขอบเกรนเริ่มเคลื่อนทำให้อนุภาคหนึ่งๆ ที่เรียกว่า เกรน เริ่มโตและเกรนที่อยู่ข้างเคียงเริ่มหายไปในเกรนดังกล่าว

ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเรขาคณิตของเกรน คอคอด และรูพรุน จนกว่ารูพรุนจะมาเชื่อมต่อกันและสิ้นสุดเมื่อรูพรุนเริ่มแยกตัวออกจากกัน เป็นรูพรุนเดี่ยวๆ (Isolated Pores) ทำให้การซินเตอร์ในช่วงนี้ใช้เวลานานที่สุด และเกิดการหดตัวมากกว่าช่วงอื่นๆ มีผลทำให้ความหนาแน่นมีค่าประมาณ 0.9 เท่าของความหมายหนาแน่นทางทฤษฎี

ในการซินเตอร์ช่วงสุดท้ายรูพรุนที่อยู่ใกล้กับขอบเกรนจะถูกกำจัดออกจากระบบโดยการแพร่ ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของขอบเกรนและควบคุมการเติบโตของเกรนถ้าการเติบโตของเกรนเกิดขึ้นรวดเร็วเกินไป ขอบเกรนจะเคลื่อนที่เร็วกว่ารูพรุน จะส่งผลให้รูพรุนแยกตัวออกไปอยู่ในเกรน ซึ่งจะกำจัดรูพรุนออกไปได้ยาก ดังนั้นจะต้องควบคุมการเจริญเติบโตของเกรนเป็นอย่างดี เพื่อทำให้การกำจัดรูพรุนเป็นไปได้มากที่สุด

2.6 สมบัติของคอนกรีตสด

สมบัติของคอนกรีตสด มีความสำคัญมาก แม้ว่าคอนกรีตสดจะเป็นเพียงสภาพชั่วคราวของคอนกรีตก่อนการแข็งตัว แต่เนื่องจากสมบัติของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ได้แก่ รูปร่าง และความสวยงาม กำลัง การเปลี่ยนรูปร่าง ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ และความคงทนเหล่านี้ เป็นผลมาจากการอัดแน่นคอนกรีตสดที่ดี รวมถึงการลำเลียง การเท และการแต่งผิวหน้า ล้วนแต่เป็นผลมาจากสมบัติความสามารถเทได้ ของคอนกรีตสดที่ดีทั้งสิ้น

คอนกรีตสดที่ดีจะต้องมีสมบัติที่สำคัญ ได้แก่ มีเนื้อสม่ำเสมอกันทุกส่วน มีความสามารถเทได้ดีโดยไม่เกิดการแยกตัวขึ้น ไม่เกิดการเยิ้มมากเกินไป มีเวลาการก่อตัวนานพอที่จะสามารถทำงานได้ทัน และยังอาจจำเป็นต้องมีสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานโดยเฉพาะด้วย

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ ช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา และมีความเข้มข้นเหลวเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานหล่อเป็นคอนกรีตแข็งตัวที่มีรูปร่าง และสมบัติตามต้องการได้

ความสามารถเทได้ คือ ปริมาณงานที่ใช้ในการอัดคอนกรีตสดให้แน่น โดยปราศจากการแยกตัว

การยึดเกาะ คือ สมบัติของเนื้อคอนกรีตสดที่สามารถจับรวมเป็นกลุ่ม หรือสลายตัวออกจากกันได้ยาก และเกี่ยวกับแนวโน้มของคอนกรีตสดที่จะเกิดการเยิ้ม (Bleeding) หรือการแยกตัว (Segregation)

ความข้นเหลว คือ สภาพความเหลวของคอนกรีตสดซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนใหญ่ ความข้นเหลวเป็นสมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของความสามารถในการใช้งาน และสามารถวัดค่าได้ชัดเจนด้วยวิธีการทดสอบ เช่น ค่ายุบตัว และค่าการไหล เป็นต้น

การแยกตัว คือ การแยกออกจากกันขององค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อคอนกรีตสด ทำให้ส่วนผสมมีเนื้อไม่สม่ำเสมอตลอดทุกส่วน

การเยิ้ม คือ การแยกตัวชนิดหนึ่ง โดยเป็นปรากฏการณ์คายน้ำของคอนกรีตสด เกิดขึ้นเมื่อส่วนประกอบที่หนักกว่าจมตัวลง แล้วดันน้ำซึ่งเบาที่สุดขึ้นสู่ผิวหน้าคอนกรีต

16494004
ว6
ด16836
2554

2.7 การบ่ม และการถอดแบบหล่อคอนกรีต

ในการเทคอนกรีตลงแบบ หรือการหล่อคอนกรีต (Placing Concrete) พื้น เสา คาน หรือผนัง มักนิยมใช้ไม้ หรือเหล็กทำเป็นแบบให้ได้ขนาด และรูปร่างที่ต้องการ ไม้ที่ใช้เป็นไม้ราคาถูก เช่น ไม้-กระบาก แต่บางทีก็ใช้ไม้อัดทำไม้แบบสำหรับเทคอนกรีต เพราะไม้อัดทำให้ผิวคอนกรีตเรียบร้อย และไม่ต้องฉาบปูนทับหลังจากเทคอนกรีตลงในแบบประมาณ 5 - 7 วัน คอนกรีตจะแข็งตัว และอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะสูงประมาณร้อยละ 70 ของกำลังคอนกรีตเมื่ออายุ 1 เดือน หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องทิ้งคอนกรีตไว้อย่างน้อย 30 วัน จึงจะใช้งานได้ เนื่องจากคอนกรีตรับแรงอัดได้สูง แต่รับแรงดึงหรือแรงดัดได้ต่ำมาก ฉะนั้นโครงสร้างที่ต้องรับแรงดึง และแรงดัด เช่น คาน และพื้น หรือในส่วนที่ยื่นออกไป เช่น กันสาด หลังจากถอดไม้แบบแล้วจะต้องใช้เสาไม้ค้ำไว้อย่างน้อยที่สุด 20 วัน เพื่อให้คอนกรีตแข็งพอที่จะรับแรงได้

เมื่อผสมซีเมนต์กับน้ำ ซีเมนต์จะคายความร้อนให้กับน้ำซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ถ้าน้ำในคอนกรีตแห้งเร็วเกินไปโดยการซึม หรือระเหย ความร้อนที่คายจากซีเมนต์จะสะสมอยู่ในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแตกหรือร้าวได้ เพื่อไม่ให้คอนกรีตแตก หรือ ร้าว เนื่องจากน้ำในคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป จึงจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตชื้นอยู่อย่างน้อย 15 วัน การรักษาความชื้นในคอนกรีตให้คงที่ ซึ่งเรียกว่า การบ่มคอนกรีต

2.7.1 การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีต คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลทำให้การพัฒนากำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ เพื่อให้คอนกรีตมีการพัฒนาสมบัติด้านกำลัง และความคงทน และเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตโดยเฉพาะในช่วงอายุเริ่มแรกโดยการรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

การบ่มอาจหมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วย ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว

คอนกรีตจำเป็นต้องได้รับการบ่มทันทีหลังจากเสร็จสิ้นการแต่งผิวหน้า และคอนกรีตเริ่มแข็งตัวแล้ว และควรบ่มต่อไปจนกระทั่งคอนกรีตมีกำลังตามต้องการ หลังการทั่วไปของการบ่มที่ดีจะต้องสามารถป้องกันคอนกรีตไม่ให้เกิดการสูญเสียความชื้นไม่ว่าจะด้วยความร้อน หรือลม ไม่ให้คอนกรีตร้อน หรือเย็นมากเกินไป ไม่ให้สัมผัสกับสารเคมีที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต และไม่ถูกชะล้างด้วยน้ำฝน หลังจากเทคอนกรีตเสร็จใหม่ๆ

2.7.1.1 การบ่มที่อุณหภูมิปกติ

สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ และการบ่มคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

ก. การบ่มคอนกรีตโดยการเพิ่มน้ำ

เป็นการเพิ่มน้ำ หรือ ความชื้นในผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรกที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัวอย่างต่อเนื่อง ตามระยะเวลาการบ่มคอนกรีตที่กำหนด ควรคำนึงความสามารถในการจัดหาน้ำ และวัสดุที่ใช้บ่ม น้ำที่ใช้บ่มควรมีคุณภาพสอดคล้องตามมาตรฐาน ไม่มีสารเจือปนที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต หรือทำให้ผิวคอนกรีต หรือทำให้ผิวคอนกรีตเปลี่ยนสี และหลีกเลี่ยงการใช้น้ำบ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่าคอนกรีตเกิน 10 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ผิวคอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างทันที และเกิดการแตกร้าวได้ (Thermal Shock) วิธีนี้นอกจากจะเป็นวิธีการบ่มที่ดีแล้ว ยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิที่ผิวของคอนกรีตลงด้วย จึงเหมาะกับงานคอนกรีตในอากาศร้อน

ข. การปมคอนกรีตโดยการป้องกันการสูญเสียความชื้น

เป็นการป้องกันความชื้นจากผิวคอนกรีต ไม่ให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอกโดยการใช้วัสดุปิดทับ ทำหน้าที่เป็นแผ่นคลุม หรือเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบ เช่น การใช้สารเหลว หรือน้ำยา บ่มคอนกรีต น้ำยาบ่มคอนกรีตควรมีคุณภาพตามข้อกำหนด มอก. 841 และ ASTM C 309 ซึ่งสารที่เคลือบบนผิวคอนกรีต ซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะเป็นแผ่นบาง (Membrane - Forming) สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการแข็งตัวของคอนกรีตในช่วงแรกได้

2.7.1.2 การบ่มที่อุณหภูมิสูง

การบ่มที่อุณหภูมิ หรือการบ่มแบบเร่งกำลัง สามารถเร่งอัตราการเพิ่มกำลังอัดได้อย่างรวดเร็ว จึงนิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น ท่อ คาน และแผ่นพื้น เป็นต้น

การบ่มแบบนี้ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ระยะเวลาที่จะเริ่มบ่ม อัตราการเร่ง-อุณหภูมิ อุณหภูมิสูงสุดของการบ่ม ระยะเวลาการคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ และอัตราลดอุณหภูมิ เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ควรได้มาจากผลการทดสอบ หรือประสบการณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อคอนกรีตที่บ่ม

ก. การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำ (Low Pressure Steam Curing)

อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 4 - 10 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่ให้ผลดีที่สุดจะอยู่ระหว่าง 65 - 80 องศาเซลเซียส การเลือกอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มกำลังอัดและกำลังอัดสูงสุดที่ต้องการ อุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังอัดสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กำลังอัดประลัยสูงสุดจะมีค่าต่ำ อุณหภูมิที่ต่ำ จะให้กำลังอัดประลัยสูงสุด แต่ด้วยอัตราการเพิ่มกำลังอัดที่ต่ำ

การควบคุมอุณหภูมิ ควรทิ้งคอนกรีตไว้ประมาณ 2 - 6 ชั่วโมง หลังการหล่อก่อนที่จะสัมผัสกับไอน้ำ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเบื้องต้นก่อน และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่ควรเกิน 30 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง

ข. การบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันสูง (High Pressure Steam Curing)

ความกดดันสูงขึ้น และต้องบ่มคอนกรีตในภาชนะที่ปิดสนิท ซึ่งมีชื่อว่า "Autoclave" อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 160 - 210 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 6 - 20 atm (Atmosphere) มีข้อดี คือ สามารถใช้ได้ภายใน 24 ชั่วโมง เพราะคอนกรีตมีกำลังสูงทัดเทียมการบ่มปกติเป็นเวลา 28 วัน มีการหดตัว และการล้าลดลงมาก ทนเกลือซัลเฟตได้ดี และมีความชื้นต่ำภายหลังการบ่ม ในทางปฏิบัติการบ่มแบบนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง และใช้ได้กับคอนกรีตสูงเท่านั้น

2.7.2 การถอดแบบหล่อคอนกรีต

แบบหล่อคอนกรีต (Formwork) คือ แบบที่ทำจากวัสดุต่างๆ เช่น ไม้ ไม้อัด เหล็ก ไฟ-เบอร์กลาส พลาสติก หรือคอนกรีต เป็นต้น เพื่อใช้หล่อคอนกรีตให้มีขนาด และรูปร่างตามต้องการโดยต้องออกแบบ และก่อสร้างแบบหล่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านทานแรงอัดเนื่องมาจากการเทคอนกรีต และการอัดแน่นคอนกรีต และการอัดแน่นคอนกรีต ยังต้องคำนึงถึงลักษณะผิวของคอนกรีตที่ปรากฏหลังการถอดแบบ

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

เนื่องจากเวลาถอดแบบหล่อคอนกรีตขึ้นอยู่กับส่วนผสมคอนกรีต และการบ่มคอนกรีตเป็นสำคัญ ดังนั้นการถอดแบบได้เร็ว เพื่อให้สามารถนำแบบไปใช้ซ้ำหลายๆ ครั้งนั้น จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพคอนกรีตให้มีกำลังในระยะเริ่มแรกสูงเพียงพอ และในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมให้มีกำลังอัดที่ อายุ 28 วัน ตามต้องการด้วย

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

2.8 กำลังอัดของคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตสดจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่สมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น

2.8.1 ปัจจัยของวัสดุผสมคอนกรีต

2.8.1.1 ปูนซีเมนต์

เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลที่สำคัญมาก ทั้งนี้เพราะว่าปูนซีเมนต์แต่ละประเภทจะก่อให้เกิดกำลังอัดของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ แม้ว่า

จะเป็นปูนซีเมนต์ประเภทเดียวกัน แต่มีความละเอียดต่างกันแล้วอัตราการเพิ่มกำลังของคอนกรีตก็จะแตกต่างไปด้วย กล่าวคือ ถ้าปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะให้กำลังสูงโดยเฉพาะหลังจากที่แข็งตัวไปแล้วไม่นาน

2.8.1.2 มวลรวม

มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย เพราะมวลรวมที่ใช้กันทั่วไปมักมีความแข็งแรงมากกว่าซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นกรณีคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีกำลังของซีเมนต์เพสต์สูงกว่าคอนกรีตทั่วไป มวลรวมจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยมวลรวมหยาบที่เป็นหินย่อย ซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยม หรือผิวหยาบ จะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดสูงกว่ากรวด ซึ่งมีผิวเรียบ ขนาดของมวลรวมก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกัน เพราะคอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก เพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้เท่ากัน ดังนั้นคอนกรีตโดยทั่วไปที่ใช้ขนาดใหญ่จึงมักให้กำลังดีกว่า

2.8.1.3 น้ำ

มีผลต่อกำลังของคอนกรีตตามความใส และปริมาณของสารเคมี หรือเกลือแร่ที่ผสมอยู่ น้ำขุ่น หรือน้ำที่มีสารแขวนลอยปนอยู่ จะทำให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง ซึ่งอาจจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของสารแขวนลอยนั้น

2.8.1.4 สารเพิ่มผสม

ชนิด และปริมาณของสารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำพิเศษ มีผลต่อการลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อควบคุมให้มีค่าการยุบตัวเท่ากัน สารผสมเพิ่มประเภทนี้จะช่วยลดปริมาณน้ำในส่วนผสมทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ใส่น้ำยา นอกจากนี้การใช้แร่ผสมเพิ่ม และสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ ก็มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตแตกต่างกัน ตามชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มนั้นๆ เช่น ซิลิกาฟูม (Silica Fume) จะช่วยให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังในระยะต้นสูงขึ้น จึงนิยมใช้ในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น

2.8.2 ส่วนผสมคอนกรีต

มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยตรงตรง โดยเฉพาะอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตอย่างมาก ถ้าใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกว่า จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า

2.8.3 การทำคอนกรีต

2.8.3.1 การชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีต

หากใช้การตวงโดยปริมาตร จะมีโอกาสผิดพลาดมากกว่าการชั่งส่วนผสมโดยน้ำหนัก ซึ่งหากชั่งตวงวัสดุผสมคอนกรีตผิดไปจะทำให้สมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงได้

2.8.3.2 การผสมคอนกรีต

จะต้องผสมวัสดุทำคอนกรีตให้เป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้น้ำมีโอกาสทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้อย่างทั่วถึง และเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์กระจายตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมได้เต็มที่ ดังนั้นการผสมคอนกรีตหากกระทำอย่างไม่ทั่วถึงจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตมีค่าไม่คงที่

2.8.3.3 การลำเลียง การเท และการอัดแน่นคอนกรีต

จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะหากคอนกรีตเกิดการแยกตัวในขณะลำเลียง หรือเท จะทำให้กำลังคอนกรีตมีค่าไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ การทำให้คอนกรีตแน่นตัว หากทำได้ไม่เต็มที่ก็จะทำให้เกิดรู หรือโพรงขึ้นในเนื้อคอนกรีต มีผลให้กำลังของคอนกรีตมีค่าลดลง

2.8.4 การบ่มคอนกรีต

2.8.4.1 ความชื้น

จะมีอิทธิพลต่อกำลังของคอนกรีต เพราะเมื่อปูนซีเมนต์เริ่มผสมกัน น้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างค่อยเป็นค่อยไป และซีเมนต์เพสต์จะมีกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตราบใดที่ยังมีความชื้นอยู่ ถ้าซีเมนต์เพสต์ในคอนกรีตไม่มีความชื้นอยู่ คอนกรีตจะไม่มีการเพิ่มกำลังอีกต่อไป ดังนั้นเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงควรทำการบ่มด้วยความชื้นทันที การบ่มในห้องปฏิบัติการมักจะบ่มจนถึงอายุ 28 วัน

2.8.4.2 อุณหภูมิ

ถ้าหากอุณหภูมิสูงในขณะบ่ม จะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังเร็วกว่าคอนกรีตที่ได้รับการบ่มในอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

2.8.4.3 เวลาที่ใช้ในการบ่ม

หากสามารถบ่มคอนกรีตให้ชื้นอยู่ตลอดเวลาได้ยิ่งนานเท่าใดก็จะยิ่งได้กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (ชัชวาล, 2540)

2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง

2.9.1 การทดสอบความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

ความหนาแน่น เป็นสมบัติเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดที่อาจแปรผันได้ตามปัจจัยต่างๆ เช่น ของไหลจะมีความหนาแน่นเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิ และความดันเปลี่ยนแปลง ส่วนของแข็งชนิดเดียวกันจะมีความหนาแน่นต่างกันได้ตามสภาพของโครงสร้าง มลทิน และรูพรุนในเนื้อของวัสดุนั้นๆ ในงานเซรามิกจำเป็นต้องศึกษาเรื่องความหนาแน่นของวัตถุดิบ เนื่องจากความหนาแน่นของวัตถุดิบไม่ว่าจะเป็นวัสดุเซรามิก เช่น ดิน หิน แร่ต่างๆ หรือวัตถุดิบเพื่อการขึ้นรูป ได้แก่ น้ำดิน รวมถึงความหนาแน่นของน้ำเคลือบ ที่ใช้ตกแต่งผลิตภัณฑ์ล้วนมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

วิธีการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแห้งหลังเผา จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกคาเป็น W_{ss}

ค. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพอิ่มน้ำ จนบันทึกค่าเป็น W_s

ง. นำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความหนาแน่นปรากฏ

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

เมื่อ

D_a (Apparent Density) = ความหนาแน่นปรากฏของชิ้นงาน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

W_f (Fired Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแห้งหลังเผา หน่วยเป็นกรัม (g)

V_a (Apparent Volume) = ปริมาตรของชิ้นงาน หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

จากสมการ $$V_a = \frac{W_f - W_{ss}}{pL} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

W_{ss} (Immerse Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแขวนลอยน้ำ หน่วยเป็นกรัม

pL = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2.9.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และค่าความหนานแน่นรวม (Bulk Density)

วิธีการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแห้งแล้งเผา จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. นำชิ้นงานไปต้มเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส

ค. นำชิ้นงานแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ง. ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพแขวนลอยน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

จ. นำชิ้นงานออกมาแล้วซับน้ำด้วยผ้า ชั่งน้ำหนักของชิ้นงานในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s และคำนวณค่าโดยใช้สมการ ดังนี้

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

เมื่อ

W_s (Saturated Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพอิ่มน้ำ หน่วยเป็นกรัม

W_f (Fired Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแห้งหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

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

เมื่อ

W_f (Fired Weight) = น้ำหนักของชิ้นงานสภาพแห้งหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

V_b (Bulk Volume) = ปริมาตรของชิ้นงาน หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

จากสมการ $V_b = \frac{W_s - W_{ss}}{pL}$ **(2.5)**

เมื่อ

W_{ss} (Immerse Weight) = น้ำหนักของมวลเบาสภาพแขวนลอยน้ำ หน่วยเป็นกรัม

pL = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติ-เมตร

(วีระยุทธ์, 2540)

2.9.3 การทดสอบค่ากำลังอัด (Compressive Strength)

วิธีการทดสอบ

ก. วัดขนาดชิ้นงาน จดบันทึกค่า

ข. นำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

ค. นำชิ้นงานไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด

ง. บันทึกค่ากำลังของชิ้นงานตัวอย่าง

จากสมการ $C = \frac{P}{A}$ **(2.6)**

เมื่อ

C คือ ค่ากำลังอัดของชิ้นงาน (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร, N/cm^2)

P คือ น้ำหนักกดสูงสุด (นิวตัน, N)

A คือ พื้นที่รับแรงกดในแนวตั้งฉาก (ตารางเซนติเมตร, cm^2)

2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัชพันธ์ ชาดี (2550) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ดินตะกอนน้ำประปาจังหวัดหนองคายเป็นส่วนผสม โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของอิฐดินซีเมนต์ ได้แก่ กำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ ปริมาณซีเมนต์ ปริมาณทราย และปริมาณน้ำ ผลการศึกษาพบว่าอิฐดินซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นจากดินตะกอนประปาหนองคาย มีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.41 - 10.72 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสมบัติการดูดซึมน้ำในสภาพชื้นของดินตะกอนประปาหนองคาย มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 8.84 - 23.12 และสมบัติการรับกำลังอัดของดินตะกอนประปาหนองคาย ในตัวอย่างที่มีการใช้ทรายคงที่ เพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ และลดปริมาณดินตะกอนพบว่า มีค่าความสามารถในการรับกำลังอัดอยู่ระหว่าง 30.72 ถึง 80.10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และยังพบว่าปริมาณของปูนซีเมนต์ ทราย และน้ำ โดยทำการลดปริมาณของดินตะกอนลงจากอัตราส่วนร้อยละ 70, 65, 60, 55, และ 50 โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้อิฐดินตะกอนน้ำประปาที่ผสมซีเมนต์ มีความสามารถในการรับกำลังแรงอัดเพิ่มมากขึ้น

ทรงวุฒิ น่วมศิริ และสิทธิชัย ดีอินทร์ (2553) ได้ทำการศึกษามวลเบาที่ผลิตจากดินตะกอนต่อเถ้าแกลบในอัตราส่วนร้อยละ 20 : 80, 40 : 60, 60 : 40, 80 : 20 และ 100 : 0 โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 1,100, 1,200, 1,300, 1,350, และ 1,400 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และกำลังอัด เพื่อนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา พบว่าปริมาณดินตะกอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏและค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเท่าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่ากำลังอัดเฉลี่ยที่สูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น แม้ว่าอัตราส่วนผสมดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก จะมีค่าเฉลี่ยกำลังอัด ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงที่สุด แต่ไม่มีการผสมกับเถ้าแกลบ ซึ่งไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นจึงพิจารณาที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิเผาส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง ส่งผลให้มวลเบามีน้ำหนักที่เบากว่า และพบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อเถ้าแกลบร้อยละ 80 : 20 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มวลเบามีความพรุนตัวที่ดีกว่า จึงเลือกใช้มวลเบาในอัตราส่วนดังกล่าว เป็นมวลเบาในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 และทำการใส่มวลเบาแทนหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณมวลเบาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นประกฏ และค่าเฉลี่ยกำลังอัดมีค่าลดลง แต่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

โดยมวลเบาที่แทนหิน ในอัตราส่วนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 66.6 เมกะ-ปาสคาล (MPa) ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่น และยังมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ไม่ผสมมวลเบา และเมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสากรรม วิธีทดสอบการต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก. 409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวัชรากร วงศ์คำจันทร์ (2544) ได้ทำการศึกษาเถ้าแกลบความละเอียดสูงในพฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียดเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดา สมบัติทางกลที่ทำการพิจารณา ได้แก่ ค่าการยุบตัว หน่วยน้ำหนักในสภาพสด กำลังรับแรงอัด โมดูลัสของความยืดหยุ่น และอุณหภูมิของปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบอยู่ระหว่างร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุผง อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างต่ำสุดระหว่างมวลรวมเท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.6 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 พบว่าเถ้าแกลบละเอียดมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) สูง และสามารถใช้เป็นวัสดุซีเมนต์ในคอนกรีตได้ ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียดน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่สูงกว่าคอนกรีตผสมเถ้าแกลบขนาดอนุภาค 44 ไมโครเมตร สำหรับส่วนผสมเดียวกัน พบว่าหน่วยน้ำหนักในสภาพสดของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียดลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ นอกจากนี้กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ขึ้นไปของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียดสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา สำหรับอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบเท่ากับ ร้อยละ 20 โมดูลัสของความยืดหยุ่นสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียด พบว่าต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาในทุกส่วนผสม

ประชุม คำพุฒ (2550) ได้ทำการศึกษากำลังอัด และกำลังดัดของอิฐ ดินดิบผสมขี้เถ้าแกลบ โดยใช้ปริมาณขี้เถ้าแกลบร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยน้ำหนักของดิน อัตราส่วนฟางข้าว 1 : 0.5 โดยปริมาตรของดิน และใช้น้ำอัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนักของดิน นำดินไปอัดลงในแบบหล่อขนาด 10 × 15 × 30 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผึ่งให้แห้งด้วยอากาศ 48 ชั่วโมง และ พลิกก้อนอิฐตั้งขึ้นให้ถูกแดดทิ้งไว้เป็นเวลา 14 และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ พบว่าที่อายุ 28 วัน เมื่อใช้ขี้เถ้าแกลบผสมร้อยละ 0, 3, 6, 9, 12 และ 15 ได้ค่ากำลังอัดด้านขอบเท่ากับ 1.10, 1.15, 1.17, 1.34, 1.37 และ 1.44 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ค่ากำลังอัดด้านแบนเท่ากับ 0.96, 1.04, 1.02, 1.04, 1.09 และ 1.08 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ได้ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านขอบเท่ากับ 0.76, 0.80, 0.73, 0.81, 0.74 และ 0.85 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ค่าโมดูลัสการแตกร้าวด้านแบนเท่ากับ 0.81, 0.85, 0.90, 0.85, 0.90 และ 0.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงว่าสามารถใช้ขี้เถ้าแกลบมาเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มการรับกำลังในการผลิตอิฐดินดิบได้

พินิยศักดิ์ พหรมศร (2552) ได้ทำการพัฒนาบล็อกซีเมนต์ประสานที่ใช้ซีเมนต์ และเถ้าจากแกลบดำ แกลบขาว หรือขานอ้อย เป็นวัสดุผสมหลักในการพัฒนาบล็อกนี้ได้ทำการศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูป นอกจากนี้ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพ คือความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ และศึกษาสมบัติทางกล คือ กำลังอัดของบล็อกซีเมนต์ประสาน สัดส่วนผสมของบล็อกซีเมนต์ประสาน ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ ทราย เถ้าจากแกลบดำ

แกลบขาว หรือชานอ้อย อัตราส่วนของปูนซีเมนต์ที่ใช้คงที่ทุกอัตราส่วนเท่ากับ 1 อัตราส่วน ของทรายที่ใช้เท่ากับ 0, 1 และ 2 และอัตราส่วนของเถ้าแกลบดำ เถ้าแกลบขาว หรือเถ้าชานอ้อย เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างทั้งหมดได้ทำการบ่มที่อายุ 7 วัน ในถุงพลาสติก พบว่าการเพิ่มปริมาณของเถ้าจะส่งผลกระทบต่อการใช้ปริมาณน้ำในการขึ้นรูปมากขึ้น และยังส่งผลกระทบต่อสมบัติของบล็อกซีเมนต์ประสาน คือ ความหนาแน่นลดลง การดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น และกำลังรับแรงอัดลดลง การเพิ่มปริมาณทรายมีผลทำให้ความหนาแน่นของบล็อกซีเมนต์ประสานเพิ่มขึ้น การดูดกลืนน้ำของบล็อกซีเมนต์ประสานลดลง และกำลังรับแรงอัดของบล็อกซีเมนต์ประสานเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าเถ้าแกลบดำ และเถ้าชานอ้อย สามารถที่จะนำมาใช้ในการผลิตบล็อกซีเมนต์ประสานได้ ซึ่งส่วนเถ้าแกลบขาวไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตบล็อกซีเมนต์ประสาน แต่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อผลิตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักได้

พงศธร จันทร์ตรี (2552) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมเถ้าชานอ้อย โดยศึกษากำลังอัด กำลังดึง โมดุลัสยืดหยุ่น กำลังยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีต และเหล็กเสริม และอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ผสมชานอ้อย พบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภทที่ 1 สามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตกำลังปกติ และสูงได้ โดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก วัสดุประสานสามารถพัฒนากำลังอัด กำลังดึง โมดุลัสยืดหยุ่น กำลังยึดเหนียวระหว่างคอนกรีต และเหล็กเสริม ให้มีค่ากำลังสูงกว่าคอนกรีตควบคุมที่อายุตั้งแต่ 7 วัน ส่วนอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต พบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสานส่งผลให้ค่าอัตราซึมของน้ำผ่านคอนกรีตควบคุม ที่ 28 วัน ทั้งนี้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก วัสดุประสานส่งผลให้ค่ากำลังอัด และกำลังดึงมีค่าสูงสุด

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: 50/50%, LWA-2: 70/30% and LWA-3: 90/10%. หลังจากผสมด้วยลูกบดขนาด 1–1.5 cm และปั้นเป็นทรงกลมด้วยมือแล้วนำไปเผาให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ^{o}C ระยะเวลา 2–3 ชั่วโมง แล้วใส่ลงใน Bench-Scale Kiln ที่อุณหภูมิ 1000 ^{o}C แล้วทำการเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดที่ 1200 ^{o}C ในระยะเวลาน้อยกว่า 60 วินาที แล้วทิ้งไว้ 1–2 นาที หลังจากเผาในเตามวลรวมที่ได้จะมีสีน้ำตาลแดงที่ผิวและสีดำอยู่ภายใน มวลรวมยังเกิดการขยายตัวเนื่องจากการปล่อย Gas และเกิดการ Decomposition ของแร่ธาตุทำให้เกิดเป็นของเหลวบางส่วนจึงมีฟอง Gas Bubbles แต่จะถูกกักไว้ภายใน ส่วนค่า Density ของ Aggregates จะต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 1000 kg/m^3 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการเผามวลรวม $2H_2O(l) + 2F_2(g) \rightarrow 4HF(g) + O_2(g)$ (1) และ $SiO_2 + 4HF(g) + H_2O(g)$ (2) สรุปแล้ว Light weight aggregates สามารถผลิตได้จากการผสมระหว่าง Marine Clay และ CaF_2-Rich Semiconductor Industry Waste ที่ปริมาณแทนที่ 10, 30, และ

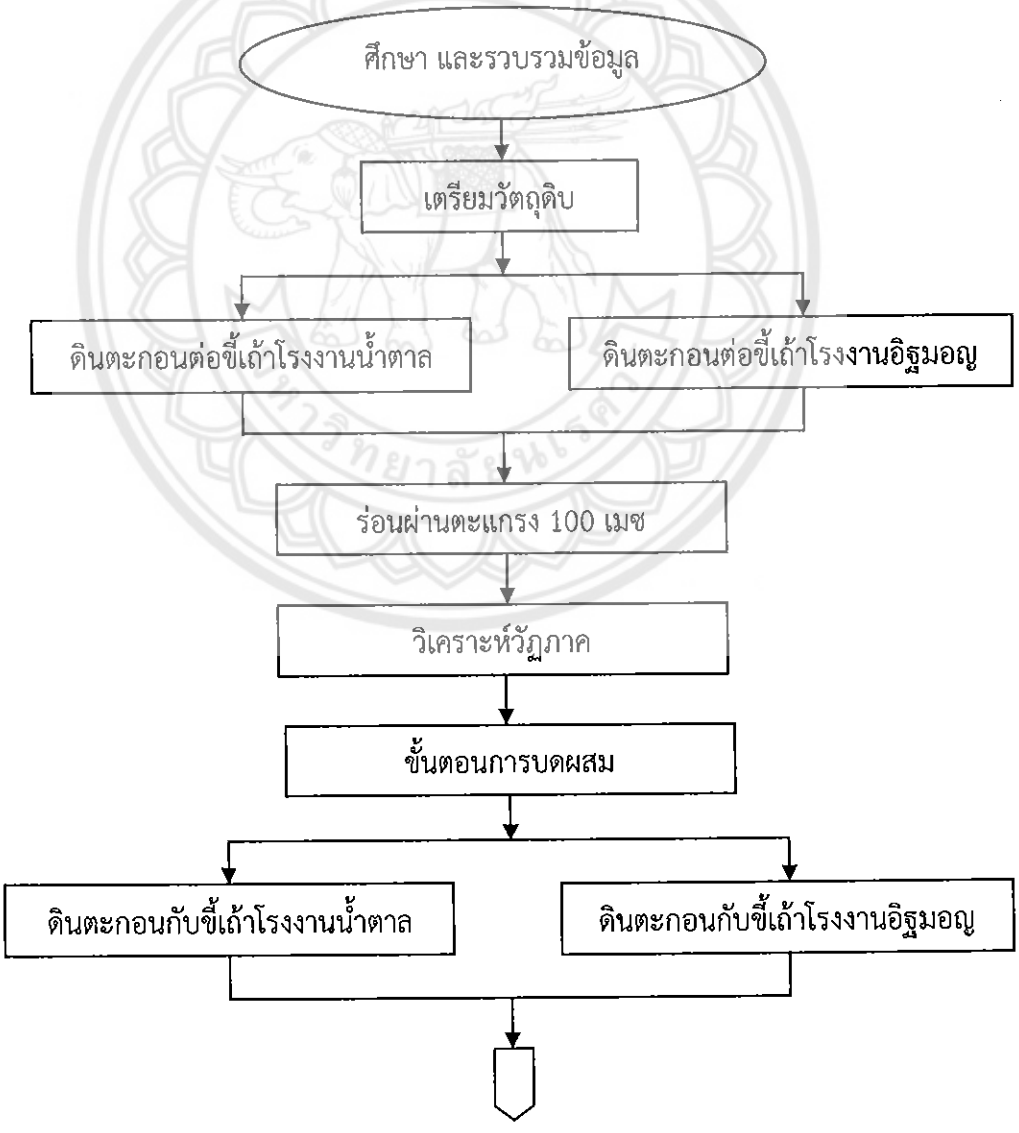
50% โดยส่วนผสมที่ได้จะมีการพองตัวที่ดีในการเผาและ Density ที่ได้จะต่ำกว่า Light Weight Aggregates ทั่วไป ส่วนการดูดซึมน้ำของ Aggregates จะสูงมาก เนื่องจากรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และส่วนผสม โดย Aggregates ที่ผลิตได้จะเหมาะกับงาน Concrete Blocks ไม่รับน้ำหนัก ซึ่งปริมาณ Fluorine ที่เหลืออยู่จะยึดติดอยู่ใน Aggregates และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมหรือต่อมนุษย์

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

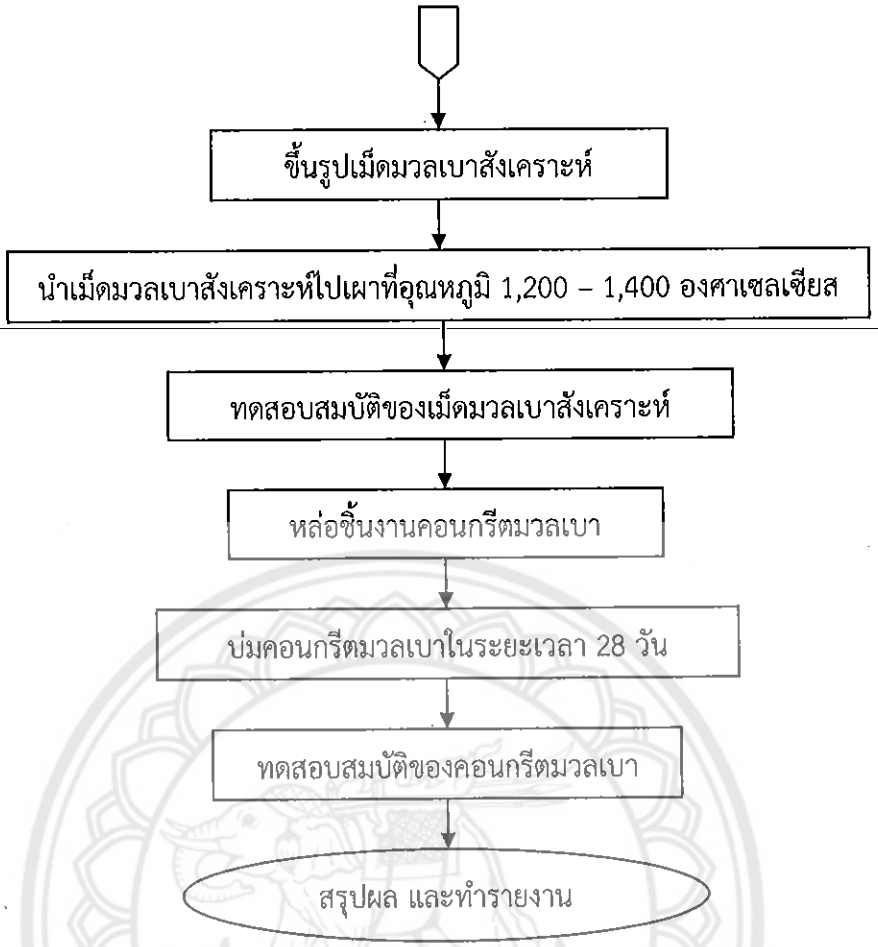
สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยในบทนี้ จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอน และวิธีการดำเนินงานโครงงาน ซึ่งจะอธิบายถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน ตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบในการทำเม็ดมวล-เบาสังเคราะห์ จนกระทั่งการศึกษาสมบัติของคอนกรีตมวลเบา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการทำโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินโครงงานในการศึกษาผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์โดยใช้ของเหลือทิ้งจากดินตะกอนจากโรงประปา ขี้เถ้าจากโรงงานน้ำตาล และขี้เถ้าจากโรงงานอิฐมอญ เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

3.1.1 นำดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปามาทำการอบประมาณ 100 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง จนได้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาที่แห้งสนิท

3.1.2 ทำการบด (Crushing) ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา โดยการนำดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาที่แข็งเป็นก้อนมาทุบให้พอละเอียด แล้วทำการบดด้วยหม้อบด (Ball Mill)

3.1.3 นำดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ มาทำการร่อน (Sieving) ผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 100 เมช

3.3 การวิเคราะห์วัฏภาค

ทำการวิเคราะห์วัฏภาคดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction (XRD) ในการวิเคราะห์

3.4 ขั้นตอนการบดผสม

3.4.1 ผสมดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล ในอัตราส่วนดังนี้ คือ ร้อยละ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยน้ำหนัก แล้วทำการบดผสมด้วย Ball Mill เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.2 ผสมดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ ในอัตราส่วนดังนี้ คือ ร้อยละ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยน้ำหนัก แล้วทำการบดผสมด้วย Ball Mill เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.4.3 นำส่วนผสมที่ได้จากการบดผสมมาทำการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนแห้งสนิท แล้วทำการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาด 100 เมช

3.5 การขึ้นรูป และการเผาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

3.5.1 นำส่วนผสมของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลมาผสมกับน้ำให้มีลักษณะพอเหนียว แล้วทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือให้ได้ลักษณะรูปทรงค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 – 5 มิลลิเมตร

3.5.2 นำส่วนผสมของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญมาผสมกับน้ำให้มีลักษณะพอเหนียว แล้วทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยมือให้ได้ลักษณะรูปทรงค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 – 5 มิลลิเมตร

3.5.3 นำเม็ดกลมที่ได้มาเผาในช่วงอุณหภูมิ 1,200 - 1,400 องศาเซลเซียส ใช้อัตราเร็วในการเผา (Heating Rate) เท่ากับ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นระยะเวลา 120 นาที และใช้อัตราการเย็นในเตา (Cooling Rate) เท่ากับ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที

3.6 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

3.6.1 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ จากสมการ 2.2 และ 2.3

3.6.2 การทดสอบค่ากำลังอัด โดยใช้เครื่อง Universal testing machine (UTM) ในการกดชิ้นงานแล้วคำนวณค่ารับแรงกดที่วัดได้

3.7 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ และทางกลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

เปรียบเทียบความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ เพื่อหาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุด คือ มีค่าสัดส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (Strength Per Weight Ratio) มากที่สุด

3.8 การขึ้นรูปชิ้นงานคอนกรีตมวลเบา

3.8.1 นำทรายละเอียด และหินมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช และ 4 เมช ตามลำดับ

3.8.2 ผสมสัดส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหิน ในอัตราส่วน 1 : 2 : 3 ใช้น้ำต่อซีเมนต์ในอัตราส่วน 1 : 1 เทลงในแบบหล่อขนาด 5 × 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร (พานิช, 2544)

3.8.3 ใส่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์แทนหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตารางที่ 3.1)

3.8.4 นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3.8.3 เทลงในแบบหล่อขนาด 5 × 5 × 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแบบ

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมคอนกรีต และเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

แทนที่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ในหิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	อัตราส่วนผสมของวัสดุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			
	ปูน	ทราย	หิน	เม็ดมวลเบาสังเคราะห์
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

3.9 การบ่มคอนกรีตมวลเบา

ทำการบ่มในแบบหล่อคอนกรีต โดยการทิ้งแบบหล่อให้อยู่กับคอนกรีตที่หล่อไว้เป็นระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน และคอยดูแลให้ผิวด้านบนคอนกรีตให้มีน้ำอยู่ตลอด

3.10 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางกลของคอนกรีตมวลเบา

3.10.1 การทดสอบความหนาแน่นปรากฏ (Apparent Density)

3.10.1.1 ขั้นตอนในการทดสอบ

ก. ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแห้ง จดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแขวนลอยในน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_{ss}

ค. ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s

ง. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความหนาแน่น จากสมการที่ 2.1 และ 2.2

3.10.2 การทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

3.10.2.1 ขั้นตอนการทดสอบ

ก. นำคอนกรีตไปอบ โดยใช้เวลาในการอบไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง คงที่อุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแห้งทีละก้อน แล้วจดบันทึกค่าเป็น W_f

ข. นำคอนกรีตแช่ลงในน้ำจนท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเอาคอนกรีตออก ใช้ผ้าเปียกซับน้ำบนผิวทีละก้อนแล้วชั่งน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพอิ่มน้ำ จดบันทึกค่าเป็น W_s

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

3.10.3 การทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength)

3.10.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

ก. วัดขนาดคอนกรีต จดบันทึก

ข. นำคอนกรีตมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกไว้

ค. นำคอนกรีตไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด

ง. บันทึกค่ากำลังอัดของคอนกรีต จากสมการที่ 2.6

3.11 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

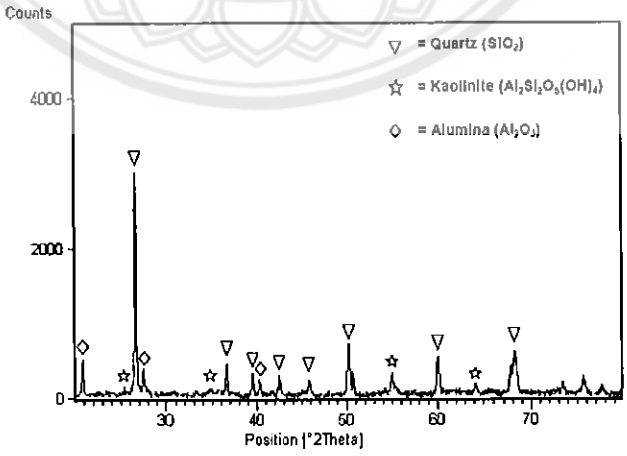
นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์วัฏภาคด้วยเทคนิค XRD ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ อิทธิพลของอุณหภูมิหลังทำการเผาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ และการนำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มาแทนที่หินในคอนกรีตมวลเบา มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ แล้วสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ และจัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจาก 2 อัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมส่วนระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนา-หนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังอัด โดยคัดเลือกเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่มีความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (Strength Per Weight Ratio) มากที่สุดเพื่อนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนปูนต่อทรายต่อหิน เท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยใช้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์แทนที่ในส่วนของหิน ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด

4.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

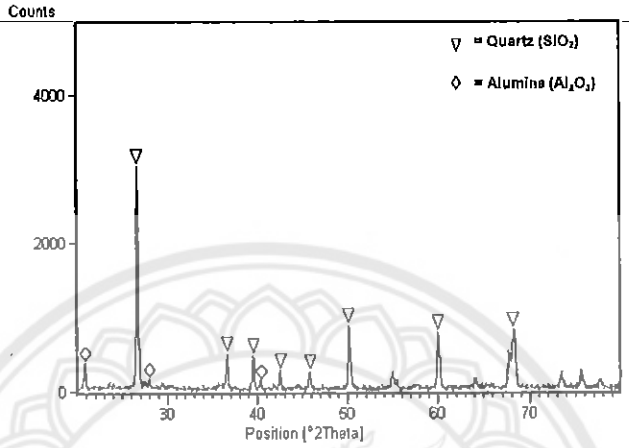
4.1.1 การวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา



รูปที่ 4.1 กราฟผลการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค XRD ของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา

ผลการวิเคราะห์วัฏภาคของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาด้วยเทคนิค XRD จากรูปที่ 4.1 พบควอตซ์ (JCPDS No. 46-1045) เกาลินไนท์ (JCPDS No. 14-0164) และอลูมิน่า (JCPDS No. 31-0026) เป็นสารประกอบ

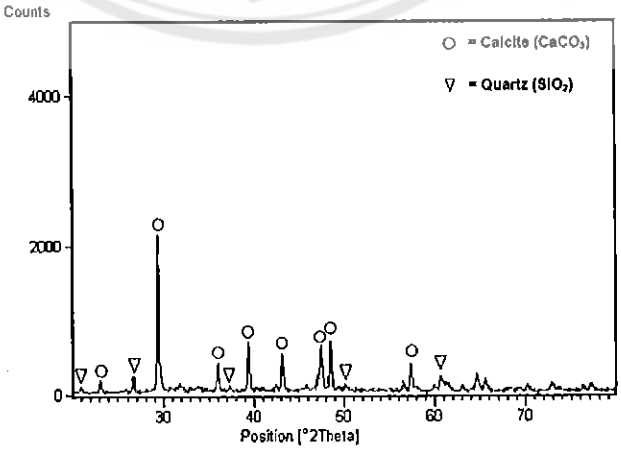
4.1.2 การวิเคราะห์วัฏภาคของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง



รูปที่ 4.2 กราฟผลการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค XRD ของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ผลการวิเคราะห์วัฏภาคของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ด้วยเทคนิค XRD จากรูปที่ 4.2 พบควอตซ์ (JCPDS No. 46-1045) และอลูมิน่า (JCPDS No. 31-0026) เป็นสารประกอบ

4.1.3 การวิเคราะห์วัฏภาคของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง



รูปที่ 4.3 กราฟผลการวิเคราะห์เฟสด้วยเทคนิค XRD ของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

ผลการวิเคราะห์วัฏภาคของขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ด้วยเทคนิค XRD จากรูปที่ 4.3 พบแคลไซท์ (JCPDS No. 05-0586) และควอตซ์ (JCPDS No. 46-1045) เป็นสารประกอบ

4.2 ผลการศึกษาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

ศึกษาอัตราส่วนผสม และอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่า 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส

4.2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

ศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ร้อยละอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)
100 : 0	2.61	1.76	18.35	8.67
90 : 10	2.56	1.63	22.53	3.37
80 : 20	2.53	1.55	25.11	2.42
70 : 30	2.49	1.47	27.68	1.92

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ร้อยละอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)
60 : 40	2.44	1.40	30.24	1.24

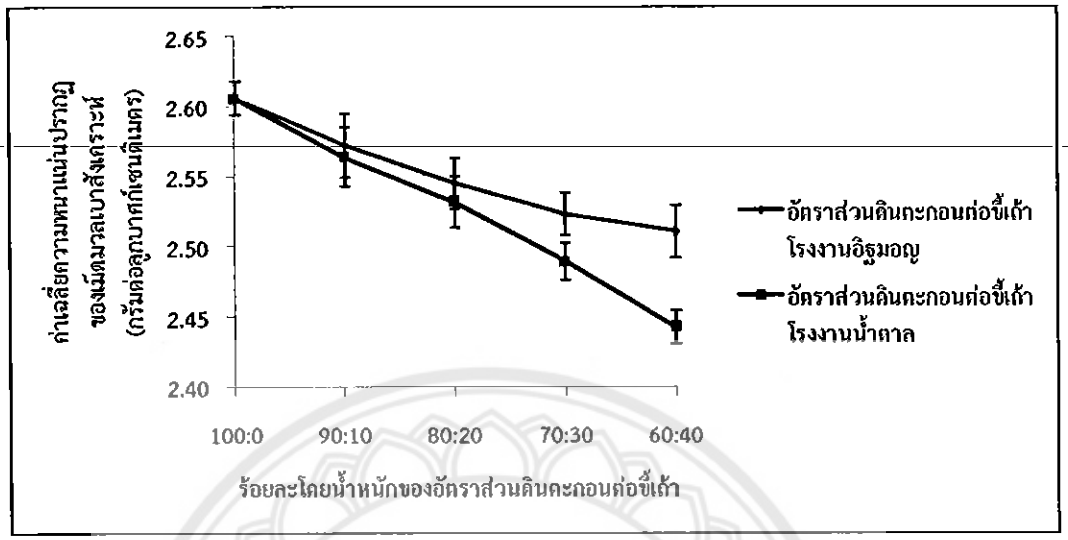
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

ร้อยละอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม (g/cm^3)	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)
100 : 0	2.61	1.76	18.35	8.67
90 : 10	2.57	1.68	20.77	3.95
80 : 20	2.55	1.61	22.87	3.23
70 : 30	2.52	1.54	25.27	2.69
60 : 40	2.51	1.48	27.84	1.98

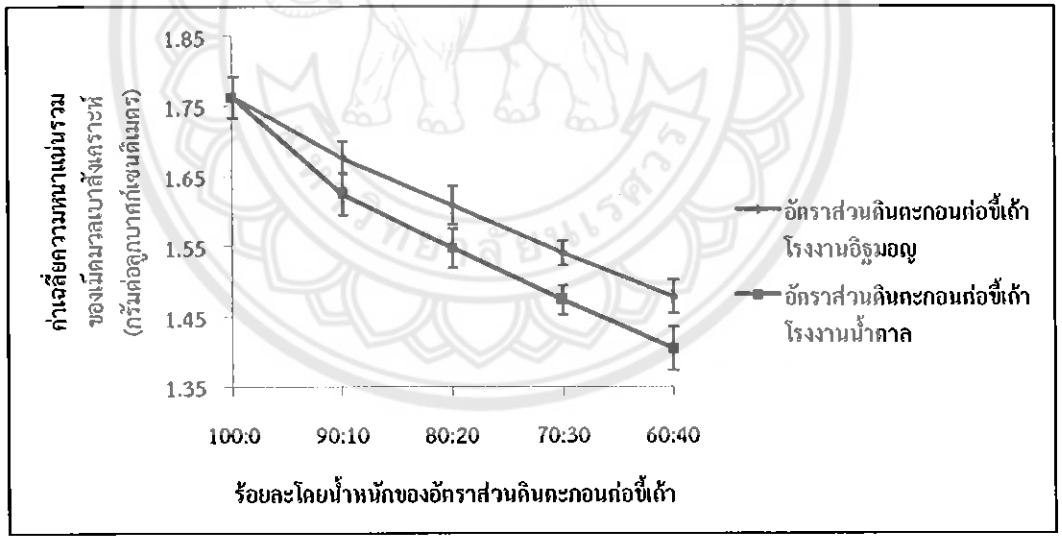
4.2.1.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่มีต่อความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นรวม

ศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 ที่มีผลต่อ

ความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นรวม หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้ผลดังรูป 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส



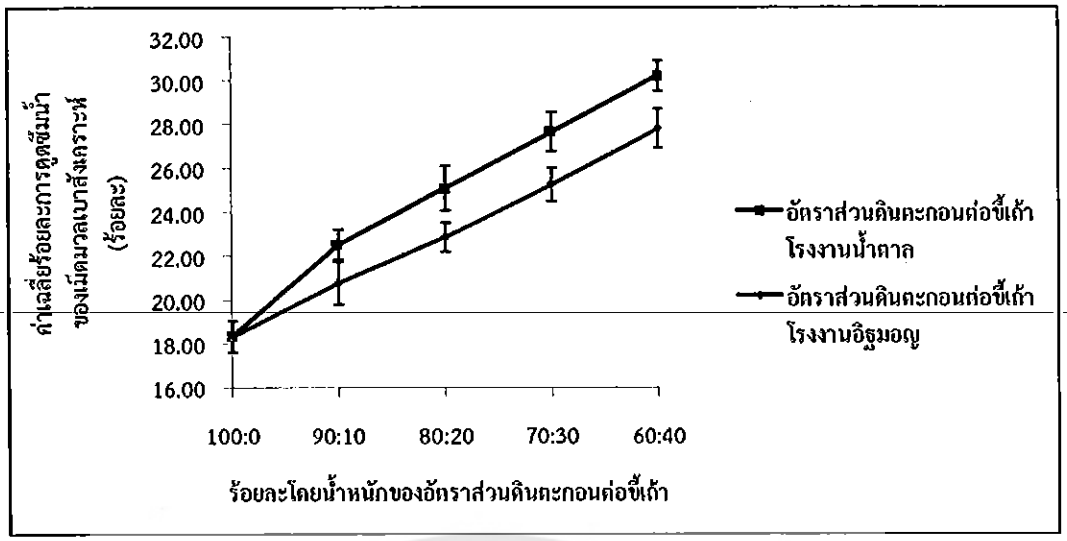
รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.1, 4.2 และรูปที่ 4.4, 4.5 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของดินตะกอน ส่งผลให้เนื้อส่วนผสมมีปริมาณดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มากขึ้นหลังทำการเผา การเผาเม็ดมวลเบาสังเคราะห์จะทำให้ขี้เถ้าเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ส่งผลให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนปริมาณ

ดินตะกอนเปรียบเสมือนการลดปริมาณขี้เถ้าลง เมื่อปริมาณขี้เถ้าลดลง เม็ดมวลเบาสังเคราะห์จึงเกิดรูพรุนน้อยลง ส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.76 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมสูงกว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 ตามลำดับ เนื่องจากผลการวิเคราะห์วัฏภาคแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าทั้งสองชนิดมีสารประกอบที่แตกต่างกัน โดยขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบแคลไซท์ เป็นสารประกอบ โดยแคลไซท์ มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 825 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่เป็นตัวลดจุดหลอมละลาย ช่วยทำให้การเผาสั้นลง ถ้าผสมในเนื้อดิน (Body) จะช่วยลดความพรุนตัว (Porosity) ของเนื้อดินด้วย (สุรศักดิ์, 2534) ดังนั้นขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบแคลไซท์ เป็นสารประกอบ จึงเปรียบเหมือนมีฟลักซ์ หรือออกไซด์ต่าง ๆ ทำหน้าที่ช่วยลดจุดหลอมตัว เริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ให้กับเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ เม็ดมวลเบาสังเคราะห์จึงเกิดการ Sintering ทำให้อนุภาคของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น จึงทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมมากกว่า เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ของอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

4.2.1.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่มีต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ

ศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 ที่มีผลต่อร้อยละการดูดซึม หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้ผลดังรูป 4.6

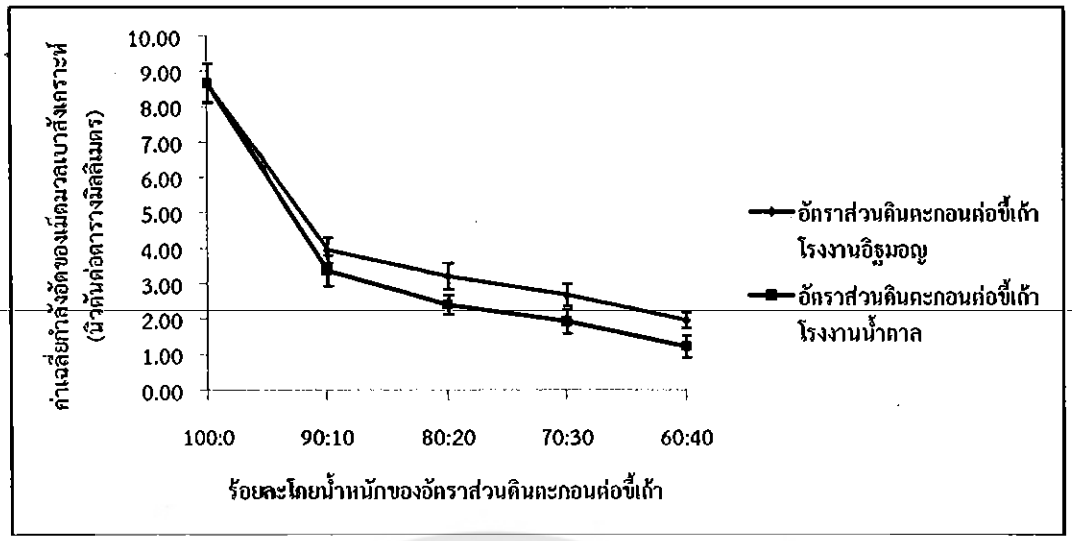


รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.1, 4.2 และรูปที่ 4.6 พบว่าการเพิ่มขึ้นของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้น และปริมาณขี้เถ้าลดลง จะทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีเนื้อดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดกันภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มากขึ้น เมื่อผ่านการเผา ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมที่มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีการดูดซึมน้ำน้อยลง โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 18.35 ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อขี้เถ้าร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก และพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำกว่า เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผา ณ อุณหภูมิเดียวกัน สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.2.1.1 เนื่องจากขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบแคลไซท์ เป็นสารประกอบ จึงเปรียบเหมือนมีฟลักซ์ที่ช่วยลดจุดหลอมตัว เริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ทำให้เนื้ออนุภาคสามารถยึดตัวเกาะติดกันได้ดี รูพรุนลดลง ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า

4.2.1.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่มีต่อกำลังอัด

ศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 ที่มีผลต่อกำลังอัดหลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ได้ผลดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 **องศาเซลเซียส**

จากตารางที่ 4.1, 4.2 และรูปที่ 4.7 พบว่าการเพิ่มขึ้นของ**ดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย**กำลังอัดเพิ่มขึ้น **ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากปริมาณดินตะกอนเพิ่มขึ้น และปริมาณขี้เถ้าลดลง จะทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีเนื้อดินที่สามารถยึดตัวเกาะติดกันภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มากขึ้นเมื่อผ่านการเผา ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่น**ปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมที่มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่มีค่าลดลง ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละกำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 8.67 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนต่อขี้เถ้าร้อยละ 100 : 0 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้พบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดสูงกว่า เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผา ณ อุณหภูมิเดียวกัน สอดคล้องกับการทดลองที่ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 เนื่องจากขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบแคลไซท์ เป็นสารประกอบ จึงเปรียบเหมือนมีฟลักซ์ที่ช่วยลดจุดหลอมตัว เริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ทำให้เนื้ออนุภาคสามารถยึดตัวเกาะติดกันได้ดี ส่งผลให้มีค่ากำลังอัดที่สูงกว่า**

4.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ

ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงงานประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 หลังผ่าน

การเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด

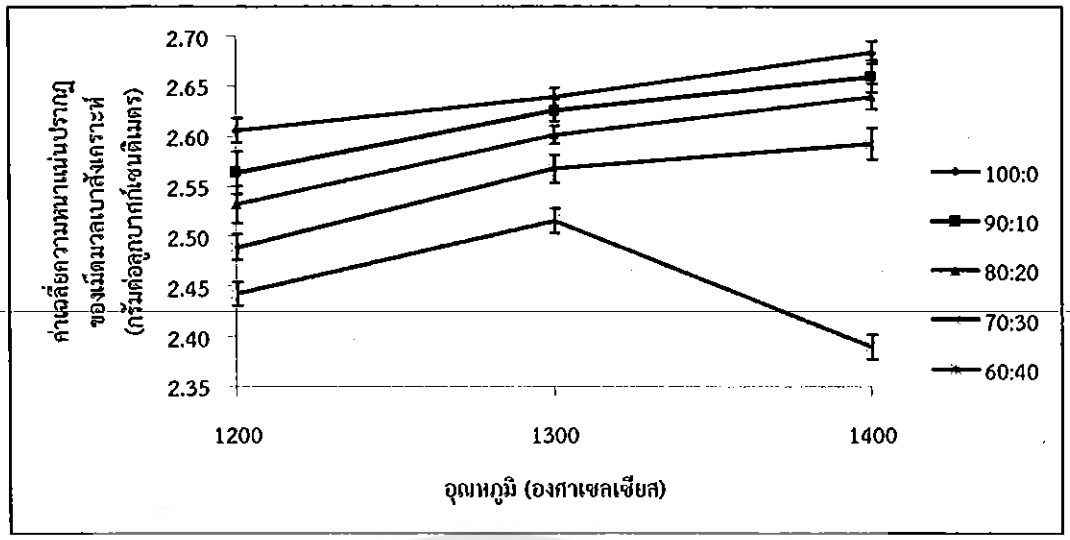
4.2.2.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ที่มีต่อผลสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

การทดลองนี้ได้ทำการผลิตเม็ดมวลเบาสังเคราะห์จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และทำการทดสอบสมบัติทางกลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ได้แก่ กำลังอัด

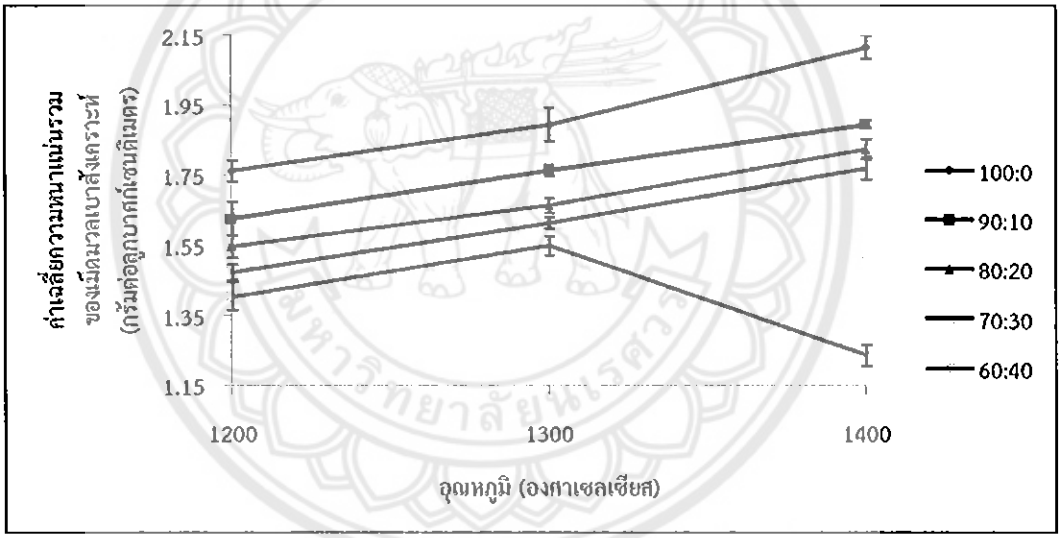
ก. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนดินตะกอนต่อขี้เถ้าโรงงานน้ำตาล	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)			ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม (g/cm^3)		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100 : 0	2.61	2.64	2.68	1.76	1.89	2.12
90 : 10	2.56	2.63	2.66	1.63	1.76	1.90
80 : 20	2.53	2.6	2.64	1.55	1.66	1.82
70 : 30	2.49	2.57	2.59	1.47	1.61	1.77
60 : 40	2.44	2.52	2.39	1.40	1.55	1.24



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง



รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

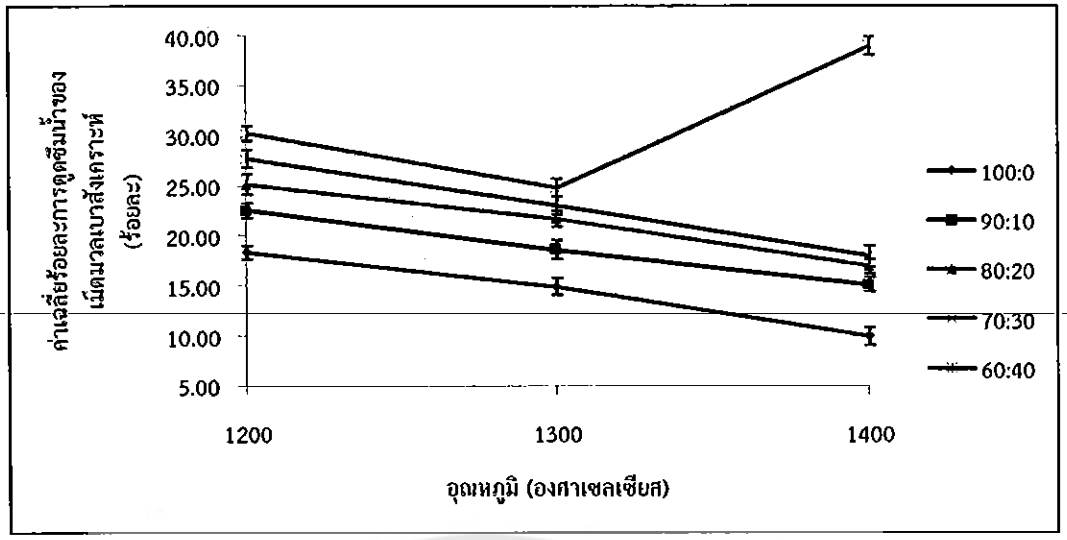
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.8, 4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังเผามีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์วัฏภาคดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา พบควอตซ์ เกาลินไนท์ และอลูมิน่า เป็นสารประกอบ ซึ่งเป็นสารประกอบที่พบได้ในวัสดุเซรามิกทั่วไป และเป็นสารประกอบที่เพิ่มความแข็งแรงหลังทำการเผา (แม้น, 2551)

และการเพิ่มอุณหภูมิเปรียบเสมือนการเร่งให้เกิด Liquid Phase Sintering เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้การเผาผนึกได้ผลดียิ่งขึ้น หรือการให้อุณหภูมิสูงขึ้นเท่าใดก็ยิ่งจะทำให้การยึดตัวระหว่างอนุภาคมีมากขึ้น และผลลัพธ์สุดท้ายชิ้นงานที่ได้จะมีความหนาแน่นมากขึ้น (สยาม, 2551) การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาหลอมได้ดีขึ้น ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลต่อขี้เถ้าที่กระจายอยู่ในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ขี้เถ้าจะเกิดปฏิกิริยาการสลายตัว (Decomposition) เมื่อได้รับความร้อน และเกิดการแพร่ของก๊าซ (Gas Bubbles) กลายเป็นเป็นรูพรุน (Pores) ภายในชิ้นงาน (สุรศักดิ์, 2534) ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ปริมาณดังกล่าวมีความหนาแน่นลดลง และเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมมีค่าลดลง ตามอุณหภูมิ และปริมาณขี้เถ้าที่เพิ่มขึ้น

ข. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100 : 0	18.35	14.91	10.00
90 : 10	22.53	18.60	15.15
80 : 20	25.11	21.66	16.95
70 : 30	27.68	23.03	17.96
60 : 40	30.24	24.80	39.01



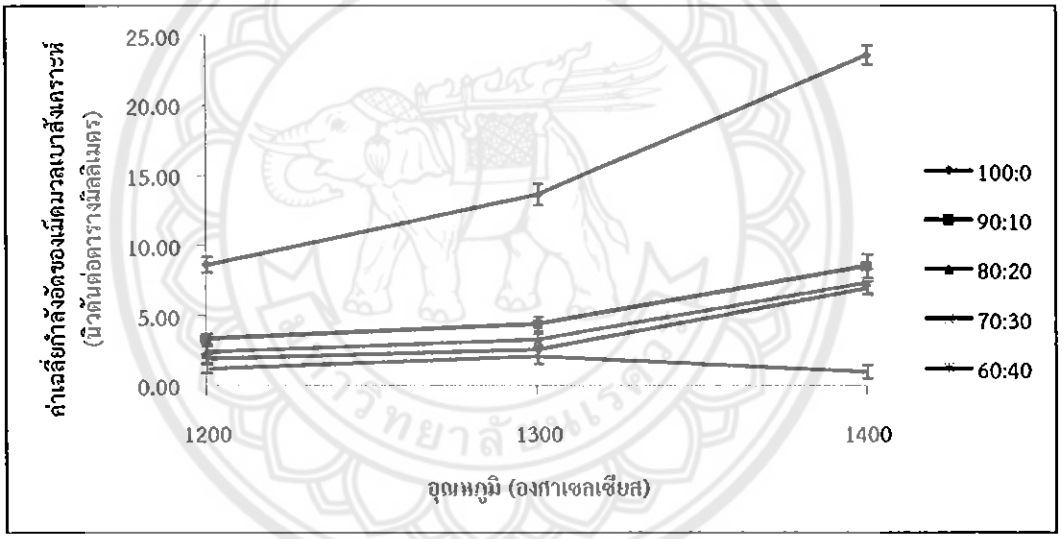
รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังเผามีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง สอดคล้องกับจากทดลอง 4.2.1.1 ก. เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาหลอมได้ดีขึ้น ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น อีกทั้งยังพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง 4.2.1.1 ก. ที่พบว่า ณ อัตราส่วนและอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ ณ อัตราส่วนดังกล่าวลดลง

ค. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100 : 0	8.67	13.65	23.61
90 : 10	3.37	4.39	8.56
80 : 20	2.42	3.28	7.38
70 : 30	1.94	2.62	7.02
60 : 40	1.24	2.12	1.01



รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์หลังเผามีค่าเฉลี่ยค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลอง 4.2.1.1 ก. และ 4.2.1.1 ข. เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาหลอมได้ดีขึ้น ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น

ในขณะที่ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น อีกทั้งยังพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลง สอดคล้องกับจากทดลอง 4.2.1.1 ก. และ 4.2.1.1 ข. ที่พบว่า ณ อัตราส่วน และอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลงจึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัด ณ อัตราส่วนดังกล่าวลดลง

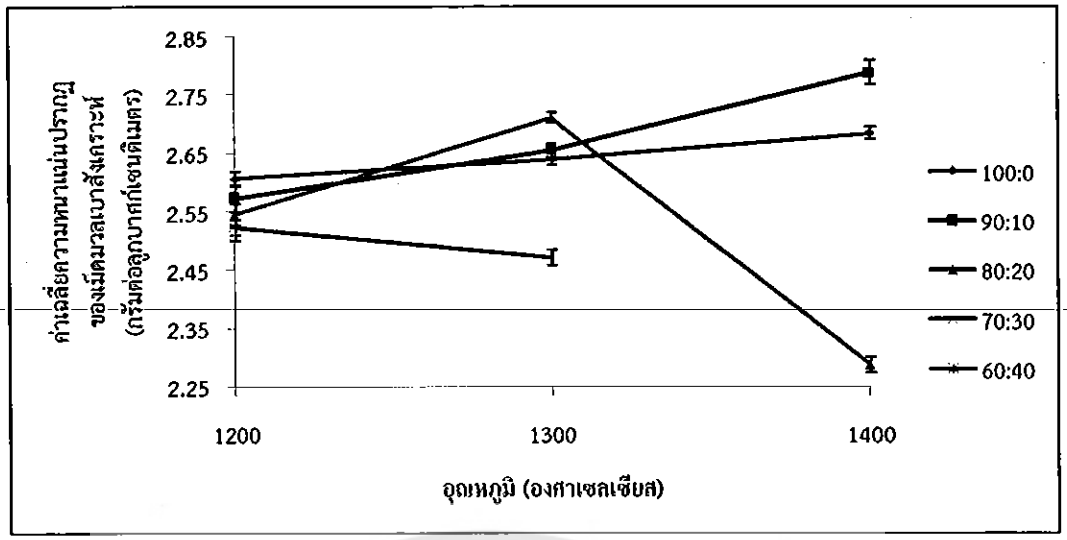
4.2.2.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ ที่มีต่อผลสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกล ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

การทดลองนี้ได้ทำการผลิตเม็ดมวลเบาสังเคราะห์จากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 โดยใช้อุณหภูมิในการเผาที่ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และทำการทดสอบสมบัติทางกลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ได้แก่ กำลังอัด

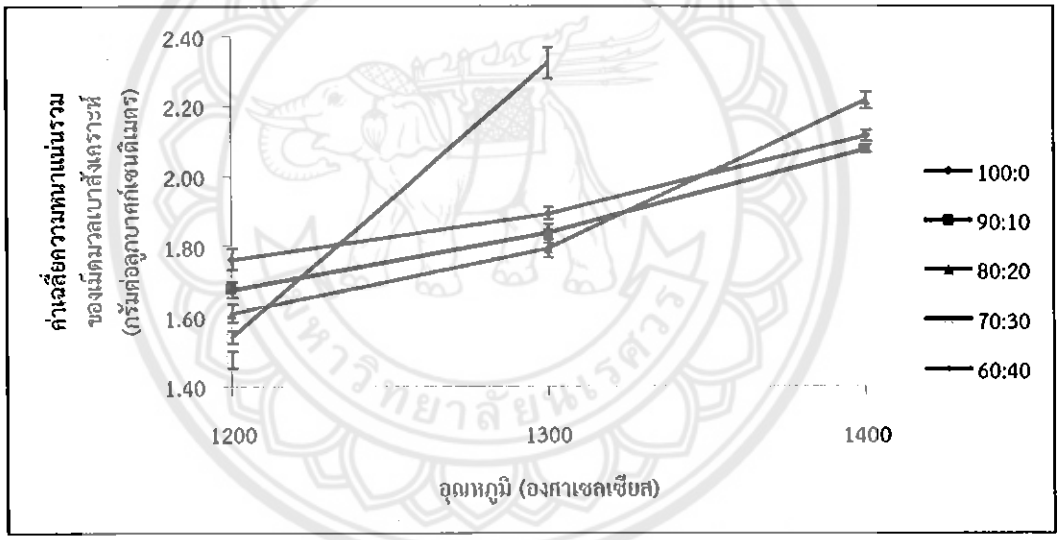
ก. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อ ความหนาแน่นปรากฏ และความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนดินตะกอนต่อขี้เถ้าโรงงานอิฐมอญ	ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ (g/cm^3)			ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม (g/cm^3)		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100:0	2.61	2.64	2.68	1.76	1.89	2.12
90:10	2.57	2.66	2.39	1.68	1.84	2.07
80:20	2.55	2.71	2.29	1.61	1.79	2.22
70:30	2.53	2.47	-	1.54	2.32	-
60:40	2.51	-	-	1.48	-	-



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

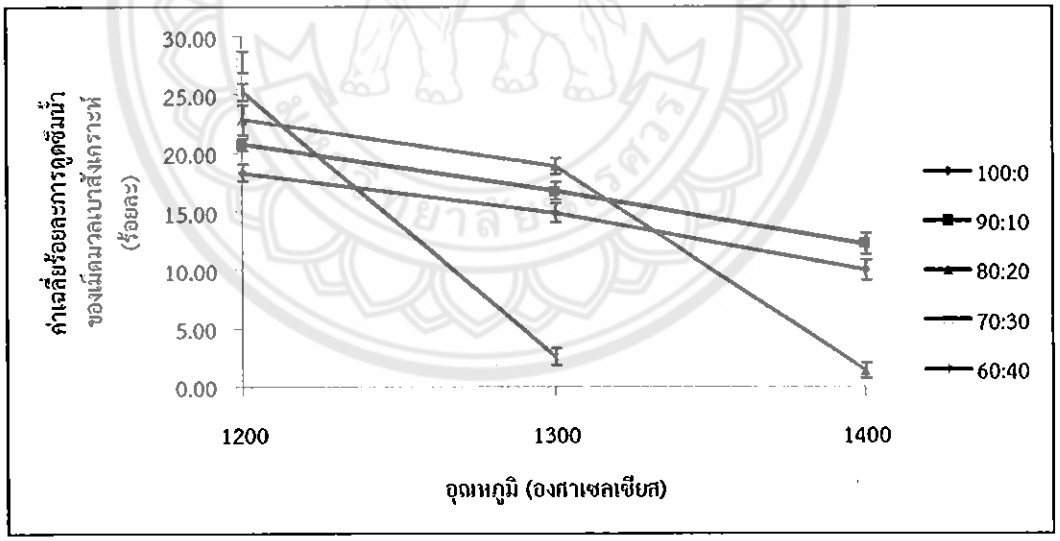
จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.12, 4.13 ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10 และ 80 : 20 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ซึ่งพบควอตซ์ เกาลินไนท์ และอลูมิน่าเป็นสารประกอบ เกิดการยึดติดกันของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น โดยขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้าง-ฉัตร จ.ลำปาง พบแคลไซท์ เป็นสารประกอบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย ช่วยเริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ทำให้เกิดการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของดินตะกอนเหลือ

ทิ้งจากโรงประปา และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ทำให้อนุภาคของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าวเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 70 : 30 ณ อุณหภูมิดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏลดลง และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นปรากฏคือการพิจารณาเนื้อสารทั้งหมดรวมกับรูพรุนปิดที่อยู่ภายในเนื้อชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อทำการให้อุณหภูมิที่สูงจึงส่งผลให้ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่กระจายอยู่ภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการสลายตัว ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าวเกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาเพิ่มขึ้น และเกิดการระเหยของก๊าซแพร่ผ่านออกไปยังผิวของชิ้นงานมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดรูพรุนชนิดรูพรุนเปิดที่บริเวณผิวของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าว ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นปรากฏซึ่งดังได้กล่าวว่าเป็นค่าความหนาแน่นที่พิจารณาเนื้อสารรวมกับรูพรุนปิดไม่รวมรูพรุนเปิด จึงพบว่าค่าความหนาแน่นปรากฏมีค่าลดลงเนื่องจากรูพรุนที่เกิดขึ้นเป็นรูพรุนเปิดอันเกิดเนื่องจากการระเหยของก๊าซออกไปยังผิวชิ้นงานเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ แต่เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นรวมซึ่งเป็นการพิจารณาความหนาแน่นของเนื้อสารรวมกับทั้งรูพรุนปิดและรูพรุนเปิด จะพบว่าความหนาแน่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของอุณหภูมิส่งผลให้เกิดการระเหยของก๊าซในขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง โดยทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีรูพรุนเปิดจำนวนมาก และการเผายังส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดิน และขี้เถ้าเกิดการยึดตัวติดกันได้แน่นขึ้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นรวมที่เป็นการพิจารณาทั้งเนื้อสาร รูพรุนปิด และรูพรุนเปิด จึงพบว่ามีค่าสูงขึ้นนั่นเอง และต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 ณ อุณหภูมิดังกล่าว เกิดการหลอมละลาย เนื่องจากจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่เพิ่มขึ้น เกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่เพิ่มขึ้น และเกิด Liquid Phase Sintering เพิ่มขึ้น จนทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการหลอมละลาย และหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดมวล-เบาสังเคราะห์มีเพียงส่วนผสมของดินตะกอน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา เกิดการยึดติดกันของอนุภาคมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น ต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 และ 80 : 20 ณ อุณหภูมิดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏลดลง และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เหมือนเช่นผลการทดลอง เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิไปยัง 1,300 องศาเซลเซียส ให้กับเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ณ อัตราส่วน 70 : 30 ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ และต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 70 : 30 และ 60 : 40 ณ อุณหภูมิดังกล่าว เกิดการหลอมละลาย เนื่องจากจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่เพิ่มขึ้น เกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่เพิ่มขึ้น และเกิด Liquid Phase Sintering เพิ่มขึ้น จนทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการหลอมละลาย

ข. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อร้อยละการดูดซึมน้ำ ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100:0	18.35	14.91	10.00
90:10	20.77	16.76	6.34
80:20	22.84	18.87	1.39
70:30	25.27	2.58	-
60:40	27.84	-	-



รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

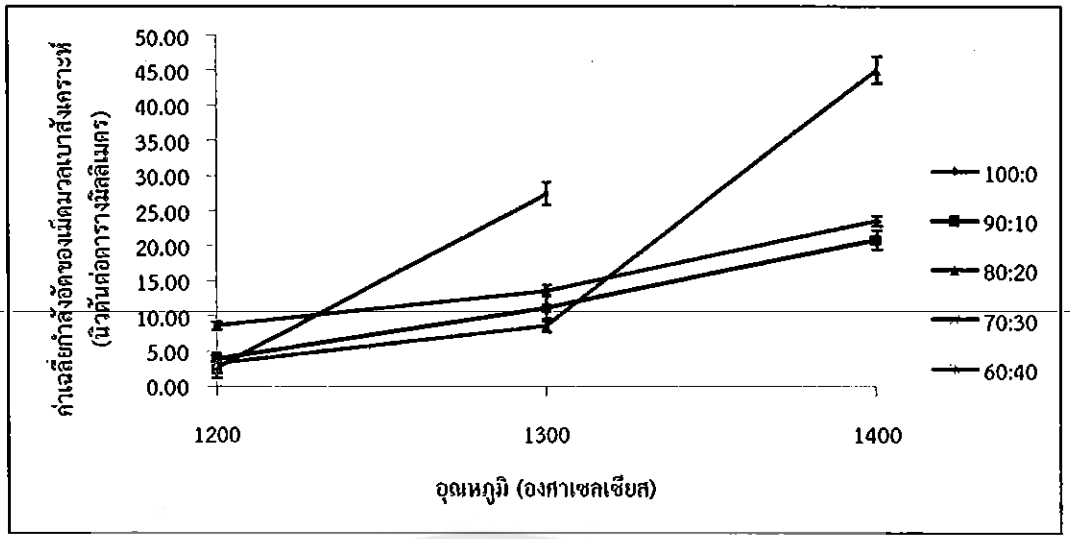
จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.14 ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา พบควอตซ์ เกาลินไนท์ และอลูมิน่า เป็น

สารประกอบ เกิดการยึดติดกันของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบ แคลไซท์ เป็นสารประกอบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย ช่วยเริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ทำให้เกิดการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ทำให้อนุภาคของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าวเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น และยังช่วยลดปริมาณรูพรุนให้น้อยลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณน้ำที่เข้าไปแทนที่ภายในรูพรุนเปิดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.2.2.2 ก. ที่พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมซึ่งเป็นค่าความหนาแน่นของสารที่ประกอบไปด้วยเนื้อสารรวมกับรูพรุนปิดและรูพรุนเปิดมีค่าเพิ่มขึ้น

ค. อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังอัด ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด (MPa)		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100:0	8.67	13.65	23.61
90:10	3.95	11.21	26.93
80:20	3.23	8.68	45.19
70:30	2.69	27.51	-
60:40	1.98	-	-



รูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ของอัตราส่วนดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.15 ผลของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ. ลำปาง พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ที่พบควอตซ์ เกาลินไนท์ และอลูมิน่า เป็นสารประกอบ เกิดการยึดติดกันของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่พบ แคลไซท์ เป็นสารประกอบ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวช่วยลดจุดหลอมละลาย ช่วยเริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ทำให้เกิดการเชื่อมประสานระหว่างอนุภาคของดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ทำให้อนุภาคของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าวเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.2.2.2 ข. ที่พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง

4.2.3 การคัดเลือกเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ เพื่อนำมาผลิตคอนกรีตมวลเบา

แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังอัดต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,200, 1,300 และ 1,400 องศาเซลเซียส โดยเลือกเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่มีค่าความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (Strength Per Weight Ratio) มากที่สุด เนื่องจากค่าสัดส่วนดังกล่าวเป็นค่าที่นิยมใช้เลือกชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงสูงแต่มีน้ำหนักเบา

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	สัดส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100 : 0	3.33	5.17	8.80
90 : 10	1.31	1.67	3.22
80 : 20	0.96	1.26	2.80
70 : 30	0.78	1.02	2.71
60 : 40	0.51	0.84	0.42

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏต่อค่าเฉลี่ยกำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐ-มอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังทำการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง	สัดส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก		
	1,200 °C	1,300 °C	1,400 °C
100 : 0	3.33	5.17	8.80
90 : 10	1.54	4.22	11.29
80 : 20	1.27	3.20	19.76
70 : 30	1.07	11.13	-
60 : 40	0.79	-	-

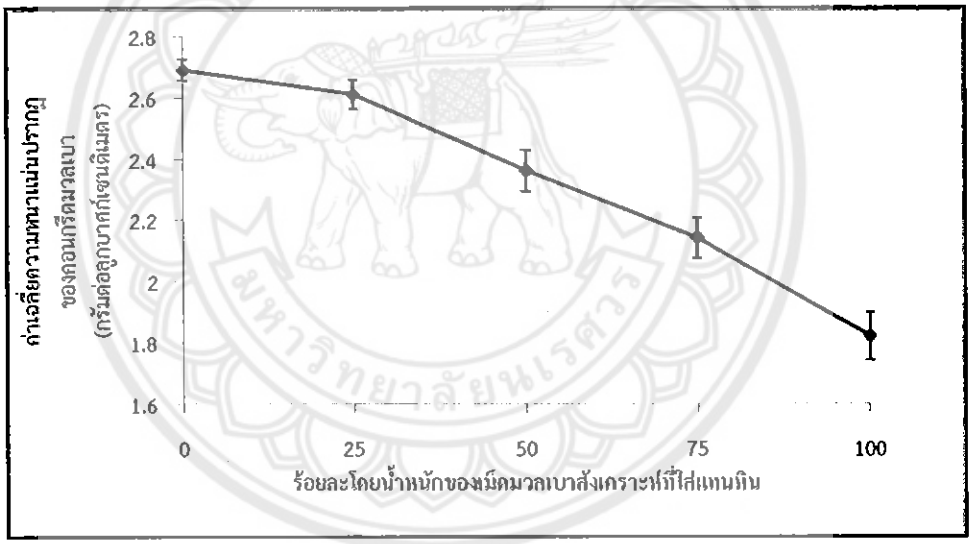
จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าที่อัตราส่วนดินตะกอนจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 80 : 20 หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยสัดส่วนความแข็งต่อน้ำหนักมากที่สุด เท่ากับ 19.76 จึงเลือกเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนดังกล่าวมาทดลองแทนหินในงานคอนกรีตต่อไป เนื่องจากตรงกับเป้าหมายของโครงงานที่ต้องการจะลดน้ำหนักของคอนกรีตให้น้อยลง และยังคงให้มีความแข็งแรงที่สูง โดยเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ เท่ากับ 2.29 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ เท่ากับ ร้อยละ 1.39 และค่าเฉลี่ยกำลังอัด เท่ากับ 45.19 เมกะปาสคาล

4.3 ผลการศึกษาคอนกรีตมวลเบา โดยการแทนหินด้วยเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

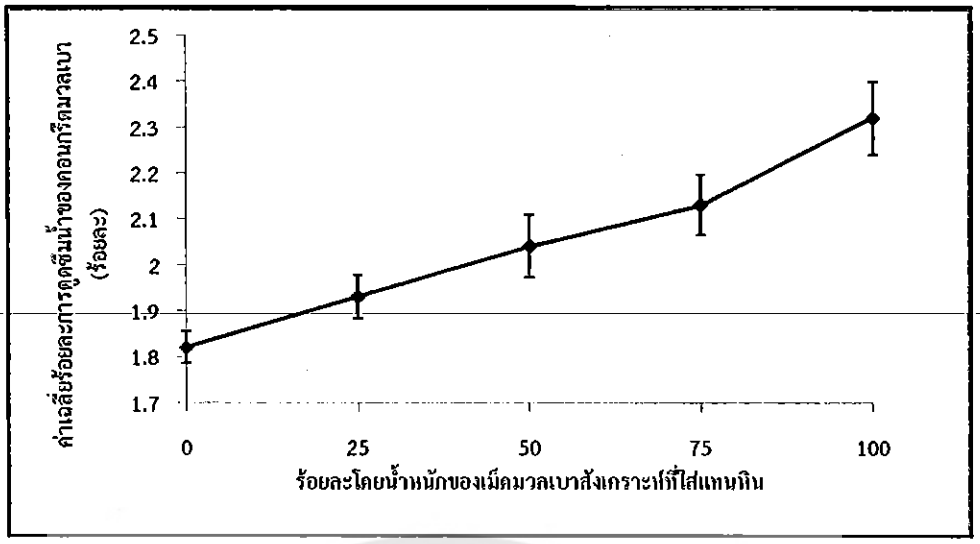
การทดลองนี้ได้นำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่อัตราส่วนเท่ากับ 80 : 20 โดยน้ำหนัก หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มาเป็นวัสดุผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยการนำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ใส่แทนหินในอัตราส่วนร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ดังตารางที่ 3.1 เพื่อศึกษาปริมาณของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัด

4.3.1 ปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ใส่แทนหิน ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา

ศึกษาปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ใส่แทนหินที่มีผลต่อความหนาแน่นปรากฏ และร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ได้ผลดังรูปที่ 4.16 และ 4.17



รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา

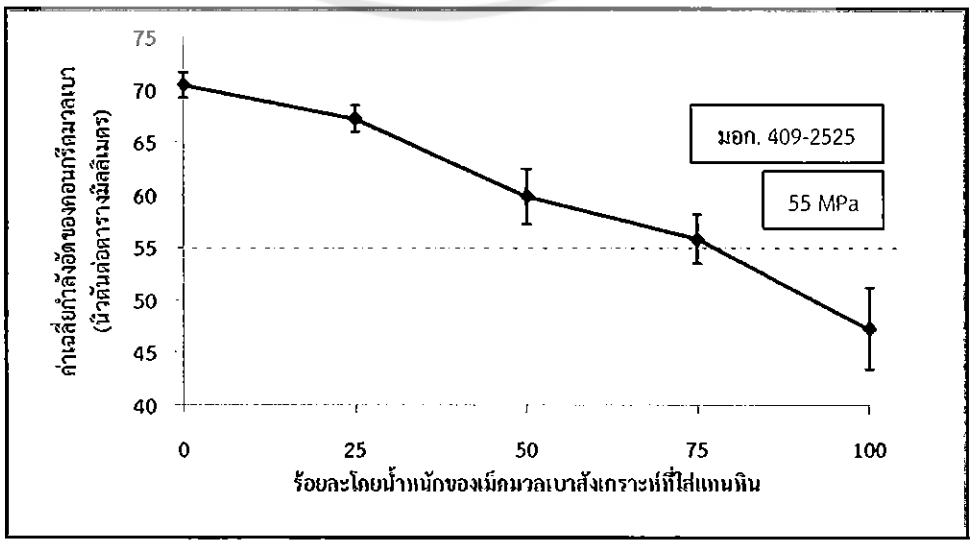


รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 พบว่าเมื่อมีปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์เพิ่มขึ้น และปริมาณของหินลดลง ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมีค่าลดลง เนื่องจากเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน จึงส่งผลทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น และมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากความพรุนตัวของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ทำให้ความหนาแน่นในคอนกรีตลดลง จึงสามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น

4.3.2 ปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ใส่แทนหินที่มีผลต่อสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา

ศึกษาปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ใส่แทนหิน ที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา ได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

จากรูปที่ 4.18 พบเมื่อปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตลดลง เนื่องจากเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน จึงทำให้ภายในเนื้อคอนกรีตมีความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามไปด้วย สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏที่ลดลง เมื่อปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์เพิ่มขึ้น

จากการทดลองพบว่าเมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก. 409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ยกเว้นที่อัตราส่วนเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ใส่แทนหินร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผลเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ที่ผลิตจาก 2 อัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราผสมส่วนระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างๆ และการนำเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มาแทนหินในการผลิตคอนกรีตมวลเบา สามารถสรุปผลการทดลองที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นรวม ร้อยละการดูดซึมน้ำ และสมบัติทางกล ได้แก่ ค่ากำลังอัด ไว้ดังนี้

5.1.1 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ

การเพิ่มอัตราส่วนของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของดินตะกอนส่งผลให้เนื้อส่วนผสมมีปริมาณดินตะกอนที่สามารถยึดตัวเกาะติดภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มากขึ้นหลังทำการเผา และทำให้รูพรุนอันเนื่องจากการสลายตัวกลายเป็นก๊าซของขี้เถ้ามีปริมาณลดลงตามปริมาณขี้เถ้าที่ลดลง โดยพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมที่สูงกว่า และมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง เนื่องจากผลการวิเคราะห์วัฏภาคแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มี แคลไซท์ เป็นสารประกอบมากที่สุด จึงทำให้มีตัวช่วยเริ่มก่อให้เกิด Liquid Phase Sintering ให้กับเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าว เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าวจึงเกิดการ Sintering ทำให้อนุภาคเกิดการเชื่อมประสานบริเวณคอคอด (Neck Growth) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น และลดปริมาณรูพรุนได้มากกว่า เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

5.1.2 ผลของอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกล

การเพิ่มอัตราส่วนของดินตะกอน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมที่ลดลง โดยพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดสูงกว่า เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปาต่อขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

5.1.3 อิทธิพลของอุณหภูมิ ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ เร่งให้เกิด Liquid Phase Sintering ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่น และมีปริมาณรูพรุนลดลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั้นจะส่งผลต่อปริมาณขี้เถ้าที่กระจายอยู่ในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ขี้เถ้าจะเกิดการสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน และเกิดการแพร่ของก๊าซกลายเป็นเป็นรูพรุนภายในชิ้นงาน ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ณ อัตราส่วนดังกล่าว มีปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น มีความหนาแน่นลดลง ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมลดลง และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิ และปริมาณขี้เถ้าที่เพิ่มขึ้น

5.1.4 อิทธิพลของอุณหภูมิ ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกล

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความ

หนาแน่นรวม และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น อีกทั้งยังพบว่าเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 หลังทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดลดลงตามอุณหภูมิ และปริมาณขี้เถ้าที่สูงขึ้น สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

5.1.5 อิทธิพลของอุณหภูมิ ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง หลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0, 90 : 10 และ 80 : 20 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิ เร่งให้เกิด Liquid Phase Sintering ส่งผลให้อนุภาคยึดตัวติดกันได้แน่นและมีปริมาณรูพรุนลดลง ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 70 : 30 ณ อุณหภูมิดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏลดลง ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากการให้อุณหภูมิที่สูงส่งผลให้ ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่กระจายอยู่ภายในเม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการสลายตัว ทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าว เกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาเพิ่มขึ้น และเกิดการระเหยของก๊าซแพร่ผ่านออกไปยังผิวของชิ้นงานมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดรูพรุนชนิดรูพรุนเปิด ที่บริเวณผิวของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ดังกล่าว และการเผายังส่งผลให้อนุภาคของเนื้อดินและขี้เถ้าเกิดการยึดตัวติดกันได้แน่นขึ้น ส่งผลให้ ณ อัตราส่วนดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏลดลง ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 40 ณ อุณหภูมิดังกล่าว เกิดการหลอมละลาย เนื่องจากจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่เพิ่มขึ้น เกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่เพิ่มขึ้น และเกิด Liquid Phase Sintering เพิ่มขึ้น จนทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการหลอมละลาย และหลังผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,400 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 100 : 0 มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีเพียงส่วนผสมของดินตะกอน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงส่งผลให้ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา เกิดการยึดติดกันของอนุภาคมากขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง ต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 90 : 10 และ 80 : 20 ณ อุณหภูมิดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏลดลง ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง เหมือนเช่น

ผลการทดลอง เมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิไปยัง 1,300 องศาเซลเซียส ให้กับเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ณ อัตราส่วน 70 : 30 ดังเหตุผลที่ได้อธิบายไว้ และต่อมาพบว่าที่อัตราส่วนเท่ากับ 70 : 30 และ 60 : 40 ณ อุณหภูมิดังกล่าว เกิดการหลอมละลาย เนื่องจากจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่เพิ่มขึ้น เกิดการสูญเสียน้ำหนักหลังเผาที่เพิ่มขึ้น และเกิด Liquid Phase Sintering เพิ่มขึ้น จนทำให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์เกิดการหลอมละลาย

5.1.6 อิทธิพลของอุณหภูมิ ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง ที่มีผลต่อสมบัติทางกล

การเพิ่มอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏ และค่าเฉลี่ยความหนาแน่นรวม และค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

5.1.7 ปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา

การแทนที่หินด้วยเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ส่งผลให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบามากขึ้น ตามปริมาณการใส่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์แทนหินที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบามีค่าลดลง และมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น

5.1.8 ปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา

การเพิ่มปริมาณเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ในคอนกรีตมวลเบา ทำให้ความหนาแน่นภายในคอนกรีตลดลง เนื่องจากเม็ดมวลเบาสังเคราะห์มีความหนาแน่นน้อยกว่าหิน ส่งผลให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่ให้ค่ากำลังอัดที่ลดลง คอนกรีตมวลเบาที่ใส่เม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ร้อยละ 25, 50 และ 75 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบการต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต (มอก. 409-2525) พบว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากการวิเคราะห์วัฏภาคพบว่าขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญมีสารประกอบหลัก ที่ช่วยลดจุดหลอมตัว ทำให้การเผาสั้นลง จึงควรที่จะนำมาศึกษาเพื่อให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น และเพื่อเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

5.2.2 ในการผลิตเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ มีขั้นตอนในการผลิตหลายขั้นตอนเช่น การร่อน การบดผสม การปั้น การอบ และการเผา ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาและคนงานในการผลิตมาก จึงควรนำเทคโนโลยีต่างๆ เข้ามาช่วย เช่น เครื่องจักรขึ้นรูปเม็ดมวลเบาสังเคราะห์

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 ในการร่อนวัตถุดิบ ได้แก่ ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง และขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง พบว่าเกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคขนาดเล็กดังกล่าว ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายกับระบบทางเดินหายใจ และดวงตาได้ ดังนั้นจึงต้องใส่หน้ากาก และแว่นตา เพื่อความปลอดภัย

5.3.2 ในการผลิตคอนกรีตมวลเบา พบว่าเวลาเทคอนกรีตลงในแม่แบบ (Mold) มีฟองอากาศเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดช่องว่างระหว่างการจัดเรียงตัวกันของหิน ทราย และเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ ดังนั้นตอนเทคอนกรีตจึงต้องค่อยๆ เททีละน้อยๆ แล้วใช้เหล็กกระทุ้ง เพื่อให้คอนกรีต และส่วนผสมแน่นตัว พอเทคอนกรีตจนเต็มแม่แบบก็ต้องเขย่าแม่แบบด้วยโต๊ะเขย่าเพื่อไล่ฟองอากาศออกไปจากคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2544). **เถ้าลอยลิกไนต์ในงานคอนกรีต กับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี.

กุลจิรา สุจิโรจน์. (2555) **ลักษณะทางกายภาพ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2555, จาก http://www.mtec.or.th/laboratory/ceraparts/index.php/experience/13

จักราวุธ บัณฑุรัคน์. (2552). การผลิตปูนซีเมนต์**. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 24.** สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2554, จาก http://guru.sanook.com

ชัชพันธ์ ชาตี. (2550). **การพัฒนาอิฐดินซีเมนต์โดยใช้ดินตะกอนน้ำประปาจังหวัดหนองคายเป็นส่วนผสม**. วิทยานิพนธ์ ค.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ทรงลักษมณ์ วิโรจน์รัต.(2551). **ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลานของซีเมนต์เพสต์** สืบค้นเมื่อวันที่ 31 สิงหาคม 2554, จาก http://khoon.msu.ac.th

ทรงวุฒิ น่วมศิริ และ สิทธิชัย ดีอินทร์. (2553). **การวิเคราะห์มวลเบาจากดินตะกอนเหลือทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม และขี้เถ้าเพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบา**. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวัชรากร วงศ์คำจันทร์. (2554). **พฤติกรรมทางกลของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบละเอียด**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บริษัทที่พีไอคอนกรีตจำกัด. (2551). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** เอกสารอ้างอิงสำหรับทบทวน. สืบค้นเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2554 จาก www.tpipolene.co.th/document /concrete/manual.pdf

บริษัทพามาลินจำกัด. (2554). ตะแกรงร่อนคัดขนาด. **ตะแกรงร่อนคัดขนาด**. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2554, จาก http://www.atriumtech.com/cgibin/hilightcgi/home /InterWeb2000&File.

ประชุม คำพุฒ. (2550). การใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่มในอิฐดินดิบ. ใน **เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 : สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**, (หน้า 347-354). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักหอสมุด.

ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2547). **เถ้าลอยในงานคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2539). **อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ.** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ.

พงศธร จันทร์ตรี. (2552). **การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมเถ้าชานอ้อย**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

พาณิช วุฒิพฤกษ์. (2544). **น้ำ : ส่วนผสมสำคัญในคอนกรีต.** สถาบันวิจัยกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประเทศไทย

พินิยศักดิ์ พหรมศร. (2552). **บล็อกซีเมนต์ประสานที่ใช้เถ้าแกลบดำ เถ้าแกลบขาว หรือเถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสม**. วิทยานิพนธ์ ค.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมของประเทศ , (2552), **ปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ**. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2554, จาก http://www.sdhabhon.com

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

แม้น อมรสิทธิ์. (2551). **วิศวกรรมวัสดุ.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ.

วินิต ช่อวิเชียร. (2554). **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ.

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

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. (2551). **ปอร์ตแลนด์ซิเมนต์.** สืบค้นเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2554, จาก http://www.thaitca.or.th

สุจินต์ พราวพันธ์. (2551). **อะลูมิน่ากับการนำไปใช้งานในทางเซรามิก.** สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม 2555, จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/ct_2_2545_alumina.pdf.

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

สยาม อรุณศรีมรกต. (2551) **วิศวกรรมวัสดุ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ.

สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์. (2534). **น้ำเคลือบเครื่องปั้นดินเผา.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ.

สุรศักดิ์ ไวทยวงศ์สกุล. (2552) **อะลูมิน่าวัสดุสารพัดประโยชน์.** สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มีนาคม 2555, จาก http://www.neutron.rmutphysics.com/physics-glossary/index.php?option=com_content&task=view&id=4836&Itemid=88

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์. (2552). **เถ้าแกลบในงานคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นครศรีธรรมราช: สำนักพิมพ์ไซน์ แอนด์ เอ็นจีเนียริ่ง.

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

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (^{o}C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	Apparent Density (g/cm^{3})
1200	100	0	2.61
	90	10	2.56
	80	20	2.53
	70	30	2.49
	60	40	2.44
1300	100	0	2.64
	90	10	2.63
	80	20	2.6
	70	30	2.57
	60	40	2.52
1400	100	0	2.68
	90	10	2.66
	80	20	2.64
	70	30	2.59
	60	40	2.39

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (^{o}C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	Bulk Density (g/cm^{3})
1200	100	0	1.76
	90	10	1.63
	80	20	1.55
	70	30	1.47
	60	40	1.40
1300	100	0	1.89
	90	10	1.76
	80	20	1.66
	70	30	1.61
	60	40	1.55
1400	100	0	2.12
	90	10	1.90
	80	20	1.82
	70	30	1.77
	60	40	1.24

ตารางที่ ก.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	% Water Absorption
1200	100	0	18.35
	90	10	22.53
	80	20	25.11
	70	30	27.68
	60	40	30.24
1300	100	0	14.91
	90	10	18.60
	80	20	21.66
	70	30	23.03
	60	40	24.80
1400	100	0	10.00
	90	10	15.15
	80	20	16.95
	70	30	17.96
	60	40	39.01

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	Compressive Strength (MPa)
1200	100	0	8.67
	90	10	3.37
	80	20	2.42
	70	30	1.92
	60	40	1.24
1300	100	0	13.65
	90	10	4.39
	80	20	3.28
	70	30	2.62
	60	40	2.12
1400	100	0	23.61
	90	10	8.56
	80	20	7.38
	70	30	7.02
	60	40	1.01

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นปรากฏของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (^{o}C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	Apparent Density (g/cm^{3})
1200	100	0	2.61
	90	10	2.57
	80	20	2.55
	70	30	2.52
	60	40	2.51
1300	100	0	2.64
	90	10	2.66
	80	20	2.71
	70	30	2.47
	60	40	-
1400	100	0	2.68
	90	10	2.39
	80	20	2.29
	70	30	-
	60	40	-

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นรวมของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (^{o}C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	Bulk Density (g/cm^{3})
1200	100	0	1.76
	90	10	1.68
	80	20	1.61
	70	30	1.54
	60	40	1.48
1300	100	0	1.89
	90	10	1.84
	80	20	1.79
	70	30	2.32
	60	40	-
1400	100	0	2.12
	90	10	2.07
	80	20	2.22
	70	30	-
	60	40	-

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	% Water Absorption
1200	100	0	18.35
	90	10	20.77
	80	20	22.87
	70	30	25.27
	60	40	27.84
1300	100	0	14.91
	90	10	16.76
	80	20	18.87
	70	30	2.58
	60	40	-
1400	100	0	10.00
	90	10	6.34
	80	20	1.39
	70	30	-
	60	40	-

ตารางที่ ข.4 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของเม็ดมวลเบาสังเคราะห์ระหว่างดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปากับขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานอิฐมอญ อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง

อุณหภูมิ (°C)	ดินตะกอนเหลือทิ้งจากโรงประปา	ขี้เถ้าเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาล อ.เกาะคา จ.ลำปาง	Compressive Strength (MPa)
1200	100	0	8.67
	90	10	3.95
	80	20	3.23
	70	30	2.69
	60	40	1.98
1300	100	0	13.65
	90	10	11.21
	80	20	8.68
	70	30	27.51
	60	40	-
1400	100	0	23.61
	90	10	26.93
	80	20	45.19
	70	30	-
	60	40	-

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ และทางกล ของคอนกรีตมวลเบา

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นปรากฏของคอนกรีตมวลเบา

มวลเบาแทนหิน (โดยน้ำหนัก)	Apparent Density (g/cm^3)
0	2.69
25	2.61
50	2.36
75	2.14
100	1.82

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา

มวลเบาแทนหิน (โดยน้ำหนัก)	% Water Absorption
0	1.82
25	1.93
50	2.04
75	2.13
100	2.32

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา

มวลเบาแทนหิน (โดยน้ำหนัก)	Compressive Strength (MPa)
0	70.4
25	67.2
50	59.8
75	55.7
100	47.2

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายภูรีวรรธก์ ปานปั้น

ภูมิลำเนา 123/11110 ตำบลอรัญญิก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จ. พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: pooreewat@hotmail.com

ชื่อ นางสาววรัญยา ศรีตาบุตร

ภูมิลำเนา 60 หมู่ 9 ตำบลปงยางคก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง 52190

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอัสสัมชัญลำปาง จ. ลำปาง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: bellry@hotmail.com