การศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา

The Properties Study of LightWeight Brick Mixed with Sawdust and Water Hyacinth

นางสาวอุมาพร จงพลสิทธิ์

นางสาวจารุวรรณ แย้มคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2556

ชื่อปริญญานิพนธ์	การศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา
ชื่อ-สกุล	นางสาวอุมาพร จงพลสิทธิ์
	นางสาวจารุวรรณ แย้มคำ
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	นายมาโนช หลักฐานดี

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

ว่าที่ร้อยตรีวิชัย โกศัลวัฒน์
ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชนี ผิวทอง
กรรมการ

นายมาโนช หลักฐานดี
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์ การศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา
ชื่อ-สกุล นางสาวอุมาพร จงพลสิทธิ์
นางสาวจารุวรรณ แย้มคำ
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา โดยการศึกษาสมบัติเชิงกลจากความต้านแรงอัด และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำ โดยมีวัสดุผสมหลักคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, ปูนขาว, ยิปซัม, ผงอลูมิเนียมในสัดส่วน 30 : 9 : 9 : 2 และที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อทดลอง 5 ระดับ ประกอบด้วย ทรายละเอียด, ขี้เลื่อย และผักตบชวาในสัดส่วน 40 : 5 : 5, 30 : 10 : 10, 20 : 15 : 15, 10 : 20 : 20 และ 0 : 25 : 25 ผลการวิจัยสรุปได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวาในสัดส่วน 5 : 5 โดยมีทรายละเอียดผสมในสัดส่วน 40 ได้อิฐมวลเบาที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดโดยมีสมบัติเชิงกลค่าความต้านแรงอัดสูงที่สุด 1.63 N/mm^2 ใกล้เคียงค่าคุณภาพอิฐมวลเบา ชั้นคุณภาพ 2 มีค่าความต้านแรงอัด 2 N/mm^2 และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำต่ำสุด 514.29 kg/m^3 ใกล้เคียงค่าคุณภาพอิฐมวลเบา อัตราการดูดซึมน้ำ 500 kg/m^3 สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผลที่ได้รับในเชิงอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยการนำผักตบชวาและขี้เลื่อยมาเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ

Independent study Title Properties Study of Light Weight Brick Mixed with Sawdust and Water Hyacinth

Authors Umaporn Jongponsit, Jaruwan Yamkum

Degree Bachelor of Science

Program and Faculty Environmental Sciences and Natural Resources, Faculty of Science and Technology

Academic Year 2013

ABSTRACT

The objectives of this research aimed to study the appropriate ratio for making light weight brick which composed of the sawdust and water hyacinth and to study the efficiency of light weight brick. The research method was done by study the mechanical properties, the compressive strengths and the physical properties with water absorption. The main materials were as follows: type 1-normal Portland cement, lime, gypsum, aluminum powder ratio 30:9:9:2 and researchers determined 5 levels including of sand, sawdust and water hyacinth according to the following proportions 40:5:5, 30:10:10, 20:15:15, 10:20:20 and 0:25:25. The results revealed that the most appropriated ratio of the light weight brick was 40:5:5. The maximum compressive strength was 1.63 N/mm^2. It is close to 2 N/mm^2 from class 2 light weight brick standards value. The lowest value of water absorption was 514.29 kg/m^3. It is close to 500 kg/m^3 from water absorption of light weight brick standard value. Therefore, these results supported the environmental conservation objective by increasing the economics values of sawdust and water hyacinth.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์อย่างดียิ่ง จากบุคคล หลายท่าน ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ว่าที่ร้อยตรีวิชัย โกศัลวัฒน์ ประธานกรรมการที่ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำต่าง ๆ อาจารย์มาโนช หลักฐานดี อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบ แก้ไข และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัชนี ผิวทอง ที่ให้คำแนะนำ แก้ไขให้แก่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความรักและเคารพยิ่ง

ขอขอบพระคุณในความเมตตาของผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.สำเริง รักซ้อน อาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่เอื้อเฟื้อสละเวลาอันมีค่าให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ข้อมูล ให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆและเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดสอบการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนเพิ่มพูนความรู้และประสบการณ์ในทุก ๆ ด้านตลอดมา

ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบพระคุณ คุณจิรพงศ์ จิตต์บำรุงสกุล ให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์การทดสอบ และข้อมูลในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติ และเพื่อนๆทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนตลอดจนเป็นแรงผลักดันและกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนปริญญานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

นางสาวอุมาพร จงพลสิทธิ์
นางสาวจารุวรรณ แย้มคำ

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(ก)
บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ช)
สารบัญภาพ	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 กรอบแนวคิดเดิมของกระบวนการผลิต	3
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
1.4 วัตถุประสงค์การศึกษา	6
1.5 ขอบเขตของการศึกษา	6
1.6 นิยามศัพท์	6
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1. อิฐมวลเบา	8
2.1.1 กระบวนการผลิตอิฐมวลเบา	9
2.1.2 กรรมวิธีผลิตอิฐมวลเบา	10
2.2 ปูนซีเมนต์	12
2.2.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์	13
2.2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	15
2.3 ทราย	18
2.3.1 แหล่งที่มาของทราย	18
2.3.2 เหตุผลที่นำทรายมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต	19
2.3.3 การนำทรายมาใช้	19
2.4 ผงอลูมิเนียม	20
2.4.1 การใช้ประโยชน์	20
2.4.2 การเก็บรักษา	21

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ปูนขาว	21
2.6 ยิปซัม	21
2.6.1 แหล่งแร่ยิปซัม	23
2.6.2 การใช้ประโยชน์	23
2.7 ขี้เลื่อย	23
2.8 ผักตบชวา	24
2.8.1 ลักษณะของผักตบชวา	24
2.8.2 บทบาทในการกำจัดน้ำเสีย	26
2.8.3 ปัญหาจากผักตบชวา	26
2.9 การบ่มคอนกรีต	27
2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของอิฐมวลเบา	28
2.11 ความต้านแรงอัด	29
2.12 อัตราการดูดซึมน้ำ	30
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	33
3.1 รูปแบบการวิจัย	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	33
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	33
3.3.1 ขั้นเตรียมการ	33
3.3.2 ขั้นเก็บรวบรวมข้อมูล	34
3.3.3 การทดลองสมบัติของอิฐมวลเบา	34
3.3.4 วิเคราะห์ผล	36
3.3.5 อภิปรายผล	36
3.3.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	37
4.1 การเตรียมการผลิตอิฐมวลเบา	37
4.1.1 การเตรียมขี้เลื่อย	37
4.1.2 การเตรียมผักตบชวา	38
4.1.3 การสร้างแบบหล่ออิฐมวลเบา	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การผลิตอิฐมวลเบา	40
4.3 การทดสอบความต้านแรงอัด	47
4.4 ผลการวิเคราะห์ความต้านทานแรงอัด	53
4.5 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ	55
4.6 ผลการวิเคราะห์อัตราการดูดซึมน้ำ	59
4.7 อภิปรายผล	61
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย	62
5.1.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาจากขี้เลื่อยและผักตบชวา	62
5.1.2 อิฐมวลเบาที่มีประสิทธิภาพ	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
5.2.1 ข้อเสนอแนะสาหรับการวิจัยครั้งนี้	62
5.2.2 ข้อเสนอแนะสาหรับในการวิจัยครั้งต่อไป	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก 1505-2541	68
ภาคผนวก ข มาตรฐาน JIS A 5416	86
ภาคผนวก ค คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ	107
ประวัติผู้วิจัย	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สารประกอบหลักที่รวมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภท	13
2.2	แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงอลูมิเนียม	20
2.3	ตัวอย่างผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน	29
4.1	แสดงความต้านแรงอัดชิ้นทดสอบ	53
4.2	แสดงน้ำหนักการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบ	59
4.3	แสดงปริมาตรของชิ้นทดสอบ	59
4.4	แสดงอัตราการดูดซึมน้ำ	60
4.5	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัดและค่าอัตราการดูดซึมน้ำ	61

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงกรอบแนวคิดเดิมของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา	3
1.2	ผังแสดงกรอบแนวคิดในกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา	4
1.3	ผังแสดงกรอบแนวคิดในการผลิตอิฐมวลเบา	5
2.1	อัตราส่วนผสมของอิฐมวลเบามาตรฐาน	9
2.2	แสดงลักษณะของอิฐมวลเบา	10
2.3	แสดงลักษณะของยิปซัมชนิดต่างๆ	22
2.4	แสดงลักษณะของขี้เลื่อย	24
2.5	แสดงลักษณะของผักตบชวา	25
2.6	แสดงลักษณะดอกของผักตบชวา	25
2.7	แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบ Servo-hydraulic Universal Testing	28
3.1	ผังแสดงขั้นการทดลอง	35
4.1	การเตรียมขี้เลื่อย	37
4.2	แสดงลักษณะผักตบชวาในบึงน้ำ	38
4.3	แสดงวิธีเกี่ยวผักตบชวาขึ้นจากน้ำ	38
4.4	แสดงวิธีการตัดใบและราก	38
4.5	แสดงลักษณะการนำผักตบชวาไปตากแดด 5 วัน	39
4.6	แสดงวิธีการขูดผักตบชวา	39
4.7	แสดงวิธีการตัดผักตบชวาขนาด 5-10 มิลลิเมตร	39
4.8	แสดงวิธีการสร้างแบบหล่ออิฐมวลเบา	40
4.9	แสดงลักษณะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปูนขาว	40
4.10	แสดงวิธีการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปูนขาวมาผสมกัน	41
4.11	แสดงลักษณะยิปซัมและผงอลูมิเนียม	41
4.12	แสดงวิธีการนำนำยิปซัมและผงอลูมิเนียมมาผสมกัน	41
4.13	การทดลองที่ 1 แสดงปริมาณทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา	43
4.14	การทดลองที่ 2 แสดงปริมาณทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา	43
4.15	การทดลองที่ 3 แสดงปริมาณทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา	43
4.16	การทดลองที่ 4 แสดงปริมาณทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา	44
4.17	การทดลองที่ 5 แสดงปริมาณทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา	44
4.18	แสดงวิธีการผสมส่วนผสมทั้งหมด	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.19	แสดงวิธีการเติมน้ำและหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง	45
4.20	แสดงวิธีการคลุกเคล้าและเทลงแบบ	45
4.21	การทดลองที่ 1 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา	46
4.22	การทดลองที่ 2 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา	46
4.23	การทดลองที่ 3 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา	46
4.24	การทดลองที่ 4 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา	47
4.25	การทดลองที่ 5 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา	47
4.26	แสดงวิธีการตัดอิฐมวลเบา	48
4.27	แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 1	48
4.28	แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 2	48
4.29	แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 3	49
4.30	แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 4	49
4.31	แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 5	49
4.32	นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบ	50
4.33	แสดงการนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ	50
4.34	แสดงการกดชิ้นทดสอบ	50
4.35	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 1	51
4.36	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 2	51
4.37	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 3	51
4.38	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 4	52
4.39	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 5	52
4.40	แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด	54
4.41	นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบ 24 ชั่วโมง	55
4.42	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 1	55
4.43	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 2	55
4.44	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 3	56
4.45	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 4	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.46	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 5	56
4.47	แสดงชิ้นทดสอบโดยแช่น้ำให้ท่วม 24 ชั่วโมง	57
4.48	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 1	57
4.49	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 2	57
4.50	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 3	58
4.51	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 4	58
4.52	แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 5	58
4.53	แสดงกราฟของอัตราการดูดซึมน้ำ	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันในวงการก่อสร้างอิฐมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างได้รับความนิยมอย่างมากด้านสมบัติที่โดดเด่น และยังเป็นทางเลือกใหม่สำหรับผู้ที่ต้องการลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากอิฐมวลเบามีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากอิฐชนิดอื่นๆ (นิตย์รดี, 2552 อ้างจาก กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปสร้างบ้านได้อย่างรวดเร็วแล้วยังผลให้เกิดความประหยัดแรงงาน และลดต้นทุนในการดำเนินการก่อสร้าง รวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงาน ป้องกันความร้อนได้ดี มีความคงทนและมีอายุการใช้งานนานกว่า นอกจากนี้มีการใช้อิฐมวลเบา ทดแทนอิฐมอญหรืออิฐบล็อกมากขึ้นในงานก่อสร้างอาคารต่างๆนอกจากนี้ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องได้ส่งผลให้ ผลิตภัณฑ์ก่อสร้างทุกประเภทเติบโตโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา อิฐมวลเบามีการใช้มานานในต่างประเทศ แต่ยังเป็นวัสดุก่อสร้างแบบใหม่ในประเทศไทย อิฐมวลเบาได้รับการพัฒนาจากอิฐแดงหรืออิฐมอญ ซึ่งอิฐมอญ (brick) เป็นวัสดุที่นำมาใช้ด้านงานก่อสร้างเป็นเวลาช้านานมาแล้ว เป็นวัสดุก่อสร้างที่ผลิตจากทรายและดินเหนียว หรือทรายและหิน ขึ้นอยู่กับสัดส่วน และชนิดของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ วิธีใช้และการผลิต ลักษณะที่ใช้งานแตกต่างจากคอนกรีตในเรื่องความแข็งแรงคือ อิฐที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมาก เพราะใช้งานก่อกำแพงหรืองานเพื่อความสวยงาม และ การทำอิฐสำหรับการก่อสร้างของคนไทยได้ทำกันมานานแล้ว โดยส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมครอบครัวในแถบชนบทซึ่งมีขนาดเล็ก (นิตย์รดี, 2552)

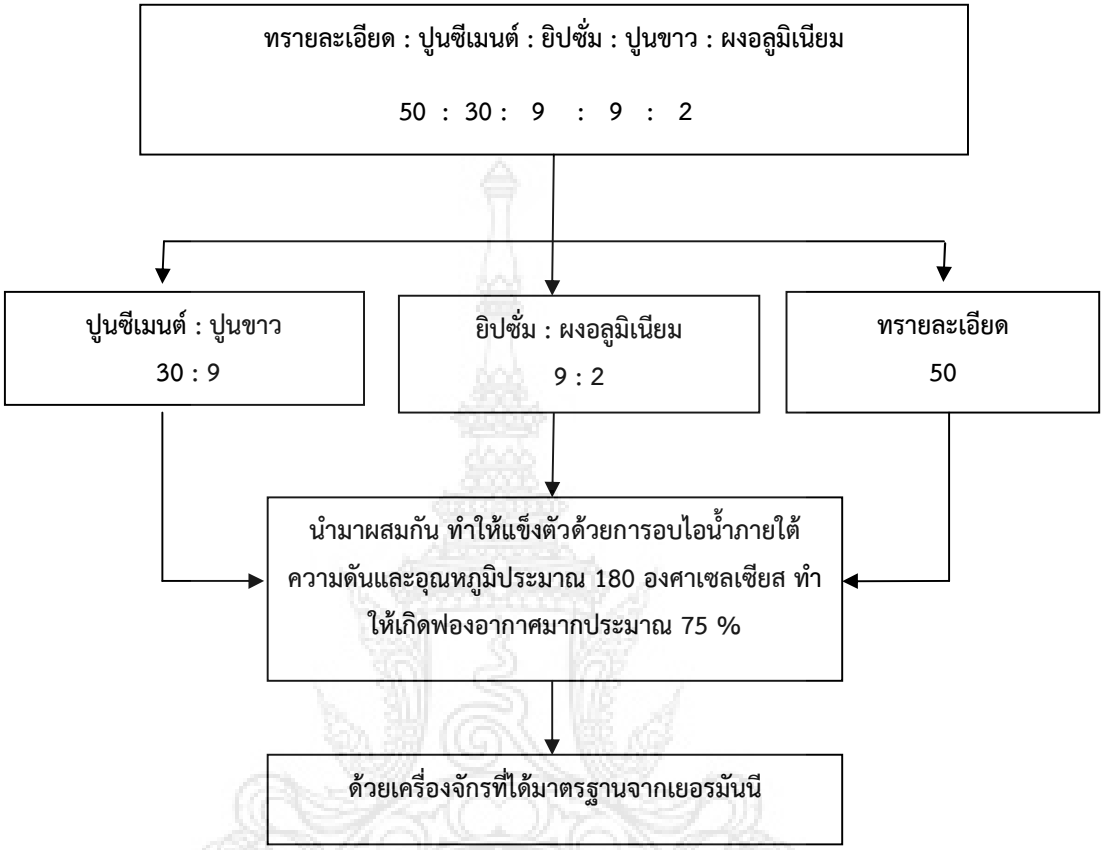
ณัฐพัชร (2554) ได้กล่าวว่า แนวโน้มในภาพรวมของตลาดอิฐมวลเบาในปี พ.ศ.2548 ซึ่งคาดว่าจะมีแนวโน้มของการเติบโตที่ดีขึ้น เนื่องจากกำลังการผลิตอิฐมวลเบาของไทยไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาดที่มีมากกว่า 10 ล้านตารางเมตร ประกอบกับยังมีความต้องการจากโครงการอาคารสูงและงานปรับปรุงซ่อมแซมอาคารที่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นโอกาสสำหรับผู้ผลิตที่อยู่ในอุตสาหกรรมอิฐมวลเบา ที่จะขยายการผลิตและขยายฐานลูกค้าออกไปได้กว้างขึ้นให้รองรับกับความต้องการที่มีมากขึ้น ตลอดจนมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีความแตกต่างเพื่อสร้างจุดขายให้มากขึ้น เช่น สามารถเก็บเสียงได้หรือประหยัดพลังงานได้มากขึ้น ดูดกลืนหรือสะท้อนความร้อน ได้ดี เป็นต้น

เอ็นจีเอเอช ดับเบิ้ลยูเอส และฮานาฟีอา, 2008 (Ngah, W.S., and Hanafiah) ระบุว่า ขี้เลื่อยเป็นผลพลอยได้จากการเลื่อยไม้ มีลักษณะเป็นผงไม้ละเอียด เป็นของเสียในโรงงานที่เป็นพิษ โดยเฉพาะการทำให้เกิดอาการอักเสบ

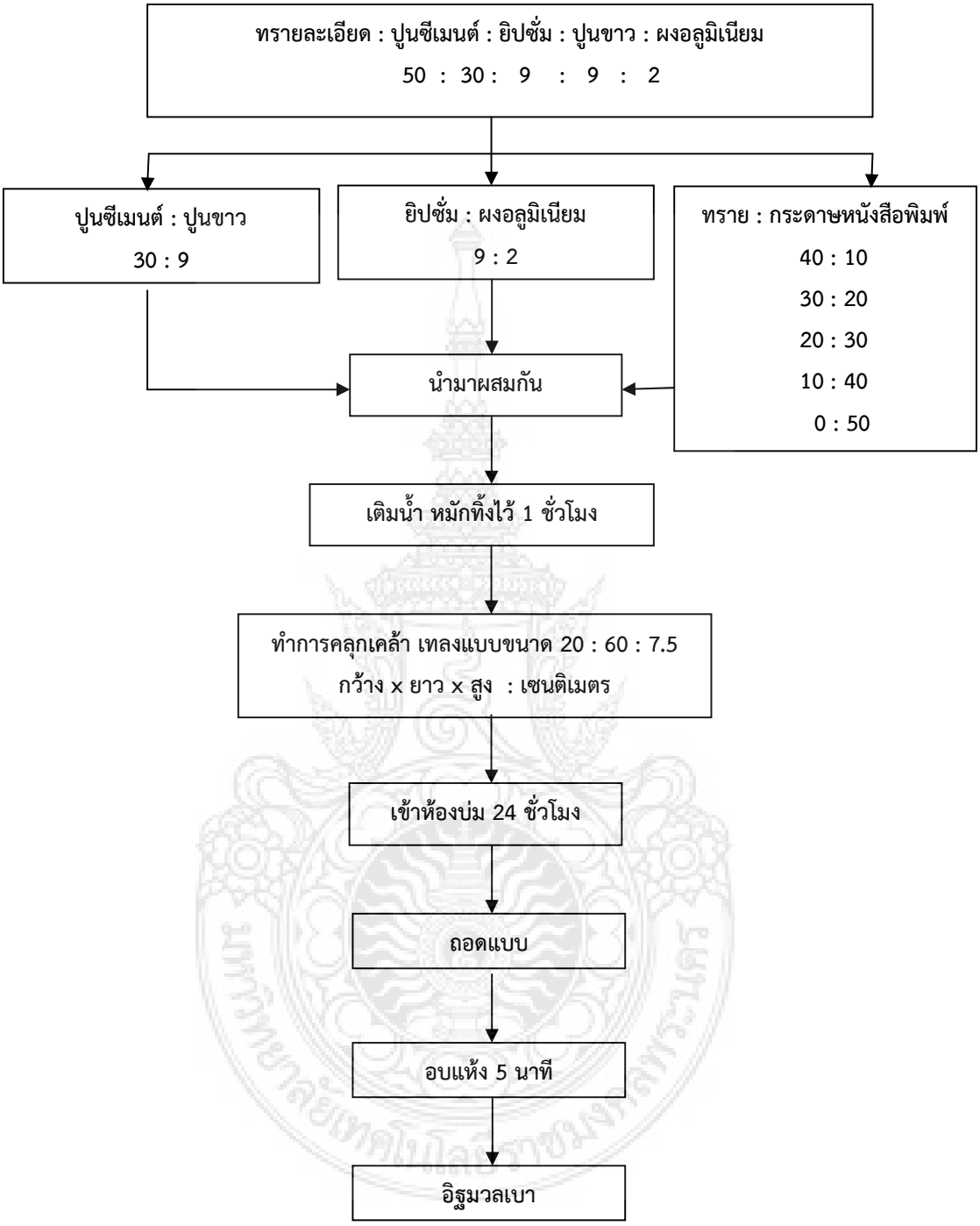
พุทธิพร (2552) อ้างจาก ทิพวัลย์ (2530) ได้กล่าวว่า ผักตบชวามีชื่อทางพฤกศาสตร์ว่า *Eichlornia crassipes Solms* มีชื่อสามัญว่า water hyacinth อยู่ในวงศ์ Pontederiaceae เป็นพืชทางพื้นเมืองของทวีปแอฟริกาใต้ มีดอกสวยงามจึงมีผู้นำไปขยายพันธุ์ในแหล่งน้ำจืดตามที่ต่างๆ จนทำให้ผักตบชวาแพร่กระจายไปสู่แหล่งน้ำจืดทั่วโลก สำหรับประเทศไทยผักตบชวาถูกนำเข้ามาเมื่อปี พ.ศ. 2444 ในสมัยรัชการที่ 5 ต่อมาได้แพร่กระจายไปทุกหนแห่งสร้างปัญหาอย่างมากต่อการชลประทาน การสัญจรทางน้ำ การประมง การเกษตร และการสาธารณสุข ก่อปัญหาทำให้แหล่งน้ำตื่นเขิน น้ำเน่าเสีย และกีดขวางการจราจรทางน้ำเป็นอย่างมาก ปัจจุบันทางราชการต้องเสียงบประมาณจำนวนมากในการกำจัดผักตบชวาและขุดลอกคลองต่างๆ ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ไม่ว่าจะเป็นทางการเกษตรหรือทางอุตสาหกรรม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะวิจัยการศึกษาสมบัติอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา โดยนำขี้เลื่อยและผักตบชวามาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนทรายละเอียดในการผลิตอิฐมวลเบา แล้วนำมาตรวจวิเคราะห์สมบัติเชิงกลจากค่าความต้านทานแรงอัด และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำ

1.2 กรอบแนวคิดเดิมของกระบวนการผลิต

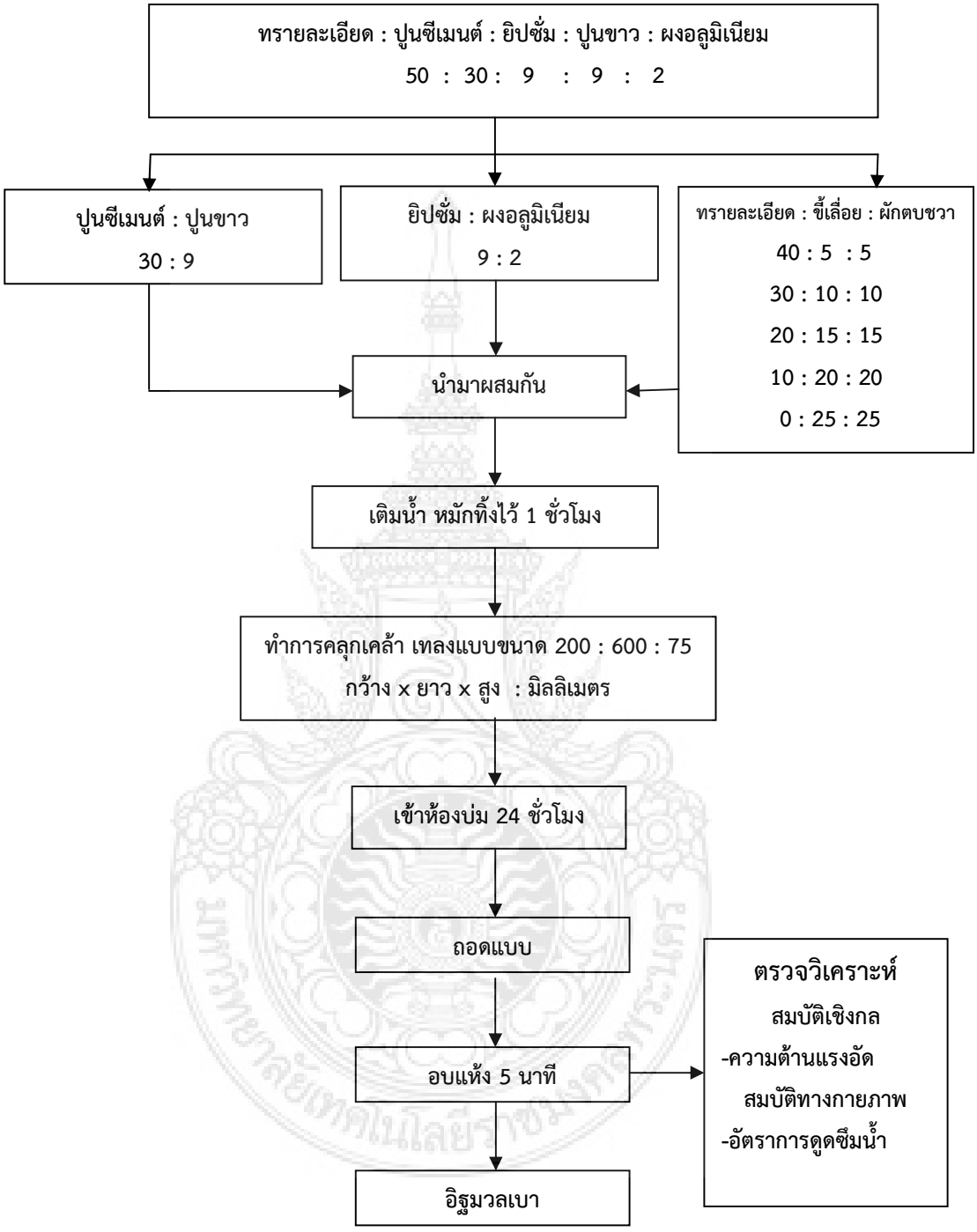


แผนภูมิที่ 1.1 ผังแสดงกรอบแนวคิดเดิมของกระบวนการผลิตอิฐมวลเบา
ที่มา : ณัฐพัชร, 2554. (อ้างใน พงษ์เจษฎาดอทคอม, 2551.)



แผนภูมิที่ 1.2 ผังแสดงกรอบแนวคิดในการกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้
ที่มา : ณัฐพัชร, 2554.

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภูมิที่ 1.3 ผังแสดงกรอบแนวคิดในการผลิตอิฐมวลเบาในการวิจัยครั้งนี้

1.4 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.3.1 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีขี้เลื่อยและผักตบชวา

1.3.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 พื้นที่ศึกษาวิจัยคือ บ้านเลขที่ 4 ซอยสถิตย์ยุทธการ 4 ถนนสนามบินน้ำ ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี

1.4.2 ทำการดำเนินการศึกษาสมบัติเชิงกลในห้องปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4.3 เป็นการศึกษาเชิงทดลองทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

1.4.4 ชนิดของอิฐที่ศึกษา คือ อิฐมวลเบา ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร

1.4.5 ขี้เลื่อยที่นำมาวิจัยนำมาจาก ร้านขายไม้แปรรูป ย.วนาวัลย์ แขวงบ้านบาตร เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพมหานคร

1.4.6 ผักตบชวาที่นำมาวิจัยนำมาจาก บึงน้ำหลังบ้านเลขที่ 91/121/1 ต.ปากเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี

1.4.7 เครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด Servo-hydraulic Universal Testing Machine

1.4.8 ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

1.4.9 ศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบา ได้แก่

- สมบัติเชิงกล ความต้านทานแรงอัด
- สมบัติทางกายภาพ อัตราการดูดซึมน้ำ

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา/คำนิยามศัพท์

1.5.1 อิฐมวลเบา หมายถึง ผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา

1.5.2 ขี้เลื่อย หมายถึง ของเสียที่ได้มาจากการเลื่อยหรือไสไม้ มีลักษณะเป็นผงไม้แบบละเอียด นำมาจาก ร้านขายไม้แปรรูป ย.วนาวัลย์ แขวงบ้านบาตร เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพมหานคร

1.5.3 ผักตบชวา หมายถึง วัชพืชน้ำที่ได้เก็บมาจากบึงน้ำหลังบ้านเลขที่ 91/121/1 ต.ปากเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี โดยใช้ส่วนของลำต้น ที่ผ่านการตากแดด 5 วัน แล้วนำไปฝอยเป็นเส้นเล็กๆ จากนั้นตัดให้ได้ขนาด 5-10 มิลลิเมตร

1.5.4 ปูนซีเมนต์ หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1 ใช้สำหรับก่ออิฐมวลเบา

1.5.5 ทรายละเอียด หมายถึง มวลผสมต้องเป็นวัสดุซิลิกาหรือทรายควอตซ์ที่มีเม็ดเล็กมาก

1.5.6 ปูนขาว หมายถึง ปูนที่มีลักษณะเป็นผงสีขาวปราศจากสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนอื่นๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนไลม์อุตสาหกรรม มอก. 319-2541

1.5.7 ยิปซัม (Gypsum) หมายถึง ยิปซัมสำเร็จรูปที่ซื้อจากร้านขายวัสดุก่อสร้าง

1.5.8 ผงอลูมิเนียม หมายถึง อลูมิเนียมสำเร็จรูปที่ซื้อจากร้านศึกษาภัณฑ์

1.5.9 ความต้านทานแรงอัด หมายถึง คอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านทานแรงอัดเป็น 4 ชั้นคุณภาพ 2, 4, 6 และ 8 มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

1.5.10 อัตราการดูดซึมน้ำ หมายถึง ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยคำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักของน้ำที่ดูดกลืนต่อปริมาตรชิ้นทดสอบโดยคำนวณจากมิติ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมขี้เลื่อยและผักตบชวา

1.6.2 ได้ประสิทธิภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา

บทที่ 2

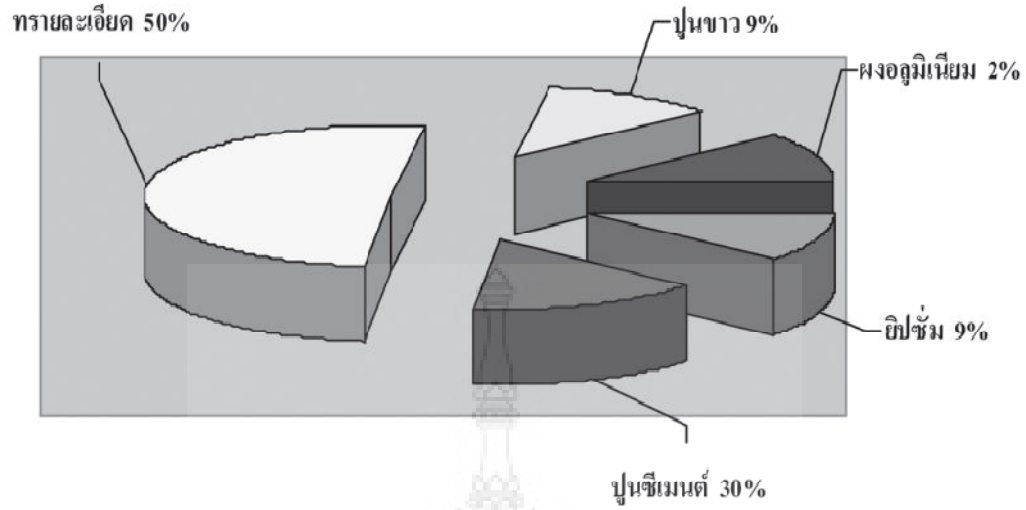
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา ในครั้งนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาและวิเคราะห์ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในเรื่องต่างๆได้อย่างชัดเจน ภายในบทนี้จึงได้กำหนดหัวข้อความรู้ใหญ่ๆไว้ 13 หัวข้อ ดังนี้

2.1 อิฐมวลเบา
2.2 ปูนซีเมนต์
2.3 ทราย
2.4 ผงอลูมิเนียม
2.5 ปูนขาว
2.6 ยิปซัม
2.7 ขี้เลื่อย
2.8 ผักตบชวา
2.9 การบ่มคอนกรีต
2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของอิฐมวลเบา
2.11 ความต้านแรงอัด
2.12 อัตราการดูดซึมน้ำ
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อิฐมวลเบา

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ได้ศึกษาส่วนประกอบของอิฐมวลเบาโดยพบว่าการผลิตอิฐมวลเบาโดยมีวัตถุดิบหลักในการผลิตคือ ทรายละเอียด (สัดส่วน 50%) ยิปซั่ม (สัดส่วน 9%) ปูนขาว (สัดส่วน9%) ปูนซีเมนต์ (สัดส่วน 30%) ผงอลูมิเนียม (สัดส่วน 2%) โดยนำส่วนผสมมาทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำภายใต้ความดัน และ อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส มีฟองอากาศมากประมาณ 75% ทำให้เบา (ลอยน้ำได้) ฟองอากาศเป็น closed cell ไม่ดูดซึมน้ำ ความเบาก็จะทำให้ประหยัดโครงสร้างและสารเคมีที่กระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อวัสดุผ่านการอบไอน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม (นิตย์รดี, 2552. อ้างใน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2547.)



ภาพที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนผสมของอิฐมวลเบามาตรฐาน
ที่มา : นิตย์รดี, 2552.

2.1.1 กระบวนการผลิตอิฐมวลเบา

กระบวนการผลิตอิฐมวลเบาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non – Autoclaved System) แบ่งออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ก) ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุที่มีความเบากว่ามาทดแทน โดยการนำดินเหนียวมาผสมกับวัสดุธรรมชาติ เช่น หญ้าแฝก เถ้าแกลบ กากมะพร้าว ดินแดง ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ชานอ้อย หรือเม็ดโฟม เป็นต้น นำมาเผาแล้วจะสลายตัวเกิดเป็นช่องว่างในเนื้ออิฐ ทำให้ความหนาแน่นของอิฐลดลง ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาขึ้น ราคาถูก แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นและเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้สารเหล่านี้อาจจะเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย ใช้ในงานโครงสร้างเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนหรือใช้สำหรับประดับผนัง

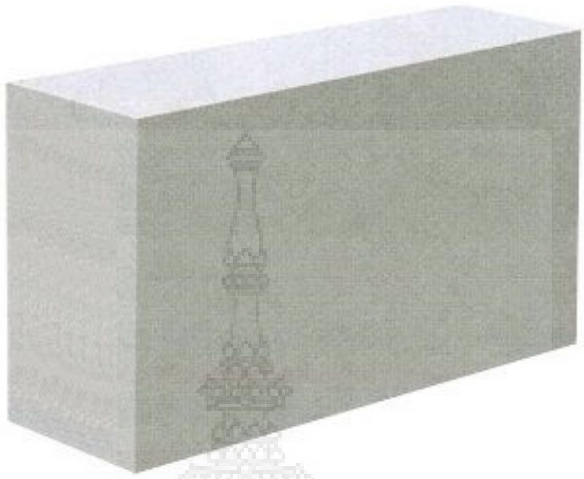
ข) ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เข้าไปผสมผสานเพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อวัสดุและเมื่อทิ้งไว้จะทำให้แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรงคอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์ต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว (จตุพร และ วรพจน์, 2552 อ้างถึงใน นิตย์รดี, 2552)

2. ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) โดยได้แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เป็น 2 ประเภท คือ

ก) ประเภทที่ 1 Lime Base ใช้ปูนขาว ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ข) ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้คอนกรีต มีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิด

การตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความแข็งแกร่ง ทนทาน กว่าการผลิตในระบบอื่น (นิตย์รดี, 2552 อ้างจาก บริษัทไทยคอนส์ เอนจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด, 2552)



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของอิฐมวลเบา
ที่มา : เอชบ้านดอทคอม, 2556.

2.1.2 กรรมวิธีผลิตอิฐมวลเบา

อิฐมวลเบาโดยทั่วไปอาจแบ่งตามกระบวนการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non – Autoclaved System) สำหรับขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

1.1 นำวัสดุที่เตรียมไว้มาร่อนด้วยตะแกรงคัดขนาด เอาส่วนหยาบออกให้เหลือแต่ส่วนละเอียด

1.2 คลุกเคล้าส่วนผสมให้สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน

1.3 นำวัสดุแต่ละชนิดที่เตรียมไว้ ทยอยเทลงในเครื่องผสม เพื่อคลุกเคล้าให้ส่วนผสมทั้งหมดกระจายตัวเข้ากันดี จากนั้นเติมน้ำแปรรูปพิเศษลงไปคลุกเคล้าเป็นลำดับสุดท้าย คลุกเคล้าต่อไปกระทั่งส่วนผสมรวมกันเป็นเนื้อเดียวดีแล้ว

1.4 วัสดุผสมที่ได้ก็พร้อมนำไปอัดรูป เป็นอิฐตามขนาดที่ต้องการก่อน

1.5 นำไปอัดพิมพ์ควรสังเกตด้วยว่าส่วนผสมนั้น มีความชื้นพอเหมาะดีหรือไม่ หากแห้งเกินไปเมื่ออัดพิมพ์แล้วอาจแตกร้าวได้ จำเป็นต้องปรับส่วนผสมใหม่ให้มีความชื้นพอเหมาะ

1.6 กรอกส่วนผสมลงแม่พิมพ์ให้มากพอ ให้ผึ่งลมทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน อิฐมวลเบาที่ได้จะแห้งสนิทสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้ามีแสงแดดจัด โดยเฉพาะช่วงถอดพิมพ์ หากนำไปพึ่งแดดจะช่วยให้อิฐแห้งเร็วขึ้น อิฐมวลเบานี้ใช้ระยะเวลาผึ่งให้แห้งสั้นกว่าอิฐที่ทำจากซีเมนต์ ต้องใช้เวลาผึ่งนานถึง 7 วัน ทั้งมีขั้นตอนและกรรมวิธีในการบ่มซับซ้อนกว่าแต่มีข้อพึงระวังระหว่างผึ่งอิฐต้องระมัดระวัง

มิให้ถูกฝน หรือน้ำมิฉะนั้นจะเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากขณะที่อิฐมวลเบาแปรรูปยังไม่แห้งจะละลายไปกับน้ำนั่นเอง

2. ระบบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) สำหรับขั้นตอนในการผลิตอิฐมีดังนี้

2.1 นำวัตถุดิบหลักคือทรายมาบดด้วยเครื่องบด บดผสมกับน้ำ

2.2 นำวัตถุดิบที่ใช้ในกรรมวิธีผลิตอิฐมวลเบา (ปูนขาว, ผงอลูมิเนียม, ทราย, ซีเมนต์ และ ยิปซัม) ผสมเข้ากันตามอัตราส่วน โดยส่วนผสมหลักคือทราย และซีเมนต์ ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสม การผสม (Mixing) โดยนำทรายและยิปซัมมาผสมกันก่อนในขณะเดียวกันปูนขาวผสมกับซีเมนต์ จากนั้นจึงนำทั้งหมดมาผสมกัน และจึงผสมกับอลูมิเนียม

2.3 เทเข้าแม่พิมพ์

2.4 นำเข้าห้องบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา เป็นฟองอากาศและฟูขึ้นมา

2.5 นำเข้าเครื่องตัด Cutting Machine (M203) และเครื่องทำโครงตาข่าย

2.6 นำผ่านเข้าเครื่องอบ Over Dryer (M114) โดยจะใช้สายพานลำเลียง Conveyor System (M122)

2.7 ตรวจสอบ QC

2.8 บรรจุ โดยทุกขั้นตอนการผลิตมีการใช้คอมพิวเตอร์ทั้งกระบวนการผลิต (ณัฐพัชร, 2554)

พงศ์พัน และวรพงศ์ (2555) ได้กล่าวถึง อิฐมวลเบา คือ คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบา เป็นวัสดุสำหรับก่อผนังหรือบ้านที่อยู่อาศัย เป็นวัสดุก่อที่นำเทคโนโลยีการผลิตมาจากต่างประเทศมีทั้งแบบบล็อกตันและบล็อกกลวง (คล้ายคอนกรีตบล็อก) ขนาดใหญ่กว่าแต่น้ำหนักเบากว่ามากเนื่องจากมีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอในเนื้อวัสดุ

อิฐมวลเบาที่ขนาดมาตรฐาน กว้าง 20x60 เซนติเมตร และมีความหนาตั้งแต่ 7.5, 10, 12.5, 15, 20, 25 เซนติเมตร ชั้นคุณภาพคือ

1.ชั้นคุณภาพ 2 ตามมาตรฐาน มอก. 1505 – 2541 ชนิด 0.5 จะมีความหนาแน่น (Dry Density) ไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ากำลังอัด (Compressive Strength, fc) ไม่น้อยกว่า 30 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.ชั้นคุณภาพ 4 ตามมาตรฐาน มอก. 1505 – 2541 ชนิด 0.7 จะมีความหนาแน่น (Dry Density) ไม่เกิน 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่ากำลังอัด (Compressive Strength, fc) ไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

คุณสมบัติเด่นของอิฐมวลเบา

1. มีน้ำหนักเบากว่าอิฐมอญ 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า

2. กันเสียงและดูดซับได้ดี สามารถกันเสียงได้ดีกว่าอิฐมอญ ช่วยลดทอนความดังของเสียงจากภายนอกอาคารและระหว่างห้อง

3. เป็นฉนวนทางความร้อนและสามารถทนไฟได้นาน 2-4 ชั่วโมง

4. ทนต่อสภาวะอากาศ
5. รองรับน้ำหนักได้ดี

2.2 ปูนซีเมนต์

นระ (2547) ได้กล่าวถึง ปูนซีเมนต์ที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ โดยทั่วไปเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งทำมาจากการเผาหินปูนหรือชอล์กที่ถูกบดจนละเอียดผสมกับดินเหนียว ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จดลิขสิทธิ์เป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2367 แต่มารู้จักใช้กันอย่างแพร่หลายเมื่อตอนเริ่มต้นศตวรรษที่ 20 นับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมาวิชาคอนกรีตเทคโนโลยีจึงได้เริ่มต้นขึ้น

วัสดุคอนกรีตแรกเริ่มเดิมทีถูกนำมาใช้ประโยชน์ ก็เพราะว่าเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง และมีราคาถูก สามารถใช้แทนงานก่ออิฐได้ ปูนขาวที่ใช้ทำคอนกรีตก่อนหน้านี้มีน้อยชนิดมากที่จะแข็งตัว และก่อกำลังความแข็งแรงที่อุณหภูมิปกติได้ภายในเวลาสองสามวัน เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

วิวัฒนาการของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของโลก ได้เริ่มมาเป็นเวลาช้านานหลายศตวรรษแล้ว เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ประเภทอื่น แรกเริ่มทีเดียวชาวอิยิปต์โบราณรู้จักใช้วัสดุก่อสร้างช่วยในการก่อสร้างพีระมิด โดยใช้ปูนขาวเป็นปูนก่อแต่ปูนชนิดนี้ไม่อยู่ตัวในน้ำ ต่อมาจึงได้มีการเติมสารประเภทไฮดรอลิก ซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกาเข้าไป เช่น หินภูเขาไฟ หินพอซโซลานา หรือหินซานโตริน คำว่า “ไฮดรอลิก” ซึ่งในที่นี้หมายถึงสารซีเมนต์ที่เมื่อผสมกับน้ำแล้ว สามารถแข็งตัวได้ในอากาศหรือในน้ำ และเมื่อก่อตัวขึ้นแล้วจะไม่ละลายน้ำ

การศึกษาทางด้านเคมีและคุณลักษณะของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ได้เริ่มต้นขึ้นเมื่อประมาณ พ.ศ.2334 ต่อมาตอนต้นในศตวรรษที่ 19 มีผู้ค้นพบว่า ถ้าเอาหินปูนผสมกับหินเชล (ดินดาน) แล้วนำไปเผา จะเกิดสารซีเมนต์ ซึ่งสามารถแข็งตัวในน้ำและไม่ละลายน้ำ โดยเหตุที่เมื่อแข็งตัวแล้วมีสีคล้ายกับสีของหินที่ได้จากเหมืองที่เกาะปอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษ ผู้คนจึงเรียกวัสดุก่อสร้างประเภทนี้ว่า “ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์”

ประเทศไทยเริ่มผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ เมื่อพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว มีพระบรมราชโองการให้ก่อตั้งบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด เพื่อผลิตปูนซีเมนต์เมื่อปี พ.ศ. 2456 ที่ตำบลบางซื่อ กรุงเทพ ผู้ผลิตรายต่อมาก็จะมีบริษัท ชลประทานซีเมนต์ จำกัด (พ.ศ.2499) บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (พ.ศ.2515) บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) (พ.ศ.2535) และบริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด

ตารางที่ 2.1 สารประกอบหลักที่รวมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละประเภท

ประเภท	จำนวนสารประกอบ %				ความละเอียด *
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	ตาราง ซม./กรัม
I	50	24	11	8	1800
II	42	33	5	13	1800
III	60	13	9	8	2600
IV	26	50	5	12	1900
V	40	40	4	4	1900

*ทดสอบความละเอียดโดย Wagner turbidimeter test

ที่มา : นิพนธ์, 2546.

2.2.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์

2.2.1.1 ความละเอียด (Fitness)

ความละเอียดของปูนซีเมนต์ จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ การก่อตัว การเกิดกำลังและการคายความร้อน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ผิวโดยรอบของเม็ดปูน ซึ่งตามปกติแล้วปูนซีเมนต์ที่มีน้ำหนักเท่ากัน ปูนซีเมนต์ที่เม็ดปูนละเอียดกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าปูนซีเมนต์ที่เม็ดปูนหยาบกว่า ดังนั้นปูนซีเมนต์ที่ละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ที่หยาบกว่า นอกจากนั้นยังมีอัตราการก่อตัวและแข็งตัวได้เร็วกว่าอีกด้วย อย่างไรก็ตามปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากเกินไปก็เป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ เพราะง่ายต่อการทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ ทำให้จับตัวกันเป็นก้อนแข็ง จึงทำให้คุณภาพของปูนซีเมนต์ต้องสูญเสียไป ดังนั้นการที่จะผลิตปูนซีเมนต์ให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอ ก็จำเป็นจะต้องควบคุมความละเอียดของปูนซีเมนต์ให้อยู่ในเกณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด

2.2.1.2 ความอยู่ตัว (Soundness)

ความอยู่ตัวเป็นคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่จะรักษาปริมาตรให้คงที่อยู่เสมอ แม้ว่าปูนซีเมนต์จะแข็งตัวแล้วก็ตาม ปูนซีเมนต์ที่มีความอยู่ตัวน้อยหรือไม่มี จะเกิดจากการที่มียิปซัม (Gypsum) หรือปูนขาวอิสระ (Free Lime) หรือ แมกนีเซียม (Magnesium) อยู่ในปูนซีเมนต์มากเกินไป ปูนขาวหรือแมกนีเซียมมีคุณสมบัติเมื่อรวมตัวกับน้ำจะกินเวลานานมาก ดังนั้น แม้ว่าปูนซีเมนต์จะแข็งตัวแล้วก็ตามปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนขาวหรือแมกนีเซียมก็จะดำเนินต่อไป ทำให้เกิดการขยายตัวภายในเนื้อคอนกรีตส่งผลให้เกิดการแตกร้าวในที่สุด การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้น จะใช้เวลานาน บางทีอาจใช้เวลาหลายเดือนหลังคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2.2.1.3 ระยะเวลาก่อตัว และแข็งตัว (Time of Setting and Hardening)

ระยะเวลาก่อตัว หมายถึง ระยะเวลาที่ซีเมนต์เพสต์ ใช้ในการเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะเวลาเริ่มก่อตัว (Initial Setting Time) และระยะเวลาก่อตัวเสร็จ (Final Setting Time) ระยะเวลาก่อตัวนี้จัดเป็นสิ่งจำเป็นมากที่ผู้ใช้ปูนซีเมนต์จะต้องทราบ เพื่อกำหนดเวลาทำงานให้แล้วเสร็จก่อนที่ซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีตจะแข็งตัว ทั้งนี้เนื่องจากหลังจากคอนกรีตเริ่มก่อตัวแล้วจะต้องไม่ถูกรบกวนอีก และจะต้องมีเวลาที่จะแข็งตัวต่อไปจนกว่าจะเสร็จสมบูรณ์ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการเทครั้งต่อไป ระยะเวลาก่อตัวก็ไม่ควรจะเร็วเกินไปจนทำคอนกรีตไม่ทัน โดยทั่วไปในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา การก่อตัวจะเริ่มขึ้นหลังจากผสมกับน้ำแล้ว 2 ถึง 4 ชั่วโมง สำหรับระยะเวลาก่อตัวเสร็จไม่ควรเกินกว่า 10 ชั่วโมง เพื่อให้คอนกรีตแข็งตัวและเกิดกำลังได้เร็วที่สุด จะได้ถอดแบบได้เร็วและสามารถหลีกเลี่ยงความกระหายที่จะเกิดขึ้นจากน้ำแข็งตัว เช่น กรณีหล่อคอนกรีต ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เป็นต้น

องค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีต ได้แก่ ความละเอียดของเม็ดปูน และส่วนผสมที่ผสมอยู่ในปูนซีเมนต์ อาทิ ยิปซัม กล่าวคือ ปูนซีเมนต์ที่เม็ดปูนละเอียดจะก่อตัวได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ที่เม็ดปูนหยาบกว่า และปูนซีเมนต์ที่มียิปซัมผสมอยู่มาก ระยะเวลาก่อตัวจะมากกว่าปูนซีเมนต์ที่มียิปซัมผสมอยู่น้อย นอกจากนั้นอุณหภูมิขณะหล่อคอนกรีตและปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตก็มีบทบาทต่อระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ด้วยเช่นกัน การหล่อคอนกรีตขณะอุณหภูมิสูง ซีเมนต์หรือคอนกรีตจะก่อตัวได้เร็วกว่าปกติ เนื่องจากอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ หรือคอนกรีตที่ผสมเปียกจะก่อตัวได้ช้ากว่า คอนกรีตที่ผสมแห้งเป็นต้น

2.2.1.4 กำลัง (Strength)

การทดสอบกำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยทั่วไปจำแนกออกได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ การทดสอบกำลังต้านแรงอัด (Compressive Strength) และการทดสอบกำลังต้านแรงดึง (Tensile Strength) แต่บางแห่งกำหนดให้ตรวจสอบเฉพาะกำลังต้านแรงอัดเท่านั้น สำหรับการทดสอบกำลังสามารถที่จะกระทำได้โดยนำปูนซีเมนต์ที่จะใช้ผสมเข้ากับทรายมาตรฐานและใส่น้ำในสัดส่วนที่กำหนดเทลงแบบมาตรฐาน แล้วบ่มตามมาตรฐานที่กำหนดด้วยเช่นกัน เมื่อครบ 1 วัน 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน แล้วนำไปอัดหรือดึงด้วยเครื่องทดสอบ ด้วยการเพิ่มแรงขึ้นทีละน้อยจนกระทั่งถึงแรงสูงสุดที่แท่งคอนกรีตตัวอย่างนั้นจะทนได้ การทดสอบจะต้องกระทำหลายๆ ตัวอย่างแล้วหาค่าเฉลี่ย ค่าที่ได้จะต้องไม่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

2.2.1.5 ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (Heat of Hydration)

ความร้อนที่เกิดขึ้นนี้นับว่ามีความสำคัญต่อการหล่อคอนกรีตเป็นอย่างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่และหนามากๆ อาทิ เขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น เพราะการนำความร้อนออกจากคอนกรีตกระทำได้ยาก เนื่องจากคอนกรีตหล่อที่มีความหนามาก ทำให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวถ่ายเทออกได้ช้าจึงทำให้เนื้อคอนกรีตมีอุณหภูมิสูง และเกิดการขยายตัวขณะที่

คอนกรีตกำลังแข็งตัว ดังนั้น เมื่อกระทบกับความเย็นที่อยู่โดยรอบก็จะเกิดการหดตัวอย่างทันทีทันใด ทำให้เกิดการแตกร้าวและเสียกำลังไปในที่สุด

2.2.1.6 การก่อตัวผิดปกติ (False Set)

การก่อตัวผิดปกติของปูนซีเมนต์ หมายความว่า เมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเป็นปูนซีเมนต์เพสต์และได้ความข้นเหลว (Consistency) ตามมาตรฐานแล้ว จะแข็งตัวเร็วกว่าปกติโดยไม่เกิดความร้อนมาก การก่อตัวแบบนี้ จะไม่ทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไป แต่ถ้าหากการก่อตัวแบบนี้เป็นมาก ก็จะทำให้ต้องใช้น้ำในการผสมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น จึงจะสามารถทำให้ความข้นเหลวเท่าเดิมได้ ซึ่งการใช้น้ำมากขึ้น ก็จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลงและจะมีการหดตัวเมื่อแห้ง (Dry Shrinkage) เพิ่มมากขึ้น เป็นผลทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว

สาเหตุของการก่อตัวผิดปกติ ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการบดเม็ดปูนในขณะที่อุณหภูมิสูงหรือเก็บปูนซีเมนต์ไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูงๆ การแก้ไขสามารถที่จะทำได้โดยการใช้สารหน่วงการก่อตัว หรือทำให้ส่วนผสมเกิดความเหลวลื่น (Plastic) ด้วยการดำเนินการผสมต่อไป

2.2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จำแนกออกตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (American Society for Testing Materials, ASTM) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ด้วยกันดังนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รหัส ซี-150 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุงและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รหัส ซี-150 (C-150 Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปมากที่สุดในปัจจุบันจำแนกออกได้เป็น 5 ประเภทย่อยๆด้วยกัน คือ

ก) ประเภทที่หนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา (Type I-normal Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐาน เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วๆไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษนอกเหนือไปกว่าธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก อาทิ งานก่อสร้างคานคอนกรีต ทางเท้า ถนน อาคาร สะพาน ถังน้ำ บ่อน้ำ ท่อระบายน้ำ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับซัลเฟตจากดินหรือน้ำ หรือใช้ในที่ซึ่งความร้อนอันเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะไม่เป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงขีดอันตราย

ข) ประเภทที่สอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบดัดแปลง (Type II Modified Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทดัดแปลง เพื่อให้มีความต้านทานต่อซัลเฟตได้ระดับปานกลาง ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะต่ำกว่าและเพิ่มได้ช้ากว่าประเภทแรก จึงสามารถช่วยลดอุณหภูมิของคอนกรีตในอากาศร้อนได้เป็นอย่างดี

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิ ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อน หรือกำแพงกันดินในบริเวณที่โดนน้ำเค็มเป็นครั้งคราว

ค) ประเภทที่สาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบเกิดแรงสูงเร็ว (Type III high-early Strength Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เนื้อปูนจะบดละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แบบธรรมดา เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรงได้เร็วกว่าแบบธรรมดา แต่จะต้องบ่มให้ดี โดยปกติจะสามารถรับแรงได้เมื่อคอนกรีตมีอายุประมาณ 1 ถึง 3 วัน จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องทำแข่งกับเวลา หรือกรณีที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ นอกจากนี้ยังนิยมนำไปใช้กับงานที่จำเป็นต้องทำในช่วงอากาศหนาวเย็น เนื่องจากคอนกรีตจะแข็งตัวก่อนที่น้ำซึ่งใช้ผสมจะแข็งตัวเสียก่อน

ง) ประเภทที่สี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบเกิดความร้อนต่ำ (Type IV low-heat Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนที่เหมาะกับงานซึ่งต้องควบคุมทั้งปริมาณและอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมนำไปใช้กับงานคอนกรีตซึ่งเป็นงานขนาดใหญ่ อาทิ เขื่อนกั้นน้ำซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ถ้ามากเกินไปจะเป็นอันตรายอย่างใหญ่หลวงกับตัวเขื่อนเนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกร้าวได้

จ) ประเภทที่ห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบต้านซัลเฟตสูง (Type V sulfate-resistancer Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จัดเป็นปูนที่มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อซัลเฟตได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่มีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง เช่น ในบริเวณดินหรือน้ำที่มีความเป็นด่างสูง ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่าประเภทอื่นๆ จึงนิยมนำไปใช้กับการก่อสร้างโครงสร้าง และอาคารที่อยู่ชายทะเล หรืออยู่ในทะเล

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กักอากาศ (Air-entraining Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันรหัส ซี -175 เป็นปูนซีเมนต์ในประเภท IA IIA และ IIIA ปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีคุณสมบัติหลักเหมือนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท I II และ III รหัส ซี – 150 ตามลำดับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการกักอากาศปริมาณเล็กน้อยจะถูกเติมเข้าไป และบดร่วมกับปูนเม็ดในระหว่างการผลิต เหมาะกับงานคอนกรีตในบริเวณที่มีอากาศหนาวจัดหรือมีหิมะ และมีผลต่อการใช้ประโยชน์จากเกลือในการขจัดหิมะและน้ำแข็ง คอนกรีตที่ทำจากซีเมนต์ประเภทนี้จะมีฟองอากาศขนาดเล็กที่แยกตัวออกจากกันอย่างสมบูรณ์ กระจายกันอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วแท่งคอนกรีตประมาณ 2-8 เปอร์เซ็นต์

3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland blast-furnance Slag Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันรหัส ซี -205 จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภท IS อันได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุง (Portland blast-furnance Slag Cement) และประเภท ISA อันได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เตาถลุงกักอากาศ (Air-entraning Portland blast-furnance Slag Cement) ได้จากตะกรันเตาถลุงที่ได้รับ

การคัดเลือกคุณภาพจะถูกบดร่วมกับปูนเม็ดในระหว่างการผลิต เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการน้ำหนักและปริมาตรมากกว่าความแข็งแรง

4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolan Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ ผลิตขึ้นตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกันรหัส ซี -340 จำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภท IP อันได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolan Cement) และประเภท IPA อันได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานกักอากาศ (Air-entraining Portland Pozzolan Cement) ปูนซีเมนต์ด์ประเภทนี้ได้จากการนำเอาปอซโซลาน (Pozzolan) ซึ่งเป็นเถ้าภูเขาไฟที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือที่ทำเทียมขึ้น บดผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้กับงานโครงสร้างใต้น้ำ ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม อาทิ งานสะพาน เขื่อน หรือท่าเทียบเรือ เนื่องจากสามารถทนต่อการกัดกร่อนของคลอไรด์และซัลเฟตได้ดีพอสมควร

นอกจากปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ก็ยังมีปูนซีเมนต์อีกหลายประเภทซึ่งถูกนำมาใช้กับงานพิเศษต่างๆ แต่ละประเภทก็มีส่วนผสมตลอดจนวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แตกต่างกันออกไป เพื่อที่จะให้มีคุณสมบัติตามความต้องการ ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะ ปูนซีเมนต์ผสม ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน ปูนซีเมนต์ขาว และปูนซีเมนต์ผสมเสร็จ ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์อีกประเภทหนึ่งที่ถูกผลิตขึ้นในประเทศไทย

5. ปูนซีเมนต์ผสม (Mix Cement)

ปูนซีเมนต์ผสมหรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Silica Cement) ได้จากการนำเอาทรายหรือหินปูนบดละเอียด ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดาในอัตราประมาณ 25 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีปริมาณมากขึ้นและราคาถูกลง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีคุณภาพค่อนข้างต่ำจึงเหมาะกับงานที่ไม่สำคัญและงานที่ไม่ต้องรับแรงมากนัก อาทิ งานคอนกรีตเทพื้นบนดินถมอัด ซึ่งมิได้มีการถ่ายเทน้ำหนักจากพื้นไปสู่โครงสร้างส่วนอื่นๆ กระเบื้องมุงหลังคา โอ่ง ท่อระบายน้ำ หรือถังส้วม เป็นต้น และเนื่องจากมีคุณสมบัติแข็งตัวช้าและไม่ยืดหดตัวมากนัก จึงนิยมนำไปใช้กับงานปูนก่อ ปูนฉาบ และปูนตกแต่งทั่วไป เนื่องจากสามารถลดการแตกร้าวของผิวลงได้

6. ปูนซีเมนต์บ่อน้ำมัน (Oil Well Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดหนึ่ง ซึ่งแตกต่างไปจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบบธรรมดาตรงที่ก่อตัวช้ามากในอุณหภูมิที่สูงๆ เช่น ที่เกิดขึ้นตามบ่อลึกๆ นอกจากนั้นยังสามารถทนต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟตได้ดี สามารถใช้งานได้ภายใต้ความกดดันสูง

7. ปูนซีเมนต์ขาว (White Cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เป็นปูนซีเมนที่นิยมใช้กับงานตกแต่งและงานทางสถาปัตยกรรมที่ต้องการความสวยงาม

8. ปูนซีเมนต์ผสมเสร็จ (Ready-mixed Cement)

ปัจจุบันมีการผลิตปูนซีเมนต์ผสมเสร็จออกจำหน่าย เพื่องานก่อ-ฉาบ เทปรับพื้น เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับมวลรวมในสัดส่วนที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานแต่ละประเภท ปูนซีเมนต์ประเภทนี้สามารถนำมาผสมน้ำตามสัดส่วนที่กำหนดจากบริษัทผู้ผลิต

ก็สามารถนำไปใช้งานได้เลย จึงทำให้สะดวกต่อการทำงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานซ่อมที่มีไม่มากนัก นอกจากนั้นยังทำให้เกิดความประหยัดอีกด้วย (ประณต, 2553)

2.3 ทราย

พิภพ (2555) ได้กล่าวถึง ทรายเป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ประเภทมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) เพื่อความแข็งแรง และเป็นตัวแทรกของคอนกรีต นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมสำคัญของมอร์ต้า (Mortar) ที่นำมาใช้ก่อ และฉาบด้วย ทรายเป็นหินแข็งซึ่งแตกแยกออกมาจากหินก้อนใหญ่ หรือจะเรียกว่าเป็นหินเม็ดเล็กก็ได้ มันเกิดการแยกตัวขึ้นได้เองตามธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยมีทรายเพียงพอสำหรับความต้องการใช้งาน ปัจจุบันมีเรือขุดหรือเรือดูดจากลำน้ำ นำทรายขึ้นมาได้รวดเร็วและเป็นจำนวนมาก

ทรายมีขนาดไม่โตกว่า $\frac{1}{12}$ นิ้ว และไม่เล็กกว่า $\frac{1}{400}$ นิ้ว สำหรับมาตรฐานทั่วไป ถ้าเล็กกว่านี้ไปอีกทรายจะกลายสภาพเป็นฝุ่น เมื่อผสมกับน้ำคล้ายดินโคลนมากที่สุด ไม่นิยมเอาทรายที่เล็กมาผสมคอนกรีต เพราะอาจทำให้คอนกรีตเป็นรอยร้าวแตกได้ง่าย เมื่อเกิดการหดตัวขึ้นในเมื่ออุณหภูมิของอากาศเปลี่ยนแปลงหรือคอนกรีตก่อตัว (Set)

2.3.1 แหล่งที่มาของทราย

ทรายธรรมดามีที่เกิดอยู่ 2 ลักษณะดังนี้

1. ทรายบกหรือทรายบ่อ (Pit Sand or Bank Sand) สภาพภูมิอากาศจะทำให้เกิดการแตกแยกเสียหายชำรุดของหินทราย (Sand Stone) จะฝังอยู่ใต้พื้นดินเป็นแห่งๆ มักนิยมใช้เพราะทรายชนิดนี้มีแง่เหลี่ยมมุมแข็งแรงดี เม็ดทรายไม่กลมมนเรียบนัก ทำให้เหมาะสมมากในการที่จะแทรกตัวและทำให้ช่องว่าง (Voids) ของคอนกรีตลดลงจะได้คอนกรีตที่ดี แต่ทรายชนิดนี้มักจะมีดิน พืช ซากสัตว์ปนอยู่ด้วยเสมอ ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรจะยอมให้ผสมกับทรายน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย ฉะนั้นเมื่อจะนำมาใช้ต้องนำทรายมาล้างหรือแยกให้สะอาด ซึ่งเป็นการเปลืองค่าแรง ค่าขนส่งและเวลามาก ถึงแม้จะลำบากถ้าเป็นการก่อสร้างในบริเวณที่มีทรายดังกล่าว ก็ควรจะต้องใช้และใช้ได้ผลดีมาแล้ว ทรายที่เกิดขึ้นเองตามทะเลทรายก็นับว่าเป็นทรายบก สาเหตุอันเกิดของทะเลทรายอันเต็มไปด้วยทรายซึ่งจากการผันแปรทางภูมิศาสตร์ทำให้ทรายคงรูปร่างอย่างเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตมากที่สุด

2. ทรายแม่น้ำ (River Sand) ทรายชนิดนี้จะมีอยู่ทั่วไปตามในแถบที่ราบลุ่มตามท้องแม่น้ำ ลำคลองเก่า ทะเล สันดอน ทรายชนิดนี้ถูกพบจากปรากฏการณ์ของธรรมชาติพัด หรือนำมาจากที่อื่นรวมกันอยู่เป็นทรายที่สะอาด ด้วยเหตุที่น้ำได้พัดพาทรายมาจากที่หนึ่ง ระหว่างที่พามานั้นก็ทำความสะอาด ผงโคลน เศษวัตถุอื่นก็ตกลงตามทาง พบว่าทรายที่ได้จากแม่น้ำ สะอาดพอที่จะนำมาใช้กับงานก่อสร้างได้ทันที

ส่วนข้อเสียที่เกิดจากการพามากับน้ำนี้ก็คือ อาจทำให้เม็ดทรายกระทบกันทำให้เม็ดแตกแยก ถูกน้ำซัดกลิ้ง เสียดสีกัน จนกระทั่งเป็นทรายที่มีลักษณะกลมเกลี้ยง ส่วนมากปราศจากเหลี่ยมคมสำหรับยึดเกาะทำให้การประสานกันกับส่วนผสมอื่นของคอนกรีตไม่ดีนัก สู้ทรายบกไม่ได้ ฉะนั้นการพิจารณาในการนำมาใช้กับงานต้องคำนึงถึงผลสำเร็จอันบังเกิดแก่งานในด้านต่างๆด้วย

2.3.2 เหตุผลที่นำทรายมาเป็นส่วนผสมคอนกรีต

1. ทรายเป็นหินแข็งเม็ดเล็ก ซึ่งสามารถแทรกตัวเข้าไปในส่วนผสมต่างๆได้ โดยการเคลือบคลุมและยึดประสานด้วยซีเมนต์ ซึ่งหินจะไม่สามารถแทรกเข้าไปในช่องว่างเล็กๆ ถ้าขาดทรายช่องว่างจะเกิดขึ้นเป็นเหตุให้ความแข็งแรง การยึดเหนี่ยวต่ำลง เพราะตามธรรมดาหินมีช่องว่างอยู่ประมาณ 40-50 % ของสิ่งที่ของบรรจุนั้น จึงต้องอาศัยทรายเป็นวัสดุแทรกตัวลงไปตามช่องว่างต่างๆ และยึดเกาะด้วยปูนซีเมนต์ เป็นคอนกรีตที่แน่นและแข็งแรงเต็มที่ได้ ต้องมีการกระทุ้งหรือเขย่าให้มีฟองอากาศขังตัวอยู่ได้น้อยที่สุดหรือผสมด้วยตัวเดิม ให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากขึ้น

2. ทรายต้านทานการยืดหดได้ดี เป็นเครื่องช่วยผ่อนคลายการแตกร้าวหรือรอยปริอันเกิดจากการที่คอนกรีตขยายตัวหรือหดตัวตามผิว ในเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเป็นร้อนหรือเย็นก็ตาม ทรายเป็นเม็ดเล็กช่วยถ่ายเทความร้อน และเฉลี่ยแรงยืดหดที่ได้รับบรรทุกจากน้ำหนักต่างๆนั้นอย่างรวดเร็ว จึงสามารถช่วยต้านทานอยู่ได้

3. ทรายจะทำให้เกิดช่องเล็กๆ ขึ้นได้ภายในเนื้อคอนกรีต ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปช่วยให้การแข็งตัวของปูนซีเมนต์ได้เร็วยิ่งขึ้น

4. เหลี่ยมคมของทราย ทำให้วัตถุที่เป็นกำลังของคอนกรีตยึดตัวกันกับปูนซีเมนต์ได้ดี

5. ช่วยเพิ่มปริมาณของส่วนผสม ซึ่งทรายมีราคาถูกกว่าวัตถุชนิดอื่น ทั้งยังหาง่ายและแข็งแรงดี นอกจากนั้นยังให้โอกาสการจับยึดจากปูนซีเมนต์ได้ดีที่สุดด้วย

2.3.3 การนำทรายมาใช้

ในวงการก่อสร้างทั่วๆไป นิยมใช้ทรายกันอย่างแพร่หลายมี 3 ชนิด ซึ่งเป็นทรายแม่น้ำดังนี้

1. ทรายหยาบ ที่เรียกว่า “ทรายราชบุรี” เป็นทรายเม็ดใหญ่ มีเหลี่ยมแง่มุม และแข็งแรงดีมากเหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ที่ต้องการต้านทานกำลัง เช่น โครงสร้างของอาคารที่เป็นคอนกรีตเสริม หล่อฐานราก เทพื้นคอนกรีต ตั้งแท่นรองเครื่องยนต์และเครื่องจักร หล่อตอม่ออาคาร เทเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น ทรายชนิดนี้มักจะปนด้วยเปลือกหอย และเศษก้อนเล็กๆ เสมอ เวลาใช้ต้องมีการร่อนโดยผ่านลวดตาข่าย $\frac{1}{2}$ นิ้ว ซ้อน 2 ชั้นสลับตากัน เรียกว่า การสาดทรายผ่านตะแกรงหรือการร่อนทราย

2. ทรายกลาง ที่เรียกว่า “ทรายอ่างทอง” เป็นทรายที่มีขนาดปานกลางไม่หยาบและละเอียดนักเป็นขนาดที่พอเหมาะสำหรับงานปูนทั่วไป อาทิเช่น นำมาใช้เป็นส่วนผสมของปูนก่อ (Mortar) สำหรับก่ออิฐและวัตถุแท่งอื่นๆ หรือจะใช้เทพื้นคอนกรีตที่ไม่ต้องรับกำลังมากนัก เช่น พื้นบ้านหรือทางเท้า เป็นต้น ทรายชนิดนี้มักมีใบไม้แห้ง เปลือกไม้ติดมาด้วยเสมอ ก่อนใช้ควรต้องทำการร่อนด้วยตะแกรงลวดตาข่ายชนิดตาเล็กเช่นเดียวกัน

3. ทรายละเอียด ที่เรียกว่า “ทรายอยุธยา” เป็นทรายเม็ดเล็กมากนำมาใช้งานที่ไม่ต้องรับกำลัง เหมาะมากทีเดียวที่จะนำมาใช้เป็นปูนฉาบผิวหน้าของกำแพงอิฐ เพราะจะทำให้ผิวหน้านั้นเรียบ ใช้ทำบัวประกอบลวดลาย ขึ้นงานฝีมือ ปั้นปูนได้ตามต้องการ ก่อนนำมาใช้ก็ต้องร่อนเสียก่อน

โดยใช้ตะแกรงละเอียด ถ้าเป็นการใช้กับปูนฉาบทำบัว หรือลวดลายต่างๆ ควรใช้ตะแกรงร่อนชนิดละเอียดมากๆ ที่ใช้ร่อนแป้งทำขนมทำให้ทรายละเอียดดี

2.4 ผงอลูมิเนียม (Aluminium Powder)

กมลศิษฏ์ (2551) ได้กล่าวว่า แร่อลูมิเนียมเป็นที่รู้จักและนิยมนำไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มานานแล้ว ซึ่งเป็นการแปรรูปและนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมหนักโดยส่วนใหญ่ แต่ในหลายปีมานี้ได้มีการพัฒนาการใช้งานหรือแปรรูปอลูมิเนียมในระดับที่มีขนาดเทียบเท่าอนุภาค (ผงอลูมิเนียม) โดยสามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1. อะตอมไมซ์อลูมิเนียม (Atomised Aluminium Powder)
2. อลูมิเนียมเฟลค (Aluminium Flake)
3. อลูมิเนียมเพสต์ (Aluminium Paste)

ผงอลูมิเนียมมีสมบัติทางเคมีและกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผงอลูมิเนียม

คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ	
1. สูตรโมเลกุล	Al
2. น้ำหนักโมเลกุล	26.98
3. สถานะ	ของแข็ง
4. สี	เงิน
5. กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
6. ความถ่วงจำเพาะ (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)	2.70
7. ความสามารถในการละลาย (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)	ไม่ละลาย
8. จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	660
9. จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	2467
10. อุณหภูมิติดไฟ (องศาเซลเซียส)	ประมาณ 400

2.4.1 การใช้ประโยชน์

1. ใช้ในการผลิตให้มีฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีตเบา เนื่องจากว่าเมื่อผงอลูมิเนียมทำปฏิกิริยาร่วมกับน้ำจะผลิตก๊าซไฮโดรเจน ทำให้เกิดรูพรุน (ฟองอากาศ) ภายในเนื้อของคอนกรีต และจะส่งผลให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา
2. ใช้ในการทำระเบิด
3. ใช้ทำหมึกพิมพ์

2.4.2 การเก็บรักษา

1. สภาวะสำหรับการเก็บ ต้องปิดให้สนิทและเก็บในที่แห้งและเย็นหรือเก็บภายใต้ไนโตรเจนและเก็บให้ห่างจากแหล่งกำเนิดประกายไฟ

2. สิ่งที่ต้องมีเป็นพิเศษ คือเก็บภายใต้ก๊าซเฉื่อย

2.5 ปูนขาว

ปูนขาวเป็นสารที่ได้จากการขุดแคลเซียมคาร์บอเนตจากพื้นดิน มาเข้าสู่กระบวนการผลิตให้เป็นปูนขาว โดยการนำเอาหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) มาเผาให้เป็นออกไซด์ เมื่อเย็นลงแล้วพรมน้ำให้ชุ่ม ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้แตกออกกลายเป็นผงละเอียด ปูนขาวมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 95-96 โดยมีปฏิกิริยาดังนี้

แคลเซียมคาร์บอเนต (หินปูน) $\xrightarrow{\text{เผา}}$ แคลเซียมออกไซด์ (ปูนขาว)+คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

$$CaCO_3\ (s) \xrightarrow{\triangle} CaO\ (s) + CO_2\ (g)$$

เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมในทางเคมี และใช้ในการเกษตรเป็นปุ๋ย (ดุษฎี, 2548 อ้างจาก ทัศนีย์, 2533)

2.6 ยิปซัม

มยุรี (2552) ได้กล่าวว่า ยิปซัม (Gypsum) หรือแก้วแกลบหรือเกลือจืด คือ แคลเซียมซัลเฟต ซึ่งมีน้ำรวมอยู่ด้วย (Natural Hydrated Sulphate of Calcium) มีสูตรเคมีว่า $CaSO_4.2H_2O$ ประกอบด้วยซัลเฟอร์ไทรออกไซด์ (SO_3) ร้อยละ 46.5 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 32.6 และมีน้ำ (H_2O) ร้อยละ 20.9 คุณสมบัติทางกายภาพของยิปซัม มีความแข็ง 1.5-2.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.35 ดัชนีหักเหของแสง 1.53 ยิปซัมที่พบมีหลายรูปแบบ แต่โดยทั่วไปเป็นรูปแบบเฉพาะตัวที่รู้จักกันเรียกว่า ซีลีไนต์ (Selenite) เป็นยิปซัมที่มีรูปเป็นผลึกใส ส่วนยิปซัมที่มีลักษณะเป็นก้อนและมีลายเรียกว่า อะลาบาสเตอร์ (Alabaster) และยิปซัมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย โดยจะเรียกว่า ซาตินสปาร์ (Satin Spar) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ยิปซัมที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมักจะเกิดในรูปแบบของหินยิปซัม (Rock Gypsum) และยิปไซต์ (Gypsite) ซึ่งประกอบด้วยยิปซัมที่สลายตัวเป็นดิน

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของยิปซัมชนิดต่างๆ

(ก) Selenite

(ข) Alabaster

(ค) Satin Spar

ที่มา : ซีไพรัตน์ดอทไตรพอทดอทคอม, ม.ป.ป.

2.6.1 แหล่งแร่ยิปซัม

แหล่งแร่ยิปซัมในประเทศไทยมักเกิดร่วมกับแอนไฮไดรต์ มีแหล่งแร่อยู่ตามภาคต่างๆ ดังนี้

ภาคกลาง แหล่งยิปซัมอยู่บริเวณอำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร และอำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ เป็นแหล่งยิปซัมที่มักจะเกิดแทรกสลับอยู่กับหินปูนชนิด Wacke Stone เป็นยิปซัมชนิดอะลาบาสเตอร์ (Alabaster)

ภาคใต้ แหล่งยิปซัมอยู่บริเวณอำเภอบ้านนาสาร และอำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ยิปซัมที่พบเป็นแบบอะลาบาสเตอร์ (Alabaster)เนื้อแน่นเกิดสลับอยู่กับชั้นแร่แอนไฮไดรต์มีสีขาวถึงเทาเข้มมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 90-98 และแหล่งแร่ยิปซัมบริเวณอำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งอยู่ถัดมาทางตอนใต้ในโซนเดียวกับแหล่งยิปซัมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งยิปซัมจะอยู่บริเวณอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย เป็นยิปซัมชนิดอะลาบาสเตอร์ (Alabaster) ยิปซัมในแหล่งนี้เกิดสลับอยู่กับชั้นแร่แอนไฮไดรต์ที่แทรกตัวอยู่ในชั้นหินปูนและหินดินดาน

2.6.2 การใช้ประโยชน์

ในระยะแรกยิปซัมจะถูกนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ต่อมาการนำยิปซัมไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆมีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น เช่น แผ่นยิปซัมบอร์ด ปูนปลาสเตอร์ คอนกรีตมวลเบา และการเกษตร ปริมาณการใช้ยิปซัมในอุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศมีประมาณ 1.5-2.5 ล้านตันต่อปี มูลค่าประมาณ 0.7-1.5 ล้านบาทต่อปี โดยเป็นการใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 65 แผ่นยิปซัมบอร์ดประมาณร้อยละ 26 ปูนปลาสเตอร์ประมาณร้อยละ 5 ที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 4 ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา ปัจจุบันมีปริมาณการนำไปใช้เป็นวัสดุในอุตสาหกรรมการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นและได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้ใช้

2.7 ขี้เลื่อย

ผงไม้หรือขี้เลื่อย (wood Flour) ผงไม้ส่วนใหญ่ได้มาจากไม้เนื้ออ่อนพวกตระกูลสน ผงขี้เลื่อยเศษไม้ มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง ขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 40-80 สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อหรือสารเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติกได้ โดยมีข้อดีคือ ช่วยลดการหดตัว เพิ่มโมดูลัสและเพิ่มความแข็งให้ผลิตภัณฑ์ แต่มีข้อเสียคือ ทำให้กระบวนการขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น ไม่สามารถขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส เสถียรภาพทางความร้อน ความทนทานต่อสภาพอากาศ และความสามารถในการรับแรงกระแทก (ณรงฤทธิ์ และคณะ, 2548)

ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะของขี้เลื่อย
ที่มา : เจอาฟาร์มหนึ่งศูนย์แปดดอทคอม, 2554.

2.8 ผักตบชวา

2.8.1 ลักษณะของผักตบชวา

ผักตบชวา (Water Hyacinth) เป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่บนผิวน้ำจัดเป็นพืชประเภทลอยน้ำ (Floating Plant) โดยปกติรากจะไม่ยึดติดกับพื้นดินจึงถูกกระแสลมหรือน้ำพัดพาไปได้ไกลๆ แต่ถ้าน้ำตื้นแล้วรากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะทรงต้นประกอบด้วยกลุ่มใบเรียงกันเป็นกระจุกในต้นๆ หนึ่งจะมีใบตั้งแต่สองใบขึ้นไปที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (Sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบางๆสีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณของกาบใบเป็นสีน้ำตาลแกมม่วง จะเชื่อมติดต่อกันโดยมีไหล (Stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้นต้นหนึ่งๆ ของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้ว ก็จะเจริญ ขึ้นเป็นต้นใหม่ แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดเป็นกอขึ้นพร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น รากของผักตบชวาเป็นรากแบบฝอย (Fibrous Root) คือมีรากย่อยๆเป็นกระจุกรากที่แทงออกจะมีลักษณะอวบขาว เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อนที่มีสีน้ำตาลอ่อน

ใบเป็นใบแบบใบเดี่ยว (Simple Leaf) มักจะประกอบไปด้วยแผ่นใบ (Blade) และก้านใบ (Petiole) แผ่นใบมีลักษณะคล้ายรูปไตหรือคล้ายรูปหัวใจ มักมีความกว้างมากกว่าความยาวหรือเกือบจะเท่าๆ กัน เมื่อยังอ่อนปลายใบมักจะมน แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นปลายใบจะแหลมมีสีเข้มขึ้น (สุพจน์, 2552)

ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะของผักตบชวา
ที่มา : บัตเตอร์ฟลายโปรดักดอทคอม, 2555.

ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะดอกของผักตบชวา
ที่มา : รักบ้านเกิดดอทคอม, ม.ป.ป.

ผักตบชวาจัดเป็น "เอเลี่ยน สปีชี่ส์" หรือ "ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น" ที่เข้ามาแพร่ระบาดรุกรานจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ในประเทศไทย มีการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วใน 1 เดือน ผักตบชวาเพียง 1 ต้นอาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ต้น ถึงแม้น้ำจะแห้งจนต้นตายแต่เมล็ดของมันก็ยังมีชีวิตต่อไปได้นานถึง 15 ปีและทันทีที่เมล็ดได้รับน้ำที่เพียงพอมันก็จะแตกหน่อเป็นต้นใหม่ต่อไป จนกลายเป็นปัญหาทางน้ำและทวีความรุนแรงจนเป็นปัญหาระดับประเทศ ทำให้รัฐบาลต้องเสียงบประมาณในการกำจัดผักตบชวาจำนวนมาก ซึ่งไม่เพียงแต่ประเทศไทยเท่านั้นอีกกว่า 50 ประเทศทั่ว

โลกก็เจอปัญหาเช่นเดียวกัน จะมีก็แต่ประเทศในแถบยุโรปเท่านั้นที่ปลอดการรบกวน และบริเวณที่ถูกผักตบชวาคุกคามมากที่สุดคือ ทะเลสาบวิกตอเรีย ประเทศไทยเองเริ่มมีการกำจัดผักตบชวามาตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 6 ถึงขนาดมีการออกพระราชบัญญัติสำหรับกำจัดผักตบชวา พ.ศ. 2456 ปัจจุบันมีหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ได้เข้ามาช่วยเหลือในการกำจัด เช่น นำไปผลิตเป็นของใช้ อาหารสัตว์ ทำปุ๋ย ฯลฯ และมีการนำแมลงมวนผักตบจากแหล่งกำเนิดที่ทวีปอเมริกาใต้เข้ามาทดลองปล่อยในประเทศไทยเพื่อควบคุมจำนวนประชากรของผักตบชวา

2.8.2 บทบาทในการกำจัดน้ำเสีย

ผักตบชวาสามารถช่วยในการบำบัดน้ำเสีย โดยการทำหน้าที่กรองน้ำที่ไหลผ่านกอผักตบชวาอย่างช้าๆ ทำให้ของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้นกรองออก นอกจากนั้น ระบบรากที่มีจำนวนมากจะช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียด และจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่รากจะช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่ง รากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำ ทำให้ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียถูกกำจัดไป อย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้น ส่วนมากจะอยู่ในรูปสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน พบว่า ผักตบชวาสามารถดูดไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกันคือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่นๆ คือ ประมาณ 95 % ในขณะที่ไนเตรทไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจน ประมาณ 80 % และ 77 % ตามลำดับ โดยมีสถานที่แรกในประเทศไทยที่ใช้วิธีการบำบัดด้วยวิธีนี้คือ "บึงมักกะสัน" ซึ่งเป็นโครงการบึงมักกะสันอันเนื่องมาจากพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว โดยใช้หลักการบำบัดน้ำเสียตามแนวทฤษฎีในการพัฒนาโดยการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวา (วิกิพีเดียคอทโออาจี, 2556.)

2.8.3 ปัญหาจากผักตบชวา

ปัญหาที่เกิดจากผักตบชวา มีดังนี้

1) ด้านการชลประทาน ผักตบชวาขัดขวางการระบายน้ำของประตูน้ำ ส่วนต่างๆของผักตบชวาที่จมลงในน้ำทำให้แหล่งน้ำเกิดการตื้นเขินเร็วกว่าปกติ การระเหยของน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าพื้นที่ที่ไม่มีผักตบชวาปกคลุม 3-5 เท่า

2) ด้านการผลิตไฟฟ้า การระบาดของผักตบชวาส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้า คือลดปริมาณน้ำในเขื่อนและอายุการใช้งานของเขื่อน เนื่องจากการทับถมกันของผักตบชวาลดปริมาณน้ำสำรองเนื่องจากทำให้เกิดการระเหยเร็วขึ้นมากกว่าปกติ 3-5 เท่า ถ้ามีในปริมาณมากจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ

3) ด้านการเกษตร คือ แย่งน้ำและธาตุอาหารพืชในน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกและรุกล้ำพื้นที่เกษตรกรรม เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ศัตรูพืชและสัตว์นานาชนิดโดยเฉพาะหอยเชอรี่ ขัดขวางการไหลของน้ำทำให้ปริมาณน้ำเข้าสู่พื้นที่เกษตรกรรมไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

4) ด้านการประมง การแพร่ระบาดของผักตบชวาจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง มีผลกระทบต่อสัตว์น้ำเป็นอุปสรรคแก่การเจริญเติบโตของปลา ทำให้แสงสว่างในน้ำลดลงมีผลทำให้ปริมาณอาหารของสัตว์น้ำลดลง พื้นน้ำที่มีผักตบชวาจะมีปลาหรือสัตว์น้ำอาศัยอยู่น้อยกว่าปกติ

5) ด้านการคมนาคมทางน้ำและการระบายน้ำ การคมนาคมทางน้ำมีปัญหาเนื่องจากผักตบชวาติดขัดใบพัดและหางเสือเรือ การแพร่ระบาดของผักตบชวาจะส่งผลกระทบต่อการระบายน้ำในฤดูน้ำหลาก

6) ด้านการสาธารณสุข เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงและพาหะนำโรคต่างๆ ทำให้มีการแพร่ระบาดของยุงเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดความเดือดร้อนต่อชุมชนริมน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

2.9 การบ่มคอนกรีต

เมื่อเทคอนกรีต คอนกรีตจะเริ่มก่อตัวแข็งตามระยะเวลาของชนิดปูนซีเมนต์ที่ใช้ตามความต้องการต่างๆกัน ผิวของคอนกรีตภายนอกจะแข็งตัวเร็วกว่าคอนกรีตที่อยู่ภายในซึ่งการที่อุณหภูมิต่างกันนี้จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวและเสียกำลังได้ ฉะนั้นเราจะต้องชะลอการแข็งตัวของคอนกรีตที่อยู่ที่ผิวหรืออีกนัยหนึ่งป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงกว่าส่วนเนื้อคอนกรีตที่อยู่ภายใน วิธีป้องกันนี้ทำโดยการบ่ม การบ่มตามปกติสำหรับปูนซีเมนต์ซิลิกาหรือที่เรียกว่าปูนซีเมนต์ผสมที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตนั้น หลังเทคอนกรีตแล้วต้องการระยะเวลา 14 วัน จึงจะแข็งตัวดี ฉะนั้นจึงต้องบ่มอยู่ประมาณ 14 วัน (ทวีศักดิ์, 2543)

การบ่มคอนกรีตนั้นจะต้องกระทำในทันทีหลังจากคอนกรีตแข็งตัวหรือหลังจากการตกแต่งผิวหน้าขั้นสุดท้ายสิ้นสุดลง สำหรับวิธีบ่มนั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 วิธีหลัก ดังนี้

1. วิธีเพิ่มความชื้น

วิธีนี้เป็นการให้ความชื้นต่อผิวหน้าของคอนกรีตโดยตรงในระยะแรก ที่คอนกรีตแข็งตัว วิธีเพิ่มความชื้นนี้นอกจากจะเป็นวิธีบ่มที่ดีแล้ว ยังสามารถช่วยลดอุณหภูมิผิวของคอนกรีตลงได้ จึงเหมาะกับคอนกรีตที่เทในอากาศร้อน วิธีเพิ่มความชื้นแบบนี้สามารถที่จะทำได้หลายวิธีด้วยกันคือ การปล่อยน้ำขัง การฉีดพ่นน้ำ และการใช้วัตถุเปียกชื้นคลุม เป็นต้น

2. วิธีป้องกันการเสียความชื้น

วิธีนี้เป็นการป้องกันความชื้นจากผิวคอนกรีตมิให้เล็ดลอดออกสู่ภายนอก การป้องกันความชื้นนี้ ได้แก่ การใช้กระดาษกันน้ำ ผ้าพลาสติก หรือสารเคมี เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม้แบบที่ยังไม่ถอดก็สามารถป้องกันการเสียความชื้นได้เช่นกัน

3. วิธีเร่งกำลัง

วิธีนี้เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ โดยอาศัยความร้อนและความชื้นจากไอน้ำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อให้ได้กำลังของคอนกรีตสูงอย่างรวดเร็วในขณะเดียวกันก็สามารถช่วยลดการหดตัวของคอนกรีตและเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตอีกด้วย

การบ่มด้วยไอน้ำสามารถที่จะกระทำได้ 2 วิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีบ่มด้วยไอน้ำความดันต่ำหรือความดันบรรยากาศและวิธีบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง

สำหรับวิธีบ่มด้วยไอน้ำความดันต่ำหรือความดันบรรยากาศ โดยทั่วไปจะใช้กับโครงสร้างชนิดหล่อกับที่ซึ่งปิดมิดชิดโดยรอบ หรือใช้บ่มผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูปชนิดต่างๆที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก อาทิ บล็อกงานก่อ ท่อ คานอัดแรง พื้นหรือผนังสำเร็จรูปขนาดใหญ่ เป็นต้น

ส่วนวิธีบ่มด้วยไอน้ำความดันสูงซึ่งจะต้องทำการบ่มในตู้บ่มดันไอ (Autoclave) ส่วนใหญ่จะใช้กับผลิตภัณฑ์คอนกรีตขนาดเล็ก อาทิ คอนกรีตบล็อก พื้นสำเร็จรูปขนาดเล็ก เสาเข็ม หรือคานสำเร็จรูปขนาดเล็ก เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากตู้บ่มมีขนาดจำกัด (ปูนซีเมนต์นครหลวง, ม.ป.ป.)

2.10 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของอิฐมวลเบา

ลักษณะเครื่องทั่วไป

กลุ่มงานวิเคราะห์วัสดุก่อสร้าง (2543) ได้กล่าวว่า เครื่องทดสอบ Servo-hydraulic Universal Testing Machine เช่น ทดสอบแรงกด, แรงดัด ชนิดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (PC Control) สามารถอ่านค่า แรงและระยะยืดเป็นแบบดิจิตอล โดยสามารถแสดงผลออกมาในลักษณะกราฟชนิด Real Time โดยในที่นี้ใช้เป็นเครื่องทดสอบทำการทดสอบหาค่ากำลังรับความต้านแรงอัด (Compressive Strength) และจะใช้สำหรับทดสอบค่ากำลังรับแรงดัดระบบไฮดรอลิกของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Cylinder) และรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (Cube)

ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะของเครื่องทดสอบ Servo-hydraulic Universal Testing

2.11 ความต้านแรงอัด

การทดสอบหาความต้านแรงอัด ทำได้โดยการอัดหรือกดแท่งตัวอย่างทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด กดแท่งตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งวิบัติ คำนวณหาค่าความต้านแรงอัด ทั้งนี้การทดสอบหาความต้านแรงอัดสามารถกระทำการทดสอบได้โดยจะไม่ทำให้เกิดความเสียหาย (Nondestructive Test) ซึ่งค่าที่ได้นั้นจากการทดสอบถึงแม้จะไม่ได้เป็นค่าที่แท้จริงแต่ก็ถูกต้องใกล้เคียงสามารถใช้เป็นเครื่องชี้ของกำลังของคอนกรีตได้ (อิทธิพร, 2550)

สำเริง (2551) ได้กล่าวถึง การทดสอบกำลังอัดตามตารางที่ 2.3

สูตรที่ใช้ คือ

จากสูตร $f = P/A$

โดยที่ f = ความต้านแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, กก./ซม^2

P = น้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบรับได้, กก.

A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ, ซม^2

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดในปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

ตัวอย่างก้อนที่	อายุทดสอบ (วัน)	ขนาดกว้าง (cm)	ขนาดยาว (cm)	พื้นที่หน้าตัด (cm^2)	น้ำหนัก (kg)	แรงอัดประลัย (kg)	หน่วยแรงอัดประลัย (kg/cm^2)
1	28	5.12	5.11	26.16	289.5	12000	458.7
2	28	5.20	5.21	27.10	295.8	12250	452.2
3	28	5.12	5.09	26.10	298.5	11850	454.7
หน่วยแรงอัดประลัย (kg/cm^2)							455.2

หมายเหตุ : หากผลการทดสอบก้อนตัวอย่างก้อนใดก้อนหนึ่งมีความแตกต่างจากกลุ่มเกิน ร้อยละ 20 ให้ตัดผลการทดสอบก้อนนั้นๆออก

2.12 อัตราการดูดซึมน้ำ

การดูดซึมน้ำของอิฐ (Absorption) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในอิฐหลังจากนำไปแช่น้ำต่อน้ำหนักอิฐอบแห้ง นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ จึงคูณด้วย 100 เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐ} = \frac{W' - Ws}{Ws} \times 100\ (\%)$$

โดยที่ W' = น้ำหนักของอิฐหลังจากแช่น้ำ (gm)

W_s = น้ำหนักอิฐที่อบแห้ง (gm)

มนัส (2554) ได้กล่าวถึง การดูดซึมน้ำของอิฐสามารถบอกถึงความคงทนของอิฐ การทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐก่อสร้าง ปกติให้แช่อิฐในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การดูดซึมน้ำมากน้อยเท่าใดเป็นเครื่องแสดงคุณภาพของอิฐ เช่น อิฐดีจะต้องดูดน้ำประมาณ 10-17 % ของน้ำหนักของอิฐ แต่สำหรับอิฐเคลือบนั้น ต้องดูดน้ำได้ที่ประมาณ 7 % ของน้ำหนักของอิฐเท่านั้น อิฐที่ผ่านการเผาไม่พอความต้องการจะดูดน้ำประมาณ 20-25 % ของน้ำหนัก แสดงว่ามีความพรุนของเนื้ออิฐมาก สำหรับงานก่อกำแพงอิฐควรนำอิฐนั้นๆมาชุบน้ำให้ชุ่มและอิ่มตัว และทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง ถ้าอิฐชุ่มน้ำมากเกินไปจะทำให้ปูนก่อไหลหลุดลงมาได้การก่อผนังก็ยาก

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คำภี จิตชัยภูมิและชัยชาญ โชติถนอม (2547) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาอิฐบล็อกมวลเบาทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมทรายและเถ้าแกลบบด โดยศึกษาคุณสมบัติของอิฐมวลเบาที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับเถ้าบดแกลบและทราย โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ 0.50 ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน และศึกษาคุณสมบัติอื่นๆ เช่น โมดูลัส การแตกหัก อัตราการดูดกลืนน้ำ อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว และการนำความร้อน จากการศึกษาพบว่าปูนซีเมน : เถ้าแกลบ : น้ำ : ทราย ในอัตราส่วน 544 : 320 : 40 โดยน้ำหนัก มีความเหมาะสมที่จะนำไปทำอิฐบล็อกมวลเบา โดยพิจารณาจากค่ากำลังแรงอัด โดยอายุที่ 28 วัน ซึ่งให้ค่ากำลังแรงอัด 33 กก./ซม^2 โดยมีอัตราการดูดกลืนน้ำ 430 กก./ม.^{2} อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ 0.00289 ความหนาแน่นแห้ง 904 กก./ม.^{2} โมดูลัสการแตกหัก 11.15 กก./ซม^2 และค่านำความร้อน 0.3399 วัตต์/เมตร/เคลวิน

ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว (2554) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้ โดยกำหนดสัดส่วนในการผสมที่ใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งมีสัดส่วนมาตรฐานอิฐมวลเบาดังนี้ ไม่ใส่กระดาษ ใส่ทราย 50 ลิตร ปูนซีเมนต์ 30 ลิตร ยิบซัม 9 ลิตร ปูนขาว 9 ลิตร และผงอลูมิเนียม 2 ลิตร ทดลองจำนวน 5 ครั้ง ดังนี้ ในครั้งที่ 1 ใส่กระดาษ 10 ลิตร ทราย 40 ลิตร ปูนซีเมนต์ ยิบซัม ปูนขาว และผงอลูมิเนียม คงอัตราส่วนเดิมตามมาตรฐานอิฐมวลเบา ในครั้งที่ 2 ใส่กระดาษเพิ่มเป็น 20 ลิตร ลดลงเป็นทราย 30 ลิตร ส่วนผสมอื่นๆคงเดิม ในครั้งที่ 3 ใส่กระดาษ 30 ลิตร ทราย 20 ลิตร และส่วนผสมอื่นๆคงเดิม ครั้งที่ 4 ใส่กระดาษ 40 ลิตร ทราย 10 ลิตร ส่วนผสมอื่นๆคงเดิม และในครั้งที่ 5 ใส่กระดาษ 50 ลิตร โดยไม่ใส่ทรายเป็นส่วนผสม ส่วนผสมอื่นๆคงเดิม ผลที่ได้คือ ได้อิฐมวลเบาตาม

ส่วนผสมที่ทำการผลิตทั้ง 5 แบบ มีขนาดความสูง ความกว้าง และความยาวใกล้เคียงกัน ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้ พบว่า อิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้มีความหนาแน่นของอิฐมวลเบาตามอัตราส่วนน้ำหนัก (กิโลกรัม) กับ ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) นั้นสรุปผลการทดสอบทั้ง 5 แบบ จะพพได้ว่าอัตราส่วนผสมที่ 5 มีจะความหนาแน่นที่ 0.0883 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความต้านแรงตึงกับความลึกของผิวของอิฐมวลเบาโดยเข้าเครื่องกด ลงบนด้านความสูง การกดด้วยแรงสม่ำเสมอทั้ง 5 แบบ ผลการทดสอบในอัตราส่วนผสมที่ 5 ผลการทดสอบแรงกด 1 กิโลกรัม มีความต้านแรงตึงของผิวหน้าเท่ากับ 1.00 มิลลิเมตร และผลการทดสอบแรงกดที่ 3 กิโลกรัม มีความต้านแรงตึงของผิวหน้าเท่ากับ 1.20 มิลลิเมตร

บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา และคณะ (2555) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยของผักตบชวา โดยศึกษาความต้านแรงดัน ความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาโดยมีการใช้เส้นใยของผักตบชวา มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เซลลูโลส (Cellulose) และลิกนิน (Lignin) รวมทั้งมีน้ำหนักเบาจึงได้ทดลองนำเอามาแทนที่ปูนทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 ผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมการแทนที่ทรายในอัตราส่วนที่เหมาะสม มีส่วนช่วยให้ความต้านแรงดัดและความต้านแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ผลการเปรียบเทียบกับทรายที่มีปริมาณอัตราส่วนผสมเท่ากัน และหากเปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 จะพบว่าสัดส่วนผสมแทนที่ทรายร้อยละ 7.5 ผ่านเกณฑ์โดยจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ 4 ชนิด 0.70 และ AAC-WHF มีคุณสมบัติเป็นวัสดุของอาคารสีเขียว

ภานุ คะนอง (2552) ได้ทำการวิจัยเรื่องการเตรียมอิฐบล็อกมวลเบาจากแกลบขัดผิว โดยนำแกลบสดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตอิฐบล็อกมวลเบา โดยการเตรียมแกลบด้วยวิธีการขัดผิวแกลบ โดยจะพบว่าขนบริเวณผิวแกลบจะมีปริมาณลดลงหรือหมดไปและเมื่อนำแกลบไปบำบัดผิวด้วยการแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ผิวแกลบมีความอ่อนนุ่มมากขึ้น และจะทำให้ขนบริเวณผิวแกลบสลายได้ในบางส่วน จากนั้นจึงศึกษาอิทธิพลของชนิดวัสดุผสมและปริมาณแกลบ พบว่าอิฐบล็อกที่ไม่ใส่แกลบจะมีค่ามวลเฉลี่ยและค่าความต้านการอัดเฉลี่ยที่มากที่สุด รองลงมา คืออิฐบล็อกที่ใส่แกลบในปริมาณ 50 % และ 75 % ตามลำดับ ศึกษาอิทธิพลของชนิดแกลบ พบว่าอิฐบล็อก ที่ใส่แกลบขัดผิว จะมีค่าความต้านการอัดเฉลี่ยมากกว่าอิฐบล็อกที่ใส่แกลบไม่ขัดผิว ศึกษาอิทธิพลของเวลาการบ่ม พบว่าอิฐบล็อกที่มีอายุการบ่ม 28 วัน จะมีค่าความต้านการอัดเฉลี่ยที่มากที่สุด เลือกอิฐบล็อกที่แทนที่วัสดุผสมด้วยแกลบขัดผิวในปริมาณ 75 % ซึ่งเป็นแกลบที่บำบัดผิวด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.6 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง มาศึกษาอิทธิพลของการแปรปริมาณปูนซีเมนต์ พบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จาก 15 % เป็น 20 % ทำให้มีค่ามวลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.9 % และค่าความต้านการอัดเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 20 % เมื่อศึกษาอิทธิพลของการผสมน้ำยาประสานคอนกรีต พบว่าอิฐบล็อกที่ผสมด้วยน้ำยาประสานคอนกรีต จะมีค่าความต้านการอัดเฉลี่ยมากกว่าอิฐบล็อกที่ไม่ได้ผสมน้ำยาประสานคอนกรีต เท่ากับ 13.3 % เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของอิฐบล็อกจากแกลบที่เตรียมได้กับอิฐบล็อกที่ไม่ได้ผสมแกลบ จะพบได้ว่าค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยของอิฐบล็อกจากแกลบจะมีค่าเท่ากับ 0.89 g/cm^3 ซึ่งลดลง 55.9 % ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของอิฐบล็อกจากแกลบ มีค่าเท่ากับ

385.53 kg/m^3 ซึ่งเพิ่มขึ้น 78.8 % และมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวเฉลี่ยของอิฐบล็อกจากแกลบ มีค่าเท่ากับ 0.0502 % ซึ่งเพิ่มขึ้น 100.8 % ถึงแม้ว่าอิฐบล็อกที่ผสมแกลบขัดผิวที่ได้ผ่านการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.6 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ที่เตรียมได้จะมีค่าความต้านการอัดเฉลี่ยต่ำกว่าอิฐบล็อกมวลเบาสำหรับงานก่อ (Masonry concrete) ซึ่งมีค่าความต้านการอัดต่ำสุดเท่ากับ 100 kg/cm^2 แต่ยังคงผ่านเกณฑ์มาตรฐานค่าความต้านการอัดต่ำสุดของอิฐบล็อกมวลเบาสำหรับในงานฉนวนความร้อน (Insulating concrete) ซึ่งเท่ากับ 10 kg/cm^2 และค่ามวลต่อปริมาตรที่น้อยกว่า 800 kg/m^3 ตามมาตรฐาน ACI.DESIGNATION : 213 R-87 อิฐบล็อกมวลเบาผสมแกลบนั้น จึงน่าที่จะเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างสำหรับงานฉนวนความร้อนและงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักสูงได้

ยอดชาย สิงห์ทอง และคณะ (2549) ได้ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาผลกระทบของฝุ่นหินแทนที่ปริมาณทรายในอิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศไม่อบไอน้ำ โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณฝุ่นหินต่อคุณสมบัติของมอร์ต้าซีเมนต์และอิฐมวลเบาโดยทดลองที่เปอร์เซ็นต์ของการแทนที่ทรายด้วยฝุ่นหิน 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบความสามารถต้านทานแรงดึง ต้านทานแรงอัด ความต้านทานแรงดัด ระยะเวลาการก่อตัว ความข้นเหลว และความสามารถการดูดซึม โดยผลการทดสอบพบว่า การแทนที่ทรายด้วยฝุ่นหิน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความสามารถต้านทานแรงดึง การต้านทานแรงอัด และความต้านทานแรงดัด มีค่าสูงที่สุดของการแทนที่ทรายด้วยฝุ่นหิน 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบระยะเวลาก่อตัว พบว่าเมื่อปริมาณฝุ่นหินมากขึ้นระยะเวลาการก่อตัวจะลดลง ผลการทดสอบความข้นเหลว พบว่าเมื่อมีปริมาณฝุ่นหินมากขึ้นความข้นเหลวจะลดลง ผลการทดสอบความหนาแน่นพบว่าความหนาแน่นของอิฐมวลเบาอยู่ระหว่าง 0.9-1.1 ซึ่งในการออกแบบนั้นได้กำหนดให้ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.0 ผลการทดสอบความสามารถการดูดซึม พบว่าความสามารถในการดูดซึมอยู่ระหว่าง 26-33 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาในเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อจะศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวามาทดแทนทรายโดยรวบรวมข้อมูลในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับ อิฐมวลเบา ปูนซีเมนต์ ทราย ผงอลูมิเนียม ปูนขาว ยิปซัม ขี้เลื่อย ผักตบชวา การบ่มคอนกรีต เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของอิฐมวลเบา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนำมาศึกษาผนวกกับการตรวจวิเคราะห์สมบัติเชิงกลจากค่าความต้านทานแรงอัด และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำ อันเป็นนัยสำคัญของการศึกษา

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
3.2.2 ทรายละเอียด
3.2.3 อลูมิเนียม
3.2.4 ปูนขาว
3.2.5 ยิปซั่ม
3.2.6 ขี้เลื่อย
3.2.7 ผักตบชวา
3.2.8 กระบะผสมปูน
3.2.9 จอบ
3.2.10 เครื่องชั่ง
3.2.11 แบบหล่ออิฐ

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

3.3.1 ขั้นเตรียมการ

3.3.1.1 ศึกษาความเป็นไปได้และรวบรวมความคิดของเรื่องที่จะทำการศึกษา โดยการค้นคว้าหาข้อมูลจาก หนังสือ เอกสาร อินเทอร์เน็ต ตลอดจนปรึกษาสอบถามกับบุคคลต่างๆที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและเอกชน

3.3.1.2 เขียนแนวคิด ตั้งกรอบแนวคิด ตามแผนภูมิที่ 1.1, 1.2, และ 1.3 ซึ่งในการเขียนแสดงแนวคิดดังกล่าวเป็นการช่วยนำทางสู่การศึกษาในขั้นต่อๆไปได้ชัดเจนขึ้น

3.3.1.3 ตั้งกรอบการศึกษาซึ่งอยู่ในขอบเขตของกรอบแนวคิด

3.3.1.4 กำหนดพื้นที่เพื่อทำการทดลองผลิตอิฐมวลเบาในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ตั้งอยู่ที่เลขที่ 4 ซอยสถิตยุทธการ 4 ถนนสนามบินน้ำ ตำบลท่าทราย อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี และสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.3.2 ขั้นเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

ก). อิฐมวลเบา

ข). ปูนซีเมนต์

ค). ทรายละเอียด

ง). ผงอลูมิเนียม

จ). ปูนขาว

ฉ). ยิปซัม

ช). ขี้เลื่อย

ซ). ผักตบชวา

ฌ). การบ่มคอนกรีต

ญ). เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

ฎ). ความต้านแรงอัด

ฏ). อัตราการดูดซึมน้ำ

ฐ). งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3.2.2 ข้อมูลภาคสนาม

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา ขนาด 200x600x75 มิลลิเมตร

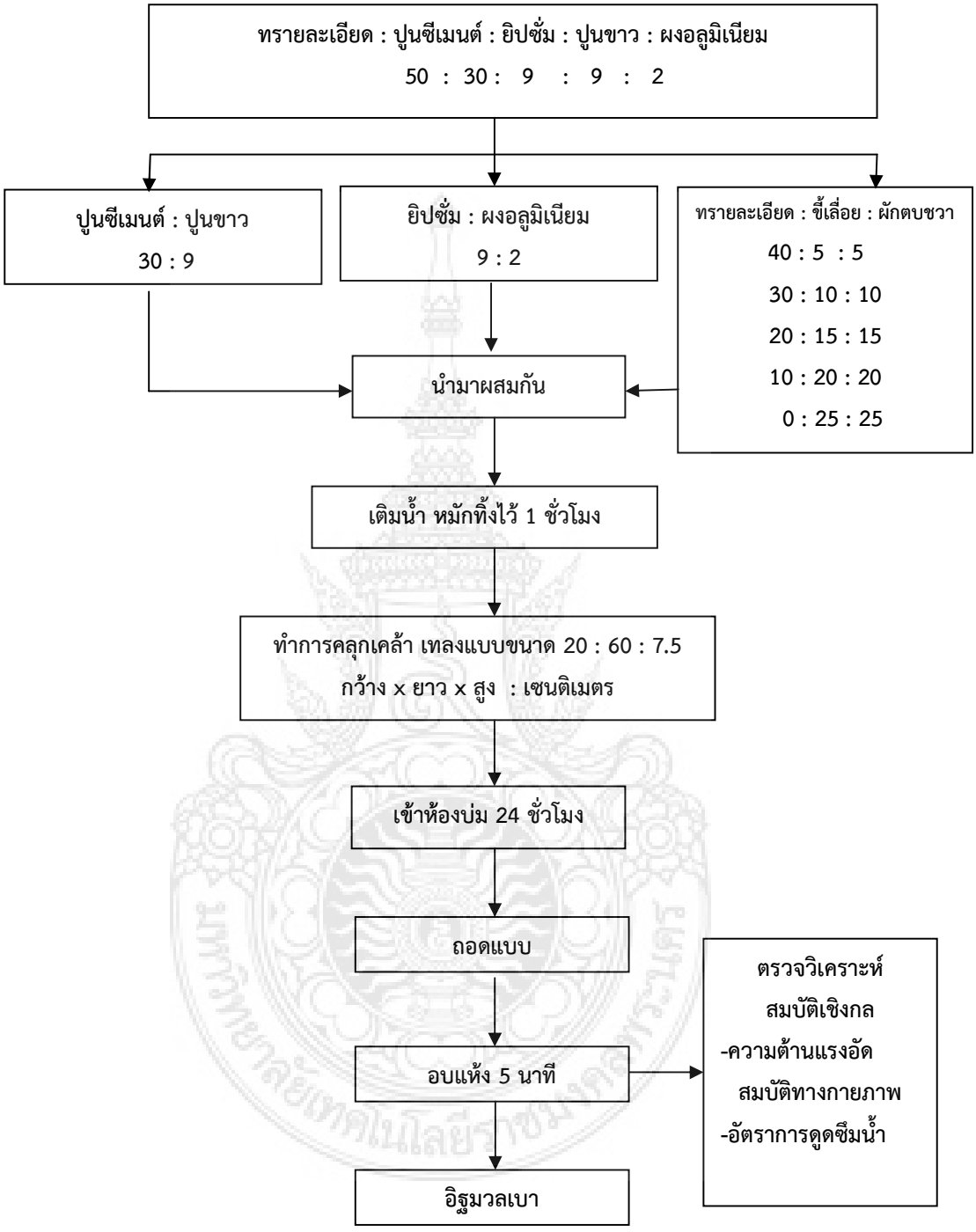
3.3.3 การทดลองสมบัติของอิฐมวลเบา

3.3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองคือ เครื่องทดสอบ Servo-hydraulic Universal Testing Machine

3.3.3.2 ทดสอบสมบัติเชิงกล ความต้านแรงอัด

3.3.3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ อัตราการดูดซึมน้ำ

3.3.3.4 บันทึกผลการตรวจวิเคราะห์สมบัติเชิงกล ความต้านแรงอัด และสมบัติทางกายภาพอัตราการดูดซึมน้ำ



แผนภูมิที่ 3.1 ผังแสดงขั้นตอนการทดลอง

3.3.4 วิเคราะห์ผล

3.3.4.1 วิเคราะห์สมบัติของอิฐมวลเบาของชิ้นทดสอบ

–สมบัติเชิงกล ความต้านแรงอัด

–สมบัติทางกายภาพ อัตราการดูดซึมน้ำ

3.3.5 อภิปรายผล

3.3.5.1 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล ความต้านแรงอัด

3.3.5.2 การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ อัตราการดูดซึมน้ำ

3.3.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

3.3.6.1 สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในบทที่ 1

3.3.6.2 ข้อเสนอแนะ

ก). เสนอแนะที่เป็นข้อจำกัดหรือส่วนที่จะทำให้การวิจัยครั้งนี้เป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากขึ้น

ข). เสนอแนะแนวทางสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป เพื่อพัฒนางานทางด้านการศึกษาวิจัยที่จะเกิดประโยชน์ในอนาคต

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การเสนอผลการวิจัยของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา ได้มาจากการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในภาคสนาม เพื่อทราบวิเคราะห์ค่าความต้านแรงอัด และอัตราการดูดซึมน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1 การเตรียมการผลิตอิฐมวลเบา

4.2 การผลิตอิฐมวลเบา

4.3 การทดสอบความต้านแรงอัด

4.4 ผลการวิเคราะห์ความต้านแรงอัด

4.5 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ

4.6 ผลการวิเคราะห์อัตราการดูดซึมน้ำ

4.7 อภิปรายผล

4.1 การเตรียมการผลิตอิฐมวลเบา

4.1.1 การเตรียมขี้เลื่อย

นำขี้เลื่อยมาจากบ่อเก็บขี้เลื่อยของโรงไสไม้ หลังจากนั้นนำขี้เลื่อยไปร่อนตะแกรงเพื่อเป็นการเอาเศษไม้ขนาดใหญ่ที่ติดมากับขี้เลื่อยออก ดังภาพที่ 4.1

ภาพที่ 4.1 ขี้เลื่อย

4.1.2 การเตรียมผักตบชวา

เริ่มจากสำรวจพื้นที่บึงน้ำที่มีผักตบชวาขึ้นอยู่อย่างหนาแน่น จากนั้นใช้อุปกรณ์คือไม้เกี่ยวชนิดยาว เกี่ยวผักตบชวาขึ้นมาจากบึงน้ำ ดังภาพที่ 4.2-4.3

ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะผักตบชวาในบึงน้ำ

ภาพที่ 4.3 แสดงวิธีเกี่ยวผักตบชวาขึ้นมาจากน้ำ

นำผักตบชวาที่ได้ไปตัดใบและรากออกให้เหลือแต่ลำต้น จากนั้นนำไปตากให้แห้ง 5 วัน ดังภาพที่ 4.4-4.5

ภาพที่ 4.4 แสดงวิธีการตัดใบและราก

ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะการนำผักตบชวาไปตากแดด 5 วัน

เมื่อตากแดด 5 วันแล้ว นำผักตบวาไปขูดเป็นฝอยเส้นเล็กๆ หลังจากนั้นตัดให้ได้ขนาด 5-10 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.6-4.7

ภาพที่ 4.6 แสดงวิธีการขูดผักตบชวา

ภาพที่ 4.7 แสดงวิธีการตัดผักตบชวา ขนาด 5-10 มิลลิเมตร

4.1.3 การสร้างแบบหล่ออิฐมวลเบา

นำไม้อัดมาวัดขนาดให้ได้ตามมาตรฐานของอิฐมวลเบา คือ กว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร จากนั้นตอกแบบไม้กับตะปูเพื่อใช้ยึดให้ติดกัน จะได้แบบหล่ออิฐมวลเบา ดังภาพที่ 4.8

ภาพที่ 4.8 แสดงวิธีการสร้างแบบหล่ออิฐมวลเบา

4.2 การผลิตอิฐมวลเบา

ขั้นตอนการทำอิฐมวลเบามีดังต่อไปนี้

4.2.1 นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มาผสมกับปูนขาว ในสัดส่วน 30 : 9 ดังภาพที่ 4.9-4.10

ภาพที่ 4.9 แสดงลักษณะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปูนขาว ในอัตราส่วน 30(110) : 9(110)

ภาพที่ 4.10 แสดงวิธีการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และปูนขาวมาผสมกัน

4.2.2 นำยิปซัมและผงอลูมิเนียมมาผสมกัน ในสัดส่วน 9 : 2 ดังภาพที่ 4.11-4.12

ภาพที่ 4.11 แสดงลักษณะยิปซัมและผงอลูมิเนียม ในอัตราส่วน 9(110) : 2(110)

ภาพที่ 4.12 แสดงวิธีการนำยิปซัมและผงอลูมิเนียมมาผสมกัน

4.2.3 การเทลงแบบในการทดลองที่ 1-5 มีขั้นตอนดังนี้

4.2.3.1 การทดลองที่ 1 นำส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับปูนขาวในสัดส่วน 30 : 9 (ข้อ 4.2.1) นำส่วนผสมยิปซั่มกับผงอลูมิเนียมในสัดส่วน 9 : 2 (ข้อ 4.2.2) และการทดลองที่ 1 โดยการนำทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา มาผสมกันในสัดส่วน 40 : 5 : 5 มาผสมรวมกันทั้งหมด เติมน้ำลงในส่วนผสม แล้วหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำการคลุกเคล้าหลังจากนั้นเทลงแบบขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร ใช้ไม้กระทุ้งอัดจนแน่นแล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมง

4.2.3.2 การทดลองที่ 2 นำส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับปูนขาวในสัดส่วน 30 : 9 (ข้อ 4.2.1) นำส่วนผสมยิปซั่มกับผงอลูมิเนียมในสัดส่วน 9 : 2 (ข้อ 4.2.2) และการทดลองที่ 2 โดยการนำทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา มาผสมกันในสัดส่วน 30 : 10 : 10 มาผสมรวมกันทั้งหมด เติมน้ำลงในส่วนผสม แล้วหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำการคลุกเคล้าหลังจากนั้นเทลงแบบขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร ใช้ไม้กระทุ้งอัดจนแน่นแล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมง

4.2.3.3 การทดลองที่ 3 นำส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับปูนขาวในสัดส่วน 30 : 9 (ข้อ 4.2.1) นำส่วนผสมยิปซั่มกับผงอลูมิเนียมในสัดส่วน 9 : 2 (ข้อ 4.2.2) และการทดลองที่ 3 โดยการนำทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา มาผสมกันในสัดส่วน 20 : 15 : 15 มาผสมรวมกันทั้งหมด เติมน้ำลงในส่วนผสม แล้วหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำการคลุกเคล้าหลังจากนั้นเทลงแบบขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร ใช้ไม้กระทุ้งอัดจนแน่นแล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมง

4.2.3.4 การทดลองที่ 4 นำส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับปูนขาวในสัดส่วน 30 : 9 (ข้อ 4.2.1) นำส่วนผสมยิปซั่มกับผงอลูมิเนียมในสัดส่วน 9 : 2 (ข้อ 4.2.2) และการทดลองที่ 4 โดยการนำทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา มาผสมกันในสัดส่วน 10 : 20 : 20 มาผสมรวมกันทั้งหมด เติมน้ำลงในส่วนผสม แล้วหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำการคลุกเคล้าหลังจากนั้นเทลงแบบขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร ใช้ไม้กระทุ้งอัดจนแน่นแล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมง

4.2.3.5 การทดลองที่ 5 นำส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับปูนขาวในสัดส่วน 30 : 9 (ข้อ 4.2.1) นำส่วนผสมยิปซั่มกับผงอลูมิเนียมในสัดส่วน 9 : 2 (ข้อ 4.2.2) และการทดลองที่ 5 โดยการนำทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา มาผสมกันในสัดส่วน 0 : 25 : 25 มาผสมรวมกันทั้งหมด เติมน้ำลงในส่วนผสม แล้วหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ทำการคลุกเคล้าหลังจากนั้นเทลงแบบขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร ใช้ไม้กระทุ้งอัดจนแน่นแล้วบ่มไว้ 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4.13-4.20

ภาพที่ 4.13 การทดลองที่ 1 แสดงปริมาณ ทรายละเอียด : ขี้เลื่อย : ผักตบชวา ในอัตราส่วน 40(110) : 5(110) : 5(110)

ภาพที่ 4.14 การทดลองที่ 2 แสดงปริมาณ ทรายละเอียด : ขี้เลื่อย : ผักตบชวา ในอัตราส่วน 30(110) : 10(110) : 10(110)

ภาพที่ 4.15 การทดลองที่ 3 แสดงปริมาณ ทรายละเอียด : ขี้เลื่อย : ผักตบชวา ในอัตราส่วน 20(110) : 15(110) : 15(110)

ภาพที่ 4.16 การทดลองที่ 4 แสดงปริมาณ ทรายละเอียด : ขี้เลื่อย : ผักตบชวา ในอัตราส่วน 10(110) : 20(110) : 20(110)

ภาพที่ 4.17 การทดลองที่ 5 แสดงปริมาณ ทรายละเอียด : ขี้เลื่อย : ผักตบชวา ในอัตราส่วน 0(110) : 25(110) : 25(110)

ภาพที่ 4.18 แสดงวิธีการผสมส่วนผสมทั้งหมด

ภาพที่ 4.19 แสดงวิธีการเติมน้ำและหมักทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

ภาพที่ 4.20 แสดงวิธีการคลุกเคล้าและเทลงแบบ ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร แล้วทำการบ่มไว้ 24 ชั่วโมง

4.2.4 ทำการถอดแบบแล้วนำไปอบแห้ง 5 นาที จะได้อิฐมวลเบา ดังภาพที่ 4.21-4.25

ภาพที่ 4.21 การทดลองที่ 1 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.22 การทดลองที่ 2 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.23 การทดลองที่ 3 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร

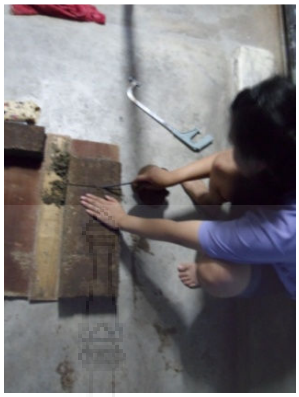
ภาพที่ 4.24 การทดลองที่ 4 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร

ภาพที่ 4.25 การทดลองที่ 5 แสดงลักษณะอิฐมวลเบา ขนาด 200 x 600 x 75 มิลลิเมตร

4.3 การทดสอบความต้านแรงอัด

การทดสอบความต้านแรงอัด คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของชิ้นทดสอบจนชิ้นทดสอบนั้นได้แตกเสียหายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard) มอก. 1505 – 2541 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก) เพื่อศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวาในการเตรียมขนาดของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัด มีขั้นตอนดังนี้

4.3.1 ตัดอิฐมวลเบาให้ได้ขนาด 100 x 100 x 75 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 4.26

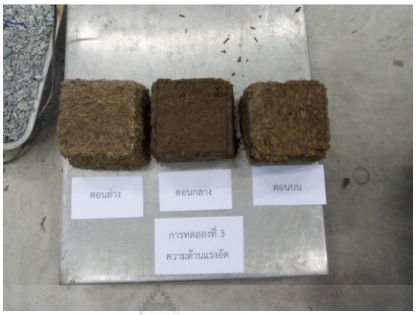


ภาพที่ 4.26 แสดงวิธีการตัดอิฐมวลเบา

4.3.2 ชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดของการทดลองที่ 1-5 ดังภาพที่ 4.27-4.31

ภาพที่ 4.27 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 1

ภาพที่ 4.28 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 4.29 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 3

ภาพที่ 4.30 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 4

ภาพที่ 4.31 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบความต้านแรงอัดการทดลองที่ 5

4.3.3 นำชิ้นทดสอบไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 4.32

ภาพที่ 4.32 นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบ

4.3.4 นำชิ้นทดสอบไปเข้าเครื่องทดสอบ Servo-hydraulic Universal Testing Machine เพื่อศึกษาความต้านแรงอัดของชิ้นทดสอบ ดังภาพที่ 4.33 – 4.34

ภาพที่ 4.33 แสดงการนำชิ้นทดสอบเข้าเครื่องทดสอบ

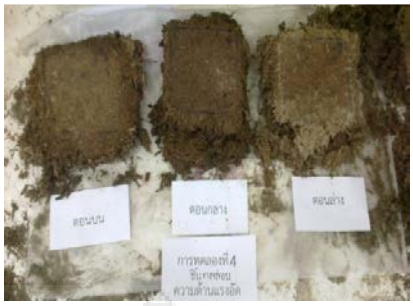
ภาพที่ 4.34 แสดงการกดชิ้นทดสอบ

4.3.5 ชิ้นทดสอบความต้านแรงอัด หลังจากการเข้าเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 1-5 ดังภาพที่ 4.35 – 4.39

ภาพที่ 4.35 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 1

ภาพที่ 4.36 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 2

ภาพที่ 4.37 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 3



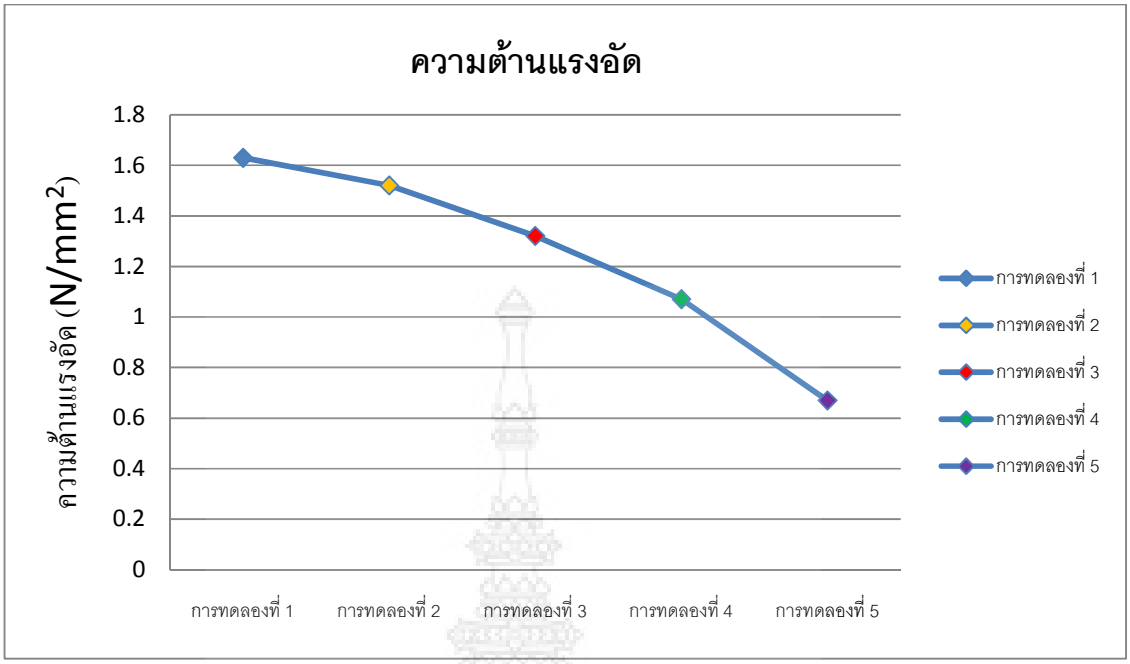
ภาพที่ 4.38 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 4

ภาพที่ 4.39 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากอัดด้วยเครื่องทดสอบของการทดลองที่ 5

4.4 ผลการวิเคราะห์ความต้านแรงอัด

ตารางที่ 4.1 แสดงความต้านแรงอัดชิ้นทดสอบ

การทดลองที่	**ชิ้นทดสอบ**	**ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด (kg/cm^2)**	**ค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด (kg/cm^2)**	**ค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด (N/mm^2)**
1	ส่วนบน	16.4	16.60	1.63
	ส่วนกลาง	4.2		
	ส่วนล่าง	16.8		
2	ส่วนบน	16.1	15.50	1.52
	ส่วนกลาง	4.6		
	ส่วนล่าง	15.0		
3	ส่วนบน	13.8	13.50	1.32
	ส่วนกลาง	5.2		
	ส่วนล่าง	13.2		
4	ส่วนบน	8.7	10.90	1.07
	ส่วนกลาง	4.6		
	ส่วนล่าง	13.1		
5	ส่วนบน	7.4	6.85	0.67
	ส่วนกลาง	3.5		
	ส่วนล่าง	6.3		



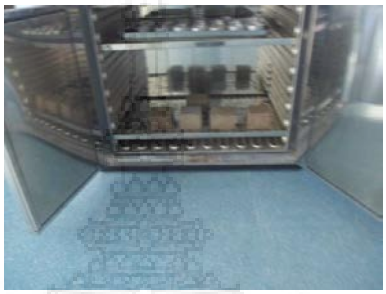
ภาพที่ 4.40 แสดงกราฟค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.35 การทดสอบความต้านแรงอัด พบว่า ค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด 1.63, 1.52, 1.32, 1.07 และ 0.67 N/ mm^2 จากการทดลองที่การ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

4.5 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ

การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ คือ ความสามารถในการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบภายในเวลา 24 ชั่วโมง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Thai Industrial Standard) มอก. 1505 – 2541 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ก และ ค) เพื่อศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวาในการเตรียมขนาดของชิ้นทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ มีขั้นตอนดังนี้

4.5.1 ตัดอิฐมวลเบาให้ได้ขนาด 100 x 100 x 75 มิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบส่วนกลางไปเข้าตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ± ไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง ดังภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 นำชิ้นทดสอบเข้าตู้อบ 24 ชั่วโมง

4.5.2 ชิ้นทดสอบหลังจากการอบแล้วของการทดลองที่ 1-5 ดังภาพที่ 4.42 – 4.46

ภาพที่ 4.42 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 1

ภาพที่ 4.43 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 2

ภาพที่ 4.44 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 3

ภาพที่ 4.45 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 4

ภาพที่ 4.46 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 5

4.5.3 นำชิ้นทดสอบของการทดลองที่ 1-5 ไปแช่น้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากแช่แล้วใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวทีละก้อนแล้วชั่งน้ำหนักให้เสร็จภายใน 3 นาที ดังภาพที่ 4.47

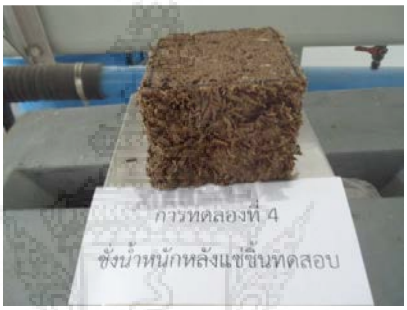
ภาพที่ 4.47 แสดงชิ้นทดสอบโดยแช่น้ำให้ท่วม 24 ชั่วโมง

4.5.4 ชิ้นทดสอบหลังจากแช่น้ำของการทดลองที่ 1-5 ดังภาพที่ 4.48 – 4.52

ภาพที่ 4.48 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 1

ภาพที่ 4.49 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 2

ภาพที่ 4.50 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 3



ภาพที่ 4.51 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 4

ภาพที่ 4.52 แสดงลักษณะชิ้นทดสอบการทดลองที่ 5

4.6 ผลการวิเคราะห์อัตราการดูดซึมน้ำ

4.6.1 จากการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักการดูดซึมน้ำของชิ้นทดสอบ

การทดลองที่	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)	น้ำหนักหลังแช่น้ำ – น้ำหนักหลังอบ (g)
1	832	1,264	432
2	646	1,128	482
3	644	1,200	556
4	368	942	574
5	278	872	594

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาตรของชิ้นทดสอบ (กว้าง x ยาว x สูง)

การทดลองที่	ปริมาตรหลังอบ (mm)	ปริมาตรหลังแช่น้ำ (mm)
1	100 x 100 x 75	101 x 110 x 76
2	105 x 105 x 74	105.4 x 110 x 75
3	100 x 100 x 74	110 x 110 x 76
4	105 x 105 x 73	110 x 110 x 76
5	100 x 100 x 73	111 x 113 x 75

4.6.2 การแปลงหน่วยน้ำหนักจาก g/mm^3 เป็น kg/m^3

น้ำหนักหลังแช่น้ำ – น้ำหนักหลังอบ = $\frac{432}{1000}$ g = 0.432 kg

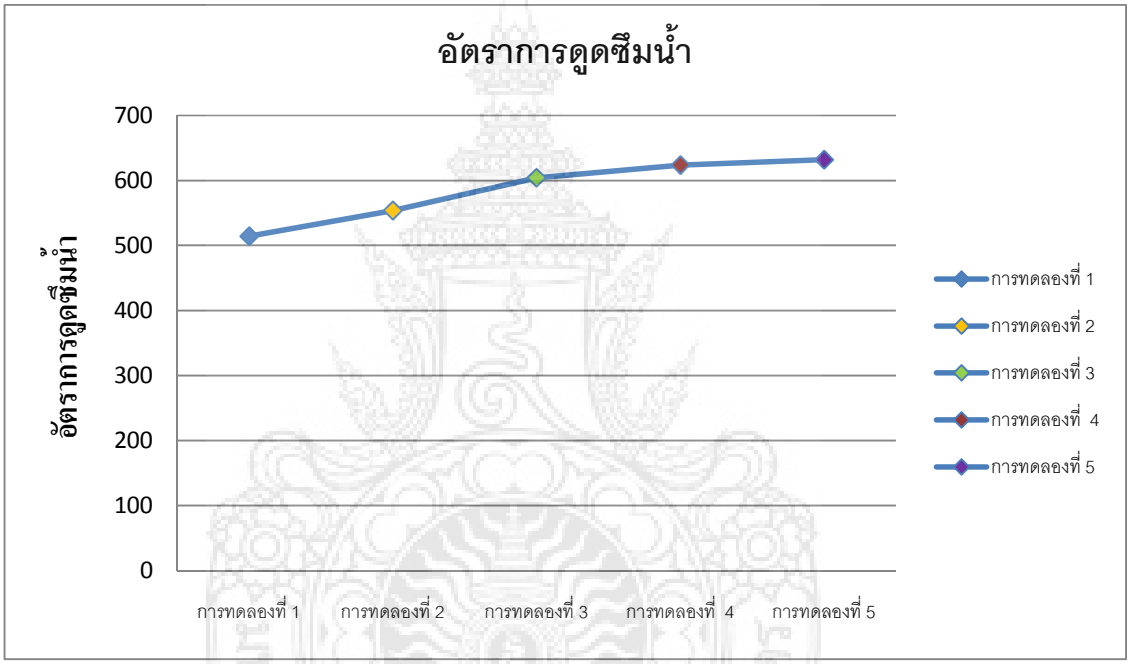
ปริมาตรหลังแช่น้ำ = $\frac{101 \times 110 \times 76}{1000 \times 1000 \times 1000}$ mm = 0.00084 m^3

อัตราการดูดซึมน้ำ = $\frac{0.432}{0.00084}$

= **514.29 kg/m^3**

ตารางที่ 4.4 อัตราการดูดซึมน้ำ

การทดลองที่	น้ำหนักหลังแช่น้ำ – น้ำหนักหลังอบ (kg)	ปริมาตรหลังแช่น้ำ (m^3)	อัตราการดูดซึมน้ำ (kg/m^3)
1	0.432	0.00084	514.29
2	0.482	0.00087	554.02
3	0.556	0.00092	604.35
4	0.574	0.00092	623.91
5	0.594	0.00094	631.91



ภาพที่ 4.53 แสดงกราฟของอัตราการดูดซึมน้ำ

จากตารางที่ 4.2-4.4 และภาพที่ 4.53 พบว่าอัตราการดูดซึมน้ำ 514.29, 554.02, 604.35, 623.91 และ 631.91 kg/m^3 จากการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

4.7 อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบของอิฐมวลที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา โดยนำชิ้นทดสอบขนาด กว้าง ยาว หนา เท่ากับ 100 × 100 × 75 มิลลิเมตร ทำการทดสอบความต้านแรงอัดและอัตราการดูดซึมน้ำ ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัดและค่าอัตราการดูดซึมน้ำ

การทดลองที่	**ค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด (N/mm^2)**	**อัตราการดูดซึมน้ำ (kg/m^3)**
1	1.63	514.29
2	1.52	554.02
3	1.32	604.35
4	1.07	623.91
5	0.67	631.91

จากตารางที่ 4.5 ของการเปรียบเทียบของความต้านแรงอัดและอัตราการดูดซึมน้ำ มีดังต่อไปนี้

- ค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด 1.63 N/mm^2 ของการทดลองที่ 1 มีทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา ในสัดส่วน 40 : 5 : 5 กับค่าเฉลี่ยความต้านแรงอัด 1.52, 1.32, 1.07 และ 0.67 N/mm^2 ของการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา ในสัดส่วน 30 : 10 : 10, 20 : 15 : 15, 10 : 20 : 20 และ 0 : 25 : 25 ตามลำดับ จะพบว่ามีความแตกต่างกัน 0.11, 0.20, 0.25 และ 0.40 N/mm^2

- ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ 514.29 kg/m^3 ของการทดลองที่ 1 มีทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา ในสัดส่วน 40 : 5 : 5 กับอัตราการดูดซึมน้ำ 554.02, 604.35, 623.91 และ 631.91 kg/m^3 ของการทดลองที่ 2, 3, 4 และ 5 มีทรายละเอียด ขี้เลื่อย ผักตบชวา ในสัดส่วน 30 : 10 : 10, 20 : 15 : 15, 10 : 20 : 20 และ 0 : 25 : 25 ตามลำดับ จะพบว่ามีความแตกต่างกัน 39.73, 50.33, 19.56 และ 8.00 kg/m^3

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวา

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลของอิฐมวลเบา และทำการทดลอง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติเชิงกลจากค่าความต้านแรงอัด และสมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำ จากการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปผล และเสนอแนะข้อคิดบางประการไว้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวาในสัดส่วน 5 : 5 โดยมีทรายละเอียดผสมในสัดส่วน 40 ของการทดลองที่ 1 ได้อิฐมวลเบามีประสิทธิภาพดีที่สุดจากการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5

5.1.2 ประสิทธิภาพของอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของขี้เลื่อยและผักตบชวาในสัดส่วน 5 : 5 โดยมีทรายละเอียดผสมในสัดส่วน 40 ของการทดลองที่ 1

1) สมบัติเชิงกลจากค่าความต้านแรงอัดสูงที่สุด 1.63 N/mm^2 ใกล้เคียงชั้นคุณภาพ 2 มีค่าความต้านแรงอัด 2 N/mm^2

2) สมบัติทางกายภาพจากอัตราการดูดซึมน้ำต่ำสุด 514.29 kg/m^3 ใกล้เคียงค่าคุณภาพอิฐมวลเบาอัตราการดูดซึมน้ำ 500 kg/m^3

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยของเพิ่มเติมประเด็น และข้อเสนอแนะบางประการที่น่าสนใจเพื่อเป็นประโยชน์ในโอกาสต่อไป โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งนี้

1) จากการวิจัยพบว่า ไม่สมควรใช้เลื่อยมือในการตัดชิ้นทดสอบเพราะจะทำให้ปริมาตรไม่เที่ยงตรง

2) ควรใช้เครื่องจักรในการช่วยอัดชิ้นทดสอบลงในแบบเพื่อให้มีความแข็งแรงสม่ำเสมอ

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรศึกษาเพิ่มเติมถึง การนำผักตบชวามาใช้ในการผลิตอิฐมวลเบา

2) ควรศึกษาเพิ่มเติมถึง วัสดุเหลือใช้อื่นๆ เช่น จากต้นกล้วย ต้นมะพร้าว เป็นต้น มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐมวลเบา

เอกสารอ้างอิง

กมลศิษฏ์ หอสุวรรณจิตร. 2551. **ผลของขนาดและปริมาณของทรายต่อการเกิดผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์, (สาขาวิศวโยธา), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2541. **ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ,** สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. **รายงานสรุปสำหรับผู้บริหารการกำจัดและนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์อย่างครบวงจรในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา**, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, ปทุมธานี.

การบำบัดน้ำเสียด้วยผักตบชวา. 2556. เข้าถึงได้จาก : http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9C%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B8%9A%E0%B8%8A%E0%B8%A7%E0%B8%B2, 1 เมษายน 2557.

กลุ่มงานวิเคราะห์วัสดุก่อสร้าง. 2543. **คู่มือปฏิบัติการควบคุมคุณภาพวัสดุ,** โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ก้อนขี้เลื่อยเก่าเอาไปทำอะไรดี. 2554**.** เข้าถึงได้จาก : http://www.jrfarm108.com/webboards/727899/%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%, 12 เมษายน 2557.

คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ ppc. 2551. เข้าถึงได้จาก : http://www.pcc-concrete.co.th/Product/inum.html. 30 มิถุนายน 2557.

คำภี จิตชัยภูมิ และชาญชัย โชติถนอม. 2547. **การศึกษาอิฐบล็อกมวลเบาที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมทรายและเถ้าแกลบ**, วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 25, 1 (มกราคม – มีนาคม) :12-18

ณัฐพัชร สืบบัวแก้ว. 2554. **การพัฒนาอิฐมวลเบาโดยใช้กระดาษเหลือใช้,** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, ครุศาสตรมหาบัณฑิต, (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม), มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.

ณรงฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ. 2548. **โครงการการผลิตและทดสอบหลังคายางพาราจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับขี้เลื่อย,** โครงการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

ดุษฎี หงส์โต. 2548. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ปูนขาวกับหัวเชื้อจุลินทรีย์น้ำสกัดชีวภาพจากพืชในการลดแมลงวันในมูลไก่,** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะสาธารณะสุขศาสตร์,

(สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ), มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ถิ่นกำเนิดและการแพร่กระจายของผักตบชวา. 2555. เข้าถึงได้จาก : http://www.butterflyproduct.com/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1-1.html, 10 เมษายน 2557.

ทวีศักดิ์ อ่วมน้อย. 2543. **วัสดุและเทคโนโลยีการผลิต,** มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.

นระ คมนามูล. 2547. **วัสดุและการทดสอบแบบไม่ทำลายในงานวิศวกรรมโยธา,** บริษัท เซเว่น พริ้นติ้งกรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์. 2546. **สรุปวัสดุก่อสร้างและงานวิจัย,** หน่วยสารบรรณ งานบริหารและธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, ขอนแก่น.

นิตย์รดี ดอเล๊าะ. 2552. **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์,** 1, 3 (กันยายน-ธันวาคม) : 48-56.

บวร อิสรางกูล ณ อยุทธยา และคณะ. 2555. **วิศวสารลาดกระบัง,** 1 (มีนาคม) : 43-48.

ประณต กุลประสูติ. 2553. **เทคนิคงานปูน-คอนกรีต,** พิมพ์ครั้งที่ 11, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

ปูนซีเมนต์นครหลวง. ม.ป.ป. **เอกสารเทคนิควิทยาคอนกรีต.** ม.ป.ท.

พงศ์พัน วรสุนทโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทโรสถ. 2555. **วัสดุก่อสร้าง,** บริษัท วี พริ้น (1991) จำกัด. กรุงเทพมหานคร.**ผิว**

พิภพ สุนทรสมัย. 2555. **ช่างปูนก่อสร้าง,** พิมพ์ครั้งที่ 24, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพมหานคร.

พุทธิพร ศรวรเวทย์. 2552. **การพัฒนาการผลิตไบโอเอธานอลจากผักตบชวาและวัสดุเหลือทิ้งมันสำปะหลัง โดยกระบวนการหมักโดยอะไมโลไลติกยีสต์,** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.

ภานุ คะนอง. 2552. **การเตรียมอิฐบล็อกมวลเบาจาดแกลบขัด,** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิทยาศาสตร์, (สาขาเคมีประยุกต์), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มนัส อนุศิริ. 2554. **ทฤษฎีและปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานวิศวกรรมโยธา,** บริษัท วี พริ้น (1991) จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

มยุรี ปาลวงศ์. 2552. **ประโยชน์ของยิปซัม,** กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.

ยิปซัม (Gypsum). ม.ป.ป.. เข้าถึงได้จาก : http://cphairat.tripod.com/Gypsum.htm, 12 เมษายน 2557.

ยอดชาย สิงทอง และคณะ. 2549. **การศึกษาผลกระทบของฝุ่นหินแทนที่ปริมาณทรายในอิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ไม่อบไอน้ำ,** วิศวกรรมบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, (สาขาวิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยนเรศวร.

เลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์ด้วยผักตบชวา. ม.ป.ป.. เข้าถึงได้จาก : http://www.rakbankerd.com/preview.php?id=1735&s=tblanimal&w=, 12 เมษายน 2557.

สุพจน์ แหวนเพ็ชร์. 2552. **การผลิตไบโอออยล์จากผักตบชวาโดยการไพโรไลซิสแบบเร็ว,** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, คณะวิทยาศาสตร์, (สาขาเคมีเทคนิค), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำเริง รักซ้อน. 2551. **ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี**, โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

อิฐมวลเบาแบบ CLC ดีกว่าอิฐมวลเบา แบบ ACC. 2556. เข้าถึงได้จาก : http://www.hbaan.com/%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%90%E0%B8%A1%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B9%80%E0%, 12 เมษายน 2557.

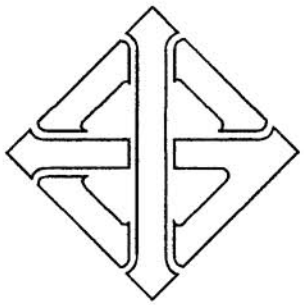
อิทธิพร ศิริสวัสดิ์. 2550. **ปฏิบัติการทดสอบวัสดุในงานคอนกรีต,** โรงพิมพ์ยิ่งเจริญการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร.

Japanese industrial standard. 1995. **Auto claved lightweight aerated concrecte panels,** Japanese stardards association, japan.

Ngah, W.S., and Hanafiah. 2008. **Bioresource Technology,** เข้าถึงได้จาก : http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%82%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%A2, April 1 2014

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก 1505-2541



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 1505 – 2541

ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ

AUTOCLAVED AERATED LIGHTWEIGHT CONCRETE ELEMENTS

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 91.100.99

ISBN 974-607-866-6

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ

มอก. 1505 – 2541

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 2023300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 115 ตอนที่ 105ง
วันที่ 31 ธันวาคม พุทธศักราช 2541

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 873

มาตรฐานคอนกรีตมวลเบา

1. ผู้แทนกรมโยธาธิการ
2. ผู้แทนกรมวิทยาศาสตร์บริการ
3. ผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
4. ผู้แทนการเคหะแห่งชาติ
5. ผู้แทนสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
6. ผู้แทนสมาคมธุรกิจบ้านจัดสรร
7. ผู้แทนบริษัท ซุปเปอร์บล็อก จำกัด
8. ผู้แทนบริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดัคส์ จำกัด
9. ผู้แทนบริษัท ผลิตภัณฑ์คอนกรีตซีแพค จำกัด
10. ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรรมการและเลขานุการ
11. ผู้แทนบริษัท โกลเด้น แพลน จำกัด กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

ปัจจุบันมีการทำชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ สำหรับงานก่อสร้างภายในประเทศเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทนี้ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ ขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

DIN 4165–1986	Autoclaved aerated concrete blocks and flat elements
DIN SFS prEN 991–1992	Determination of the dimensions of prefabricated reinforced components made of autoclaved aerated concrete or lightweight aggregate concrete with open structure
JIS A 5416–1995	Autoclaved lightweight aerated concrete panels
มอก.15 เล่ม 1–2532	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ
มอก.109–2517	วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต
มอก.319–2541	ปูนไลม์อุตสาหกรรม

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2411 (พ.ศ. 2541)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม ออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1505–2541 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2541

สมศักดิ์ เทพสุทิน

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุก่อผนังมวลเบา โดยมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอภายในเนื้อคอนกรีต และอบด้วยไอน้ำ โดยกำหนดชั้นคุณภาพและชนิด ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน วัสดุและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ การบรรจุ เครื่องหมายและฉลาก การเก็บคอนกรีตมวลเบา การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต และอบในเตาอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ–อบไอน้ำ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “คอนกรีตมวลเบา” หมายถึง คอนกรีตที่มีมวลเบากว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีขนาดเดียวกัน โดยมีฟองอากาศเล็ก ๆ แทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งด้วยการอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก เหมาะสำหรับใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อบาง ดูรูปที่ 1

2.2 วิธีก่อบาง หมายถึง วิธีก่อที่มีลักษณะปูนก่อบาง มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร และจำเป็นต้องใช้ปูนก่อที่ทำขึ้นด้วยส่วนผสมพิเศษ ที่สามารถให้แรงยึดหน่วงมากเพียงพอเหมาะสมกับความหนา

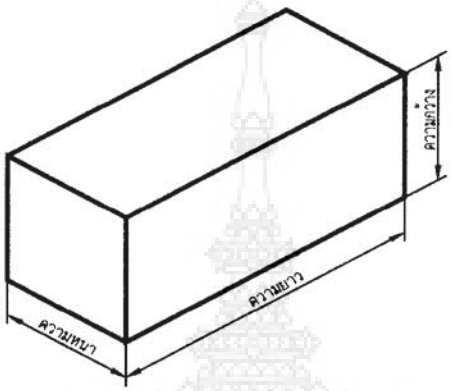
2.3 ร่องปูนก่อ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่จะประกอบกันให้เป็นช่อง ใช้สำหรับใส่ปูนก่อขณะทำงานก่อผนัง

2.4 ร่อง หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำกว่าพื้นผิวด้านข้าง สำหรับให้ลิ้นยื่นเข้ามาเพื่อการประสาน

2.5 ลิ้น หมายถึง ส่วนของคอนกรีตมวลเบาที่ยื่นเลยพื้นผิวส่วนอื่น สำหรับแทรกไปในร่องเพื่อการประสาน

2.6 ความหนาของคอนกรีตมวลเบา หมายถึง ความหนาของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ก่อผนัง

2.7 ร่องมือจับ หมายถึง ร่องที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาที่อยู่ต่ำจากขอบบน ใช้สำหรับจับยกเพื่อทำงาน



รูปที่ 1 ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 2.1)

3. ชั้นคุณภาพและชนิด

3.1 คอนกรีตมวลเบาแบ่งตามความต้านแรงอัดออกเป็น 4 ชั้นคุณภาพ และแบ่งตามความหนาแน่นเชิงปริมาตรออกเป็น 7 ชนิด โดยชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบามีความสัมพันธ์กันตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 3.1)

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตร เฉลี่ย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
2	2.5	2.0	0.4	0.31 ถึง 0.40
			0.5	0.41 ถึง 0.50
4	5.0	4.0	0.6	0.51 ถึง 0.60
			0.7	0.61 ถึง 0.70
			0.8	0.71 ถึง 0.80
6	7.5	6.0	0.7	0.61 ถึง 0.70
			0.8	0.71 ถึง 0.80
8	10.0	8.0	0.8	0.71 ถึง 0.80
			0.9	0.81 ถึง 0.90
			1.0	0.91 ถึง 1.00

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ขนาดของคอนกรีตมวลเบาที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานนี้ ออกแบบเพื่อให้เป็นไปตามระบบการประสานทางพิกัดในงานก่อสร้างอาคาร ซึ่งได้กำหนดหน่วยพิกัดมูลฐาน (พ) ให้เท่ากับ 100 มิลลิเมตร ขนาดของคอนกรีตมวลเบาเป็นไปตามตารางที่ 2 โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

ในกรณีมีร่องและลิ้นให้เพิ่มได้อีกมิติละ 9 มิลลิเมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

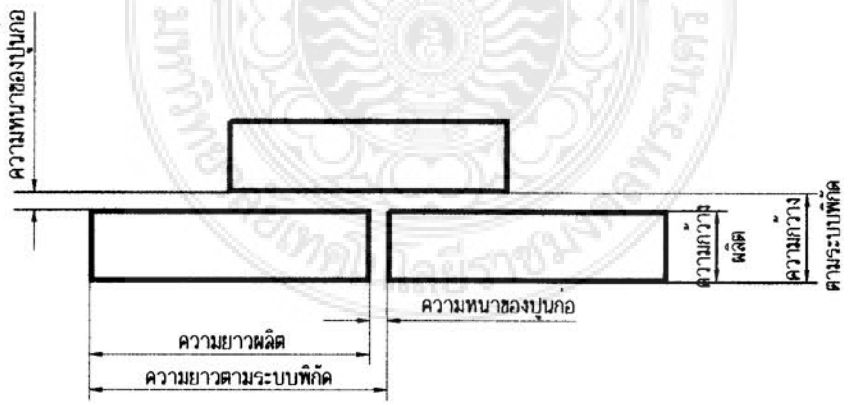
ตารางที่ 2 ขนาดคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 4.1)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความกว้าง	ความยาว	ความหนา
200	600	75
300		90
400		100
		125
		150
		175
		200
		250

หมายเหตุ *ความกว้างและความยาวตามตารางที่ 2 เป็นค่าที่รวมความหนาของปูนก่อ 3 มิลลิเมตรไว้แล้ว(ดูรูปที่ 2)*



รูปที่ 2 ความหนาของปูนก่อตามระบบประสานทางพิกัด

4.2 ความได้ฉาก

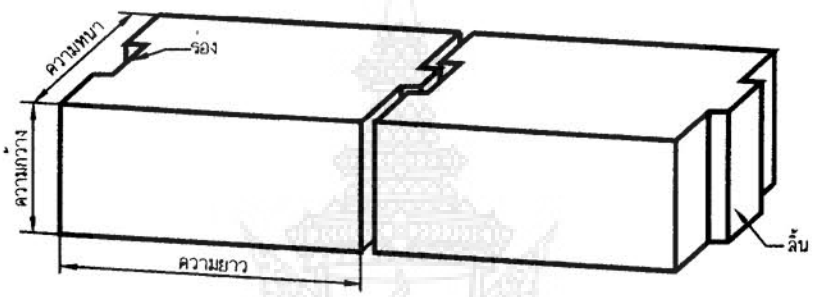
คอนกรีตมวลเบา ที่ระยะ 300 มิลลิเมตร วัดจากมุมฉากจะคลาดเคลื่อนจากแนวฉากได้ไม่เกิน 1 มิลลิเมตร การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 11.1

4.3 ร่องและลิ้น (ถ้ามี) ดูรูปที่ 3

คอนกรีตมวลเบาอาจทำเป็นร่องและลิ้นในตัวได้ และให้เป็นดังนี้

4.3.1 ขนาดของร่องและลิ้น ไม่ควรเล็กกว่าเศษหนึ่งส่วนเจ็ด และไม่ควรเกินเศษสองส่วนห้าของความหนาของคอนกรีตมวลเบา โดยในแต่ละด้านอาจมีร่องและลิ้นได้หลายแนว

4.3.2 ความกว้าง และความลึกของลิ้นในทุก ๆ ด้าน ควรเล็กกว่าความกว้างและความลึกของร่องระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร

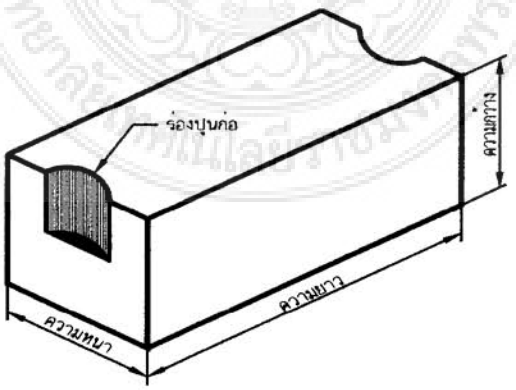


รูปที่ 3 ตัวอย่างร่องและลิ้นของคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 4.3)

4.4 ร่องปูนก่อ (ถ้ามี) ดูรูปที่ 4

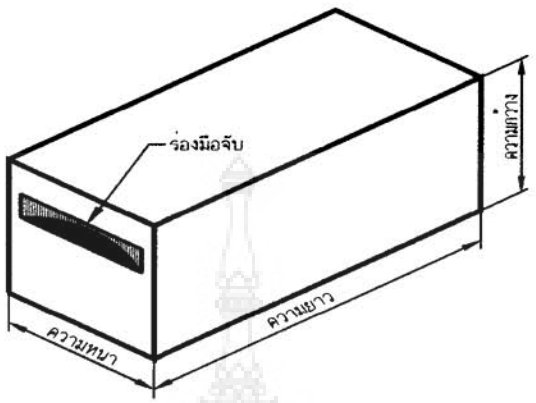
ร่องปูนก่อที่ด้านข้างของคอนกรีตมวลเบาและมีขนาดเริ่มจากผิวบนลงมามีระยะ 1/4 ถึง 1/2 ของความกว้างของคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 4 ตัวอย่างร่องปูนก่อสำหรับคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 4.4)

4.5 ร่องมือจับ (ถ้ามี) ดูรูปที่ 5
กรณีที่คอนกรีตมวลเบามีขนาดใหญ่ เพื่อความสะดวกในการทำงานอาจมีร่องสำหรับมือจับด้วย



รูปที่ 5 ตัวอย่างร่องมือจับสำหรับคอนกรีตมวลเบา
(ข้อ 4.5)

5. วัสดุและการทำ

5.1 วัสดุ

5.1.1 ปูนซีเมนต์ต้องเป็นปูนซีเมนต์ประเภท 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1

5.1.2 ปูนขาวต้องเป็นไปตาม มอก. 319

5.1.3 มวลผสมต้องเป็นวัสดุซิลิกา หรือทรายควอตซ์ หรือตะกรันจากเตาถลุงแบบพ่นลม หรือเถ้าถ่านหิน หรือวัสดุอื่นใดที่ไม่มีสาร เช่น โคลน ฝุ่น สารอินทรีย์ ในจำนวนที่อาจเป็นผลเสีย นำมาบดละเอียดโดยให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร

5.1.4 สารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ต้องเป็นวัสดุทำให้เกิดฟองอากาศมีเสถียรภาพ และคุมเวลาแข็งตัวโดยต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียใด ๆ ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

5.2 การทำ

คอนกรีตมวลเบาต้องทำโดยผสมส่วนผสมตามที่ระบุในข้อ 5.1.1 ถึงข้อ 5.1.3 เข้าด้วยกันอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเติมน้ำจำนวนที่เหมาะสม สารก่อฟอง และสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ให้มีฟองอากาศกระจายอย่างสม่ำเสมอ แล้วเทลงในแบบนำไปบ่มจนแข็งพอที่จะแกะแบบเพื่อทำการตัดตามขนาดที่ต้องการ จากนั้นนำไปอบด้วยไอน้ำเพื่อให้ได้ค่าความต้านแรงอัดตามที่กำหนดที่ความดันไม่ต่ำกว่า 1.0 เมกะพาสคัลและอุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ *ให้ตัดคอนกรีตมวลเบาในแนวที่ทำให้ด้านยาวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ*

6. คุณลักษณะที่ต้องการ

6.1 ลักษณะทั่วไป

ต้องไม่แตกร้าว ไม่บิดเบี้ยว ไม่แอ่นตัว และไม่มีตำหนิใด ๆ ที่เป็นผลเสียหายต่อการใช้งาน

6.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.2 แล้ว คอนกรีตมวลเบาต้องมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ยตามตารางที่ 1 โดยคอนกรีตมวลเบาแต่ละก้อนจะมีค่าแตกต่างจากที่กำหนดได้ไม่เกิน $\pm$ 0.05 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

6.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.3 แล้ว อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวต้องไม่เกินร้อยละ 0.05

6.4 ความต้านแรงอัด

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.4 แล้ว คอนกรีตมวลเบาต้องมีความต้านแรงอัดตามตารางที่ 1

6.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

เมื่อทดสอบตามข้อ 11.5 แล้ว อัตราการดูดกลืนน้ำต้องไม่เกิน 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7. การบรรจุ

7.1 เมื่อจะนำคอนกรีตมวลเบาออกจำหน่าย ผู้ทำต้องจัดเรียงคอนกรีตมวลเบาบนแผงรองรับที่เหมาะสม มีการป้องกันขอบไม่ให้แตกบิ่นเสียหายที่จะเป็นผลเสียต่อการใช้งานทั้งในการเก็บรักษาและขนส่ง รวมทั้งให้มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

8. เครื่องหมายและฉลาก

8.1 ที่คอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยทุก ๆ 10 ก้อน ต้องมีเลขอักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน และถาวร

(1) ชั้นคุณภาพ หรือความต้านแรงอัดต่ำสุด

(2) ชนิดของคอนกรีตมวลเบา

(3) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8.2 ที่ภาชนะบรรจุคอนกรีตมวลเบา อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายและรายละเอียดต่อไปนี้

9. การเก็บคอนกรีตมวลเบา

9.1 ต้องเก็บคอนกรีตมวลเบาไว้ที่แห้งมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก และมีการป้องกันความชื้นไม่ให้เข้าถึงคอนกรีตมวลเบาได้ทุกฤดูกาล

9.2 ควรกองเก็บคอนกรีตมวลเบาให้สามารถนำคอนกรีตมวลเบารุ่นที่มาถึงก่อนไปใช้ได้ก่อน

10. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

10.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง คอนกรีตมวลเบาชั้นคุณภาพเดียวกัน ส่วนผสมเดียวกัน จำนวนไม่เกิน 1 000 ลูกบาศก์เมตร ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

10.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

10.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาดและลักษณะทั่วไป

10.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน 3 ก้อน

10.2.1.2 ตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 4 และข้อ 6.1 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด

10.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากคอนกรีตมวลเบาที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดข้อ 10.2.1 เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบจำนวน 9 ชิ้น

10.2.2.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.4 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.3 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรและอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

10.2.3.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร 3 ชิ้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว 3 ชิ้น

10.2.3.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 และ 6.3 ในแต่ละรายการ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2.4 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ

10.2.4.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อน เพื่อนำมาทำเป็นชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น

10.2.4.2 ชิ้นทดสอบทุกชิ้นต้องเป็นไปตามข้อ 6.5 จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาต้องเป็นไปตามข้อ 10.2.1.2 ข้อ 10.2.2.2 ข้อ 10.2.3.2 และข้อ 10.2.4.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าคอนกรีตมวลเบารุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

11. การทดสอบ

11.1 ขนาด

11.1.1 เครื่องมือ

11.1.1.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.1.1.2 เวอร์เนียร์ที่วัดได้ถึง 200 มิลลิเมตร

11.1.1.3 เหล็กฉากที่มีความยาวแต่ละด้านไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร

11.1.2 วิธีทดสอบ

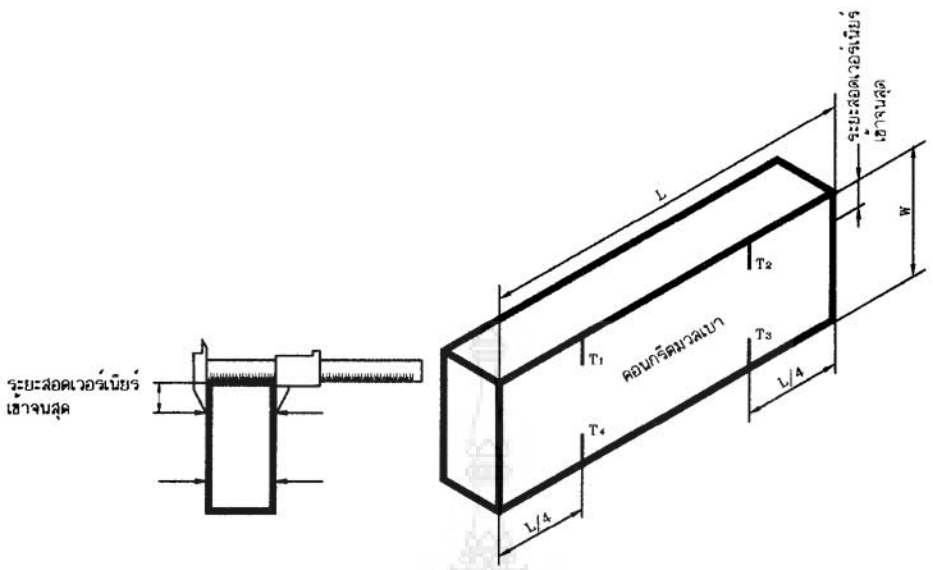
11.1.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้เครื่องวัดตามข้อ 11.1.1.1 วัดความกว้างและความยาวของตัวอย่าง โดยวัดที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของด้านนั้น ๆ ดูรูปที่ 6

รูปที่ 6 ตำแหน่งวัดความกว้าง และความยาว
(ข้อ 11.1.2.1)

11.1.2.2 ความหนา

ใช้เวอร์เนียร์วัดความหนาของตัวอย่างที่ตำแหน่งห่างจากขอบด้านยาวของชิ้นทดสอบเป็นระยะหนึ่งในสี่ของความยาว โดยสอดเวอร์เนียร์เข้าจนสุด ดูรูปที่ 7

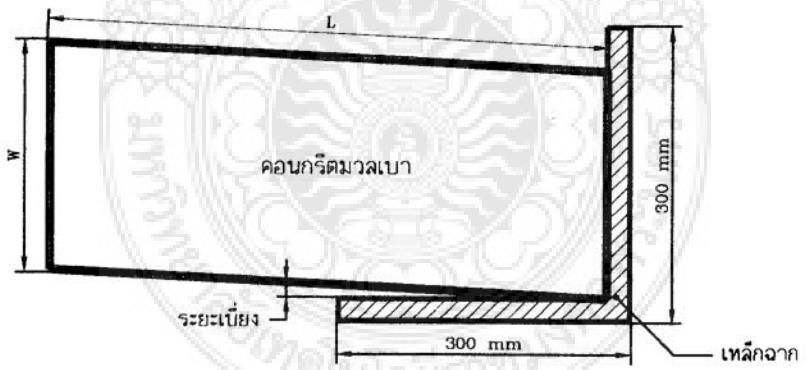


รูปที่ 7 ตำแหน่งวัดความหนา

(ข้อ 11.1.2.2)

11.1.2.3 ความได้ฉาก

ทาบเหล็กฉากที่ด้านสั้นของตัวอย่าง จากนั้นวัดความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นที่ระยะประมาณ 300 มิลลิเมตรจากมุมของเหล็กฉาก ดูรูปที่ 8



รูปที่ 8 การวัดความได้ฉาก

(ข้อ 11.1.2.3)

11.1.3 การรายงานผล

ให้รายงาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่วัดได้

11.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตร

11.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.2.2 เครื่องมือ

11.2.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.2.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.2.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

11.2.3 วิธีทดสอบ

ให้วัดปริมาตรและมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

11.2.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย จากสูตร

$$\text{ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ}}{\text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ}}$$

11.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว

11.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร x 160 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร และให้ด้านยาวของชิ้นทดสอบขนานกับด้านยาวของตัวอย่าง

11.3.2 เครื่องมือ

11.3.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.005 มิลลิเมตร

11.3.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.3.2.3 อ่างน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส

11.3.2.4 ห้องหรือภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 25 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 43 ± ร้อยละ 2 ได้

11.3.2.5 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

11.3.3 วิธีทดสอบ

11.3.3.1 นำชิ้นทดสอบเข้าอบในตู้อบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็น ชั่งมวลและวัดความยาวของชิ้นทดสอบถือเป็นมวลในสภาพแห้ง คำนวณหาค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40

11.3.3.2 นำชิ้นทดสอบไปแช่ในอ่างน้ำตามข้อ 11.3.2.3 โดยผิวบนของชิ้นทดสอบอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 3 เซนติเมตรเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นให้เก็บรักษาที่ห้องหรือภาชนะปิดตามข้อ 11.3.2.4 ชั่งมวลและวัดความยาวทุกวันจนมวลของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำกว่าค่ามวลที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 ซึ่งคำนวณได้จากข้อ 11.3.3.1

11.3.3.3 วัดความยาวและชั่งมวลของชิ้นทดสอบทุก 3 วัน จนความยาวเข้าสู่สภาพสมดุล โดยชิ้นทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อยกว่า ร้อยละ 0.003 ต่อ 3 วัน

หมายเหตุ *การรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในกรณีใช้ภาชนะปิด ให้ทำโดยเก็บชิ้นทดสอบไว้เหนือสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต ที่ละลายอยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำในภาชนะปิดที่ควบคุมอุณหภูมิได้ และต้องมีการกวนเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการก่อตัวของเกลือโพแทสเซียม หรือฝ้าที่ผิว*

11.3.4 การรายงานผล

ให้รายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวจากสูตร

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวร้อยละ } (R) = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$$

เมื่อ l_1 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 เป็นมิลลิเมตร

l_2 คือ ความยาวของชิ้นทดสอบเมื่อเข้าสู่สภาพสมดุล เป็นมิลลิเมตร

หมายเหตุ *ความยาวของชิ้นทดสอบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 40 หาโดยการประมาณค่าจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความยาวที่ได้จากการทดสอบตามข้อ 11.3.3.1 กับข้อ 11.3.3.2*

11.4 ความต้านแรงอัด

11.4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่ตำแหน่ง ตอนบน ตอนกลาง และตอนล่างของคอนกรีตมวลเบาให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ± 1 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายแสดงด้านยาวของตัวอย่าง ทำการทดสอบเมื่อชิ้นทดสอบมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 ± ร้อยละ 2

กรณีชิ้นทดสอบมีความชื้นมากกว่าที่กำหนด ให้อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 75 องศาเซลเซียสจนได้ความชื้นตามที่ต้องการ

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.4.2 เครื่องมือ

11.4.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.4.2.2 เครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100 นิวตัน และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที

11.4.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 75 องศาเซลเซียส สำหรับการอบหาปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์ร้อยละ 10 ± ร้อยละ 2 ได้

11.4.3 วิธีทดสอบ

11.4.3.1 ให้กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามที่ระบุใน มอก.109 โดยใช้อัตราเพิ่มแรงอัดตามตารางที่ 4 ในแนวตั้งฉากกับด้านยาวของชิ้นตัวอย่างจนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย

11.4.3.2 วัดปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ

ตารางที่ 4 อัตราเพิ่มแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

(ข้อ 11.4.3.1)

ชั้นคุณภาพ	อัตราเพิ่มแรงอัดนิวตันต่อตารางมิลลิเมตรต่อวินาที
2	0.05
4	0.10
6	0.15
8	0.20

11.4.4 การรายงานผล

ให้รายงานปริมาณความชื้น และค่าความต้านแรงอัดของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ย

11.5 อัตราการดูดกลืนน้ำ

11.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบที่กึ่งกลางความยาวของตัวอย่างให้มีขนาด 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน $\pm$ 1 มิลลิเมตร

กรณีชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าค่าที่กำหนด ให้อนุโลมใช้รูปทรงลูกบาศก์ที่มีมิติเท่ากับความหนา

11.5.2 เครื่องมือ

11.5.2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

11.5.2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

11.5.2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 105 องศาเซลเซียส $\pm$ 5 องศาเซลเซียส

11.5.3 วิธีทดสอบ

11.5.3.1 อบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส $\pm$ 5 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง จากนั้นวัดมวลและมิติของแต่ละก้อน

11.5.3.2 แช่ชิ้นทดสอบตามข้อ 11.5.3.1 ในน้ำสะอาดให้น้ำท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วยกออก ใช้ผ้าชุ่มน้ำเช็ดที่ผิวทีละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ชั่งได้นี้ถือเป็นน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาที่ดูดกลืนน้ำ

กรณีตัวอย่างไม่ผ่านการทดสอบ ให้ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ 11.5.3.1 โดยใช้ตัวอย่างเดิมกับน้ำกลั่นอีก 1 ครั้ง

11.5.4 การรายงานผล

ให้รายงานค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยคำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักของน้ำที่ดูดกลืนต่อปริมาตรชิ้นทดสอบซึ่งคำนวณจากมิติ

ภาคผนวก ข มาตรฐาน JIS A 5416

JIS A*5416 95 ■ 4733600 0507823 888 ■

UDC 691.3:666.973

JIS

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Autoclaved lightweight aerated concrete panels

JIS A 5416–1995

Translated and Published

by

Japanese Standards Association

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with ISA

Printed in Japan

JIS A*3436 75 ■ 4733600 0367642 331 ■

In the event of any doubt arising,
the original Standard in Japanese is to be final authority.

Copyright Japanese Standards Association

JIS A*5416 75 ■ 4733608 0527624 544 ■

UDC 691.3 : 666.973

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD J I S 89

Autoclaved lightweight aerated concrete panels A 5416-1995

1. Scope This Japanese Industrial Standard specifies the panels with reinforcement, hereafter referred to as "panels", mainly used for building among products by the lightweight aerated concrete cured with autoclave, hereafter referred to as "ALC" using lime material and siliceous material as main raw materials.

Remarks 1. The standards cited in this Standard are shown in Attached Table 1.

2. The units and numerical values given in { } in this Standard are in accordance with the traditional unit system and appended for informative reference.

2. Classification The panels shall be classified into external wall panel, partition panel, roof panel and floor panel according to the use.

3. Quality

3.1 Quality of ALC

3.1.1 Compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition The compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition of ALC shall be tested in accordance with the specifications in 7. and conform to the requirements specified in Table 1.

Table 1. Compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition

Item	Specified value
Compressive strength N/mm² {kgf/cm²}	2.94 {30} min.
Bulk specific gravity in absolute dry condition	Over 0.45 to 0.55 excl.

3.1.2 Length change rate For the length change rate of ALC, the test specified in 7. shall be carried out and its value shall be not more than 0.05%.

3.2 Rust preventive performance of corrosion inhibitors For the rust preventive performance of corrosion inhibitors, the test specified in 7. shall be carried out and the area of rust generated on the surface of reinforcement shall be not more than 5% of the surface area of reinforcement.

3.3 Quality of panel

3.3.1 Appearance The appearance of panel shall conform to the requirements specified in Table 2.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Table 2. Appearance

Item	Specifications
Crazing	When observed visually at 60 cm apart therefrom, there shall not be remarkable crazings.
Warpage, indents, bubble irregularities and chips	There shall be nothing harmful to use.

3.3.2 Flexural strength The flexural strength of panel shall be as follows:

(1) Panels for general stock The flexural strength of panels for general stock shall be tested in accordance with 7. and conform to the requirements specified in Table 3.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Table 3. Flexural strength of panels for general stock

Unit: mm

Classification	Unit load	Nominal dimensions		Flexural cracking load (1)	The deflection when loaded with the lower limit value (2) of flexural cracking load
	N/m² {kgf/m²}	Thickness	Length	N {kgf}	
External wall panel	1 177 {120}	100	2 500	1 079 {110} min.	7.8 max.
			2 700	1 079 {110} min.	8.4 max.
			3 000	1 275 {130} min.	9.4 max.
			3 200	1 373 {140} min.	10.0 max.
			3 500	1 471 {150} min.	11.0 max.
	1 961 {200}	100	2 500	2 158 {220} min.	10.0 max.
			2 700	2 354 {240} min.	10.8 max.
			3 000	2 648 {270} min.	12.0 max.
Partition panel	637 {65}	100	2 500	294 {30} min.	—
			2 700	294 {30} min.	—
			3 000	294 {30} min.	—
			3 200	294 {30} min.	—
			3 500	392 {40} min.	—
Roof panel	981 {100}	100	2 000	1 177 {120} min.	5.2 max.
			2 500	1 471 {150} min.	6.4 max.
			2 700	1 569 {160} min.	7.0 max.
			3 000	1 765 {180} min.	7.8 max.
Floor panel	2 354 {240}	100	1 800	2 550 {260} min.	3.8 max.
			2 000	2 746 {280} min.	4.2 max.
		150	2 500	3 530 {360} min.	4.8 max.
			2 700	3 825 {390} min.	5.2 max.
	3 530 {360}	100	1 800	3 727 {380} min.	4.0 max.
			2 000	4 021 {410} min.	4.4 max.
		150	2 500	5 100 {520} min.	5.2 max.

Notes (1) It means the load indicating the inflection point in load deflection curve.

(2) It means the lower limit value of load specified in the column of flexural cracking load.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

92

(2) Order-made panels The flexural strength of order-made panels shall be tested in accordance with 7. and conform to the requirements specified in Table 4.

Table 4. Flexural strength of order-made panels

Classification	Flexural cracking load N {kgf}	The deflection when loaded with the lower limit value of flexural cracking load mm
External wall panel	$(W_n - W_p)\ bl$ min.	$\frac{W_n - W_p}{W_n} \cdot \frac{11}{10} \cdot \frac{l}{200} \cdot 1\,000$ max.
Partition panel	$(W_n - W_p)\ bl$ min.	—
Roof panel	$W_n\ bl$ min.	$\frac{W_n}{W_n + W_p} \cdot \frac{11}{10} \cdot \frac{l}{250} \cdot 1\,000$ max.
Floor panel	$W_n bl$ min.	$\frac{W_n}{W_n + W_p} \cdot \frac{11}{10} \cdot \frac{l}{400} \cdot 1\,000$ max.

where, W_n : unit load specified between the parties concerned in Table 7 (N/m²) {kgf/m²}

W_p : load by the self weight of panel (N/m²) {kgf/m²}. However, it shall be the value calculated by using 6 370 N/m² {650 kgf/m²} for roof panel and floor panel, and 4 900 N/m² {500 kgf/m²} for external wall panel and partition panel.

b : width of manufacturing dimension of panel (m)

l : distance between fulcrums (m)

3.3.3 Thermal insulating property The thermal insulating property of panels shall be tested in accordance with 7. and the thermal resistant value shall conform to the requirements specified in Table 5.

Table 5. Thermal insulating property

Item	Specified value
Thermal resistant value m²K/W {m²h°C/kcal}	0.005 3 d {0.006 2 d} min.

where, d : thickness of manufacturing dimension of panel (mm)

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

4. Dimensions

4.1 Nominal dimensions of panels The panels shall be classified into panels for general stock and order-made panels, and their nominal dimensions shall be as follows in accordance with classification and unit load.

(1) Panels for general stock The nominal dimensions of panels for general stock shall conform to Table 6.

Table 6. Nominal dimension of panels for general stock

Unit: mm

Classification	Unit load (3)	Nominal dimensions								
		Thickness	Length							Width
	N/m² {kgf/m²}		1 800	2 000	2 500	2 700	3 000	3 200	3 500	
External wall panel	1 177 {120}	100	—	—	○	○	○	○	○	600
	1 961 {200}	100	—	—	○	○	○	—	—	
Partition panel	637 {65}	100	—	—	○	○	○	○	○	
Roof panel	981 {100}	100	—	○	○	○	○	—	—	
Floor panel	2 354 {240}	100	○	○	—	—	—	—	—	
		150	—	—	○	○	—	—	—	
	3 530 {360}	100	○	○	—	—	—	—	—	
		150	—	—	○	—	—	—	—	

Note (3) This is the value to which the lower limit value of the flexural cracking load specified in Table 3 is converted in equal distribution.

(2) Order-made panels The nominal dimensions of order-made panels shall be determined from Table 7 in accordance with the agreement between the parties concerned.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

94

Table 7. Nominal dimension of order-made panels

Unit: mm

Classification	Unit load	Nominal dimensions		
	N/m^2 (kgf/m^2)	Thickness	Length	Width (4)
External wall panel	It is determined in accordance with the agreement between the parties concerned.	75, 80, 100, 120, 125, 150, 175, 180, 200	6 000 max.	600
Partition panel				
Roof panel				
Floor panel		100, 120, 125, 150, 175, 180, 200		

Note (4) When inevitable because of space for installation, the panel of not more than 600 mm in width may be adopted.

4.2 Manufacturing dimensions and tolerances of panels The manufacturing dimensions and tolerances of panels shall be as follows:

(1) Manufacturing dimensions The manufacturing dimensions of panels for general stock and order-made shall conform to Table 8.

Table 8. Manufacturing dimension

Classification	Manufacturing dimensions		
	Length	Width	Thickness
External wall panel	It is the value of the nominal dimension subtracted by 10 mm.	It is the value of the nominal dimension subtracted by 1 mm.	It is the same value as that of the nominal dimension.
Partition panel	It is the value of the nominal dimension subtracted by 20 mm.		
Roof panel			
Floor panel			

(2) Tolerances The tolerances on manufacturing dimensions shall conform to Table 9.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Table 9. Tolerance

Unit: mm

	Tolerances
Length	±5
Width	+1 −3
Thickness	±2

5. Materials

5.1 Lime material The lime material shall be the following lime or cement.

(1) The lime specified in JIS R 9001 shall be used.

(2) The cement specified in JIS R 5210, JIS R 5211, JIS R 5212 or JIS R 5213 or the high siliceous cement using those cements as main raw materials, shall be used.

5.2 Siliceous material The siliceous material is silica, quartz sand, blast furnace slag, fly-ash, etc., and shall not contain a detrimental amount of harmful components such as mud, dust, organic matters, etc.

5.3 Foaming agent The foaming agent is metallic powder, surface active agent, etc., and shall be able to obtain uniform bubbles.

5.4 Admixture When admixtures are used for the purposes of the stabilization of bubbles, the regulation of hardening time, etc., they shall not give any harmful influence on the quality of panel and its use.

5.5 Reinforcement The reinforcement shall be steel bars or low carbon steel wires of not less than 5 mm in nominal diameter given in one of the following:

(1) Steel bars specified in JIS G 3101.

(2) Steel bars specified in JSI G 3112.

(3) Ordinary low carbon steel wires specified in JIS G 3532.

5.6 Corrosion inhibitors The corrosion inhibitors produced with resin, pitch, cement, etc. as main raw materials, shall have effective rust preventive performance and give no harmful influence on the quality of panels.

6. Manufacture The manufacture of panels shall be carried out as follows:

(1) The panels shall be manufactured by preliminarily arranging the reinforcements worked by (3) and forming them to specific shapes in manufacturing ALC specified in (2).

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with ISA

96

Further, the side surfaces of those panels shall be worked, as required.

Remarks: The bar arrangement and cover thickness of reinforcement shall be recorded by drawing or the like.

(2) ALC shall be manufactured by a method wherein the lime material and silica material specified in 5.1 and 5.2 are pulverized, added with a suitable amount of water, foaming agent, etc., mixed, made porous and sufficiently hardened by autoclave curing (5).

Note (5) The autoclave curing means the saturated vapour curing at a high temperature and high pressure [generally, about 0.9807 MPa {10 kgf/cm^2} in gauge pressure (about 180°C in temperature)].

(3) For the reinforcement, a required amount of the reinforcement specified in 5.5 is arranged in a required shape and the intersecting contact points shall be worked by welding. The reinforcement shall be processed with rust preventive treatment effective for durability by the corrosion inhibitors specified in 5.6.

7. Tests

7.1 Conversion of numerical values The conversion of the numerical values resulted from the test using the tester or measuring instrument of traditional units to the numerical values based on the International System of Units (SI) shall be made on the basis of the following relation.

$$1 \text{ kgf} = 9.80 \text{ N}$$

7.2 Specimen The specimen shall be as follows:

(1) The size of specimen shall conform to Table 10.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Table 10. Size of specimen

Unit: mm

Test items	Size of specimen (Thickness × width × length)	Manufacture of specimen
Tests for compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition of ALC	100 × 100 × 100 (6)	According to (2)
Test for length change rate of ALC	40 × 40 × 160 (6)	According to (3)
Test for rust preventive performance of corrosion inhibitors	40 × 40 × 160 (6)	According to (4)
Test for flexural strength of panel	Manufacturing dimension	—
Test for thermal insulating property of panel	Manufacturing dimension thickness × 900 (450 × 2) × 900 min.	According to (5)

Note (6) The tolerance on dimensions of each side shall be within ±1 mm.

(2) The specimen for the compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition of ALC shall be taken from the central part of height in the foaming direction of ALC manufactured under the same condition as that for panel.

The specimen is dried to (10±2) % in water content in the air dryer with stirrer regulated at a temperature of not higher than 75°C and cooled to ordinary temperature. Thereafter, the tests for compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition shall be carried out by the method given in 7.3.

(3) The specimen for the length change rate of ALC shall be taken from the central part of height in the foaming direction of ALC manufactured under the same condition as that for panel so that the longitudinal direction of specimen becomes at right angles with the foaming direction.

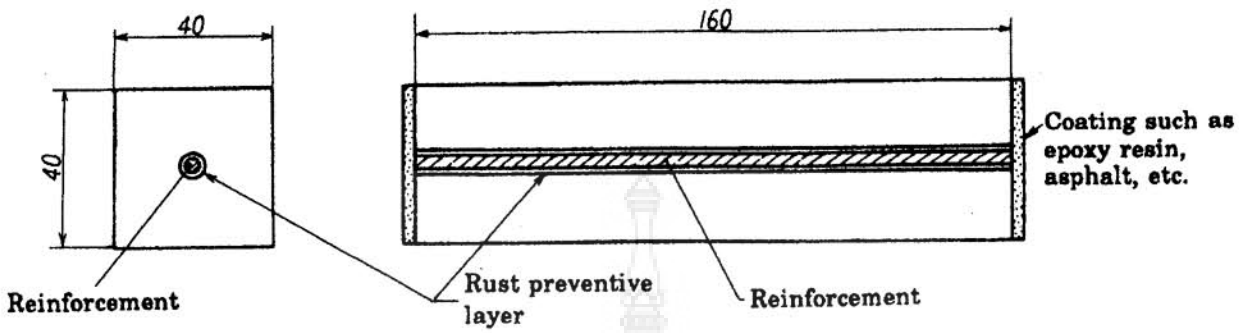
Further, to obtain the change of water content in the specimen for the length change rate in this test, the specimen of the same shape for measurement of mass shall be taken from a near position.

(4) The specimen of the rust preventive performance of corrosion inhibitors shall be cut out so that a piece of reinforcement of longitudinal direction of panel is put in almost the centre of section as given in Fig. 1 and both end surfaces shall be coated by using epoxy resin paint, asphalt, etc.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA
Not for Resale

Fig. 1. Specimen for rust preventive performance

Unit: mm



(5) For the specimen for the thermal insulating performance of panel, 2 test pieces of not smaller than 900 mm × 450 mm in size shall be cut out from the panel, stood in a room well ventilated and dried until the water content calculated from bulk specific gravity in absolute dry condition becomes 2% to 6%. Thereafter, the part of joint shall be made halving joint, butt-jointed so that no clearance is generated, and the joint part of surface is stuck with adhesive tape.

7.3 Tests for compressive strength and bulk specific gravity in absolute dry condition of ALC The compressive strength test and bulk specific gravity in absolute dry condition test shall be carried out as follows:

(1) The dimension between the central parts of opposing sides of specimen shall be measured at 4 positions respectively in the directions of thickness, width and length and the means of those measured values shall be obtained to take them as the thickness, width and length.

Further, the mass (m_1) of specimen in the test of this specimen shall be obtained using a balance capable of weighing to 1 g.

(2) The load for compressive test shall be applied from the direction perpendicular to the foaming direction of specimen using a tester capable of measuring to 98.1 N {10 kgf} and the maximum load (P) shown by the tester when the specimen is broken shall be obtained.

In this test, the load shall be applied at a speed of 0.1 N/mm² to 0.2 N/mm² {1 kgf/cm² to 2 kgf/cm²} per second so as not to give shock. Immediately after the tester showed the maximum value of load, the load shall be removed.

After completing the compressive strength test, the specimen shall be dried to absolute dry condition (7) and the mass (m_0) in absolute dry condition shall be obtained.

Note (7) The absolute dry condition herein means the condition where the specimen is dried at 105±5°C to a fixed mass.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA
Not for Resale

Remarks: The water content of specimen in the compressive strength test, shall be calculated from the following formula:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$$

where, W : water content (%)

m_1 : mass of specimen in test (g)

m_0 : mass in absolute dry condition of specimen (g)

(3) The compressive strength shall be calculated from the following formula:

$$S = \frac{P}{A}$$

where, S : compressive strength (N/mm²) {kgf/cm²}

P : maximum load (N) {kgf}

A : loading area (width × length) (mm²) {cm²}

(4) The bulk specific gravity in absolute dry condition shall be calculated from the following formula:

$$V_r = \frac{m_0}{V}$$

where, V_r : bulk specific gravity in absolute dry condition (g/cm³)

V : volume of specimen (thickness × width × length) (cm³)

7.4 Test for length change rate of ALC The test for the length change rate of ALC shall be carried out as follows:

(1) Immediately after absorbing water for 3 days by simultaneously dipping the specimen for length change rate and the specimen for measurement of mass into water at a temperature of 20±2°C by 3 cm under the water surface, the length is measured (8) and the mass is weighed. In this case, the mass shall be weighed by using a balance capable of weighing to 1 g.

The specimen measured length and the specimen weighed mass are stood still in the same chamber or vessel at 20±2°C in temperature and (60±5) % in humidity and the measurement of the length change and of mass shall be simultaneously carried out at least once per day until the water content becomes not more than 40%.

Note (8) The length change shall be measured in accordance with any one of the dial gauge method, comparator method or contact gauge method specified in JIS A 1129. However, the measurement of length shall be carried out using a measuring instrument having the minimum scale of not more than 0.005 mm.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

100

(2) Further thereafter, the length change shall be measured at least every 3 days until the length change becomes to equilibrium condition (9).

Note (9) The equilibrium condition herein means the condition where the length change rate for 3 days becomes not more than 0.003%.

(3) After completing the measurement of (1), the specimen for measurement of mass shall be dried to absolute dry condition (7), the mass (m_0) in absolute dry condition measured and the water content of specimen at respective stages calculated from the following formula:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100$$

where, W : water content (%)

m : mass of specimen at the time of measuring the length change (g)

m_0 : mass in absolute dry condition of specimen (g)

(4) The length change rate shall be calculated from the following formula and obtained to 2 places of decimals.

$$l_r = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$$

where, l_r : length change rate (%)

l_1 : length (10) at a water content of 40% (mm)

l_2 : length when the length change becomes to equilibrium condition (mm)

Note (10) The length herein shall be obtained from the correlation graph of measured values of (1) and (3).

7.5 Test for rust preventive performance of corrosion inhibitor For the test for rust preventive performance of corrosion inhibitors, the change of temperature between 25±5°C and 55±5°C shall be repeatedly continued by 4 cycles per day for 4 weeks by putting the specimen in saturated humidity. Thereafter, the rust preventive layer of the specimen is removed, and the presence of rust on the surface of reinforcement shall be carefully examined as to the inside part where both ends thereof are respectively excluded by each 1 cm. When the generation of rust is observed, the rust part is transferred by putting a transparent sheet on the surface of reinforcement, its area (mm^2) being obtained by an appropriate method and the percentage to the surface area (mm^2) of reinforcement shall be calculated.

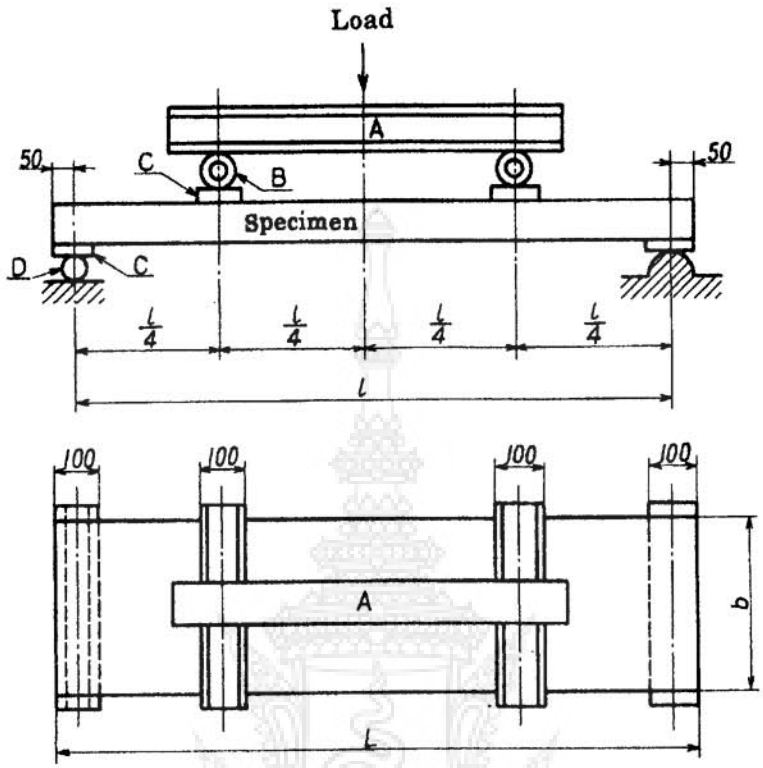
7.6 Test for flexural strength of panels The test for flexural strength of panels shall be carried out as follows:

(1) For the loading method, the double lines load test apparatus given in Fig. 2 is used and the load is added so that the deflection speed at the center of span becomes about 0.05 mm per second.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Fig. 2. Double lines load test apparatus

Unit: mm



A : loading beam

B : roller at loading point (steel circular column or pipe, of which length is not less than the width of specimen, having sufficient flexural rigidity of the degree capable of neglecting the deformation by load.

C : loading plate (steel plate of 100 mm in width, not less than the width of specimen in length and 6 mm to 15 mm in thickness)

D : fulcrum roller (the length is not less than the width of specimen)

l : distance between fulcrums (span)

L : length of specimen

b : width of specimen

(2) The loading shall be carried out until the tester indicates the maximum load, and the load–deflection curve shall be prepared (11) as to the load and the deflection at the center part of span. For measurement of load, the tester capable of measuring to 98.1 N {10 kgf} shall be used and for measurement of deflection, the displacement measuring instrument capable of measuring to 0.05 mm shall be used.

Note (11) For the plate where flexural cracking load is confirmed, the measurement of deflection may be omitted.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA
Not for Resale

(3) The deflection when the lower limit value of flexural cracking load is added shall be obtained from the load–deflection curve.

7.7 Test for thermal insulating performance of panels For the test for thermal insulating performance of panels, the surface temperature shall be measured at a mean temperature of 30±3°C under upward heat flow direction in accordance with JIS A 1420 and the thermal resistance value at that time shall be obtained.

8. Inspection After determining the lot size in accordance with JIS Z 9001, the inspection shall be carried out as follows:

(1) For the inspection for compressive strength of ALC, the test specified in 7. shall be carried out and the acceptance or rejection shall be determined as follows:

(a) When standard deviation is known and the following formula is satisfied, its lot shall be accepted. In this case, 3 specimens shall be sampled from one lot to take them as the sample.

$$\overline{X} \geqq 2.94 + 1.60\sigma$$

where, $\overline{X}$: mean value of 3 test results

σ : standard deviation of lot, generally obtained from the past data in factory

(b) When standard deviation is unknown and the following formula is satisfied, its lot shall be accepted.

In this case, 7 specimens shall be sampled from one lot to take them as the sample.

$$\overline{x} \geqq 2.94 + 1.64s$$

where, $\overline{x}$: mean value of 7 test results

s : standard deviation of sample, to be calculated from the following formula:

$$s = 1.08\sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \cdots\cdots + x_7^2}{7} - \overline{x}^2}$$

where, $x_1, \cdots, x_7$: each test result

(2) For the inspection of the bulk specific gravity in absolute dry condition of ALC, 3 specimens shall be sampled from one lot and the test specified in 7. shall be carried out. When the following formula is satisfied, that lot shall be accepted.

$$0.45 < \overline{X} < 0.55$$

where, $\overline{X}$: mean value of 3 test results

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

(3) The inspection for the dimensions and appearance of panels shall be carried out by sampling 3 specimens from one lot and when all 3 specimens conform to the requirements specified in 4.2 and 3.3.1, that lot shall be accepted.

(4) For the inspection for the flexural strength of panels, the test specified in 7. shall be carried out by sampling 3 specimens from one lot and when all 3 specimens conform to the requirements specified in 3.3.2, that lot shall be accepted. However, when estimation is possible from the past data in factory and compressive strength of ALC, the inspection may be omitted.

(5) The inspections for the length change rate of ALC, the rust preventive performance of corrosion inhibitors and the thermal insulating performance of panels shall be carried out as follows, when the specification or manufacturing conditions of panels are changed.

(a) For the inspection for the length change rate of ALC and the rust preventive performance of corrosion inhibitors, the test specified in 7. shall be carried out as to 3 specimens respectively sampled at random and when all 3 specimens conform to the requirements respectively specified in 3.1.2 and 3.2, those products shall be accepted.

(b) For the inspection for the thermal insulating performance of panels, the test specified in 7. shall be carried out as to one specimen prepared using the panel sampled at random and when it conforms to the requirements specified in 3.3.3, its product shall be accepted.

9. Marking The products shall be marked with the following information:

(1) Manufacturer's name or abbreviation

(2) Class or its abbreviation

(3) Date of manufacture or its abbreviation

(4) Unit load

(5) Length (manufacturing dimension)

Remarks: It may be marked by the unit of centimeter.

(6) Marking expressing the division of top and bottom or inside and outside of surface

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Attached Table 1. Cited standards

JIS A 1129	Methods of test for length change of mortar and concrete
JIS A 1420	Test method for thermal transmission properties of materials or assemblies for dwellings
JIS G 3101	Rolled steel for general structure
JIS G 3112	Steel bars for concrete reinforcement
JIS G 3532	Low carbon steel wires
JIS R 5210	Portland cement
JIS R 5211	Portland blast-furnace slag cement
JIS R 5212	Portland pozzolan cement
JIS R 5213	Portland fly-ash cement
JIS R 9001	Industrial limes
JIS Z 9001	General rules for sampling inspection procedures

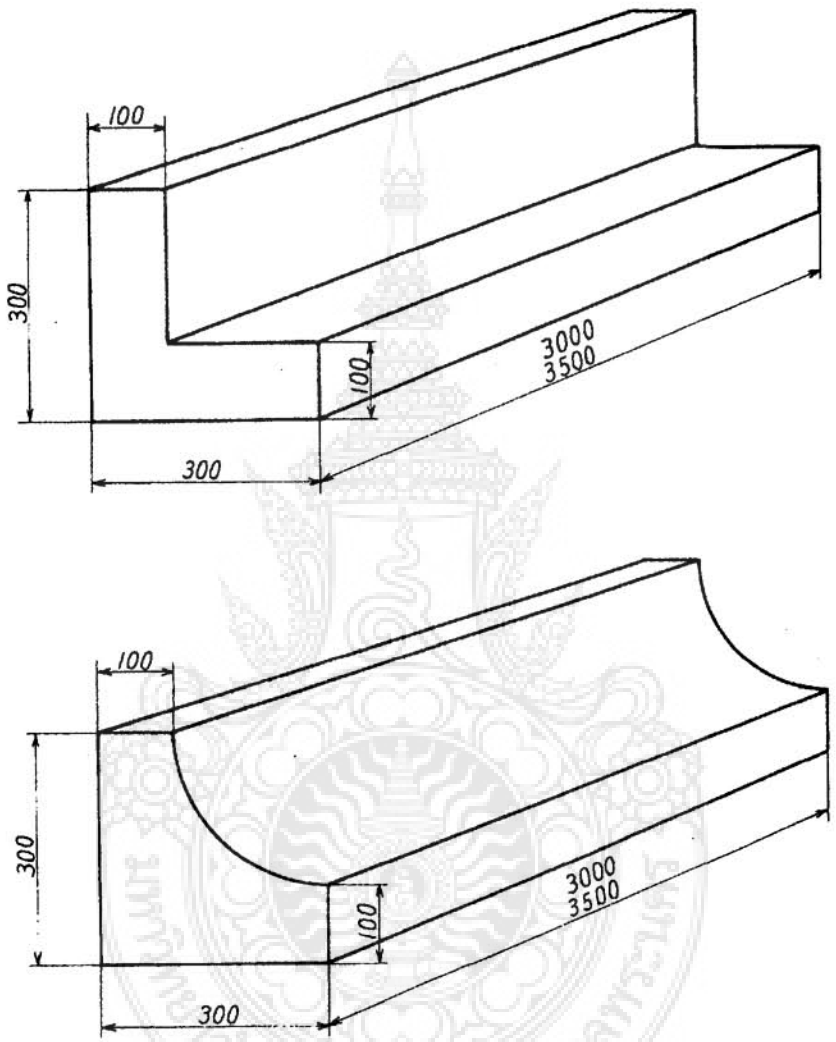
Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

Informative reference: There are following corner panels as accessaries necessary for execution of works of ALC panels.

Example of shape and nominal dimensions

Informative reference Figure 1. Corner panels

Unit: mm



Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

A 5416-1995
Edition 1

Japanese Text

Established by Minister of International Trade and Industry

Date of Establishment: 1972-03-01

Date of Revision: 1995-07-01

Date of Public Notice in Official Gazette: 1995-07-03

Investigated by: Japanese Industrial Standards Committee

Divisional Council on Architecture

This English translation is published by:
Japanese Standards Association
1-24, Akasaka 4, Minato-ku,
Tokyo 107 Japan
© JSA, 1996

Printed in Tokyo by
Hohbunsha Co., Ltd.

Copyright Japanese Standards Association
Provided by IHS under license with JSA

ภาคผนวก ค คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ

ผลิตภัณฑ์
Product

คำถามที่พบบ่อย
โครงการ PCC

ผลงาน
ผลงานที่ผ่านมา
ของเรา

รวมงาน
ลวดลายของเรา

คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำ PCC

ข้อมูลทั่วไป

"คอนกรีตมวลเบา PCC" เป็นคอนกรีตมวลเบาชนิดมีฟองอากาศอบไอน้ำ (Autoclaved Aerated Concrete) ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติที่หาได้ในประเทศไทย ได้แก่ ซีเมนต์, ทราย, ปูนขาว, ยิปซั่ม, ผงอลูมิเนียม และน้ำ วัตถุดิบทุกตัวจะถูกผสมกันในรูปแบบของเหลว ซึ่งผงอลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยากับปูนขาวทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ทั่วไปในเนื้อวัสดุ ทำให้เนื้อวัสดุมีการขยายปริมาตรมากขึ้น และก๊าซไฮโดรเจนจะระเหยออกไป เหลือช่องอากาศว่างไว้ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างใหม่ที่เรียกว่า Cellular Structure ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้คอนกรีตมวลเบา PCC มีความเป็นฉนวนที่ดี จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดผ่านกระบวนการอบไอน้ำแรงดันสูงที่อุณหภูมิ 180-185 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 12-14 ชั่วโมง ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกให้มีอัตราการรับกำลังอัดได้สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการอบไอน้ำ

คอนกรีตมวลเบา PCC มีผลิตภัณฑ์จำหน่ายดังนี้

1. *PCC BLOCK* ขนาด 20x60, 30x60 ซม. ความหนาตั้งแต่ 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20, ..., 30 ซม.
2. *PCC LINTEL* เป็นทับหลังสำเร็จรูปมีความหนาตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป ความยาวตั้งแต่ 1.20 ม. ถึง 4.20 ม.
3. *PCC WALL PANEL* เป็นแผ่นผนังเสริมเหล็ก ความหนาตั้งแต่ 10 ซม. ขึ้นไป ความยาวตั้งแต่ 2.00 ม. ถึง 4.20 ม.
4. *PCC FLOOR PANEL* เป็นแผ่นผนังเสริมเหล็ก ความหนาตั้งแต่ 15 ซม. ขึ้นไป ความยาวตั้งแต่ 2.00 ม. ถึง 4.20 ม.
5. *PCC ROOF PANEL* เป็นแผ่นผนังเสริมเหล็ก ความหนาตั้งแต่ 15 ซม. ขึ้นไป ความยาวตั้งแต่ 2.00 ม. ถึง 4.20 ม.

ด้วยความมุ่งมั่นและพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของนวัตกรรมด้านวัสดุก่อสร้าง ทำให้อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยได้เลือกใช้ประโยชน์จากวัสดุก่อสร้างจากธรรมชาติที่ปลอดภัย สนองตอบประโยชน์ใช้สอยโดยเปรียบเทียบคุณสมบัติได้ดามตาราง

รายการ	อิฐมอญ	บล็อกคอนกรีต	คอนกรีตมวลเบา PCC	ประโยชน์ที่ได้รับ
น้ำหนักผนัง/ตร.ม. (รวมฉาบ) กก./ตร.ม.	180-200	180-200	90-100	เบากว่า 2 เท่า ทำงานง่ายประหยัด โครงสร้างลดอัตราการทรุดตัวของอาคาร
จำนวนก้อน/ตร.ซม.	120	12.5	8.33	ใช้ปริมาณน้อยกว่างายต่อการติดตั้งและสามารถก่อได้รวดเร็ว
ค่ากำลังอัด กก./ตร.ม.	20-35	25-30	35-50	ผนังโดยรวมของอาคารแข็งแรงกว่า
อัตราการดูดซึมน้ำ (%)	30.8	25-45	30-35	ไม่ซึมน้ำมากกว่าเพราะผิวมีโพรงอากาศแบบไม่ต่อเนื่องกัน
อัตราการทนไฟ (ช.ม)	1-2	0.5	4+	ปลอดภัยสำหรับผู้อยู่อาศัย และใช้เป็นผนังกันไฟตามกฎหมาย
อัตราการนำความร้อน (w/m°k)	1.211	ไม่มีผลการทดสอบ	0.089-0.132	มีการนำความร้อนต่ำไม่สะสมความร้อนประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นได้ถึง 60%
การฝังท่อน้ำ/ไฟ	สกัด	สกัด	เซาะร่องทำงานง่ายกว่า	งานเสร็จเร็วผนังไม่เสียหาย
การผลิต	นำมาผิน เผาได้คุณภาพบางฤดูกาล	คอนกรีตผสมแห้งโดยการอัด	ผลิตจากเครื่องจักรที่ทันสมัย ISO 9001 : 2000	ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม คุณภาพคงที่และคงทนตลอดอายุการใช้งานของอาคาร
ความหนาของปูนฉาบ (มม.)	15-30	10-25	5-10	ง่ายต่อการจัดแนวก่อทำให้ไม่ล้มดิ่ง จึงสามารถฉาบได้บางกว่า
ราคาวัสดุ ก่อ ฉาบ เอ็นทับหลัง (บาท/ตร.ม.)	420	323.03	343.33	ราคาไม่สูงกว่า บล็อกอื่นๆ แถมยังได้ประโยชน์มากกว่า

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวอุมาพร จงพลสิทธิ์
วัน เดือน ปีเกิด 10 ตุลาคม พ.ศ. 2534
ภูมิลาเนา อำเภอ เมือง จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

2546	ประถมศึกษา	โรงเรียนวัดตำหนักใต้ จังหวัดนนทบุรี
2549	มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนนนทบุรีพิทยาคม จังหวัดนนทบุรี
2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนนนทบุรีพิทยาคม จังหวัดนนทบุรี
2556	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวจารุวรรณ แย้มคำ
วัน เดือน ปีเกิด 19 มกราคม พ.ศ. 2535
ภูมิลาเนา อำเภอ ปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

ประวัติการศึกษา

2546	ประถมศึกษา	โรงเรียนมูลนิธิปากเกร็ดวิทยา จังหวัดนนทบุรี
2549	มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนนนทบุรีพิทยาคม จังหวัดนนทบุรี
2552	มัธยมศึกษาตอนปลาย	โรงเรียนนนทบุรีพิทยาคม จังหวัดนนทบุรี
2556	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร