รายงานการวิจัย

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

ประสาร จิตร์เพ็ชร Prasan Jitpat

ทวิช กล้าแท้ Tawich Klathae

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2560

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ประสาร จิตร์เพ็ชร[1] และทวิช กล้าแท้[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) มาผสมในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) บางส่วน ในอัตราร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยทำการทดสอบกำลังอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่อายุการบ่ม 7 14 28 56 และ 90 วัน ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตบล็อก ซึ่งทำการแทนที่ OPC ด้วย OS ที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุการบ่ม 28 วัน นั้น มีค่ากำลังอัดและการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 58-2533, คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก) ในขณะที่คอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ OPC ด้วย OS ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกเทียบเท่ากำลังอัดที่ 28 วันตามเกณฑ์ มอก. 58-2533 ที่อายุการบ่ม 56 และ 90 วันตามลำดับ และมีการลดลงของกำลังอัดเมื่อทำการเพิ่มขึ้นของ OS ที่ร้อยละ 40 และ 50 ตามลำดับ ในส่วนของการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก พบว่าคอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ OPC ด้วย OS นั้น มีค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่มี OPC เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว และเพิ่มมากขึ้นเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 ตามลำดับ ในเชิงเศรษฐศาสตร์คอนกรีตบล็อกที่มี OPC เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว มีต้นทุนการผลิตเท่ากับ 2.60 บาท ในขณะที่คอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ OPC ด้วย OS ที่อัตราส่วนร้อยละ 10-30 มีต้นทุนผลิตเพียง 2.12-2.44 บาทเท่านั้น

คำสำคัญ :คอนกรีตบล็อก, เปลือกหอยนางรมบด, ไม่ผ่านการเผา, กำลังอัด, การดูดกลืนน้ำ

---

[1]วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

Prasan Jitpat[1] and Tawich Klathae[1]

Abstract

The research aims to investigate the possibilities of crushed oyster shell (OS) not have to go through the process of burning as a substitution cement for concrete blocks. The cement was replaced with crushed oyster shell not process burning (OS) at 0%, 10, 20, 30, 40 and 50% by the weight of the binder. After that the concrete blocks were tested to determine the compressive strength and moisture absorbed of the concrete blocks cured for 7, 14, 28, 56 and 90 days. The result showed that the compressive strength of the concrete blocks which replaced cement with OS (at the proportion of 10% by the weight of the binder) at 28 days had the compressive strength and water absorbed accordance with the TIS 58-2533 on non-load bearing concrete blocks. Moreover, the concrete blocks which replaced cement with OS at the proportion of 20% and 30% had the compressive strength equivalent to 28 days compressive strength of TIS 58-2533 standard at 56 and 90 days, respectively and decreased when the percentage in addition to OS in concrete blocks of 40 and 50%. Tested results also showed that the water absorbed of concrete blocks increased when the percentage of replacement of OS in binder increased at 10, 20, 30, 40 and 50%. The economical of concrete blocks it has manufactured unit cost is 2.60 baht. Whereas the concrete block containing crushed oyster shell at 10-30 % it has manufactured unit cost at 2.12-2.44 baht, respectively.

keywords: concrete blocks, crushed oyster shell, not process burning, compressive strength, water absorbed

---

[1]College of Industrial Technology and Management. , Rajamangala University of Technology Srivijaya.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2560 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยนางรมบด โดยไม่ผ่านกระบวนการเผา ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารและร้านอาหารภายในชุมชน มาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ในกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อก เพื่อเป็นการลดขยะเหลือทิ้งและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์แก่ชุมชนต่อไป

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทดลองวิจัย ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัยที่อุทิศกำลังกายและกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวที่ให้ความห่วงใยเป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านและหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาส นี้

ประสาร จิตร์เพ็ชร

ทวิช กล้าแท้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริมาณผลผลิตหอยสองฝา.....7
2.2 การศึกษาลักษณะทั่วไปของเปลือกหอย.....8
2.3 ชนิดของเปลือกหอยสองฝาที่ศึกษา.....8
2.4 หอยนางรม.....10
2.5 การเพาะเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี.....13
2.6 ปูนซีเมนต์.....16
2.7 สารประกอบรองของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ให้ผลกระทบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์.....18
2.8 การก่อตัวและปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์.....18
2.9 คอนกรีตบล็อก.....25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 33

3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย 37

3.3 การผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง 39

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง 40

3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล 42

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ 43

4.2 องค์ประกอบทางเคมี 44

4.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค 45

4.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบความเป็นผลึก 46

4.5 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก 47

4.6 ผลการทดสอบกำลังรับอัดของคอนกรีตบล็อก 48

4.7 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก 50

4.8 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิต 51

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 53

บรรณานุกรม 54

ภาคผนวก ก. ข้อมูลและการคำนวณกำลังรับแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกโดยใช้เปลือกหอยนางรมบดเป็นวัสดุประสาน 58

ภาคผนวก ข. ข้อมูลและการคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกโดยใช้เปลือกหอยนางรมบดเป็นวัสดุประสาน 75

ประวัติคณะวิจัย 91

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2-1 ปริมาณผลผลิตหอยน้ำเค็มทั้งหมด จำแนกเป็นรายชนิด ปี พุทธศักราช 2552-2556 7
2-2 แสดงอำเภอที่มีการเลี้ยงหอยในจังหวัดสุราษฎร์ธานี..... 15
2-3 อุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์ 23
2-4 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533)..... 28
2-5 ความต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.779/2548)..... 29
3-1 Mixture proportions (Binder : Stone dust, 1:8) 38
3-2 Number of Concrete Block..... 39
3-3 คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)..... 42
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงเปลือกหอยนางรม และ หินฝุ่น..... 44
4-2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และผงเปลือกหอยนางรมบด..... 44
4-3 Compare water absorption of concrete block with crushed oyster shell (OS) and concrete block control (OPC100) at 7, 14, 28, 56 and 90 days..... 51
4-4 The economical of concrete blocks..... 52
ก-1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 7 วัน 61
ก-2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 14 วัน 61
ก-3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 28 วัน 62
ก-4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 56 วัน 62
ก-5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 90 วัน 63
ก-6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 7 วัน 63

ก-7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 10 ที่อายุ 14 วัน 64
ก-8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 10 ที่อายุ 28 วัน 64
ก-9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน 65
ก-10 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 10 ที่อายุ 90 วัน 65
ก-11 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 20 ที่อายุ 7 วัน 66
ก-12 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 20 ที่อายุ 14 วัน 66
ก-13 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน 67
ก-14 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 20 ที่อายุ 56 วัน 67
ก-15 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 20 ที่อายุ 90 วัน 68
ก-16 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 30 ที่อายุ 7 วัน 68
ก-17 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 30 ที่อายุ 14 วัน 69
ก-18 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 30 ที่อายุ 28 วัน 69
ก-19 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 30 ที่อายุ 56 วัน 70
ก-20 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 30 ที่อายุ 90 วัน 70
ก-21 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 40 ที่อายุ 7 วัน 71

ก-22 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 40 ที่อายุ 14 วัน 71
ก-23 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 40 ที่อายุ 28 วัน 72
ก-24 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน 72
ก-25 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 40 ที่อายุ 90 วัน 73
ก-26 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 50 ที่อายุ 7 วัน 74
ก-27 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 50 ที่อายุ 14 วัน 74
ก-28 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 50 ที่อายุ 28 วัน 75
ก-29 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 50 ที่อายุ 56 วัน 75
ก-30 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วน
ร้อยละ 50 ที่อายุ 90 วัน 75
ข-1 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 7 วัน.....77
ข-2 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 14 วัน 77
ข-3 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 28 วัน 78
ข-4 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 56 วัน 78
ข-5 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 90 วัน 79
ข-6 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 7 วัน 79

ข-7 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 14 วัน 80
ข-8 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 28 วัน 80
ข-9 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน 81
ข-10 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 90 วัน 81
ข-11 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 7 วัน 82
ข-12 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 14 วัน 82
ข-13 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน 83
ข-14 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 56 วัน 83
ข-15 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 90 วัน 84
ข-16 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 7 วัน 84
ข-17 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 14 วัน 85
ข-18 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 28 วัน 85
ข-19 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 56 วัน 86
ข-20 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ใน
อัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 90 วัน 86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ข-21 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 7 วัน 87
ข-22 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 14 วัน 87
ข-23 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 28 วัน 88
ข-24 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน 88
ข-25 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 90 วัน 89
ข-26 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 7 วัน 89
ข-27 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 14 วัน 90
ข-28 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 28 วัน 90
ข-29 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 56 วัน 91
ข-30 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 90 วัน 91

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2-1 ลักษณะทางกายภาพของหอยนางรม....11
2-2 พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี....14
2-3 เนื้อที่เพาะเลี้ยงหอยนางรมของจังหวัดสุราษฎร์ธานี....15
2-4 แผนภูมิการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์....21
2-5 ผลกระทบของ w/c ต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์....21
2-6 แบบจำลองโครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต....25
2-7 โครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์....25
2-8 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกและชื่อเรียกส่วนต่างๆ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533)....27
3-1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ประเภทที่ 1....33
3-2 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกหอยนางรมบด....34
3-3 เครื่องบดเปลือกหอยนางรม....36
3-4 ขวดทดลองมารฐานเลอชาเตอลิแอร์ (Le Chatelier Flask)....37
3-5 เปลือกหอยนางรมบดที่ผ่านตะแกรงเบอร์100....40
3-6 ผสมวัสดุต่างๆลงเครื่องผสมคอนกรีตบล็อก....40
3-7 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก....40
3-8 คอนกรีตบล็อกหลังจากอัดด้วยเครื่อง....40
3-9 ปรับผิวหน้าคอนกรีตบล็อกด้วยปูนปลาสเตอร์ก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัด....41
4-1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุ....45
4-2 แสดงผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์....46
4-3 Unit weight of concrete block....48
4-4 Compressive strength of concrete block....49
4-5 Water absorption of concrete block at 28 days....50

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ปัจจุบันการสร้างอาคารที่มีการใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด (Green Building) เริ่มได้รับความสนใจจากเจ้าของอาคาร ผู้ออกแบบ วิศวกร และผู้อยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ขณะที่ภาครัฐเองก็เร่งผลักดันมาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร (Building Energy Code : BEC) ฉบับใหม่ เพื่อให้ครอบคลุมการออกแบบโดยรวมของอาคาร ดังนั้น ผู้ประกอบการวัสดุก่อสร้างควรนำหลักเกณฑ์การประเมิน Green Building ตามมาตรฐาน LEED และTREE1 มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาวัสดุก่อสร้างเพื่อรองรับการเติบโตของอาคารสีเขียวในอนาคต อาทิ การพัฒนากระจกประหยัดพลังงาน การพัฒนาวัสดุก่อสร้างให้มีส่วนผสมของวัสดุรีไซเคิล หรือการนำขยะเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นผลิตภัณฑ์ในการก่อสร้าง เป็นต้น (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560) คอนกรีตบล็อก (Concrete Block) เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 5-6 กิโลกรัมต่อก้อน ใช้ปูนซีเมนต์ หินฝุ่นหรือทราย และน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก โดยผู้ผลิตคอนกรีตบล็อกส่วนใหญ่เป็นวิสาหกิจชุมชน ชาวบ้าน และโรงงานขนาดเล็ก ผลิตโดยใช้เครื่องจักรที่สร้างขึ้นเองภายในประเทศ โดยใช้ในการก่อผนังหรือกำแพงเนื่องจากเป็นวัสดุที่ผลิตง่ายและสะดวกในการก่อสร้าง จึงเป็นที่นิยมในการก่อสร้าง คอนกรีตบล็อกมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ขนาดและคุณภาพที่เป็นมาตรฐาน มีความแข็งแรงและทนทานดี มีคุณสมบัติทนไฟและระบายความร้อนในตัวอาคารให้กับตัวอาคารได้ ทั้งยังง่ายและสะดวกต่อการวางแผน ใช้เวลาในการก่อน้อยกว่าการก่ออิฐมอญมาก (ศักดิ์สิทธิ์, อุปวิทย์ และสุดใจ, 2550) ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยมีการศึกษาพัฒนาคอนกรีตบล็อก และวัสดุที่นำมาทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมากมาย เช่น วราเทพ บำรุงไทย, (2551) ได้ทำการศึกษาเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อการก่อสร้างอาคารทั่วไปตามมาตรฐาน มอก. 53-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยที่นำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่มีการรับแรงอัดเกินมาตรฐาน มอก. 53-2533 ที่ 28 วัน มีผลให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกลดลง 0.35 บาทต่อก้อน ต่อมา วรากร (2554) ได้ศึกษาความเป็นได้ของการใช้กาก

แคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในการผลิตบล็อกเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำคอนกรีตบล็อกคือ อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยที่เท่ากับ 40:60 และอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำและวัสดุเชื่อมประสานที่เท่ากับ 0.75 โดยคอนกรีตบล็อกที่เตรียมด้วยส่วนผสมนี้มีกำลังอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533 จากนั้น สุริยา (2557) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกหอยเชอรี่บดในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตบล็อกประสานตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก โดยมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 100:0 90:10 80:20 70:30 และ60:40 ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของตัวอย่างมีค่าลดลงตามปริมาณเปลือกหอยเชอรี่บดที่เพิ่มขึ้น และอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับผลิตบล็อกประสานในงานโครงสร้างรับน้ำหนัก คือ 70:30 ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ด้วยต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเท่ากับ 1.937 บาทต่อก้อน ในขณะที่ วันโชค, โสภณ, ประภิต และจีระศักดิ์ (2559) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยด้วยวัสดุยึดประสาน : ทราย : หินฝุ่นในอัตราส่วน 1 : 2 : 8 โดยน้ำหนัก แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุยึดประสาน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเท่ากับ 0.70 0.80 และ 0.90 จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 30 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม อย่างไรตาม การดูดกลืนน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม นอกจากนี้การนำความร้อนมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้ง สมพงษ์ และสุภชัย (2560) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยเป็นวัสดุปอตโซลานสำหรับการปรับเสถียรและการหล่อแข็งกากตะกอนโครเมียมจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะให้อยู่ในรูปของอิฐบล็อกประสานที่มีค่ากำลังต้านแรงอัดสูงเทียบเท่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกเชิงตันรับน้ำหนัก มอก. 60-2516 ชั้นคุณภาพ ค-2 สำหรับใช้ในการก่อสร้างกำแพงที่มีการฉาบปูน โดยมีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ วัสดุปอตโซลาน (เถ้าแกลบหรือเถ้าลอย) และหินฝุ่น ในอัตราส่วน 1:1:7 โดยน้ำหนัก (กากตะกอนโครเมียมทดแทนหินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตร) ผสมรวมกับน้ำร้อยละ 15 ของน้ำหนักรวม ผลการทดสอบพบว่าอิฐบล็อกที่อัตราการทดแทนกากตะกอนโครเมียมในหินฝุ่นทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากการบ่มชื้น 28 วัน

อิฐบล็อกประสานที่ผ่านเกณฑ์ค่ากำลังต้านแรงอัดที่กำหนด คืออิฐบล็อกผสมเถ้าแกลบที่อัตราทดแทนกากตะกอนโครเมียมในหินฝุ่นร้อยละ 30 และอิฐบล็อกประสานผสมเถ้าลอยที่อัตราทดแทนกากตะกอนโครเมียมในหินฝุ่นร้อยละ 20

จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัดที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย สินค้าประมงที่สร้างชื่อเสียงให้กับสุราษฎร์ธานี ได้แก่ หอยตะโกรมหรือหอยนางรม กุ้ง ปลา ปู กั้ง หอยขาว และสัตว์น้ำอื่นๆ ส่งผลทำให้จังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลที่สำคัญของประเทศ สินค้าเหล่านี้ส่วนใหญ่เกิดจากการเพาะเลี้ยงไม่ว่าจะเป็นการเพาะเลี้ยงในทะเลหรือในบ่อเพาะเลี้ยงที่อยู่ในแผ่นดิน ก็ตามการเพาะเลี้ยงเหล่านี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพาะเลี้ยงหอยตะโกรมหรือหอยนางรม กุ้ง และปลา ภายในจังหวัดสุราษฎร์ธานีประสบความสำเร็จ และมีความก้าวหน้าในระดับหนึ่ง (คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดสุราษฎร์ธานี สำนักงานจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2559) โดยจังหวัดสุราษฎร์ธานีเป็นจังหวัด 1 ใน 3 จังหวัดที่มีจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยมากที่สุด รองลงมาจากจังหวัดสมุทรสงคราม และจังหวัดเพชรบุรี จาก 22 จังหวัดชายทะเล รวมถึงกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยรวมทั้งสิ้น 6,015 ฟาร์ม โดยสุราษฎร์ธานีมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอย 932 ฟาร์ม มีเนื้อที่ในการเลี้ยงหอยทั้งสิ้น 25,238.12 ไร่ โดยหอยทะเลที่นิยมเลี้ยงกันมากที่สุด ไดแก หอยแครง หอยแมลงภู และหอยนางรม โดยในปี 2558 จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีผลผลิตของหอยทะเลทั้งหมด 35,593.71 ตัน โดยเมื่อจำแนกผลผลิตออกตามชนิดพบว่าเป็น ผลผลิตหอยแครง 31,161.75 ตัน หอยแมลงภู 415.26 ตัน และหอยนางรม 4,016.70 ตัน (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2560) จากปริมาณผลผลิตที่สูง ส่งผลให้มีปริมาณเปลือกหอยนางรมที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมประมงจำนวนมาก ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการเผาไหม้ ทำได้เพียงกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบเท่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ดังนั้นบทความวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอผลศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) มาผสมในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) บางส่วน แล้วทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.58-2533 เพื่อความปลอดภัยเมื่อนำไปใช้งานจริง และเพื่อเป็นนำวัสดุเหลือทิ้งมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย และยังเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเหลือทิ้ง อีกทั้งยังเป็นการช่วยจัดการของเสีย และสามารถสร้างเป็นอาชีพเพื่อเพิ่มรายได้ให้กับชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมบด

1.2.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมในด้านปริมาณและความเป็นไปได้การใช้เปลือกหอยนางรมบดในการทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.2.3 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกหอยนางรมบด ในการทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว

1.2.4 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกหอยนางรมบด ในการทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว

1.2.5 เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากเปลือกหอยนางรมบดมาแทนปูนซีเมนต์บางส่วน กับคอนกรีตบล็อกที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตดังต่อไปนี้

1.3.1 แหล่งที่มาของวัตถุดิบ จำแนกได้ดังนี้

1.3.1.1 เปลือกหอยนางรมบด (OS) ไม่ผ่านการเผาจากพื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

1.3.1.2 วัสดุประสานที่ใช้ กำหนดใช้ปูนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 (OPC), (ASTM C150, 2015)

1.3.1.3 หินฝุ่นจากโรงโม่หินผาทอง อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช โดยใช้ขนาดที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

1.3.1.4 น้ำสะอาด

1.3.2. การทดสอบคุณสมบัติของเปลือกหอยนางรมบดละเอียด ปูนซีเมนต์ และคอนกรีตบล็อก การทดสอบสมบัติต่างๆ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ในข้อ 1.2 ประกอบด้วย

1.3.2.1 ทดสอบเชิงจุลภาค

- การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยวิธี XRF (X-Ray Fluorescence)

- การวิเคราะห์หาองค์ประกอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง XRD (X-ray Diffractrometer) ของวัสดุ

- การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนแบบส่องกราด SEM (Scanning Electron Microscope) ของวัสดุ

1.3.2.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

- Laser, Particle Size Analyzer

- การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (Loss on Ignition)

การทดสอบหน่วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อก

1.3.2.3 ทดสอบสมบัติทางกล

- การทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก

- การทดสอบกำลังรับอัดของคอนกรีตบล็อก

- การทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

1.3.2.4 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิต

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ด้านวิชาการ

1.4.1.1 องค์ความรู้ใหม่ในด้านการศึกษาถึงสมบัติของของเปลือกหอยนางรมบด ในการนำมาใช้ในงานคอนกรีตบล็อก

1.4.1.2 กรอบการนำเปลือกหอยนางรมบดไปใช้งานตามหลักวิศวกรรม

1.4.2 ด้านเศรษฐกิจ

1.4.2.1 เป็นแนวทางในการสร้างวัสดุทดแทนเพื่อการนำไปใช้งานที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุเดิมและเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่วัตถุดิบที่มีมูลค่าต่ำและมีอยู่ในปริมาณสำรองจำนวนมากในปัจจุบัน

1.4.2.2 ได้แนวทางสร้างงานและอาชีพให้ชุมชนและลดต้นทุนการผลิตวัสดุผสมลง

1.4.3 ด้านสังคม

1.4.3.1 ส่งเสริมการประหยัดพลังงานในรูปแบบการใช้ของเปลือกหอยนางรมบดทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ซึ่งจะส่งผลให้ลดพลังงานในการเผาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลง

1.4.3.2 เป็นแนวทางการใช้วัสดุทดแทนเพื่อการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม และธรรมชาติ ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เข้าสู่บรรยากาศให้น้อยลง

1.4.3.3 เป็นการสร้างจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2
ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริมาณผลผลิตหอยสองฝาและลักษณะทั่วไปของเปลือกหอย

2.1.1 ปริมาณผลผลิตหอยสองฝา

หอยสองฝา (Bivalves) เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีการเพาะเลี้ยงจำนวนมากมายทั่วโลก มีมูลค่าการค้าปีหนึ่ง ๆ กว่าพันล้านดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งเกือบร้อยละ 80 ของผลผลิตหอยสองฝาของโลกมาจากการเพาะเลี้ยง โดยผลผลิตหอยสองฝาทั้งหมดแต่ละปีมีประมาณ 11 ล้านตัน สายพันธุ์ของหอยสองฝาที่นิยมเพาะเลี้ยงกันมากที่สุดในโลก ได้แก่ หอยนางรม ปริมาณผลผลิตหอยนางรมคิดเป็นร้อยละ 35 ของหอยสองฝาทั้งหมด ส่วนสายพันธุ์ที่นิยมมากรองลงมา คือ ตระกูลหอยลายหอยแครง และหอยกาบ คิดเป็นร้อยละ 33 ของผลผลิตหอยสองฝาทั้งหมด ส่วนอันดับที่สาม ได้แก่หอยแมลงภู่ มีสัดส่วนร้อยละ 16 (รพีพร สุทาธรรม, 2544)

ตารางที่ 2-1 ปริมาณผลผลิตหอยน้ำเค็มทั้งหมด จำแนกเป็นรายชนิด ปี พุทธศักราช 2552-2556

ปริมาณ : 1,000 ตัน

ปีพุทธศักราช (ชนิดหอย)	2552	2553	2554	2555	2556
หอยแครง (BloodCockle)	83.40	42.40	53.10	68.50	72.90
หอยแมลงภู่ (Greenmussel)	193.60	123.90	125.60	103.20	127.90
หอยนางรม (Oyster)	26.20	10.80	8.40	16.10	17.60
หอยลาย (Shortnecked Clam)	17.80	20.80	12.60	8.70	12.40
หอยอื่นๆ (Othershellfishes)	3.20	3.40	3.90	3.20	5.80
รวมหอย	324.60	201.30	203.60	199.40	236.60

ที่มา(กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, 2560)

สำหรับสถิติผลผลิตสัตว์น้ำประเภทหอยทะเลของไทย ดังตารางที่ 2-1 ในการสำรวจเฉพาะกลุ่มหอยเศรษฐกิจ ไม่รวมปลาหมึก เป็นปริมาณผลผลิตจากฟาร์มเลี้ยงหอยในแนวพื้นที่ชายฝั่งทะเลของไทย ได้แก่ หอยนางรม หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยกะพง หอยมุก ผลผลิตหอยแมลงภู่จากปีกโป๊ะ และชนิดที่เก็บรวบรวมจากธรรมชาติ ได้แก่ หอยลาย หอยเชลล์ เป็นต้นและจากข้อมูลดังกล่าว

พบว่าชนิดของหอยที่เป็นผลผลิตของประเทศไทยมี 4 ชนิด ที่เป็นที่นิยมเลี้ยงหรือจับกันมากที่สุด ได้แก่ หอยนางรม หอยแครง หอยแมลงภู่ และหอยลาย

2.2 การศึกษาลักษณะทั่วไปของเปลือกหอย

หอยเป็นสัตว์ที่อยู่ในไฟลัมมอลลัสกา ซึ่งเป็นตระกูลของสัตว์ที่มีจำนวนมากเป็นอันดับสองรองจากแมลง ปกติแล้วสัตว์ในไฟลัมมอลลัสกานี้ ประกอบด้วยหอย ปลาหมึก และลิ่นทะเลเป็นต้น สัตว์ที่อยู่ในไฟลัมนี้มีประมาณ 100,000 ชนิด โดยหอยที่มีสองฝาจะมีลำตัวอ่อนนุ่มและเป็นเมือกลื่น เนื่องจากมีลำตัวอ่อนนุ่มจึงจำเป็นต้องมีเปลือกแข็งห่อหุ้มลำตัวไว้อีกชั้นหนึ่ง ดังนั้นหอยโดยทั่วไปจึงมีเปลือกแข็งหุ้ม โดยเปลือกหอยจะประกอบด้วยชั้นของเปลือก 3 ชั้นดังนี้

1. เพอริโอสตราคัม (Periostracum) เป็นชั้นนอกสุด เป็นแผ่นบางมีสี ส่วนประกอบทางเคมีเป็นสารโปรตีนที่แข็งเหมือนโปรตีนของเขาสัตว์ มีชื่อเฉพาะว่า คอนคิโอลิน (Conchiolin)

2. พริสเมติก (Prismatic) เป็นชั้นกลางที่หนาและแข็งแรงที่สุด มีความหนามากกว่าชั้นอื่น ส่วนประกอบทางเคมีเป็นผลึกทรงสูงของแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) อยู่อัดตัวกันแน่น และเรียงตั้งฉากกับชั้นแรก ทั้งนี้ยังพบผลึกของแคลไซต์และอะราโกไนท์ในชั้นนี้

3. เนเครียส (Nacreous) เป็นชั้นในสุด เป็นผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนบางและมันวาวเรียงซ้อน ๆ กัน เรียกกว่า ชั้นมุกเพราะเป็นบริเวณที่มีการสร้างมุกโดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของเปลือกหอย ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งส่วนใหญ่มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 โดยที่แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยมีโครงสร้างผลึก แบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

1. แคลไซต์ (Calcite) มีลักษณะของโครงสร้างผลึกเป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่มีหน้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหกหน้าหรือที่เรียกว่า รอมโบฮีดรอน (Rhombohedron) มีความถ่วงจำเพาะ 2.71 มีความแข็งปานกลาง

2. อะราโกไนท์ (Aragonite) มีลักษณะผลึกเป็นแท่งปริซึมหรือแท่งพีรามิดคู่ เรียกว่าออทโทรอมบิค (Orthorhombic) ซึ่งมักจะเกิดการรวมตัวกันมีรูปร่างคล้ายดอกกุหลาบ มีความถ่วงจำเพาะ 2.93 และมีความแข็งมากกว่าแคลไซต์ เมื่อได้รับความร้อนจะเปลี่ยนเป็นแคลไซต์

3. วาเทอไรท์ (Vaterite) มีลักษณะผลึกทรงกลม

2.3 ชนิดของเปลือกหอยสองฝา

เปลือกหอยที่เป็นที่นิยมเลี้ยงหรือจับกันมากที่สุดในประเทศไทย ได้แก่ หอยลาย หอยแมลงภู่ หอยนางรม และหอยแครง (กรมประมง, 2549) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) หอยลาย มีชื่อสามัญว่า “หอยลาย” ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า “Undulated Surf Clam or Short Necked Clam” ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า “Paphia undulata” หอยสองฝาที่พบมากบริเวณแถบชายฝั่งทะเลที่เป็นโคลนน้ำลึกไม่เกิน 8 เมตร โดยหอยลายจะขุดรูอยู่ใต้พื้นผิวดินลึก ประมาณ 20 เซนติเมตร ปริมาณเปลือกของหอยลายจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเนื้อหอย ซึ่งมีเปลือกประมาณร้อยละ 70 - 75 โดยน้ำหนัก โดยลักษณะของเปลือกจะหนา รูปร่างแบนรี มีลวดลายสีน้ำตาลเข้มตัดกันเป็นแนวเฉียง พื้นสีเหลืองอมน้ำตาลหรือบางตัวมีสีน้ำตาลเทาอมดำ ขึ้นอยู่กับแหล่งอาศัย มีขนาดความยาวประมาณ 5 - 6 เซนติเมตร โดยเปลือกหอยลายมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 97 (ตยาคี ตรงสถิตกุล, 2547)

2) หอยแมลงภู่ มีชื่อสามัญว่า “หอยแมลงภู่” ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า “Green Mussel” ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า “Perna viridis” เป็นหอยสองฝามีรูปร่างคล้ายเสียมที่งอนทางด้านหัวเล็กน้อย หอยที่อาศัยอยู่ในบริเวณใต้น้ำตลอดเวลาจะมีเปลือกสีเขียวอมดำ พวกที่อยู่ในบริเวณน้ำขึ้นและลงมีโอกาสถูกแสงแดดบ้างเปลือกจะมีสีเหลือง ซึ่งจะมีขนาดความยาวประมาณ 4 - 20เซนติเมตร โดยเปลือกหอยแมลงภู่มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 96 มีปริมาณใกล้เคียงกับฝุ่นหินปูนที่มีปริมาณประมาณร้อยละ 98 (Ballester, Mármol, Morales & Sánchez, 2007) และจากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแมลงภู่พบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นทั้งในแบบอะราโกไนท์และแคลไซต์ (จรรยาพร พุ่มงาม, 2545)

3) หอยนางรม มีชื่อสามัญว่า “หอยนางรมหรือหอยตะโกรม” ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า “Pacific Oyster” ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า “Crassostrea gigas” เป็นหอยสองฝาที่โดยทั่วไปฝาทั้งสองด้านมีขนาดไม่เท่ากัน ฝาข้างซ้ายจะมีขนาดใหญ่กว่า เปลือกของหอยนางรมจะเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อม หอยนางรมที่เติบโตบนวัตถุแข็ง เช่น หินหรือปูนซีเมนต์ เปลือกจะมีจำนวนร่องมาก แต่ถ้าเจริญเติบโตในน้ำที่มีความเค็มสูงเปลือกจะแข็งกว่าหอยที่อยู่ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ มีขนาดความยาวประมาณ 9 - 20 เซนติเมตร ซึ่งเปลือกหอยนางรมมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 96 และความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.35 - 2.47 โดยขึ้นอยู่กับขนาดของเปลือกหอยบด หากบดละเอียดมากความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม (Yoon, Kim & Han, 2003)

4) หอยแครง มีชื่อสามัญว่า “หอยแครง” ชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า “Cockle or Ark Shell” ชื่อวิทยาศาสตร์ว่า “Anadara granosa” เป็นหอยสองฝาลักษณะค่อนข้างกลม เปลือกหนา ส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่ตามบริเวณชายฝั่งทะเลที่เป็นหาดโคลนและเลน หอยแครงเป็นหอยสองฝาชนิดหนึ่งที่มีลักษณะค่อนข้างกลมและแข็งแรง มีเปลือกหนา ด้านนอกของเปลือกทั้งสองข้างนั้นเป็นสันนูนในลักษณะเส้นโค้งจากด้านหลังไปยังปลายขอบของเปลือก มีจำนวนประมาณ 20 เส้นสีของเปลือกชั้นนอกไม่แน่นอน อาจจะมีสีขาวหรือแดงปนดำหรือแดงปนสีน้ำตาล โดยปกติแล้วเปลือกหอยจะเป็น

สีขาวแต่จะถูกดินโคลนในแหล่งที่อยู่อาศัยจับจนเป็นสีน้ำตาล มีขนาดความยาวประมาณ 6 - 7 เซนติเมตร เปลือกหอยแครงมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตประมาณร้อยละ 97 และจากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเปลือกหอยแครง พบว่า มีโครงสร้างผลึกเป็นทั้งอะราโกไนท์และแคลไซต์ (จรรยา พร พุ่มงาม, 2545)

2.4 หอยนางรม

หอยนางรมจัดอยู่ใน Phylum Mollusca, Class Lamellibranchiata, Family Ostreidae มีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมตามชายฝั่งทะเลตะวันออกของไทย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด ภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยพบการเลี้ยงหอยนางรมใน 6 จังหวัด ได้แก่ ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส ส่วนภาคใต้ฝั่งทะเลอันดามันพบการเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัด กระบี่ ระนอง ภูเก็ต หอยนางรมอาศัยอยู่ทั่วไปในพื้นที่น้ำเค็มหรือน้ำกร่อย คือบริเวณที่มีทั้งน้ำจืดและน้ำเค็มไหลมารวมกันทำให้น้ำบริเวณนั้นมีความกร่อย และเต็มไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อสัตว์น้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ แพลงก์ตอน ซึ่งเป็นอาหารของหอยนางรม และสัตว์น้ำทั่วไปหอยนางรมมีพฤติกรรมชอบอาศัยเกาะตามโขดหิน หรือรากไม้หลายชนิด ในประเทศไทยมีการเลี้ยงหอยนางรมมากกว่า 50 ปีมาแล้ว ส่วนใหญ่บริโภคสด มีการจำหน่ายไม่แพร่หลายเนื่องจากมีผลผลิตไม่เพียงพอ สามารถแบ่งพันธุ์หอยนางรมที่พบในประเทศไทยเชิงพาณิชย์ออกได้เป็น 3 ชนิด ด้วยกัน คือ

(1) หอยนางรมพันธุ์เล็กหรือหอยนางรมปากจีบ (Saccostrea commercialis) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดเล็ก หอยนางรมพันธุ์นี้มีการเลี้ยงกันมากทางภาคตะวันออกของประเทศไทย

(2) หอยตะโกรมกรามขาว (Crassostrea belcheri) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในสามพันธุ์ มีการเลี้ยงกันมากทางภาคใต้และภาคตะวันออกของไทย ซึ่งได้แก่บริเวณ อ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี อ่าวเขายั่ว จังหวัดกระบี่ บ้านคีกไคร จังหวัดพังงา บ้านนาทับจังหวัดสงขลา และอ่าวคุ้มกระเบน จังหวัดจันทบุรี เป็นต้น (วันทนา อยู่สุข และ ธีระพงศ์ ด้วงดี, 2539)

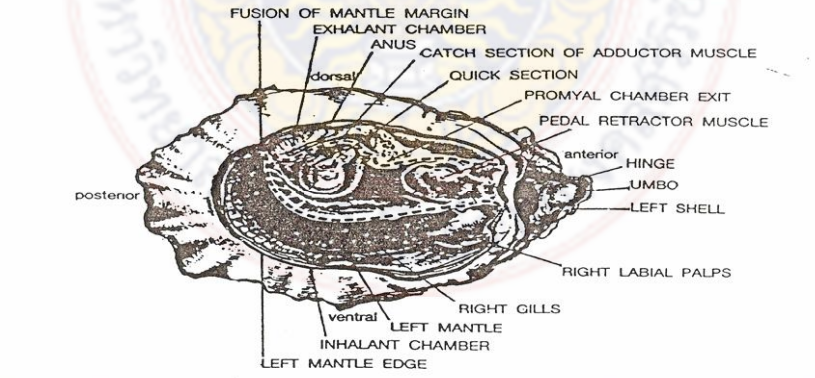
(3) หอยตะโกรมกรามดำ (Crassostrea lugubris) เป็นหอยนางรมที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับที่สองในสามพันธุ์ พบมากที่อ่าวคุ้มกระเบน จังหวัดจันทบุรี อ่างศิลา จังหวัดชลบุรี อ่าวช่อง จังหวัดตราด คลองบางนางรม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และคลองกำพวน จังหวัดระนองเป็นต้น (วันทนา อยู่สุข และ ธีระพงศ์ ด้วงดี, 2539)

2.4.1 ลักษณะทางสรีระวิทยา

หอยเป็นสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังมีมากมายหลายชนิดลำตัวไม่แบ่งเป็นปล้อง ๆแต่อวัยวะต่าง ๆ จะประกอบรวมอยู่ในสัณฐานเดียวกัน หอยทุกชนิดมีเปลือกหุ้มภายนอกมีกล้ามเนื้อยึดเปลือกแข็งแรง โครงสร้างของตัวมีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปแบบของบรรพบุรุษ ลำตัวซีกซ้าย และขวา

เหมือนกัน ที่หัวไม่มีตาและหนวด ไม่มีแผงฟันในช่องปาก มีเหงือกขนาดใหญ่ 1 คู่ใช้สำหรับหายใจและกรองอาหาร ทางเดินอาหารมีช่องปากทางด้านหน้า และช่องทวารหนักทางด้านท้ายของตัว การผสมพันธุ์เป็นแบบภายนอกตัว หอยสองฝาที่นิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารมีอยู่หลายชนิด เช่น หอยนางรม หอยแมลงภู่ และหอยแครง เป็นต้น

หอยนางรมเป็นหอยสองฝา ที่เปลือกทั้งสองข้างมีขนาดไม่เท่ากัน เปลือกด้านซ้ายมีขนาดใหญ่และมีลักษณะเป็นรูปถ้วย ซึ่งเป็นด้านที่หอยใช้ติดกับวัสดุ ในขณะที่เปลือกหอยด้านขวาของหอยจะมีลักษณะค่อนข้างแบนราบ เปลือกหอยนางรมประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับเปลือกหอยชนิดอื่นๆ เปลือกทั้งสองข้างเชื่อมติดกันด้วยบานพับ ลักษณะหอยนางรมโดยทั่วไปมีรูปร่างไม่คงที่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่อาศัยภายในเปลือกประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อหอย โดยมีเนื้อเยื่อบาง ๆ ห่อหุ้มตัวทั้งสองข้างของลำตัวเรียกเนื้อเยื่อคลุม มีลักษณะเป็นริ้วแผ่ขยายออกไปถึงช่องปาก เหงือกมี 2 คู่ ทำหน้าที่เป็นกลไกกรองอาหารพร้อมทั้งทำหน้าที่หายใจ และช่วยในการขับถ่ายของเสียจากร่างกาย บริเวณประมาณกึ่งกลางลำตัวมีกล้ามเนื้อใหญ่ทำหน้าที่ปิดและเปิดเปลือก ตลอดจนบังคับให้เปลือกอ้ามากน้อยตามต้องการ ส่วนถัดเข้าไปเป็นก้อนเนื้ออันใหญ่ที่รวมอวัยวะต่าง ๆ ซึ่งบรรจุอยู่ภายใน เช่นระบบประสาท ระบบขับถ่ายของเสีย และระบบสืบพันธุ์ เนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มของหอยนางรมไม่ได้บรรจุอยู่เต็มฝาเปลือกทั้งสองข้างเลยทีเดียว แต่ภายในมีส่วนที่ช่องว่างเปิดติดต่อกับ ภายนอกช่องเปิดนี้เป็นทางผ่านให้อาหารเข้าไปพร้อมกับน้ำ โดยผ่านการรวบรวมให้เป็นกลุ่มก้อนแล้วเข้าสู่ปากผ่านระบบย่อยอาหาร สุดท้ายเศษเหลือจะผ่านออกทางทวาร พร้อมกำจัดของเสียออกไปจากตัวหอยซึ่งจะดำเนินไปในเวลาเดียวกับการหายใจ และการถ่ายของเสียของหอย โดยลักษณะทางกายภาพของหอยนางรม ภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2-1 ลักษณะทางกายภาพของหอยนางรม ที่มา : กรมประมง (2540)

2.4.2 การกินอาหารและการเจริญเติบโต

หอยนางรมส่วนใหญ่จะกินอาหารโดยวิธีการกรอง เนื่องจากเป็นสัตว์อยู่กับที่อวัยวะที่ใช้ในการกรองอาหารคือเหงือก (gill) น้ำที่ไหลผ่านเข้ามาในโพรงเยื่อหุ้ม (mantle cavity) ไหลผ่านเหงือก

ไปออกทางท่อน้ำออก อาหารหรืออนุภาค ต่าง ๆ ซึ่งถูกพัดพามากับน้ำจะติดบนซี่เหงือก ซึ่งอาหารที่กรองได้ ได้แก่ ไดอะตอม (Diatom) ซิลิโค-แฟลคเจลเลค (silico-flagellates) และแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) จำพวก ไดอะตอมและ สปอร์ ของสาหร่ายทะเลเป็นหลัก (สุวัฒน์ และคณะ, 2541) อาหารที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะตกลงมาในโพรงเยื่อหุ้มตอนล่างและถูกขับออกทางท่อน้ำออก ส่วนที่มีขนาดเล็กจะมีเมือกมาคลุม และมีขนเล็ก ๆ คอยพัดโบกให้อนุภาคเหล่านั้นเข้าสู่ทางเดินอาหารต่อไปได้ อนุภาคที่ไม่สามารถถูกย่อยจะถูกขับออกมาทิ้งทางท่อน้ำออกภายหลัง กระบวนการกรองของหอยสองฝานี้จะเป็นไปได้ด้วยดีและมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเข้าสู่โพรงเยื่อหุ้มมากพอ และตัวหอยอยู่ในน้ำตลอดเวลา ดังนั้นจากการสังเกตจะพบว่า หอยที่เลี้ยงอยู่ในน้ำตลอดเวลาจะมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าที่อยู่ในระดับน้ำขึ้นน้ำลงมีการสัมผัสกับอากาศเป็นบางเวลา (กรมประมง, 2540) ได้กล่าวว่าการเจริญเติบโต ของหอยนางรมขึ้นอยู่กับอิทธิพลปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมดังต่อไปนี้

(1) อาหาร เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำเนินการจัดการเลี้ยงหอย หอยส่วนใหญ่กินพวกไดอะตอมและแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นความอุดมสมบูรณ์ของอาหารจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของหอยนางรม

(2) น้ำทะเล ควรมีความเค็มประมาณ 15 – 30 p.p.t ถ้าน้ำเค็มสูงหรือต่ำกว่านี้มีผลกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของหอยนางรม โดยหอยจะมีอัตราการกรองอาหารช้าลงและทำให้อัตราเจริญเติบโตช้า สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Tan et al, 1996) พบว่าความเค็มที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของหอยนางรมอยู่ในช่วงความเค็มที่ 0 – 30 p.p.t

(3) อิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลง ระยะเวลาที่หอยนางรมอยู่ในน้ำนานจะเจริญเติบโตเร็วแต่มีเปลือกบาง ส่วนหอยนางรมที่มีระยะเวลาอยู่ในน้ำน้อย การเจริญเติบโตช้าและมีเปลือกหนา

(4) ความขุ่นของน้ำ ปริมาณความขุ่นมาก ตะกอนโคลนตมเกาะตามเหงือกทำให้หอยหายใจไม่ออกและตายได้ นอกจากนี้ความขุ่นยังทำให้ประสิทธิภาพในการกรองอาหารต่ำลงมีผลทำให้หอยมีการเจริญเติบโตช้า

(5) ความหนาแน่นของหอยที่เลี้ยง การเลี้ยงหอยถ้ามีความหนาแน่นมากเกินไปมีผลทำให้หอยมีการเจริญเติบโตช้า โดยส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางกายภาพ คือ ด้านความยาวของหอยจะมีการเจริญเติบโตมากกว่าด้านความกว้าง

(6) กระแสน้ำที่เหมาะสมแก่การเลี้ยงหอยควรไหลแรงระหว่าง 0.17 – 0.25 เมตรต่อวินาที และ 0.25 – 0.35 เมตรต่อวินาที อย่างไรก็ดีถ้าหากพื้นที่มีลมหรือกระแสน้ำแรงเกินไป เช่นถ้าหากกระแสน้ำไหลแรงเกิน 0.5 เมตรต่อวินาที จะพัดพาตัวอ่อนของลูกหอยออกไปจากพื้นที่เร็วเกินความสามารถที่ลูกหอยจะหาวัสดุเกาะได้ อีกทั้งอาจพัดพาหลักหรืออุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการเลี้ยงหอยสูญหายไปได้

(7) อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมระบบสรีรวิทยาของหอย เช่นประสิทธิภาพของการกรองกินอาหาร การเผาผลาญอาหาร การหายใจและการขับถ่าย ตลอดจนการพัฒนาการของเซลล์สืบพันธุ์ และการเจริญเติบโตของตัวอ่อน หอยอาศัยอยู่ในแหล่งซึ่งมีอุณหภูมิที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอยนางรมอยู่ในช่วง 25 – 30 องศาเซลเซียน

2.4.3 การสืบพันธุ์และการขยายพันธุ์

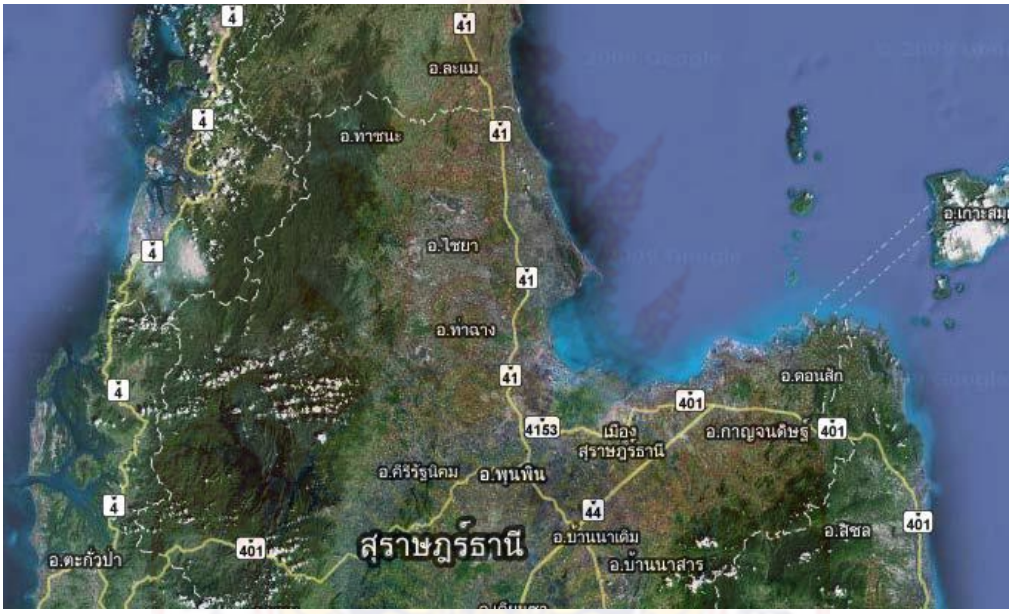
หอยนางรม มีเพศผู้ และเพศเมีย แยกกัน ยกเว้นในบางกรณีหอยตัวเดียวอาจจะมีทั้งไข่ และน้ำเชื้อ ลักษณะที่มีทั้งสองเพศอยู่ตัวเดียวกันนี้เรียกว่ากระเทย (hermaphrodite) ซึ่งอาจพบได้ในหอยสองฝาแทบทุกชนิด โดยที่มันอาจจะเปลี่ยนแปลงเพศได้ เมื่อเข้าสู่สภาวะใดสภาวะหนึ่ง แต่ทั่วไปแล้วมักจะแยกกัน การจำแนกเพศของหอยตะโกรม เมื่อดูจากลักษณะภายนอกไม่สามารถบอกได้ นอกจากจะเปิดเปลือกหอยออกมา แล้วสังเกตดูจากอวัยวะสืบพันธุ์ (gonad) ซึ่งปกคลุมอยู่รอบกระเพาะอาหาร นำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จึงจะแยกได้ว่าเป็นตัวผู้หรือตัวเมียเพราะทั้งตัวผู้และตัวเมีย เมื่อมีความสมบูรณ์เพศ จะมีสีครีมขาวเหมือนกัน ความสมบูรณ์เพศของหอยนางรมเกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อม ที่เป็นตัวกระตุ้นให้หอยปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกมาผสมกันภายนอก เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความเค็ม ระดับความลึกของน้ำ ความเป็นกรดด่างของน้ำหรือสารเคมีบางชนิดเป็นตัวกระตุ้นให้หอยปล่อยเซลล์สืบพันธุ์ออกมา เมื่อไข่กับน้ำเชื้อผสมกันจะมีการแบ่งตัว และพัฒนาเป็นลูกหอยวัยอ่อนซึ่งสามารถว่ายน้ำ ดำรงชีวิตเป็นพวกแพลงก์ตอนล่องลอยในทะเลและมีการพัฒนาการขึ้นมา จนกระทั่ง ถึงวัยลงสู่พื้น หรือเกาะวัสดุ ซึ่งเรียกว่า metamorphosis หรือ settlement ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 13 – 20 วัน เรียกว่าหอยวัยเกล็ด ซึ่งจะเติบโตเป็นตัวเต็มวัย เมื่อลูกหอยถึงระยะลงสู่พื้นมักต้องเกาะกับวัสดุแข็งในน้ำ เช่น ก้อนหินเปลือกหอย หรือวัสดุต่าง ๆ เพื่อที่เจริญเติบโตต่อไป ถ้าลูกหอยนางรมหาวัสดุที่จะเกาะไม่ได้ก็จะตกลงสู่พื้นดินโคลนด้านล่าง และตายในไปที่สุด

2.5 การเพาะเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

2.5.1 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของอ่าวบ้านดอน

อ่าวบ้านดอน ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 09° 70° เหนือถึงละติจูด 09° 48° เหนือและลองติจูดที่ 98° 58° ตะวันออกถึงลองติจูดที่ 100° 5° ตะวันออก อ่าวบ้านดอนมีรูปร่างของอ่าวเป็นรูปตัวยู (U) (ภาพที่ 2.2) มีพื้นที่รวม 1,554.39 ตารางกิโลเมตร หรือ 971.492 ไร่ มีความยาวของแนวชายฝั่งประมาณ 120 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 9 อำเภอในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แก่ อำเภอท่าชนะ อำเภอไชยา อำเภอท่าฉาง อำเภอพุนพิน อำเภอเมืองอำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอดอนสัก อำเภอเกาะสมุย และอำเภอเกาะพงัน การขึ้นลงของน้ำทะเลในอ่าวบ้านดอนเป็นแบบน้ำเดี่ยวหรือขึ้นลงวันละครั้ง ความลึกเฉลี่ยบริเวณกลางอ่าว อยู่ที่ช่วง 4 – 5 เมตร มีคลองน้อยใหญ่ 11 สายไหลลงอ่าว

กระแสน้ำได้นำพาอาหารและปุ๋ยมากับสายน้ำด้วยประกอบกับผิวหน้าดินในทะเลบริเวณใกล้แนวชายฝั่งอ่าวบ้านดอนเป็นดินเลนมีแร่ธาตุมาก จากสภาพอ่าวบ้านดอนที่มีพื้นที่มากความลึกค่อนข้างน้อย และปริมาณน้ำจืดที่ไหลลงอ่าวค่อนข้างมากในแต่ละปี จึงทำให้เกิดสภาพน้ำกร่อยเกิดขึ้นเป็นวงกว้าง และเป็นเวลานาน ความอุดมสมบูรณ์และระดับน้ำเค็มของน้ำทะเลในอ่าวจึงเหมาะแก่การเจริญเติบโตของหอยนางรมเป็นอย่างยิ่ง เมื่อแม่พันธุ์หอยนางรมวางไข่ จากลักษณะอ่าวที่เป็นรูปตัวยูนี้เองจึงมีอิทธิพลทำให้ตัวอ่อนของหอยนางรมเคลื่อนตัวตามกระแสน้ำหมุนวนเหมือนลายเส้นก้นหอยโข่งอยู่ตามบริเวณปลายแหลมต่าง ๆ ในอ่าวบ้านดอน ทำให้บริเวณดังกล่าวมีลูกหอยนางรมหนาแน่นพบเกาะติดกับรากต้นโกงกางหรือวัสดุที่ปักอยู่ในบริเวณดังกล่าว



ภาพที่ 2-2 พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ที่มา : กรมประมง, 2549

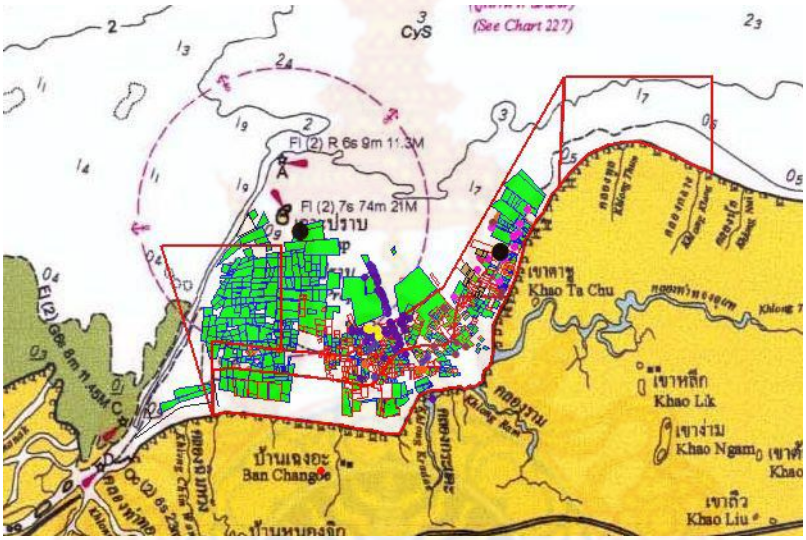
2.5.2. พื้นที่การเพาะเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมอยู่ 3 อำเภอ คือ อำเภอกาญจนดิษฐ์ อำเภอคอนสัก และอำเภอไชยา (ตารางที่ 2.2) ในปี 2550 มีเกษตรกรผู้เลี้ยงหอยทั้งสิ้น 399 ราย โดยแบ่งออกเป็น อำเภอกาญจนดิษฐ์ 332 ราย (ภาพที่ 2-3) อำเภอดอนสัก 46 ราย และไชยา 21 รายรวมพื้นที่เพาะเลี้ยงทั้งหมด12,426 ไร่ มีปริมาณการผลิตทั้งหมด 2,071 ตัน มูลค่าการผลิตทั้งหมด 78,698,000 บาท เนื้อที่เพาะเลี้ยงหอยนางรมของจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีแนวโน้ม ลดลง เนื่องจากสถานการณ์ด้านราคาตกต่ำทำให้เกษตรกรขาดการดูแล และไม่มีการเลี้ยงหอยนางรมเพิ่ม รวมถึงเกษตรกรผู้เลี้ยงหอยนางรมเดิมได้หันมาเลี้ยงหอยแครง

ตารางที่ 2-2 แสดงอำเภอที่มีการเลี้ยงหอยในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

District	Number of farms	Oyster cultured farms (farm)	Production quantity (Ton)	Production cost (Baht)
Kanjanadit	332	11,238	1,873	71,174,000
Donsak	46	276	46	1,748,000
Chaiya	21	912	512	5,776,000
Total	399	12,426	2,071	78,698,000

ที่มา: สำนักงานประมงจังหวัดสุราษฎร์ธานี (2550)



ภาพที่ 2-3 เนื้อที่เพาะเลี้ยงหอยนางรมของจังหวัดสุราษฎร์ธานี
ที่มา : สำนักงานประมง จังหวัดสุราษฎร์ธานี (2551)

2.5.3 การเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

สำหรับจังหวัดสุราษฎร์ธานี เริ่มมีการเพาะเลี้ยงหอยนางรมครั้งแรกเมื่อประมาณ พ.ศ. 2501 หอยนางรมส่วนใหญ่เป็นหอยนางรมพันธุ์ท้องถิ่น โดยมีการเก็บลูกหอยในคลองท่าทองไปปล่อยให้เกาะติดกับหลักไม้บริเวณที่เป็นโคลนเลน มีน้ำท่วมถึงแต่มีละดับความลึกไม่มากนักมีรายงานว่าประมาณ ปี พ.ศ. 2503 มีการทดลองเลี้ยงหอยนางรมที่ปากน้ำท่าทอง อำเภอกาญจนดิษฐ์ และได้มีการขยายพื้นที่เลี้ยงไปยังบริเวณแหลมซุยอำเภอไชยา หอยนางรมสุราษฎร์ธานี เป็นหอยนางรมเปลือกบาง ขนาดใหญ่ เนื้อขาวนวลอ้วน ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์หอยตะโกรมกรามขาว นิยมรับประธานสดรสชาติดี เป็นที่กล่าวถึงของนักบริโภคทั่วไป (กรมประมง, 2540) การเลี้ยงหอยนางรมเป็นอาชีพที่ช่วยเสริมรายได้ให้แก่เกษตรกร เนื่องจากลงทุนต่ำ ค่าตอบแทนสูง วิธีการเลี้ยงเป็นแบบง่าย ๆ และ

สามารถใช้แรงงานภายในครอบครัวได้ (กรมประมง, 2540) จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีกระบวนการเลี้ยงหอยนางรมหลายรูปแบบ แต่กระบวนการเลี้ยงหอยนางรมที่นิยมเลี้ยงมากที่สุดคือ แบบใช้หลอดหรือท่อซีเมนต์ แบบใช้กระเบื้องมุงหลังคาและแบบใช้แท่งซีเมนต์ เกษตรกรจับจองพื้นที่เพื่อใช้ในการเลี้ยงหอยนางรม โดยเลือกพื้นที่ตามแนวชายฝั่งบริเวณน้ำตื้นและบริเวณนั้นมีหอยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อได้พื้นที่แล้วทำการปักหลักไม้ ไม้ที่ใช้ในการปักหลัก ได้แก่ ไม้แป้น ไม้โกงกาง และไม้ไผ่ ฯ ปักไว้รอบพื้นที่สำหรับเป็นรั้ว แสดงอาณาเขตพื้นที่การเพราะเลี้ยงหอย เพื่อป้องกันการรบกวนจากภายนอก หลังจากนั้นจัดแบ่งพื้นที่ส่วนหนึ่งเป็นที่พักหรือที่ดูแลหอย ที่เรียกกันว่า ขนำ (ขนำ ในที่นี้ก็คือ ที่พักหรือบ้านพักสำหรับพักอาศัย หลบแดดหลบฝน มีพื้นที่ ห้องนอน ห้องครัว ห้องน้ำเหมือนกับบ้าน และมีระเบียง จุดประสงค์หลักคือใช้เฝ้าดูแลหอยที่เพาะเลี้ยง)

2.6 ปูนซีเมนต์และองค์ประกอบทางเคมี

ปูนซีเมนต์เป็นผลผลิตมาจากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ จนรวมตัวกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบด้วย 1. วัสดุที่มีธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักเช่น หินปูนหรือชอล์กและ 2. วัสดุที่มีธาตุอลูมินัมและซิลิก้าเป็นองค์ประกอบ เช่นหิน (Shale) หรือดินเหนียว (Clay) และ 3. พวกที่ให้ธาตุเหล็กคือ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือดินลูกรัง (Laterite) ขั้นตอนในการผลิตซีเมนต์แบ่งเป็น การผลิตแบบเปียก (Wet Process) และ การผลิตแบบแห้ง (Dry Process) การผลิตแบบเปียกนั้นเป็นกรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงมาบดผสมกันในสภาพที่เปียกและเติมน้ำเพิ่มลงไปในอัตราส่วนที่พอเหมาะเพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมประมาณ 35-50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในรูป Slurry กรรมวิธีในการเผาจะใช้พลังงานความร้อนมากกว่าการผลิตแบบแห้งเพราะว่าต้องใช้ความร้อนส่วนหนึ่งในการไล่ความชื้นใน Slurry ออกให้หมดก่อนที่จะเผาต่อเพื่อให้ได้ปูนเม็ดออกมา กรรมวิธีในการผลิตแบบเปียกนี้ถือได้ว่าเป็นวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ในสมัยก่อน ซึ่งในปัจจุบันไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากต้องใช้พลังงานมากในขบวนการผลิตปูนซีเมนต์ การผลิตแบบแห้ง คือการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ เช่น หินปูน (Limestone), หินดินดาน(Shale), ดินลูกรัง (Laterite) และแร่เหล็ก (Iron Ore) มาบดผสมในสภาพที่แห้งและนำไปเข้าเตาเผาโดยเพิ่มอุณหภูมิจนถึงประมาณ 1450 $^{\circ}C$ หลังจากนั้นทำให้เย็นตัวลงก็จะได้เป็นปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดประมาณ 3-25 มม. หลังจากที่ได้เป็นปูนเม็ดแล้วก็จะนำปูนเม็ดไปบดในหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) โดยทำการบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัมบดจนได้ความละเอียดตามที่ต้องการ หลังจากนั้นก็นำปูนซีเมนต์ที่ได้ไปบรรจุเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป

2.6.1 องค์ประกอบต่างๆของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปจะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่คือ

ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO(60-67เปอร์เซ็นต์),SiO_2(17-25เปอร์เซ็นต์), Al_2O_3(3-8เปอร์เซ็นต์) และ Fe_2O_3 (0.5-0.6เปอร์เซ็นต์) ซึ่งรวมกันประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO, TiO_2, Mn_2O_3, Na_2O, K_2O

2.6.1 สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของออกไซด์หลักในขบวนการเผาปูนเม็ด ซึ่งจะทำให้ได้สารประกอบหลัก 4 ชนิด คือ

2.6.1.1 ไตรคัลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$ หรือ ตัวย่อ C_3S) เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง การเกิดปฏิกิริยาจะให้ความร้อนประมาณ 500 จูลต่อกรัม มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นมากในช่วงสัปดาห์แรก ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3S ประมาณ 50-70เปอร์เซ็นต์

2.6.1.2 ไดคัลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$ หรือ ตัวย่อ C_2S) มีการแข็งตัวและให้กำลังช้ากว่า C_3S เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวและให้ความร้อนประมาณ 250 จูลต่อกรัม ซึ่งค่าความร้อนจากปฏิกิริยาที่มีค่าน้อยทำให้ปูนซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของ C_2S มากช่วยลดการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิลงได้ ส่วนกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นในระยะหลัง ซึ่งในระยะยาวแล้วกำลังที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับ C_3S ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_2S ประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์

2.6.1.3 ไตรคัลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$ หรือ ตัวย่อ C_3A) เป็นสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีก่อให้เกิด Flash Set และเกิดความร้อนสูงในช่วงแรก ให้ค่าความร้อนประมาณ 850 จูลต่อกรัม ซึ่งในขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ทำการป้องกันการเกิด Flash Set โดยการเติมยิปซั่มเพื่อหน่วงการก่อตัวอันเนื่องจากปฏิกิริยาของ C_3A และจำพัฒนากำลังอัดในช่วง 1-2 วันแต่มีค่ากำลังอัดที่ต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าต้องการปูนซีเมนต์ที่สามารถทนทานต่อซัลเฟตได้ดี ก็ควรเลือกใช้ปูนซีเมนต์ที่มีค่า C_3A ต่ำ

2.6.1.4 เตตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรด์ ($4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3$ หรือ ตัวย่อ C_4AF) เป็นสารประกอบที่ได้จากวัตถุดิบที่มีสารประกอบแร่เหล็กและอลูมิเนียมเป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิของปูนเม็ดระหว่างกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ความร้อนที่เกิดประมาณ 420 จูลต่อกรัม มีผลทำให้ปูนซีเมนต์เป็นสีเทาซึ่งสำหรับปูนซีเมนต์ขาวจะมีสัดส่วนของ C_4AF อยู่ในปริมาณที่น้อยมาก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF ประมาณ 5-15

2.7 สารประกอบรองของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ให้ผลกระทบต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์

2.7.1 ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) เป็นสารประกอบที่ใส่เข้าไปในขั้นตอนการบดปูนเม็ด เพื่อไปทำปฏิกิริยากับ C_3A เกิดเป็น Ettringite และ Monosulphate เพื่อหน่วงการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A ส่วนมากจะเติมยิปซัมประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์

2.7.2 Free Lime (CaO) ซึ่งอาจจะเกิดจากวัตถุดิบที่มีปริมาณ CaO มากเกินไป หรือเกิดจากการทำปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ เช่นการเผาปูนยังไม่สุกได้ที่ ซึ่งตัว Free Lime นี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างช้าๆ หลังจากที่ปูนซีเมนต์แข็งตัวแล้วทำให้เกิดการขยายปริมาตรอาจส่งผลให้เกิดการแตกร้าวและเสียหายได้เนื่องจากการไม่อยู่ตัวของปูนซีเมนต์ (Unsoundness)

2.6.3 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์โดยปกติจะมี $MgCO_3$ เมื่อเผาแล้วจะได้ MgO และ CO_2 ซึ่งเมื่อ MgO ทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น จะคล้ายกับ CaO คือจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นแต่ส่วนมากจะให้ผลที่ค่อนข้างรุนแรงกว่า โดยปกติจะควบคุมปริมาณ MgO ให้มีปริมาณไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้ามีมากกว่านี้ก็จะมีความเสี่ยงต่อการเกิดความไม่อยู่ตัวของปูนซีเมนต์ (Unsoundness)

2.6.4 อัลคาไลออกไซด์ (Na_2O, K_2O) ที่อยู่ในปูนซีเมนต์นี้จะส่งผลเสีย ในกรณีที่ใช้มวลรวมบางประเภทที่สามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไลหรือด่างในปูนซีเมนต์ มาผสมเป็นคอนกรีตจะเกิดปฏิกิริยา Alkali-Aggregate Reaction หรือ AAR เป็นผลทำให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย

2.8 การก่อตัวและปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในซีเมนต์เพสต์

(ชโลทร, 2552) ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำ จะก่อให้เกิดซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาพเหลวและลื่นไหลได้ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยจะเรียกช่วงเวลาที่คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ยังคงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า “Dormant Period” หลังจากนั้นซีเมนต์เพสต์จะเริ่มจับตัว (Stiff) ถึงแม้ว่าจะยังนิ่มอยู่แต่ก็จะไม่สามารถไหลตัวได้อีกแล้ว จุดนี้จะเป็นจุดที่เรียกว่า “จุดเริ่มแข็งตัว (Initial Setting Time)” การก่อตัวของซีเมนต์เพสต์จะยังคงดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่เป็นของแข็งที่คงสภาพซึ่งเรียกจุดนี้ว่า “จุดแข็งตัวสุดท้าย (Final Setting Time)” ซีเมนต์เพสต์ยังคงแข็งตัวต่อไป จนกระทั่งสามารถรับน้ำหนักได้กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า “การก่อตัวและการแข็งตัว (Setting and Hardening)”

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบในคอนกรีตเกือบทุกตัวเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เกิดจากสารประกอบแต่ละตัวทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง (Solid Product of Hydrations) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาจะทำให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าน้อยกว่าปริมาตรของซีเมนต์เพสต์เริ่มต้น จึงทำให้เกิดการหดตัวขึ้นในซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว สำหรับปฏิกิริยาไฮรเดรชันของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์มีดังนี้

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคัลเซียมซิลิเกต Alite (C_3S) และ Belite(C_2S)

1. $2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 2Ca(OH)_2$ -Alite -
2. $2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$ -Belite-

สมการที่ 1 เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Alite กับ น้ำ ทำให้ได้ของแข็งคือ $CaO.2SiO_2.3H_2O$ ($C_3S_2H_3$) ซึ่งเป็นผลึกของแข็งหลักในซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว และได้ของแข็งอีกชนิดหนึ่งคือ $Ca(OH)_2$ เป็นของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้และมีคุณสมบัติเป็นเบส

สมการที่ 2 เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Belite กับ น้ำ ทำให้ได้ของแข็งคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) และ $Ca(OH)_2$ เช่นเดียวกับปฏิกิริยาของ Alite แต่ปฏิกิริยาของ Belite จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และให้ความร้อนออกมาน้อยกว่าปฏิกิริยาของ Alite

ปฏิกิริยาไฮรเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต Aluminate (C_3A)

3. $3CaO.Al_2O_3 + 3(CaSO_4.2H_2O)$ (Gypsum) $+ 26(H_2O)$
   $6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32\ H_2O$ (Ettringite)
4. $2(3CaO.Al_2O_3) + 6CaO.Al_2O_3.3SO_3.32H_2O + 4(H_2O)$
   $3(4CaO.Al_2O_3.SO_3.12H_2O)$ (Monosulphate)
5. $3CaO.Al_2O_3 + Ca(OH)_2 + 12(H_2O)$
   $4CaO.Al_2O_3.13\ H_2O$ (Solid Solution)

สมการที่ 3 เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Aluminate กับ ยิปซัม และน้ำ ทำให้ได้สารที่เป็นของแข็งมีลักษณะคล้ายกับหนามเป็นเส้นเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า Ettringite ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมาก่อนในการทำปฏิกิริยาของสารประกอบในซีเมนต์ แต่โครงสร้างของผลึกไม่ได้แข็งแรงเท่ากับผลึกของ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต

สมการที่ 4 เนื่องจากผลึก Ettringite ไม่คงตัวจะทำปฏิกิริยาต่อกับ Aluminate และน้ำ ทำให้ได้เป็นของแข็งที่เรียกว่า Monosulphate

สมการที่ 5 หลังจากยิปซัมหมดไปแล้ว Aluminate ที่เหลืออยู่ในระบบจะทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ได้เป็นสารละลายของแข็งต่อไป

ปฏิกิริยาไฮรเดรชันของเตตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ Ferrite (C_4AF)

6. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + 3(CaSO_4.2H_2O)$ (Gypsum) $+ 27(H_2O)$
   $6CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3.3SO_3.32\ H_2O$(Ettringite) $+ Ca(OH)_2$
7. $2(4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3) + 6CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3.3SO_3.32\ H_2O + 6(H_2O)$
   $3(4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3.SO_3.12H_2O)$ (Monosulphate) $+ 2Ca(OH)_2$

8. $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + 2Ca(OH)_2 + 10(H_2O)$

$(3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3CaO.Fe_2O_3.6H_2O)$ (Solid Solution)

สมการที่ 6 เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีของ Ferrite กับ ยิปซัม และน้ำ ทำให้ได้สารที่เป็นของแข็งมีลักษณะคล้ายกับหนามเป็นเส้นเล็กๆ ซึ่งเรียกว่า Ettringite มีลักษณะคล้ายคลึงกับปฏิกิริยาของ Aluminate และยังได้ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ออกมาด้วย

สมการที่ 7 เนื่องจากผลึก Ettringite ไม่คงตัวจะทำปฏิกิริยาต่อกับ Ferrite และน้ำ ทำให้ได้เป็นของแข็งที่เรียกว่า Monosulphate และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์

สมการที่ 8 หลังจากยิปซัมหมดไปแล้ว Aluminate ที่เหลืออยู่ในระบบจะทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์และน้ำ ได้เป็นสารละลายของแข็งต่อไป8.6.8 โครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ในสภาพแข็ง (ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2547)

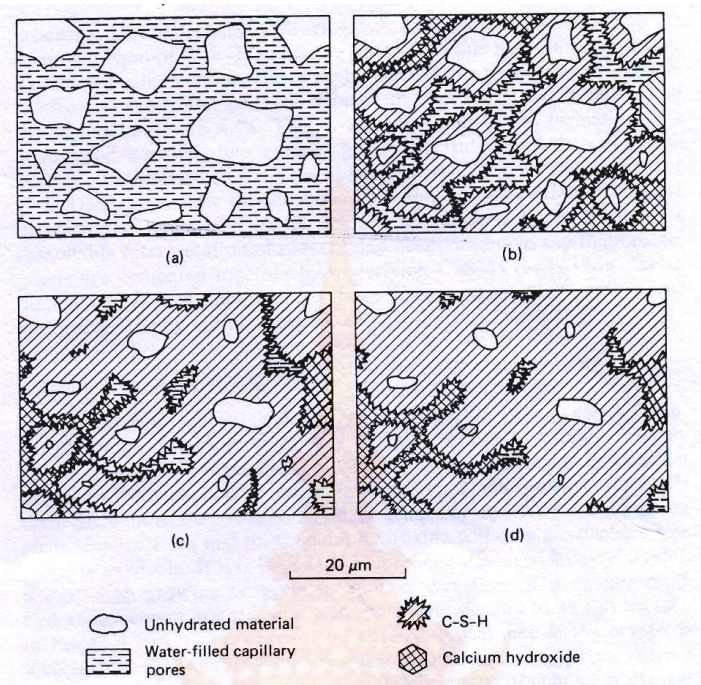
ภาพที่ 2.4 แสดงแผนภูมิการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ เริ่มต้นจากเม็ดปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นซึ่งจะขยายตัวเข้าไปในโพรงหรือช่องว่าง ผลิตผลไฮเดรชั่นเรียกรวมๆ ว่าซีเมนต์เจล (Cement Gel) โดยปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ (ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น) เป็นได้ดังสมการดังนี้

$$2C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3CH \quad (1)$$

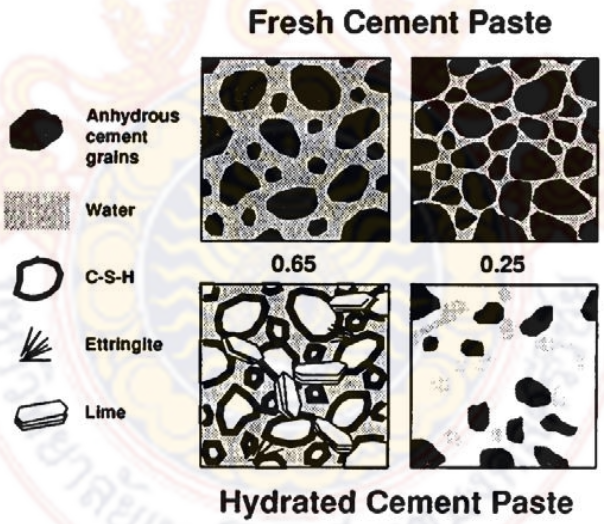
$$2C_2S + 4H \longrightarrow C_3S_2H3 + CH \quad (2)$$

$$C_3A + 6H \longrightarrow C_3AH6 \quad (3)$$

$$C_3A + 3CSH2 + 26H \longrightarrow C_6AS_3H32 \quad (4)$$



ภาพที่ 2-4 แผนภูมิการพัฒนาโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์
(a) เริ่มผสม; (b) อายุ 7 วัน; (c) อายุ 28 วัน; (d) อายุ 90 วัน



ภาพที่ 2-5 ผลกระทบของ w/c ต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์

ภาพที่ 2-5 แสดงผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ต่อโครงสร้างระดับอนุภาคของซีเมนต์เพสต์ โดยพิจารณาที่ปริมาตรเท่ากัน พบว่าที่ w/c = 0.65 อนุภาคของปูนซีเมนต์จะอยู่ห่างกัน เมื่อ w/c ลดลงเท่ากับ 0.25 อนุภาคปูนซีเมนต์จะอยู่ใกล้กัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นผลิตผลของปฏิกิริยาจะอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ทำให้โครงสร้างระดับอนุภาคของซีเมนต์เพสต์แน่นขึ้น ที่ระยะเวลาเท่ากัน พิจารณา w/c = 0.65 การ

พัฒนาผลิตผลจากปฏิกิริยาให้เชื่อมโยงถึงกันต้องใช้เวลานาน มีปริมาณน้ำเกินความจำเป็นในการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ ส่วนประกอบของน้ำที่เหลือจะเป็นตัวกลางในการนำสารอันตรายเข้ามาทำอันตรายต่อคอนกรีต และถ้าน้ำส่วนเกินแห้งก็ทำให้เกิดโพรงในคอนกรีต ทำให้ของเหลวหรือก๊าซที่สามารถทำอันตรายกับคอนกรีตซึมเข้ามาในโพรงของคอนกรีต และทำปฏิกิริยากับสารประกอบในคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตเสื่อมสภาพและความทนทานลดลง

โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นของแข็ง, ช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ (Voids) และน้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้ว

1. ของแข็ง ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เป็นสารที่ให้กำลังกับคอนกรีตมีปริมาณมากที่สุดในซีเมนต์เพสต์ คือ มีอยู่ประมาณร้อยละ 50-70, แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตและซัลโฟเฟอร์ไรด์มีอยู่ประมาณร้อยละ 10-15, แคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่เหลือ ซึ่งแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของซีเมนต์เพสต์มีอยู่ประมาณร้อยละ 20-25 โดยปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ และอนุภาคปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยาไม่หมดก็ยังคงมีอยู่ในซีเมนต์เพสต์ด้วย

2. ช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ ได้แก่ ช่องว่างคาปิลลารี (Capillary Voids) คือ ช่องว่างที่ไม่ถูกอุดด้วยส่วนที่เป็นของแข็ง และโพรงอากาศ (Air Voids) คือ ช่องว่างอากาศ

3. น้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้ว (Hydrate Cement Paste, HCP) น้ำที่อยู่ใน HCPสามารถอยู่ได้หลายรูปแบบ การแบ่งแยกรูปแบบของน้ำที่อยู่ใน HCP แบ่งโดยดูที่ความยากง่ายในการเคลื่อนน้ำออกจาก HCP ซึ่งน้ำสามารถออกจาก HCP เมื่อได้รับความร้อน ซีเมนต์เพสต์ที่อยู่ในสภาวะแข็งประกอบไปด้วยสารต่างๆ ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ การสูญเสียน้ำในซีเมนต์เพสต์จะส่งผลทำให้ซีเมนต์เพสต์มีการหดตัว (Shrinkage) น้ำในซีเมนต์เพสต์ที่ทำปฏิกิริยาแล้วสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามความยากง่ายในการกำจัดออกไป ดังนี้

3.1 น้ำที่สามารถระเหยได้ง่าย (Water Vapour) เป็นน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ของซีเมนต์เพสต์ น้ำประเภทนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิ

3.2 น้ำคาปิลลารี (Capillary Water) คือ น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่กว่า 5 นาโนเมตร ซึ่งเป็นน้ำอิสระจากอิทธิพลของแรงดึงดูด (Attractive Force) ของของแข็งที่อยู่ในเพสต์ จากพฤติกรรมดังกล่าวสามารถแบ่งน้ำคาปิลลารีได้ 2 ชนิด ชนิดที่ 1 น้ำในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 นาโนเมตรเรียกน้ำดังกล่าวว่าน้ำอิสระ (Free Water) เมื่อนำน้ำอิสระออกจากเพสต์แล้วจะไม่ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลง ส่วนน้ำชนิดที่ 2 เป็นน้ำที่เกิดจากแรงดึงคาปิลลารี (Capillary Tension) ในช่องว่างขนาด 5-50 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อน้ำชนิดนี้ระเหยออกไปจะส่งผลทำให้ซีเมนต์เกิดการหดตัวได้

3.3 น้ำที่ถูกดูดซับ (Adsorbed Water) คือ น้ำที่อยู่ใกล้กับผิวสัมผัสของของแข็งซึ่งถูกยึดไว้ด้วยแรงดึงดูด (Attractive Force) ของของแข็งที่อยู่ในเพสต์ โดยโมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับอยู่รอบๆผิวสัมผัสของของแข็งในเพสต์ เรียกแรงยึดเหนี่ยวนี้ว่าแรงยึดเหนี่ยวไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) น้ำในส่วนนี้จะเรียงตัวกันไม่เกิน 5 โมเลกุล (ความหนารวมไม่เกิน 1.3 นาโนเมตร) น้ำส่วนนี้ถูกขับออกโดยทำให้เพสต์แห้งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าประมาณร้อยละ 30 การสูญเสียน้ำในส่วนนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ซีเมนต์เพสต์เกิดการหดตัว

3.4 น้ำระหว่างชั้น (Interlayer Water) เป็นน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของ C-S-H เนื่องจากโครงสร้างของ C-S-H มีลักษณะเป็นชั้นๆ โดยแรงดึงดูดแต่ละชั้นเป็นแรงยึดเหนี่ยวไฮโดรเจน น้ำส่วนนี้อยู่ใน Gel Pore ของซีเมนต์เพสต์ (มีขนาดเล็กกว่า 2.6 นาโนเมตร) น้ำส่วนนี้ถูกยึดไว้อย่างแข็งแรงโดยผิวของของแข็งในช่องว่าง การกำจัดน้ำในส่วนนี้ต้องใช้ความร้อนสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ11% โครงสร้างของ C-S-H จะหดตัวเมื่อสูญเสียน้ำดังกล่าวไป

3.5 น้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี (Chemically Combined Water) เป็นน้ำที่เป็นส่วนประกอบของผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Product) น้ำในส่วนนี้นำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี การกำจัดน้ำในส่วนนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 1,000°C เพื่อให้ซีเมนต์เพสต์และน้ำสลายตัวไปเป็นสารอื่นหรือที่เรียกว่าการสลายตัวของสาร (Decomposition) เช่น การสลายตัวของแคลเซียมไฮรดรอกไซด์ได้ CaO กับน้ำ (H_2O)

เมื่อเผาซีเมนต์เพสต์ที่อุณหภูมิระหว่าง 100-400oC ปริมาณน้ำประเภทต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์จะระเหยไป แต่เมื่อเผาซีเมนต์เพสต์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นระหว่าง 400-1,000°C สารประกอบต่างๆในซีเมนต์เพสต์จะสลายตัวไปเป็นสารประกอบอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำลงหรือเป็นธาตุดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2-3 อุณหภูมิที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของสารต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์ (Decomposition Reaction)

ลำดับที่	อุณหภูมิ (^{O}C)	ปฏิกิริยา
1	100	น้ำในช่องว่างระเหย
2	180	การสลายตัวของ C-S-H
3	350	การสลายตัวของ C-S-H
4	400	การสลายตัวของ C-S-H
5	600	การสลายตัวของ $Ca(OH)_2$
6	700	การสลายตัวของ $CaCO_3$

ลำดับที่ 1 แสดงถึงปฏิกิริยาการเอาน้ำออกจากช่องว่าง (Pore) ซึ่งเป็นน้ำอิสระ (Free Water)ที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่สามารถระเหยได้อุณหภูมิประมาณ 100 $^{\circ}$C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่น้ำกลายเป็นไอ

ลำดับที่ 2 แสดงถึงปฏิกิริยาการเอาน้ำจากช่องว่างคาปิลลารีออก ซึ่งเป็นน้ำที่เกิดจากแรงดึงคาปิลลารี (Capillary Tension) ในช่องว่างขนาดเล็กในโครงสร้างของ C-S-H

ลำดับที่ 3 แสดงถึงปฏิกิริยาการเอาน้ำที่ถูกดูดซับ (Adsorbed Water) ออกซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ใกล้กับผิวสัมผัสของของแข็งในโครงสร้างของ C-S-H

ลำดับที่ 4 แสดงถึงปฏิกิริยาการเอาน้ำระหว่างชั้น (Interlayer Water) ออกซึ่งเป็นน้ำที่อยู่ในแต่ละชั้นในโครงสร้างของ C-S-H อันเนื่องมาจากว่าโครงสร้างของ C-S-H มีลักษณะเป็นชั้นๆ

ลำดับที่ 5 แสดงถึงปฏิกิริยาการสลายตัวของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ โดยสลายตัวได้แคลเซียมออกไซด์และน้ำดังสมการ

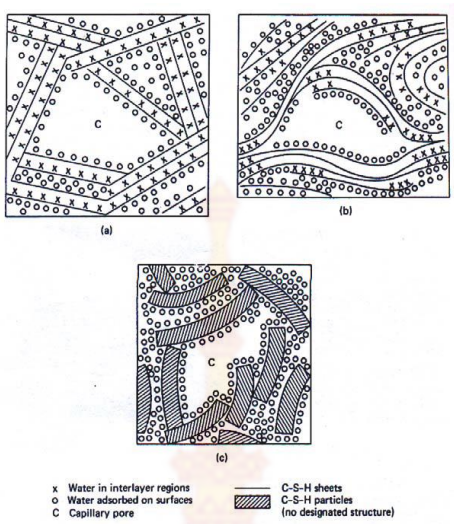
$$Ca(OH)_2 \longrightarrow CaO + H_2O$$

ลำดับที่ 6 แสดงถึงปฏิกิริยาการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โดยสลายตัวได้แคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ดังสมการ

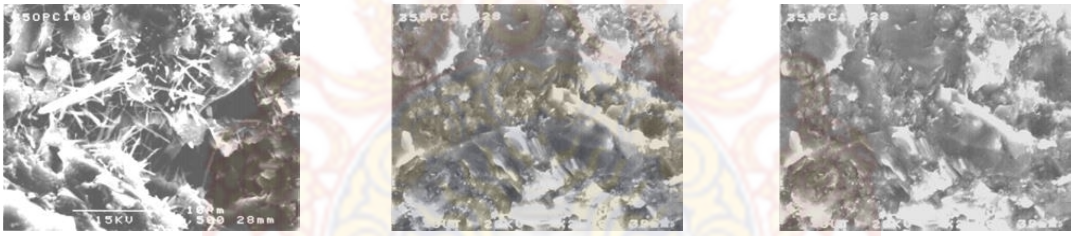
$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO2$$

การศึกษาโครงสร้างที่แท้จริงของ C-S-H เป็นเรื่องยาก โดยได้มีการนำเสนอแบบจำลองของ C-S-H ขึ้นหลายแบบเพื่ออธิบายคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์แสดงในรูปที่ 2-5 แบบจำลองของ Powers-Brunauer แสดงไว้ในภาพที่ 2-6a แสดงโครงสร้างของ C-S-H ประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆซึ่งยึดติดกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ประกอบด้วยแผ่น C-S-H จำนวน 2 หรือ 3 แผ่นเกาะกันอยู่ แบบจำลองของ Feldman-Sereda แสดงไว้ในภาพที่ 2.6b เชื่อว่าโครงสร้างของ C-S-H ประกอบด้วยแผ่น C-S-H เดี่ยวที่เกาะกันอยู่

ภาพที่ 2-7 แสดงภาพถ่ายขยายโดย SEM ของซีเมนต์เพสต์ที่อายุ 7, 28, และ 90 วัน ตามลำดับพบว่าที่อายุ 7 วัน (ภาพที่ 2-7a) โครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์มีช่องว่างหรือโพรงมาก พบเอททริงไกต์มีลักษณะเป็นเข็มยาวเกิดขึ้นรอบเม็ดปูนและขยายเข้าไปในช่องว่าง ที่อายุ 28 วัน (ภาพที่ 2-7b) ผลิตผลไฮเดรชั่นประกอบด้วยแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต, แคลเซียมไฮดรอกไซด์, แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตและซัลโฟเฟอร์ไรด์ และส่วนประกอบย่อยอื่นอีกไม่มาก ขยายเข้าไปในโพรงหรือช่องว่างมากขึ้นทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความแน่นขึ้น โดยเฉพาะที่อายุ 90 วัน (ภาพที่ 2-7c) ซีเมนต์เพสต์มีโครงสร้างที่แน่นยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2-6 แบบจำลองโครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต
(a) Powers-Brunauer (b) Feldman-Sereda (c) Munich



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างระดับจุลภาคของซีเมนต์เพสต์
(a) อายุ 7 วัน (b) อายุ 28 วัน (c) อายุ 90 วัน

2.9 คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยใช้ก่อเป็นผนังกั้นหรือกำแพงทั้งภายในและภายนอกของอาคารหรือปูเป็นพื้นทางเท้า พื้นถนน เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติการทนไฟและระบายความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ขนาดคุณภาพได้มาตรฐาน ทำให้คอนกรีตบล็อกเป็นเป็นวัสดุที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานก่อสร้าง คอนกรีตบล็อกที่ดีต้องมีคุณสมบัติได้มาตรฐานที่กำหนดโดย สมาคมทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing and Materials, ASTM) หรือตามมาตรฐาน มอก.ของประเทศไทยที่กำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม

การผลิตคอนกรีตบล็อกสามารถทำได้โดยการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัสดุผสม และน้ำ ผสมเข้ากันดี แล้วเทเข้าแบบมาตรฐานทำการบดอัดโดยอาศัยแรงอัดและการเขย่าจากเครื่อง ทำให้วัสดุสามารถจับตัวกันแน่น และมีกำลังพอเพียงที่จะคงรูปอยู่ได้หลังจากถอดแบบทันทีที่บดอัดเสร็จ คอนกรีตที่ใช้ในขบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกค่อนข้างแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นคอนกรีตที่มีความข้นเหลวค่อนข้างแห้งคือไม่มีค่าความยุบตัว (No Slump) ไม่สามารถไหลได้ ดังนั้นการทำให้คอนกรีตมีความแน่นได้จำเป็นต้องใช้การบดอัด (Compaction) ซึ่งประกอบด้วยแรงกด (Surcharge) และการสั่นสะเทือน (Vibration) การเพิ่มระดับในการบดอัด (Degree of Compaction) คือการเพิ่มแรงกดและช่วงเวลาในการบดอัดจะทำให้คอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นซึ่งจะทำให้มีกำลังรังแรงอัดเพิ่มขึ้น และต้นทุนในการผลิตก็จะสูงตามไปด้วย ดังนั้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกจึงพยายามผลิตคอนกรีตบล็อกให้มีความหนาแน่นต่ำสุดโดยที่มีกำลังพอเพียงในการรับน้ำหนักได้ นอกจากนี้คอนกรีตที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกจะต้องมีกำลังรับแรงอัดหลังจากการบดอัดเสร็จ (Green Strength) พอเพียงที่จะไม่เสียหายหลังจากถอดออกจากแบบหล่อ

อัตราส่วนผสม (Mix Design) ที่ใช้สำหรับคอนกรีตธรรมดาไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับการผลิตคอนกรีตบล็อก เนื่องจากคอนกรีตบล็อกต้องการ green strength สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาดังนั้นมวลรวมที่ใช้จำเป็นต้องมีความเชื่อมแน่น (Cohesiveness) และมีการขัดกัน (Inter Locking) สูง โดยมวลรวมส่วนใหญ่จะต้องมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมคมและมีส่วนละเอียดในปริมาณมากพอ การควบคุมขนาดคละ (Gradation) และปริมาณน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการผลิตคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อก หมายถึงแท่งคอนกรีตที่ทำจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสม ที่เหมาะสมชนิดต่างๆ เช่นทราย กรวด ยินย่อย และบางครั้งอาจมีสารอื่นที่เหมาะสมปนอยู่ด้วย อัดเข้าแบบมาตรฐานเป็นบล็อกต่างๆ เป็นที่นิยมใช้กับงานก่อสร้างในปัจจุบัน คอนกรีตบล็อกสามารถแบ่งออกกว้างๆตามประโยชน์การใช้สอยเป็นคอนกรีตบล็อกสำหรับผนังและคอนกรีตบล็อกสำหรับปูพื้น

2.9.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนัง

คอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังสามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.9.1.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังแบบกลวง (Hollow concrete block) ซึ่งเป็นคอนกรีตบล็อกที่มีลักษณะกลวงแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดรับน้ำหนักได้ (Load bearing block) ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเอง ควบคุมการผลิตตามมาตรฐาน มอก.57-2533 และชนิดที่ไม่รับน้ำหนัก (Non-load bearing block) โดยไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกใดๆได้นอกจากน้ำหนักคอนกรีตบล็อกเอง ควบคุมการผลิตตามมาตรฐาน มอก. 58-2533

2.9.1.2 คอนกรีตบล็อกก่อผนังแบบตัน (Solid concrete block) เป็นคอนกรีตบล็อกทึบตันไม่มีรูกลวงตรงกลาง ออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเองผลิตเฉพาะชนิดสามารถรับน้ำหนักได้เท่านั้น ควบคุมการผลิตตามมาตรฐาน มอก.60-2533

2.9.2 ชนิดของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก หมายถึงคอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักตัวเอง

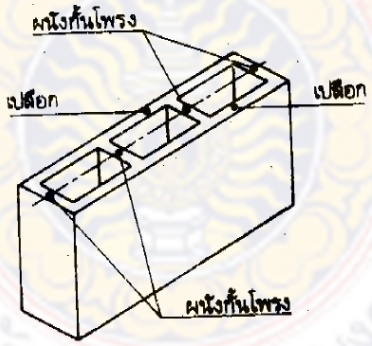
2. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก หมายถึงคอนกรีตบล็อกใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้ไม่รับน้ำหนักบรรทุกใดๆ นอกจากน้ำหนักตัวเอง

2.9.3 ประเภทของคอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทควบคุมความชื้น หมายถึงคอนกรีตบล็อกที่ผลิตแล้วเมื่อส่งถึงงานก่อสร้างต้องควบคุมความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานกำหนด

2. ประเภทไม่ควบคุมความชื้น หมายถึงคอนกรีตบล็อกที่ผลิตแล้วเมื่อส่งถึงงานก่อสร้างไม่ต้องควบคุมความชื้น หรือไม่กำหนดความชื้นในการผลิต



ภาพที่ 2-8 ลักษณะของคอนกรีตบล็อกและชื่อเรียกส่วนต่างๆ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533)

2.9.4 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักต้องมีขนาดดังตารางที่ 2-4 จะมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 mm และความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 mm

ตารางที่ 2-4 ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533)

ขนาดคอนกรีตบล็อก (mm.) หนา x สูง x ยาว	ขนาดคอนกรีตบล็อก (mm.) หนา x สูง x ยาว
70x190x140	70x190x290
190x190x140	190x190x290
140x190x140	140x190x290
190x190x140	190x190x290
70x190x190	70x190x390
90x190x190	90x190x390
140x190x190	140x190x390
190x190x190	190x190x390

2.9.5 คุณลักษณะที่ต้องการของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก

2.9.5.1 ลักษณะทั่วไป คอนกรีตบล็อกที่ผลิตขึ้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) มีดังนี้

1. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักทุกก้อน ต้องแข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าวหรือส่วนเสียอื่นๆ อันเป็นอุปสรรคต่อการก่อคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักอย่างถูกต้อง หรือทำให้สิ่งก่อสร้างเสียกำลัง และรอยร้าวเล็กน้อยที่เกิดขึ้นในกรรมวิธีผลิตตามปกติ หรือรอยปิ่มเล็กน้อยเนื่องจากวิธีการเคลื่อนย้ายขนส่งอย่างธรรมดา จะต้องไม่เป็นสาเหตุอ้างในการไม่ยอมรับ

2. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการฉาบปูนหรือแต่งปูน ต้องมีผิวหน้าหยาบพอควรแก่การจับยึดของปูนฉาบ หรือปูนแต่งได้อย่างดี

3. คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ซึ่งต้องการก่อแบบผิวเผยด้านผิวเผยจะต้องไม่มีรอยบิ่น รอยร้าวหรือตำหนิอื่นๆ ถ้าในการสั่งคราวหนึ่งมีก้อนซึ่งมีรอยบิ่นเล็กน้อยที่ยาวมากกว่า 25 mm เป็นจำนวนไม่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ จะต้องไม่ถือเป็นสาเหตุในการไม่ยอมรับ

2.9.5.2 ความหนาแน่น การจำแนกความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักสามารถจำแนกตามความหนาแน่นได้ 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตบล็อกหนัก คือคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นมากกว่า 2,000 kg/m^3

2. คอนกรีตบล็อกหนักปานกลาง คือคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นระหว่าง1,680 ถึง 2,000 kg/m^3

3. คอนกรีตบล็อกเบา คือคอนกรีตบล็อกมีความหนาแน่นน้อยกว่า 1,680 kg/m^3

2.9.5.3 ความต้านทานแรงอัด หลังจากผลิตแล้วเมื่อส่งถึงที่ก่อสร้างจะต้องมีความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตบล็อกต้องเป็นไปตามตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ความต้านทานแรงอัดคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช.779/2548)

ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยจากพื้นที่รวม ต่ำสุด		
มอก. 58-2533		มผช.779/2548
เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน	เฉลี่ย 5 ก้อน
25 kg/cm^2	20 kg/cm^2	20 kg/cm^2

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤษฎา เปรมฤทัย, 2554 ศึกษาคอนกรีตบล็อกจากเปลือกหอยแครงต้นแบบ เพื่อลดปริมาณการใช้หินเกร็ดที่เป็นส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกทั่วไป โดยการแทนที่หินเกร็ดด้วยเปลือกหอยแครงบดในอัตราส่วน 1: 1 (แทนที่ 100%) ด้วยการผลิตและทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดตามมาตรฐาน มอก.58-2530 และทดสอบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (ค่า k) ตามมาตรฐาน ASTM C-518 ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตบล็อกจากเปลือกหอยแครงต้นแบบมีค่าการรับกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดเฉลี่ย (28.935 ksc) ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.58-2530 และพบว่าคอนกรีตบล็อกจากเปลือกหอยแครงมีค่า k (0.296) ต่ำกว่าของคอนกรีตบล็อกทั่วไป (0.519) สูงกว่าคอนกรีตมวลเบา(0.18)

ชโลธร ศิริภัทรประวัติ, 2552 ศึกษาวิจัยเรื่อง อิทธิพลของเปลือกหอยบดต่อคุณสมบัติของปูนฉาบ โดยการใช้เปลือกหอยบด 4 ชนิด คือ เปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบด เป็นส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตปูนฉาบ ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มร้อยละการแทนที่เปลือกหอยบดทั้ง 4 ชนิด ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม

ผุสดี แพทย์นุเคราะห์, 2546 ศึกษาการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วและชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีรีมาโซล แบล็ด บีมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง โดยทำการทดลองศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่กำหนดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนัง โดยใช้อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

พงศ์ภูมิ ศรชมแก้ว, 2555 ศึกษาบล็อกประสานที่มีส่วนผสมเถ้าหนักทดแทนปูนซีเมนต์ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของบล็อกประสานที่ผลิตขึ้นในอัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่อัตราส่วน 1 : 5, 1 : 6, 1 : 7, 1 : 8 และ1 : 9 โดยน้ำหนัก ซึ่งในแต่ละส่วนผสมจะผสมเถ้าหนักที่ปริมาณร้อยละ 0 , 5 ,10 และ 15 แทนที่ปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด คือ 72.951 กก/ลบ.ซม

ที่อัตราส่วน 1 : 6 ปริมาณเถ้าหนักร้อยละ 5 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และค่ากำลังรับแรงอัดที่น้อยที่สุด คือ 55.045 กก/ลบ.ซม ที่อัตราส่วน 1: 9 โดยมีปริมาณเถ้าหนักร้อยละ 15 ซึ่งมีส่วนผสมของดินลูกรังมาก และมีปริมาณของเถ้าหนักที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์มากที่สุด ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์ของมาตรฐาน

วรากร หมั่นสระเกษ, 2554 ศึกษาความเป็นได้ของการใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยในการผลิตบล็อกเพื่อใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ผลการศึกษาพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการทำคอนกรีตบล็อกคือ อัตราส่วนระหว่างกากแคลเซียมคาร์ไบด์กับเถ้าลอยที่เท่ากับ 40:60 และอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำและวัสดุเชื่อมประสานที่เท่ากับ 0.75 โดยคอนกรีตบล็อกที่เตรียมด้วยส่วนผสมนี้มีกำลังอัดได้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 58-2533

วราวุธ หนูแก้ว และคณะ, 2558 ศึกษาคุณสมบัติของผงเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ผงเปลือกหอยนางรมบด (OSP) มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีลักษณะคล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คือเทาอ่อนแต่มีสีอ่อนกว่าเล็กน้อยโดยมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59ผงเปลือกหอยนางรมบด (OSP) ไม่สามารถช่วยในการเร่งการก่อตัวเริ่มต้นและการก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์ให้เร็วขึ้น โดยเมื่อทำการเพิ่มร้อยละการแทนที่ 10, 20, 30 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการก่อตัวเริ่มต้นและระยะก่อตัวสุดท้ายของซีเมนต์เพสต์จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ตามลำดับ ซีเมนต์เพสต์ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์เพสต์ด้วยผงเปลือกหอยนางรมบด (OSP)ไม่สามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ เพราะความสามารถในการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 และร้อยละ 40 มีกำลังรับแรงอัดได้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (C100)

วราเทพ บำรุงไทย, 2551 ศึกษาเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาทดแทนปนูซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อการก่อสร้างอาคารทั่วไปตามมาตรฐาน มอก. 53-2533 คอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยที่นำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่มีการรับแรงอัดเกินมาตรฐาน มอก. 53-2533 ที่ 28 วัน มีผลให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกลดลง 0.35 บาทต่อก้อน

วันโชค เครือหงส์ และคณะ, 2559 ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยด้วยวัสดุยึดประสาน : ทราย : หินฝุ่นในอัตราส่วน 1 : 2 : 8 โดยน้ำหนัก แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุยึดประสาน และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานเท่ากับ 0.70 0.80 และ 0.90 จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยที่ร้อยละ 30 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกควบคุม อย่างไรตาม การดูดซึมน้ำและความพรุนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่า

คอนกรีตบล็อกควบคุม นอกจากนี้การนำความร้อนมีค่าลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุยึดประสานที่เพิ่มขึ้น

ศรัณย์ อนุกูลพันธ์, 2548 ศึกษาการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.58-2530) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ใช้อัตราส่วนผสมจองคอนกรีตบล็อก โดยน้ำหนักที่ผลิตขายในจังหวัดตรัง คือ ปูนซีเมนต์ : ทราย: หินฝุ่น เท่ากับ 0.12 กิโลกรัม : 0.37 กิโลกรัม : 2.8 กิโลกรัม W/C=1.96 ได้กำลังต้านทานแรงอัด 35.65 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าที่มาตรฐาน แล้วนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาผสมแทนปูนซีเมนต์ โดยลดปริมาณในอัตราส่วนครั้งละ 5, 10, 20, และ25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับผลปรากฏว่าคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าปาล์มน้ำมันแทนปูนซีเมนต์แลนด์ประเภทที่ 1 มีกำลังต้านแรงอัดใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คือ 55 มีค่าเท่ากับ 19.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 20.55 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

สุริยา การะเกษ, 2557 ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เปลือกหอยเชอรี่บดในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตบล็อกประสานที่ใช้ในงานโครงสร้างรับแรงแบกทาน และนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอรี่บดที่เหมาะสม ผลการทดสอบพบว่าทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอรี่บด ปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับร้อยละ 12 และ 11 สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:6 และ 1:8 ตามลำดับ กำลังอัดของบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอรี่บด จนถึงร้อยละ 20 (ค่าเหมาะสม) หลังจากนั้น กำลังอัดจะมีค่าลดลง

Ballester et al., 2007 ศึกษาเปลือกหอยแมลงภู่ โดยใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีต และได้ทดสอบในเรื่องของกำลังรับแรงอัดและการนำความร้อนของคอนกรีตผสมเปลือกหอยแมลงภู่บด ผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เปลือกหอยแมลงภู่บดทดแทนหินนั้น ไม่มีประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างและไม่ผ่านมาตรฐาน NZS 3108-1983 ของประเทศนิวซีแลนด์

Barnaby, 2004 ศึกษาโดยการนำเปลือกหอยแมลงภู่ เป็นส่วนผสมในการผลิตมอร์ตาร์ โดยการใช้เปลือกหอยแมลงภู่บดมาทดแทนในส่วนของฝุ่นหินปูนที่ได้มาจากเหมืองหิน โดยใช้ทดแทนในอัตราส่วนร้อยละ 0 4 8 และ 12 โดยส่วนของอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย คือ 1:7.8 จากผลการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดร้อยละ 12 ที่อายุการบ่ม 90 วัน มีกำลังอัดและกำลังดึงสูงที่สุด

Falade, 1995 ศึกษาโดยนำเปลือกหอยขมบด บางส่วนหรือทั้งหมดเป็นส่วนผสมของมวลรวมในคอนกรีต โดยกำหนดส่วนผสมมาตรฐานของปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินและเปลือกหอยขมบดออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ 1:1½:3 1:2:4 และ 1:3:6 โดยผลการทดสอบพบว่า กำลังการรับแรงอัด

ของคอนกรีตที่ใช้เปลือกหอยขมแทนที่หินทั้งหมด ที่อายุ 28 วัน ของส่วนผสม 1:3½:1 และ 1:4½:1½ เท่ากับ 15.65 และ 11.77 N/mm^2 ตามลำดับ

hazurina et al, 2013 ศึกษาเถ้าเปลือกหอยแครงเป็นวัสดุสำหรับการทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีต โดยตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหอยแครงและเปลือกโดยใช้การวิเคราะห์ XRF และการสังเกตของโครงสร้างอนุภาคด้วย SEM โดยทดแทนปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วน 5%, 10%, 15%, 25% และ 50% ที่อายุการบ่ม 7, 28, 90 และ 120 วัน ผลการทดลองพบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าหอยแครงมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม

Yang, Yi & Leem, 2005 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยนางรมมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง โดยศึกษาลักษณะทางเคมีและทางกลของเปลือกหอยนางรมบด พบว่า การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ1:5 และ 1:10 เมื่ออัตราส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมบดแทนที่ทรายที่มากกว่าร้อยละ 20 และ 40 ตามลำดับ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อผสมที่ปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 40 ของการแทนที่ทราย พบว่า ไม่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญในกำลังรับแรงอัด บ่งบอกถึงความสามารถของการนำกลับมาใช้ใหม่ในวัสดุก่อสร้างได้

Yoon et al, 2003 ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเปลือกหอยนางรมบดโดยการทดแทนมวลรวมในมอร์ตาร์ จากผลการทดสอบพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในรูปผลึกของแคลไซด์เป็นส่วนประกอบหลักของเปลือกหอยนางรม มีลักษณะรูปร่างแบนและกลม มีความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.38 - 2.41

Yoon, Park & Lee, 2004 ศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัว โดยมีตัวแปรได้แก่ ค่าโมดูลัสความละเอียด และอัตราการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยนางรมบด ผลการทดสอบพบว่าไม่มีปฏิกิริยาระหว่างเปลือกหอยนางรมบดกับซีเมนต์เพสต์เกิดขึ้น ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตลดลงเมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดลดลงและอัตราการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้น รวมทั้งยังพบว่าการผสมเปลือกหอยนางรมบดไม่ได้เป็นสาเหตุของการลดลงของกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน และการพัฒนากำลังอัดเร็วขึ้นเมื่ออัตราการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง เมื่ออัตราการแทนที่ของเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้น โดยลดลงประมาณร้อยละ 10 เมื่ออัตราการแทนที่เท่ากับร้อยละ 20

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษาอิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก บทนี้จะกล่าวถึง รายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยซึ่งคลอบคลุมไปถึง วัสดุที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ วิธีดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

3.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 การทดสอบองค์ประกอบทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

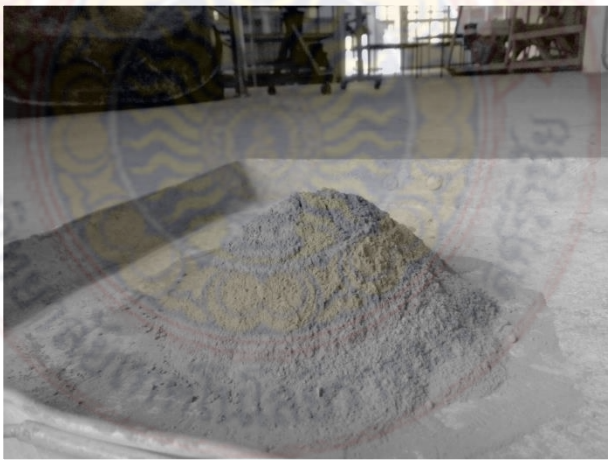
3.3 กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ

3.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ (Cement) ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.15 และมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15



ภาพที่ 3-1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ประเภทที่ 1

2. เปลือกหอยนางรมบด (Crushed Oyster Shell Powder) ผงเปลือกหอยนางรมบดที่ใช้ในงานวิจัย ไม่ผ่านการเผา โดยผ่านตะแกรงเบอร์ 100 จากพื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

ภาพที่ 3-2ก กองขยะเปลือกหอยนางรม พื้นที่ อ.กาญจนดิษฐ์ จ.สุราษฎร์ธานี

ภาพที่ 3-2ข เปลือกหอยนางรมที่คัดเลือกและทำความสะอาดแล้ว

ภาพที่ 3-2ค ขั้นตอนการเตรียมเปลือกหอยนางรมที่คัดเลือกและทำความสะอาดแล้ว

ภาพที่ 3-2ง เปลือกหอยนางรมบด ไม่ผ่านกระบวนการเผา

ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกหอยนางรมบด

3. หินฝุ่นจากโรงโม่หินผาทอง อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยใช้ขนาดที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์4 ลงมาจนถึงส่วนที่เป็นฝุ่น

4. น้ำผสมคอนกรีต (Water) ใช้น้ำสะอาด ปราศจาก กรด ด่าง น้ำมัน และอินทรีย์สารอื่นๆในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีต

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องบดโม่แบบแห้ง

ภาพที่ 3-3 เครื่องบดเปลือกหอยนางรม

2. ชุดทดลองหาพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน (Blaine Air Permeability)
3. เครื่องชั่งอิเลคทรอนิกส์
4. ชุดทดลองหาความถ่วงจำเพาะ
5. ชุดอุปกรณ์ทดสอบการหาขนาดคละของมวลรวม
6. ตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิได้ระหว่าง 100±1 องศาเซลเซียส
7. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของอากาศแบบเบลน
8. ตะแกรงร่อนมาตรฐาน
9. เครื่องผสมคอนกรีต
10. เครื่องอัดเข้าแบบบล็อก
11. เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต (Compression Testing Machine)
12. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี วิธี X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)
13. เครื่องทดสอบองค์ประกอบทางเคมี วิธี X-Ray Diffractometer Analysis (XRD)
14. เครื่องถ่ายภาพขยายกำลังสูง Scanning Electron Microscope (SEM)
15. เตาเผา (Furnace)

3.2 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

1. การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) โดยใช้ขวดทดลองมาตรฐานเลอชาเตอลิแอร์ (Le Chatelier Flask) ตาม ASTM C 188 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัสดุต่อน้ำหนักของน้ำ ที่มีปริมาตรเท่าวัสดุนั้นโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และวัสดุปอซโซลานหาได้จากการแทนที่ในน้ำมันก๊าด

ภาพที่ 3-4 ขวดทดลองมารฐานเลอชาเตอลิแอร์ (Le Chatelier Flask)

2) ความละเอียดแบบเบลน (Blaine air-permeability) การทดสอบความละเอียดของเปลือกหอยนางรมบดโดยวิธีแอร์เพอร์มีอะบิลิตี้ของเบลน ตาม ASTM C 204 เป็นการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) ด้วยการวัดระยะเวลาที่อากาศที่ไหลผ่านตัวอย่าง ซึ่งค่าที่ทดสอบได้มีหน่วยเป็นพื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนัก (ซม^2/ก)

3) การถ่ายภาพขยายอนุภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) โดยการนำผงตัวอย่างมาโรยบนแท่นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 ซม. ที่ติดแผ่นกาว 2 หน้าเตรียมไว้แล้ว โดยให้ผงตัวอย่างติดแผ่นกาวเป็นแผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปเป่าด้วยลมออกซิเจนเพื่อให้ผง

ตัวอย่างหลุดออกให้เหลือเพียงชั้นเดียว นำแท่นตัวอย่างไปอบด้วยแสงไฟเพื่อไล่ความชื้น แล้วนำแท่นตัวอย่างไปเคลือบด้วยอิออนทองคำ หลังจากนั้นจึงนำไปถ่ายภาพขยายอนุภาคด้วยเครื่อง SEM

4) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) ของเปลือกหอยนางรมบดโดยการนำผงตัวอย่าง ทาลงบนเทปด้านที่เป็นกาวบนแผ่นเฟรมที่เตรียมไว้ ใช้พู่กันที่สะอาดเกลี่ยผงตัวอย่างให้ติดบนเทปเป็นชั้นบางอย่างสม่ำเสมอ ทำความสะอาดแผ่นตัวอย่างให้เรียบร้อย ตรวจสอบความสม่ำเสมอของแผ่นตัวอย่างใช้เทปกาวปิดทับตัวอย่าง เพื่อกันไม่ให้ผงหลุดออกจากแผ่นเฟรม จากนั้นนำไปทดสอบ ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence Analysis (XRF)

5) การวิเคราะห์ความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-Ray Diffraction (XRD) ของผงเปลือกหอยนางรมบด

3.2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมเตรียมตัวอย่างเปลือกหอยนางรมบด โดยนำเปลือกหอยนางรมมาทำความสะอาด และทำให้แห้ง จากนั้นทำการบดเปลือกหอยโดยไม่ผ่านการเผาด้วยเครื่องบดหยาบเป็นเวลา 4 ชม. เมื่อเปลือกหอยบดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.47 มิลลิเมตร) แล้วนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ เป็นเวลา 2 ชม. เพื่อให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 100 (0.149 มิลลิเมตร) แล้วนำเปลือกหอยบดมาอบให้แห้งในตู้อบ ที่มีอุณหภูมิ 110± 5 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. อัตราส่วนผสมระหว่างผงเปลือกหอยนางรมบดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยนำมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก (ปูนซีเมนต์ : หินฝุ่น เท่ากับ 1 : 8) จำนวน 6 อัตราส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละอัตราส่วนผสม หาได้จากการทดสอบความข้นเหลวโดยกำหนดให้ค่าความข้นเหลวที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตล้วนเป็นตัวควบคุม โดยอัตราส่วนผสมวัสดุประสานและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 3-1 Mixture proportions (Binder : Stone dust, 1:8)

Concrete block Symbols	kg/m^3				w/b
	OPC	OS	Stone dust	Water	
OPC100	300	-	2,240	291.6	0.972
OPC90OS10	270	30	2,240	305.7	1.019
OPC80OS20	240	60	2,240	312.6	1.042
OPC70OS30	210	90	2,240	321.3	1.071
OPC60OS40	180	120	2,240	347.1	1.157
OPC50OS50	150	150	2,240	400.0	1.333

Remark : OPC: Ordinary Portland Cement Type I, OS: Crushed Oyster Shell

2.2.3 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ได้แก่ การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (XRF), การสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (LOI), ความถ่วงจำเพาะ ASTM C188 และลักษณะทางจุลภาค (SEM)

2.2.4 การทดสอบหน่วยน้ำหนักคอนกรีตบล็อก ได้จากการทดสอบ 5 ก้อนตัวอย่าง ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517

2.2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่ผลิตได้มีขนาด 70×190×390 มม. ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเลขที่ มอก. 58–2533 ที่อายุ 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน โดยค่าเฉลี่ยของกำลังอัดได้จากการทดสอบ 5 ก้อนตัวอย่าง ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517

2.2.6 การดูดกลืนน้ำ (Water Absorption) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 109– 2517 โดยค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำ ได้จากการทดสอบ 5 ก้อนตัวอย่าง ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 โดยจำนวนตัวอย่างของคอนกรีตบล็อก แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3-2 Number of Concrete Block

Mixture	Compressive Strength					Water absorption	Total
	7 Days	14 Days	28 Days	56 Days	90 Days	28 Days	(Block)
OPC100	5	5	5	5	5	5	30
OPC90OS10	5	5	5	5	5	5	30
OPC80OS20	5	5	5	5	5	5	30
OPC70OS30	5	5	5	5	5	5	30
OPC60OS40	5	5	5	5	5	5	30
OPC50OS50	5	5	5	5	5	5	30
Total	30	30	30	30	30	30	180

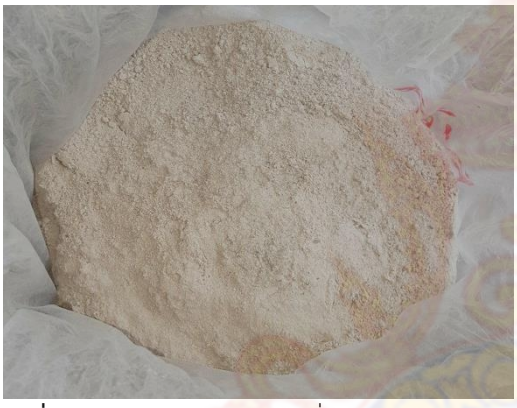
3.3 การผลิตคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง

3.6.1 เตรียมชิ้นทดสอบคอนกรีตบล็อกขนาด 70 มิลลิเมตร × 190 มิลลิเมตร × 390 มิลลิเมตร มีขนาดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เลขที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 58-2533 ใช้สำหรับทดสอบการรับแรงอัด และการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

3.6.2 เริ่มต้นเตรียมตัวอย่างด้วยการผสมวัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หินฝุ่น เปลือกหอยนางรมบด ตามอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ และเพิ่มน้ำตามความเหมาะสม ผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีตบล็อก

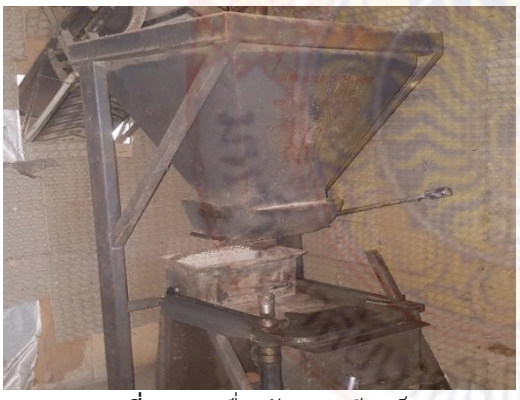
3.6.3 เมื่อส่วนผสมเข้ากันดีแล้วจึงทำการลำเลียงส่วนผสมดังกล่าวผ่านสายพานลำเลียงลงสู่แบบหล่อคอนกรีตบล็อก

3.6.4 ทำการอัดบล็อกเรียบร้อยแล้วจึงถอดคอนกรีตหล่อออกจาก แบบหล่อ และถูกนำไปเก็บในที่ร่มเป็นเวลา 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน ไม่มีการบ่มด้วยน้ำ เพื่อให้เหมือนกับสภาพการผลิตจริง โดยจะทำการเตรียมชิ้นทดสอบในแต่ละอัตราส่วนจำนวน 25 ก้อน รวมทั้งหมดจำนวน 180 ก้อน



ภาพที่ 3-5 เปลือกหอยนางรมบดที่ผ่านตะแกรงเบอร์100

ภาพที่ 3-6 ผสมวัสดุต่างๆลงเครื่องผสมคอนกรีตบล็อก



ภาพที่ 3-7 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อก

ภาพที่ 3-8 คอนกรีตบล็อกหลังจากอัดด้วยเครื่อง

3.4 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกตัวอย่าง

นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกที่ได้เตรียมไว้ไปทำการทดสอบหาค่าต่าง ๆ โดยอ้างอิงรายละเอียดการทดสอบ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุงานก่อสร้างซึ่งทำด้วยคอนกรีต มาตรฐานเลขที่ 109-2517 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ 58-2533 โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

3.4.1 วัดขนาดของก้อนตัวอย่าง

ขนาดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ต้องมีขนาด 70 มิลลิเมตร × 190 มิลลิเมต × 390 มิลลิเมตร โดยจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร ความหนาของเปลือกต้องไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ความละเอียดในการวัด 0.5 มิลลิเมตร

3.4.2 ทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรและการดูดกลืนน้ำ

หลังจากชิ้นทดสอบคอนกรีตบล็อกมีอายุครบ 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน นำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตไปแช่น้ำ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงให้มีการอิ่มตัวด้วยน้ำ และนำขึ้นจากน้ำใช้ผ้าซับน้ำบริเวณผิวออกจนอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ทำการชั่งตัวอย่างในอากาศ W' และในน้ำ แล้วนำก้อนตัวอย่างเข้าตู้อบอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 105 ±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่งโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้องประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมง ทำการชั่งก้อนตัวอย่าง Ws โดยใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน ต่อการทดสอบแต่ละอัตราส่วนผสม

3.4.3 ทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงอัด

หลังจากคอนกรีตบล็อกมีอายุครบ 7, 14, 28, 56 และ 90 วัน ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อก โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine ก่อนทำการกดก่อนตัวอย่างต้องทาปูนปลาสเตอร์ (ภาพที่ 3-9) เพื่อเวลากดน้ำหนักได้ลงเท่าๆกัน และวางก้อนตัวอย่างให้ตรงศูนย์กลางของแท่นกดผิวด้านบนและด้านล่างของก้อนตัวอย่างสัมผัสเต็มพื้นที่กับแผ่นเหล็กธารให้แรงกดด้วยอัตราคงที่จนวิบัติ โดยใช้คอนกรีตบล็อกจำนวน 5 ก้อน ต่อการทดสอบแต่ละอัตราส่วนผสม

ภาพที่ 3-9 ปรับผิวหน้าคอนกรีตบล็อกด้วย
ปูนปลาสเตอร์ก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.4.4 คำนวณหากำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหากำลังรับแรงอัดและนำน้ำหนักที่ชั่งได้ไปคำนวณหาหน่วยน้ำหนักของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยในการคำนวณหากำลังอัดประลัยของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อกสามารถหาได้จากสมการ (3.1)

$$\sigma = P/A \quad (3.1)$$

โดยที่

σ คือ กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ (ksc.)

P คือ แรงอัดสูงสุดที่จุดประลัย (kg.)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ ($cm.^2$)

และหาการดูดกลืนน้ำ สามารถหาได้จากสมการ (3.2)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ} = \frac{W' - Ws}{Ws} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่

W' คือ เป็นน้ำหนักหลังจากแช่น้ำ (Kg.)

Ws คือ เป็นน้ำหนักที่อบแห้ง (Kg.)

3.5 การวิเคราะห์และประเมินผล

การวิเคราะห์และประเมินผลคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก จะประเมินโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533) เป็นค่ากำลังอัด และค่าการดูดกลืนน้ำ

ตารางที่ 3-3 คุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก.58-2533)

รายการทดสอบ	เกณฑ์กำหนด
ความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยจากคอนรีตบล็อก 5 ก้อน กก/ซม.^{2}	25 กก/ซม.^{2}
การดูดกลืนน้ำ (%)	<25
หน่วยน้ำหนัก (กก./ม.^{3})	1,400-2,000

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพของคอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยผงเปลือกหอยนางรมบด (OS) โดยในการทดสอบได้เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว (OPC100) ที่อายุการบ่มต่างๆรวมถึงการวิเคราะห์เพื่อหาความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

ตารางที่ 4-1 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) ผงเปลือกหอยนางรมบด (OS) (ทวิช และนภดล, 2559) และ หินฝุ่น (SD)

Sample	Specific gravity	Median particle size, d_{50} (μm)	Blaine fineness (cm^2/g)
OPC	3.15	16.50	3,400
OS	2.41	60.53	1,200
SD	2.65	-	-

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก ได้แก่ เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC) และหินฝุ่น (SD) จากจังหวัดนครศรีธรรมราช ดังแสดงในตารางที่ 4-1 พบว่า OS มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีคล้ายคลึงกับ OPC คือสีเทาแต่มีสีอ่อนกว่าเล็กน้อย โดย OS มีค่าความถ่วงจำเพาะ ประมาณ 2.41 ในขณะที่ OPC และ SD มีค่าความถ่วงจำเพาะ ประมาณ 3.15 และ 2.65 ตามลำดับ ในส่วนของการทดสอบกระจายของอนุภาคของวัสดุโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ ขนาดอนุภาคระบบเลเซอร์ (Laser particle size analyzer) พบว่า OPC มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 16.50 ไมครอน และขนาดของอนุภาคของ OS ขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 60.53 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า OPC โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าสามารถทำให้เกิดผลทางกายภาพด้านการอุดแทรกตัว (Filler Effect) ซึ่งจะเป็นผลดีต่อคุณสมบัติด้านกำลังอัดโดยเฉพาะในช่วงต้น (Early Age)

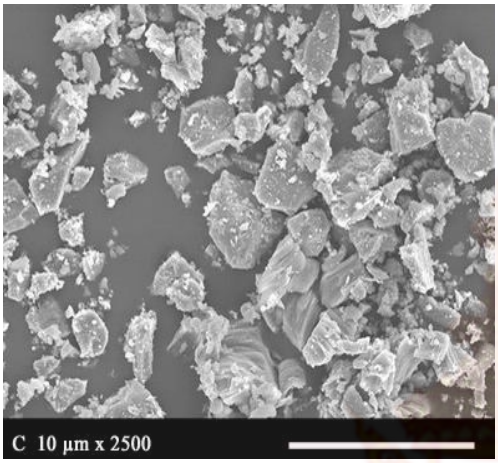
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

ตารางที่ 4-2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ ได้แก่ เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (OPC) โดยพบว่า OS มีองค์ประกอบหลักเป็น CaO โดยมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 48.85 แต่ CaO ใน OS นั้นจะอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเนื่องจาก OS ไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา ทำให้ความชื้นและปริมาณคาร์บอนอิสระในเปลือกหอยนางรมบดยังคงมีอยู่มาก โดยปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO3) อยู่ในช่วงร้อยละ 95.60 – 97.13 อย่างไรก็ตาม OS มีปริมาณค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (LOI) สูงถึงร้อยละ 42.65 ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเผา OS จะเปลี่ยนวัตถุจาก $CaCo_3$ ไปเป็น CaO และ CO_2 จากผลดังกล่าวจะส่งผลให้วัสดุมีความต้องการน้ำสูงขึ้น หรืออาจส่งผลต่อสภาพการใช้งานที่มีความร้อนสูงหรืออุณหภูมิสูง และในส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เท่ากับร้อยละ 4.31 ในขณะที่มีอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และไอรอนออกไซด์ (Fe_2O_3) มีปริมาณต่ำมาก มีเพียงร้อยละ 1.17 และร้อยละ 0.40 ตามลำดับ ในขณะที่ OPC มีปริมาณของ CaO เท่ากับ ร้อยละ 64.97 ส่วนองค์ประกอบของ SiO2 ใน OPC มีปริมาณเท่ากับร้อยละ 20.80 สำหรับแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ และค่า LOI ตามที่มาตรฐาน ASTM C 150 กำหนดไว้ต้องไม่เกินร้อยละ 6 ร้อยละ 3.5 และร้อยละ 3 ตามลำดับ ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะเห็นได้ว่า OPC มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทั้งหมด

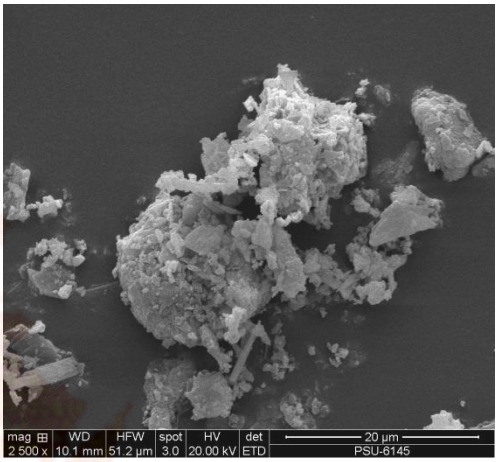
ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) และผงเปลือกหอยนางรมบด (OS) ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Analysis (XRF) (ทวิช และนภดล, 2559)

Chemical Properties		OPC	OS
Chemical Composition (%)	Silicon dioxide (SiO_2)	20.8	4.31
	Aluminum oxide (Al_2O_3)	5.5	1.17
	Ferric oxide (Fe_2O_3)	3.16	0.40
	Calcium oxide (CaO)	64.97	48.85
	Magnesium oxide (MgO)	1.06	0.99
	Potassium oxide (K_2O)	0.55	0.14
	Sodium oxide (Na_2O)	0.08	0.87
	Sulfur trioxide (SO_3)	2.96	0.62
	Loss on ignition (L O I)	1.4	42.65

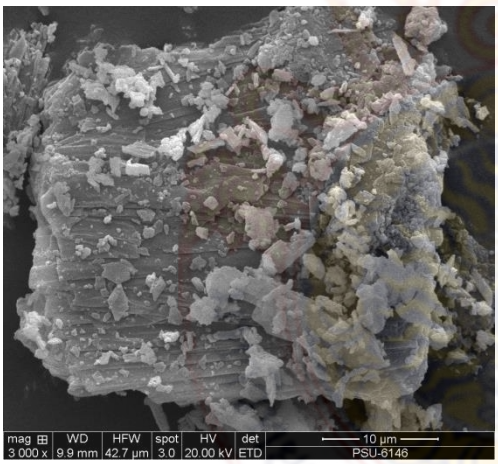
4.3 การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ของวัสดุ



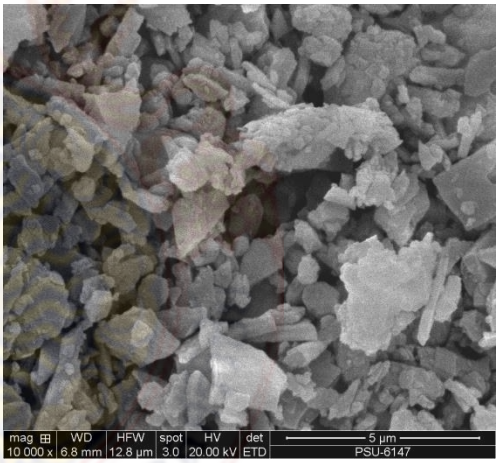
(a) Portland cement type 1 (2,500X)



(b) crushed oyster shells (2,500X)



(c) crushed oyster shells (3,000X)



(d) crushed oyster shells (10,000X)

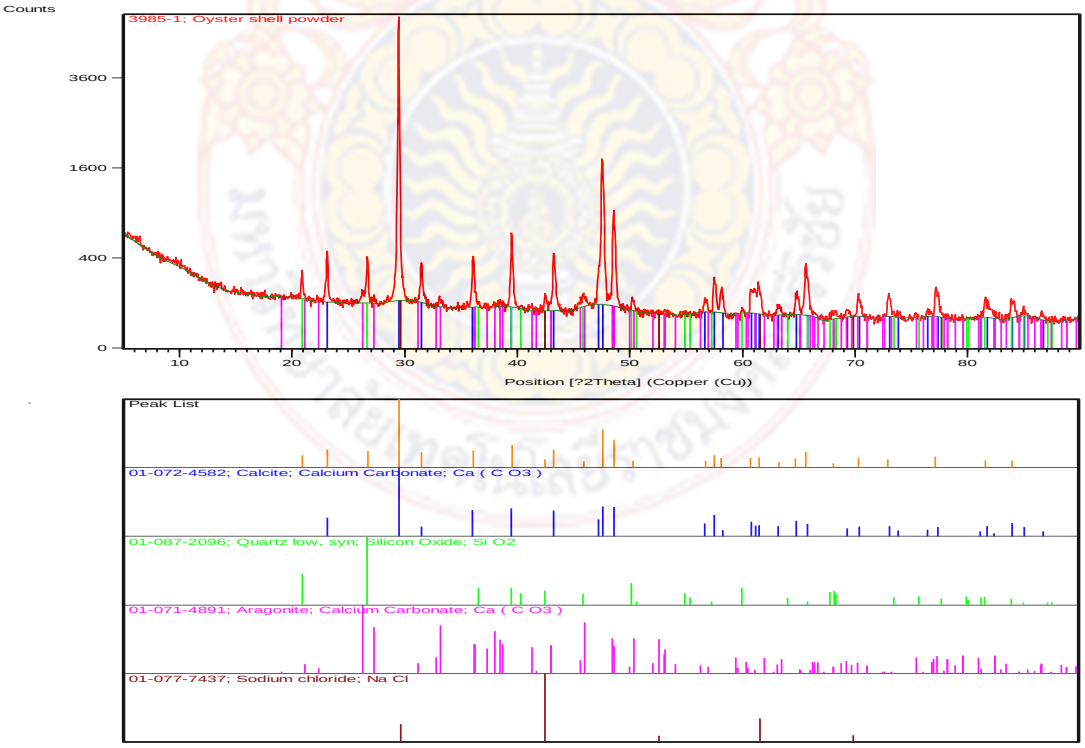
ภาพที่ 4-1 การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุ (ทวิช และนภดล, 2559)

จากภาพที่ 4-1 แสดงภาพถ่ายการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาค ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC), ผงเปลือกหอยนางรมบด (OS) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ผลการศึกษาลักษณะอนุภาคของ OPC ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า และ OS ที่กำลังขยาย 2500, 3,000 และ 10,000 เท่า ซึ่งพบว่า OS อนุภาคมีลักษณะ

พรุนและมีช่องว่างภายใน อาจเป็นเพราะขนาดของอนุภาคที่ไม่ละเอียดมากนัก โดยประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆเกาะกันเป็นกลุ่มอย่างหลวมๆ ซึ่งลักษณะของผิวอนุภาคดังกล่าวจะมีความสามารถในการกักเก็บน้ำ (Water Retainability) สูงกว่าซึ่งอาจส่งผลต่อพฤติกรรมของคอนกรีตสดหลายประการ โดยจะทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำ (Water Consumption) มากขึ้น รวมถึงจะทำให้ความสามารถในการเทได้ลดลง แต่จะมีผลดีในการช่วยลดอัตราการเยิ้ม (Bleeding) ของน้ำอิสระ (Free Water) เมื่อเปรียบเทียบกับ OPC ซึ่งมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ตันไม่มีรูพรุน พื้นที่ผิวขรุขระมากกว่า เพราะมีความละเอียดสูงกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการลดช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ได้ดี ซึ่งจะมีผลต่อค่าการรับกำลังอัดในช่วงระยะอายุน้อยกว่า 7 วัน

4.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบความเป็นผลึกด้วยเครื่อง X-ray Diffractometer ของวัสดุ

โดยทั่วไปสถานะของสสารประกอบด้วยสถานะสองสถานะด้วยกันคือสถานะผลึก (Crystalline) ซึ่งมีความเฉื่อยและความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ต่ำเนื่องจากโครงสร้างจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและอีกสถานะหนึ่งคือ สถานะอสัณฐาน (Amorphous) เป็นสถานะที่มีแนวโน้มที่จะสามารถทำปฏิกิริยาได้ สสารที่อยู่ในสถานะอสัณฐาน (Amorphous) นี้จึงเป็นค่าที่บ่งบอกว่าสสารมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง ซึ่งจะสามารถตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

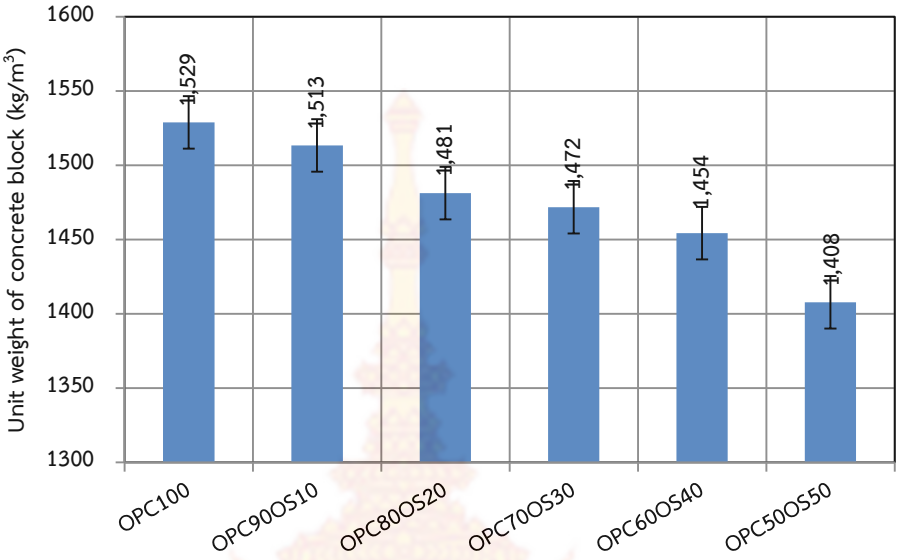


ภาพที่ 4-2 แสดงผลการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction ของผงเปลือกหอยนางรมบด (OS) (ทวิช และนภดล, 2559)

ภาพที่ 4-2 แสดงผลจากการวิเคราะห์การหักเหของรังสีเอกซเรย์ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) พบว่า OS มีองค์ประกอบหลักคือ Calcium Carbonate ($CaCO_3$) และองค์ประกอบรองคือ Silicon Oxide (SiO_2) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณความเป็นผลึก พบว่ามีสถานะเป็นผลึก Calcite ($CaCO_3$) และ Quartz (SiO_2) โดยจุดยอด (Peak Intensity) จะปรากฏแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่มุม 2–Theta เท่ากับ 29.469 ซึ่งโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกมากจะทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาต่ำลง เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นผลึกจะมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งในการสลายพันธะต้องใช้พลังงานมาก ดังนั้นปฏิกิริยาจึงเกิดได้ยากขึ้น อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า OS มีองค์ประกอบที่เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งจะทำให้มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตด้านความคงทนระยะยาวโดยเฉพาะหากเมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่เป็นสารละลายซัลเฟตหรือคลอไรด์โดยจะมีผลทำให้ความต้านทานต่อสารเคมีดังกล่าวลดลงด้วย

4.5 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก

ภาพที่ 4-3 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วย เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) มาผสมในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก ในอัตราร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่าเมื่อทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงตามลำดับ และมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปรกติที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว สาเหตุสำคัญของการลดลงดังกล่าว มาจากค่าความถ่วงจำเพาะของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.41 ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.15 ดังนั้นเมื่อคิดที่เงื่อนไขการขึ้นเป็นรูปของบล็อก (Formation Conditions) ด้วยการแทนที่ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาในปูนซีเมนต์ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกลดลง และมีค่าลดลงมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนของการแทนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยจากภาพที่ 4-3 จะเห็นว่าเมื่อทำการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 20-50 จะทำให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงอย่างเห็นได้ชัด

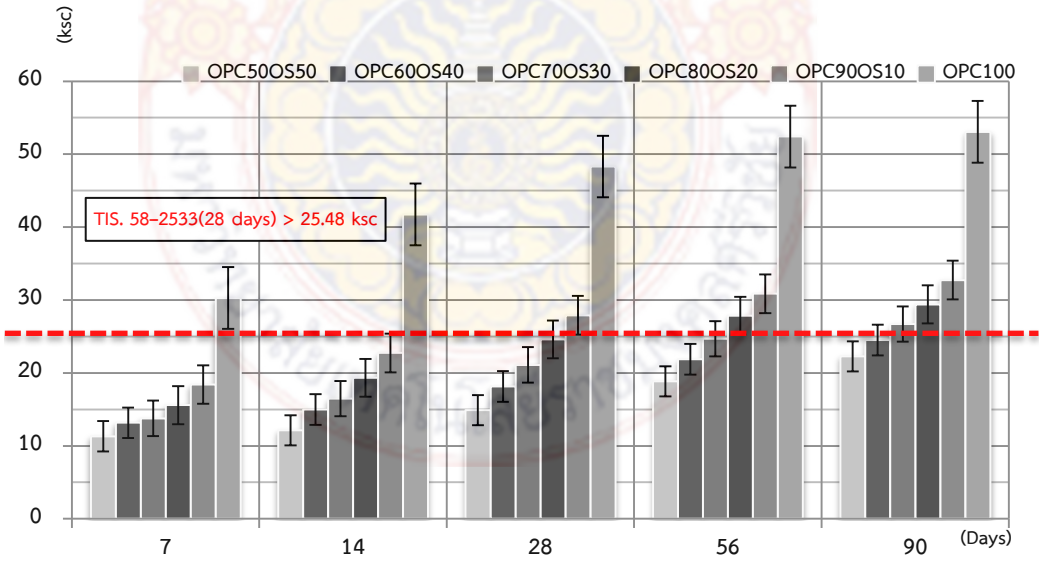


ภาพที่ 4-3 Unit weight of concrete block

4.6 ผลการทดสอบกำลังรับอัดของคอนกรีตบล็อก

ภาพที่ 4-4 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ที่ร้อยละ 0 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว จะให้กำลังรับแรงอัดมากกว่าก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักที่มีเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาผสมอยู่ และเมื่อมีปริมาณเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาผสมอยู่เพิ่มมากขึ้น ก็จะยิ่งทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยสาเหตุที่ทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงเป็นผลมาจากคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพ ของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา เนื่องจากเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ไม่มีคุณสมบัติปอซโซลาน และไม่มีคุณสมบัติซีเมนต์กล่าวคือ เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา เมื่อนำมาตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพตามข้อกำหนดใน ASTM C618 ซึ่งข้อกำหนดนี้ใช้สำหรับตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยถ่านหินและสารปอซโซลานธรรมชาติ สำหรับใช้เป็นสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่มเพื่อควบคุมคุณภาพและคัดเลือกเถ้าลอยมาใช้ในงานคอนกรีต จากการตรวจสอบคุณสมบัติตามข้อกำหนดแล้ว พบว่า เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ไม่สามารถจัดเข้ากลุ่มตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM C618 อีกทั้งหากพิจารณาเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาจะพบว่า มีส่วนประกอบทางแร่พวก $CaCO_3$ (Calcite) และ $CaSO_4$ (Anhydrite) ซึ่งเฉื่อยต่อการทำ

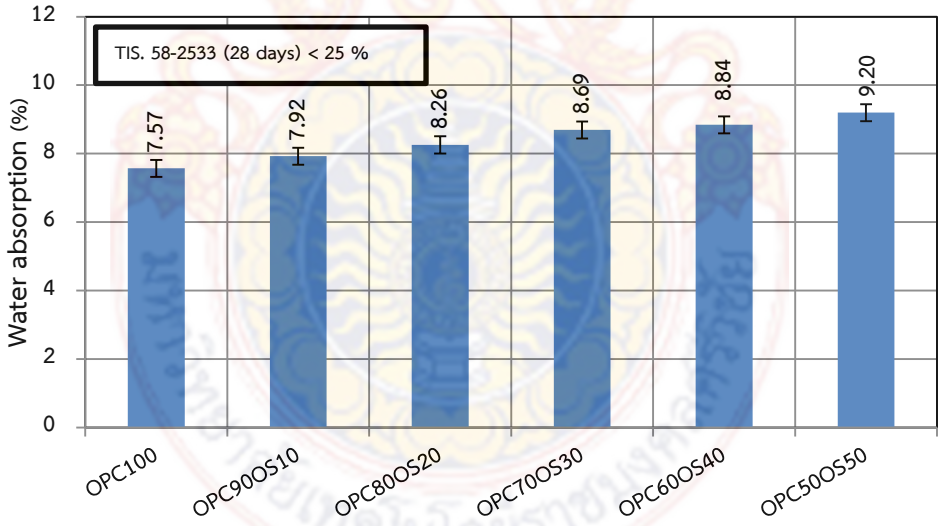
ปฏิกิริยา จึงอาจจัดให้เป็นสารผสมเพิ่ม (Admixture) ประเภทสารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (Mineral Admixture) ในกลุ่มวัสดุเฉื่อย (Inert) ในงานคอนกรีต นอกจากนี้ลักษณะรูปร่างอนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ที่มีขนาดอนุภาคเล็กใหญ่คละกัน พื้นที่ผิวค่อนข้างขรุขระแต่บางส่วนค่อนข้างเรียบ พรุน และมีช่องว่างภายใน ทำให้ดูดซึมน้ำสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีความต้องการปริมาณน้ำในส่วนผสมมากขึ้น และอาจยังทำให้ก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มีร้อยละของการดูดกลืนน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งโดยปกติลักษณะของก้อนคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักชนิดนี้ก็มีการดูดกลืนน้ำในปริมาณสูงอยู่แล้ว โดยความสามารถในการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตบล็อกแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา มีค่าการทดสอบการรับกำลังแรงอัดเฉลี่ย 5 ก้อน ที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วงระหว่าง 14.90-27.91 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะพบว่ามีเพียงการแทนที่ร้อยละ 10 เท่านั้น ที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 ซึ่งมีการกำหนดให้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงอัดคอนกรีต 5 ก้อน และคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน ที่อายุ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 25.48 และ 20.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อทำการพิจารณาคอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ที่อัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 มีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเทียบเท่ากำลังอัดที่ 28 วันตามเกณฑ์ มอก. 58-2533 ที่อายุการบ่ม 56 และ 90 วันตามลำดับ



ภาพที่ 4-4 Compressive strength of concrete block

4.7 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก

จากผลการทดสอบหาปริมาณการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เลขที่ มอก. 109 – 2517 อ้างจาก ASTM C140 – 70 Standard Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7.92-9.20 โดยสังเกตได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา มีผลทำให้การดูดกลืนน้ำภายในก้อนคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้น จากคอนกรีตบล็อกปกติที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว และเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง เมื่อมีการแทนที่เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดกลืนน้ำดังกล่าว อาจเนื่องจากด้วยอนุภาคส่วนละเอียดของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา มีส่วนในการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งการดูดกลืนน้ำที่ปรากฏชี้ให้เห็นถึงระดับความพรุนของคอนกรีตบล็อกที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุ (SEM)



ภาพที่ 4-5 Water absorption of concrete block at 28 days

ตารางที่ 4-3 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC100) และคอนกรีตบล็อกซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ที่ร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน พบว่าร้อย

ละการดูดกลืนน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการแทนที่ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผานั้นไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของโพรงภายในเพสต์มากนัก

ตารางที่ 4-3 Compare water absorption of concrete block with crushed oyster shell (OS) and concrete block control (OPC100) at 7, 14, 28, 56 and 90 days.

Specimen	Water Absorption (%)< 25 % (TIS. 58-2533 (28 days))				
	7 days	14 days	28 days	56 days	90 days
OPC100	7.36	7.36	7.57	7.63	8.43
OPC90OS10	7.33	7.44	7.92	8.02	8.54
OPC80OS20	7.45	7.81	8.26	8.36	8.81
OPC70OS30	7.81	8.02	8.69	8.99	9.18
OPC60OS40	8.84	8.84	8.84	9.33	9.62
OPC50OS50	9.20	9.20	9.20	9.65	9.78

โดยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่ามากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันในแต่ละอัตราส่วนผสม พบว่าส่วนผสมที่มีการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาในปริมาณมากขึ้นค่าร้อยละการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แล้วคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา มีการดูดกลืนน้ำมากกว่า เนื่องจากเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผานั้น มีความละเอียดน้อยกว่าปูนซีเมนต์ จึงทำให้อนุภาคของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ไม่สามารถแทรกสอดเข้าไปในช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ได้ ทำให้โครงสร้างภายในไม่หนาแน่น และโพรงภายในมากขึ้น การดูดกลืนน้ำจึงมีค่าเพิ่มขึ้น หากพิจารณาค่าการดูดกลืนน้ำ ซึ่งมีการกำหนดให้ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ที่อายุ 28 วัน ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 25 ซึ่งเป็นเกณฑ์ต่ำสุดที่กำหนดในการพิจารณา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา มีค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 ทุกอัตราส่วนร้อยละการแทนที่

4.8 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิต

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ซึ่งไม่ผ่านกระบวนการเผามาผสมในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภทที่ 1 (OPC) บางส่วน ในอัตราร้อยละ 10 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยอัตราส่วนผสมวัสดุประสาน : หินฝุ่น 1 : 8 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาวิเคราะห์หาราคาต้นทุนในการผลิต ดังตารางที่ 4-4 พบว่าการใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) ซึ่งมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 0.40 บาท (ผลเฉลี่ยการบดเปลือกหอยในเวลา 60 นาที น้ำหนักที่บดได้ 60.7 กิโลกรัม ใช้พลังงานไฟฟ้า 231.3 โวลล กระแสไฟฟา 5.31 แอมป ขนาดที่บดได้เล็กกว่า 5 มิลลิเมตร คิดเป็นต้นทุนการผลิตมี ค่าใช้จ่าย 3.57 บาทต่อชั่วโมง โดยคิดจากค่าไฟหน่วยละ 3 บาท โดยใช้เวลาในการบดประมาณ 6 ชั่วโมง และเปลือกหอยนางรมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงไม่มีค่าใช้จ่าย แต่อาจจะมีในส่วนของค่าขนย้ายรวมถึงค่าแรงในการทำความสะอาด) (ชลธิชา, ภูวดล และอนุวัฒน, 2558) ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีราคาประมาณ 2.93 บาทต่อกิโลกรัม (ราคากลาง ณ เดือน กันยายน 2560) ในขณะที่เปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงไม่มีมูลค่า อาจจะมีเพียงต้องใช้แรงงานคนในการขนย้ายและทำความสะอาดเท่านั้นดังนั้นการใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผาจึงเป็นวัสดุทางเลือกในการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ ซึ่งนอกจากจะสามารถประหยัดพลังงาน และลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยตรงแล้ว ยังสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกลงได้อีกด้วย

ตารางที่ 4-4 The economical of concrete blocks

Specimen	Mixture proportions (Binder : Stone dust, 1:8) [kg. *(Baht/kg.)*]			
	OPC	OS	Stone dust	Baht/Block
OPC100	0.630 *(2.93)*	-	5.04 *(0.15)*	2.60
OPC90OS10	0.567 *(2.93)*	0.063 *(0.40)*	5.04 *(0.15)*	2.44
OPC80OS20	0.504 *(2.93)*	0.118 *(0.40)*	5.04 *(0.15)*	2.28
OPC70OS30	0.441 *(2.93)*	0.189 *(0.40)*	5.04 *(0.15)*	2.12
OPC60OS40	0.378 *(2.93)*	0.252 *(0.40)*	5.04 *(0.15)*	1.96
OPC50OS50	0.315 *(2.93)*	0.315 *(0.40)*	5.04 *(0.15)*	1.80

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

เนื้อหาในบทที่ 5 จะกล่าวถึงผลสรุปของการวิจัย อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

5.1 การใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกลดลงตามลำดับ ส่งผลให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกต่อก้อนลดลงไปด้วย ซึ่งเป็นการลดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างได้

5.2 การใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ในอัตราส่วนร้อยละ 10 มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533 ซึ่งมีการกำหนดให้ค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงอัดคอนกรีต 5 ก้อน และคอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน ที่อายุ 28 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 25.48 และ 20.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนร้อยละ 20 และ 30 มีค่ากำลังรับแรงอัดเทียบเท่ากำลังอัดที่ 28 วันตามเกณฑ์ มอก. 58-2533 ที่อายุการบ่ม 56 และ 90 วันตามลำดับ

5.3 การใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก มีค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกผ่านเกณฑ์ มอก. 58-2533 ซึ่งมีการกำหนดให้ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน ที่อายุ 28 วัน ต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 25 ซึ่งเป็นเกณฑ์ต่ำสุดที่กำหนดในการพิจารณา ตามมาตรฐานทุกอัตราส่วนร้อยละการแทนที่

5.4 การใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน คือร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงอัด และค่าการดูดกลืนน้ำ ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 58-2533

5.5 การใช้เปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OS) แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อก ส่งผลทำให้ต้นทุนราคาในการผลิตคอนกรีตบล็อกลดลง

บรรณานุกรม

[1] กรมประมง, 2540. คู่มือการเพาะเลี้ยงหอยตะโกรมเชิงการค้า. โครงการพัฒนาการผลิตหอยตะโกรมเชิงพาณิชย์ กรมประมง โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[2] กรมประมง, 2549. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์สารสนเทศ. (2549). สืบค้นเมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2557, จาก http://www.fisheries.go.th/it-stat/

[3] กฤษฎา เปรมฤทัย, 2554. “กำลังอัดและความทนทานของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากเศษคอนกรีตร่วมกับเถ้าถ่านหินบด.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตวิทยาลัยมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560, สถิติการเลี้ยงหอยทะเล ประจำปี 2558, 34 น.

[5] คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดสุราษฎร์ธานี สำนักงานจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 2559, แผนพัฒนาจังหวัดสุราษฎร์ธานี (พ.ศ. 2561–2564), 277 น.

[6] จรรยาพร พุ่มงาม, 2545. การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,คณะวิทยาศาสตร์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม.

[7] ชโลธร ศิริภัทรประวัติ, 2552. อิทธิพลของเปลือกหอยบดต่อคุณสมบัติของปูนฉาบ. วิทยานิพนธ์สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[8] ชลธิชา บุญเฉย ภูวดล พานทรัพย และอนุวัฒน มณีไชย, 2558, เครื่องบดเปลือกหอยแครง, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตรอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ , กรุงเทพ, 107 น..

[9] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และวราภรณ์ คุณาวนากิจ, 2542, คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอย, การสัมมนาเรื่องการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต, น. 7-19.

[10] ตยาคี ตรงสถิตกุล, 2547. การลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำดื่มโดยใช้ เปลือกไข่เปลือกหอยลายและเถ้าแกลบดำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.

[11] ทวิช กล้าแท้ และนภดล ศรภักดี. 2559. “อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดและการหดตัวแบบออโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

[12] ผุสดี แพทย์นุเคราะห์, 2546. “การนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตวิทยาลัยมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[13] พงศ์ภูมิ ศรชมแก้ว, 2555. “การผลิตอิฐบล็อกประสานจากกากอุตสาหกรรม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตวิทยาลัยมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา.

[14] รพีพร สุทาธรรม, 2544. หอยสองฝา. ผลิตภัณฑ์ประมง, 1(12), 1-2.

[15] รัตนาภร ยวงสวัสดิ์ , 2554.การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้ง เพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย,วิศวสารลาดกระบังปีที่ 28 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2554, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[16] วรากร หมั่นสระเกษ, 2554, การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 84 น.

[17] วราเทพ บำรุงไทย, 2551, การทดลองนำเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกเพื่อการก่อสร้างอาคารทั่วไป, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรเทคโนโลยีเหมืองแร่ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, เชียงใหม่, 98 น.

[18] วราวุธ หนูแก้ว,อรรถวุฒิ แก้วทองดี และศรายุทธ จันทร์สว่าง, 2558. “การศึกษาคุณสมบัติของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์.” ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

[19] วันทนา อยู่สุข, 2539. เปลือกหอย. จดหมายข่าวราชบัณฑิตยสถาน. 6(56). สืบค้น เมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม 2560, จาก http://royin.go.th/th/knowledge/detail.php?ID=1016

[20] วันโชค เครือหงส์, โสภณ สังข์แป้น, ประภิต สิทธิ์คณารักษ์ และจีระศักดิ์ วิลัยรัตน์, 2559, สมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคและการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย, ว.วิจัยและพัฒนา มจธ., (39)3: 407-424.

[21] ศรัณย์ อนุกูลพันธ์. 2548. “การศึกษาการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกธรรมดากับคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตวิทยาลัยมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระตอมเกล้าพระนครเหนือ.

[22] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2560, ทิศทางวัสดุก่อสร้างในประเทศปี 2560 อานิสงส์จากงานโครงการภาครัฐ, แหล่งที่มา : https://www.kasikornbank.com/th/business/sme/KSMEKnowledge/article/ KSMEAnalysis/Documents/ GovernmentPlanSupport ConstructionMaterials2017.pdf, 3 มีนาคม 2561.

[23] ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง, อุปวิทย์ สุวคันธกุล และสุดใจ เหง้าสีไพร, 2550, การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิด ไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว, ว.วิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, (1)1: 77-87.

[24] สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ และสุภชัย อิศรางกูร ณ อยุธยา, 2560, การใช้เถ้าแกลบและเถ้าลอยเป็นวัสดุปอตโซลานสำหรับการปรับเสถียรและการหล่อแข็งกากตะกอนโครเมียมในรูปอิฐบล็อกประสานสำหรับใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง, ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, (25)6: 1072-1082.

[25] สุริยา การะเกษ, 2557, กำลังอัดของบล็อกประสานที่ผลิตจากปูนซีเมนต์และเปลือกหอยเชอรี่บด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 60 น.

[26] สุวัฒน์ ธนานุภาพไพศาล, 2541. เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของหอยตะโกรม (Crassostrea belcheri) ด้วยการเลี้ยงแบบต่าง ๆ /สุวัฒน์ ธนานุภาพไพศาล, สอรัฐ มากบุญ, รัชฎา ขาวหนูนา. สุราษฎร์ธานี: ศูนย์พัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดสุราษฎร์ธานี.

[27] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม., 2517,. วิธีชักตัวอย่างและการทดสอบวัสดุก่อซึ่งทำด้วยคอนกรีต มอก.109-2517 (พิมพ์ครั้งที่ 2)., กรุงเทพมหานคร, กระทรวงอุตสาหกรรม.

[28] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม., 2533, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2533 (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1619)., กรุงเทพมหานคร, กระทรวงอุตสาหกรรม.

[29] American Society for Testing and Materials, 2001. Annual Book of ASTM Standards 2001. Volume 04.01and 04.02, West Conshohocken, U.S.A.

[30] American Society for Testing and Materials, 2001. Annual Book of ASTM Standards 2001. Volume 04.01and 04.02, West Conshohocken, U.S.A.

[31] ASTM Committee, 1994, Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 : Concrete and Aggregate, American Concrete Institute.

[32] ASTM Committee, 2006a. Annual Book of ASTM Standard, Vol. 4.01. Philadelphia:American Concrete Institute.

[33] ASTM Standard C150, American Society for Testing and Materials, 2015, Standard Specification for Portland Cement, Annual Book of ASTM Standard, Vol.4.01, PA, USA.

[34] ASTM Standard C188, American Society for Testing and Materials, 2009, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards.

[35] ASTM Standard C618, American Society for Testing and Materials, 2011, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete, Annual Book of ASTM Standard, , Vol.04.02, PA, USA.

[36] Ballester, P., Mármol, I., Morales, J. and Sánchez, L, 2007. Use of limestone obtainedfrom waste of the mussel cannery industry for the production of mortars.Concrete and Concrete Research, 37, 559-564.

[37] Barnaby, C, 2004. An Investigation into the reuse of organic waste produced by the New Zealand Mussel Industry. Unpublished master's thesis, Auckland University of Technology, Faculty of Science.

[38] Falade, F. , 1995. An investigation of periwinkle shells as coarse aggregate in concrete. Building and Environment, 30, 573–577.

[39] Hazurina Othman, Badorul Hisham Abu Bakar , Mashitah Mat Don , Megat Azmi Megat Johari .2013. "Cockle shell ash replacement for cement and filler in concrete." Malaysian Journal of Civil Engineering 25(2):201-211.

[40] Tan, Shau –Hwai and Wong ,Tat –Weng, 1996. Effect of salinity on hatching, larval growth,survival and settling in the tropical oyster Crassostrea belcheri (Sowerby). Journal of Aquaculture 145 : 129 - 139

[41] Yang, E. I., Yi, S. T., and Leem, Y. M. , 2005. Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. Cement and Concrete Research, 35, 2175–2182.

[42] Yoon, G. L., Kim, B. T., Kim, B. O. and Han, S. H. , 2003. Chemical–mechanical characteristics of crushed oyster-shell. Waste Management, 23, 825–834.

[43] Yoon, H. S., Park, S. K., Lee, K. H. and Park, J. B. , 2004. Oyster shell as substitute for aggregate in mortar. Waste Management and Research, 22, 158–170.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลและการคำนวณกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยใช้เปลือกหอยนางรมบดเป็นวัสดุประสาน

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

การออกแบบส่วนผสม (1:8)

1. หน่วยน้ำหนักปูนซีเมนต์ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. หิน 1,450 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ออกแบบโดยปริมาตร

ปูน 1 ถุง 50 กิโลกรัม มีปริมาตร 50 / 1,400 = 0.036 ลูกบาศก์เมตร

หิน 8 ส่วน = 0.036 x 8.00 = 0.288 ลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักหิน = 0.28 x 1,450.00 = 417.60 กิโลกรัม

น้ำทั่วไปค่ายุบตัว 10 เซนติเมตร น้ำ 30 ลิตร 0.5 เซนติเมตร = 1.50 ลิตร

น้ำหนักส่วนผสมต่อปูน 1 ถุง = 50 + 417.6 + 1.5 = 469.10 กิโลกรัม

ต่อหน่วยน้ำหนักคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร = 2,400.00 กิโลกรัม

ต้องใช้ปูน = 2400 / 469.1 = 5.18 ถุง= 259.12 กิโลกรัม

สรุป ส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตร

ปูนซีเมนต์ = 259.12 กิโลกรัม

หิน = 2,117.00 กิโลกรัม

น้ำ = 7.77 กิโลกรัม

ค่ายุบตัว = 0.50 เซนติเมตร

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.90	39.20	19.10	0.005	7.585	32.596
2	6.80	39.00	19.20	0.005	7.800	31.179
3	6.90	39.10	19.10	0.005	7.705	29.653
4	6.90	39.10	19.00	0.005	8.080	31.135
5	6.90	39.00	19.20	0.005	8.260	26.756
เฉลี่ย						30.264

ตารางที่ ก-2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.90	39.00	19.10	0.005	8.413	40.877
2	6.80	39.00	19.00	0.005	8.580	44.495
3	7.00	39.10	19.20	0.005	7.905	40.391
4	7.00	39.00	19.20	0.005	8.490	41.392
5	6.80	39.00	19.10	0.005	8.150	41.478
เฉลี่ย						41.727

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	7.00	39.20	19.00	0.005	7.948	48.895
2	7.00	39.20	19.10	0.005	8.065	47.477
3	6.90	39.20	19.20	0.005	7.916	50.281
4	7.00	39.10	19.00	0.005	7.706	47.863
5	7.00	39.20	19.10	0.005	7.700	47.012
เฉลี่ย						48.305

ตารางที่ ก-4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.80	39.20	19.00	0.005	7.291	42.767
2	6.90	39.20	19.00	0.005	8.018	59.524
3	6.80	39.20	19.10	0.005	7.757	45.018
4	6.80	39.20	19.20	0.005	7.313	57.398
5	6.80	39.20	19.10	0.005	7.574	57.398
เฉลี่ย						52.421

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.80	39.00	19.00	0.005	7.341	57.315
2	6.90	39.10	19.10	0.005	8.104	52.438
3	6.80	39.10	19.00	0.005	7.849	53.408
4	6.90	39.20	19.00	0.005	7.134	52.499
5	6.90	39.00	19.20	0.005	7.193	49.603
เฉลี่ย						53.053

ตารางที่ ก-6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.80	39.00	19.20	0.005	7.411	17.722
2	6.80	39.10	19.10	0.005	7.394	18.805
3	6.80	39.00	19.00	0.005	7.331	19.608
4	6.80	39.20	19.10	0.005	7.612	18.007
5	6.90	39.00	19.00	0.005	7.118	17.837
เฉลี่ย						18.396

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.1	0.005	7.513	23.319
2	6.8	39.2	19.2	0.005	7.492	22.884
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.423	22.247
4	6.9	39.1	19.1	0.005	7.614	22.610
5	6.8	39.0	19.0	0.005	7.375	22.624
เฉลี่ย						22.737

ตารางที่ ก-8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	7.0	39.3	19.2	0.005	7.555	28.353
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.100	26.552
3	6.9	39.2	19.1	0.005	7.94	25.880
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.58	30.684
5	6.8	39.3	19.1	0.005	6.817	28.065
เฉลี่ย						27.907

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.2	0.005	7.480	30.012
2	6.8	39.1	19.0	0.005	7.515	32.345
3	6.8	39.1	19.2	0.005	7.321	31.593
4	6.9	39.2	19.0	0.005	7.714	30.316
5	6.8	39.2	19.1	0.005	7.175	30.012
เฉลี่ย						30.856

ตารางที่ ก-10 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.2	19.0	0.005	7.321	33.274
2	6.8	39.2	19.2	0.005	7.412	32.263
3	6.8	39.0	19.2	0.005	7.561	33.937
4	6.8	39.2	19.1	0.005	7.603	32.263
5	6.8	39.1	19.0	0.005	7.285	31.969
เฉลี่ย						32.741

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-11 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.0	19.1	0.005	7.735	16.214
2	6.8	39.1	19.1	0.005	6.393	14.668
3	6.9	39.2	19.0	0.005	6.693	15.528
4	6.8	39.2	19.0	0.005	6.792	15.756
5	6.8	39.3	19.1	0.005	6.599	15.716
เฉลี่ย						15.577

ตารางที่ ก-12 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.0	0.005	7.439	19.182
2	6.8	39.1	19.1	0.005	7.468	18.805
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.335	18.100
4	6.8	39.2	19.2	0.005	7.435	20.633
5	6.8	39.1	19.0	0.005	8.068	19.934
เฉลี่ย						19.331

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-13 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.2	19.0	0.005	7.800	23.662
2	6.9	39.1	19.2	0.005	6.553	24.093
3	6.9	39.3	19.1	0.005	6.753	24.708
4	6.9	39.3	19.0	0.005	6.890	26.552
5	6.9	39.3	19.0	0.005	6.913	23.970
เฉลี่ย						24.597

ตารางที่ ก-14 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.0	19.2	0.005	7.171	25.641
2	6.9	39.1	19.1	0.005	7.294	28.170
3	6.9	39.2	19.2	0.005	7.194	29.947
4	6.8	39.2	19.0	0.005	6.937	28.887
5	6.9	39.3	19.2	0.005	7.536	26.552
เฉลี่ย						27.839

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-15 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.1	19.1	0.005	7.652	26.687
2	6.9	39.0	19.0	0.005	7.128	30.844
3	6.8	39.2	19.2	0.005	7.396	29.637
4	6.8	39.1	19.0	0.005	7.729	31.969
5	6.9	39.0	19.1	0.005	7.188	27.871
เฉลี่ย						29.402

ตารางที่ ก-16 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.0	0.005	7.498	13.164
2	6.8	39.1	19.1	0.005	7.358	14.668
3	6.8	39.0	19.2	0.005	7.608	15.460
4	6.8	39.2	19.0	0.005	7.700	13.505
5	6.8	39.0	19.1	0.005	7.345	12.066
เฉลี่ย						13.773

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-17 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.0	19.1	0.005	7.498	18.100
2	6.8	39.1	19.0	0.005	7.358	15.797
3	6.8	39.0	19.2	0.005	7.608	16.591
4	6.8	39.2	19.0	0.005	7.700	15.756
5	6.8	39.2	19.0	0.005	7.345	16.131
เฉลี่ย						16.475

ตารางที่ ก-18 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	7.0	39.4	19.0	0.005	7.657	19.579
2	6.9	39.3	19.1	0.005	7.320	21.389
3	6.9	39.3	19.1	0.005	7.600	22.864
4	6.9	39.3	19.2	0.005	7.574	20.651
5	6.8	39.2	19.1	0.005	7.331	21.008
เฉลี่ย						21.098

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-19 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.0	0.005	7.498	23.634
2	6.8	39.1	19.2	0.005	7.358	26.328
3	6.8	39.3	19.1	0.005	7.608	23.949
4	6.8	39.2	19.0	0.005	7.700	26.636
5	6.8	39.2	19.2	0.005	7.345	22.884
เฉลี่ย						24.686

ตารางที่ ก-20 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.2	0.005	7.498	28.136
2	6.8	39.1	19	0.005	7.358	27.456
3	6.8	39.1	19.1	0.005	7.608	25.952
4	6.8	39.0	19.1	0.005	7.700	24.887
5	6.8	39.1	19.0	0.005	7.345	27.080
เฉลี่ย						26.702

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-21 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.1	0.005	7.295	14.292
2	6.8	39.0	19.0	0.005	7.625	12.821
3	6.8	39.2	19.2	0.005	7.195	13.881
4	6.8	39.0	19.0	0.005	7.103	13.198
5	6.8	39.2	19.2	0.005	8.068	11.630
เฉลี่ย						13.164

ตารางที่ ก-22 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.2	0.005	7.512	16.925
2	6.9	39.1	19.1	0.005	7.894	15.197
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.693	14.329
4	6.8	39.1	19.1	0.005	7.821	15.044
5	6.8	39.2	19.0	0.005	7.943	13.505
เฉลี่ย						15.000

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-23 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.5	19.1	0.005	7.435	17.611
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.700	19.914
3	6.9	39.3	19.2	0.005	7.451	18.439
4	6.9	39.3	19.1	0.005	7.791	16.964
5	6.9	39.3	19.1	0.005	7.820	17.701
เฉลี่ย						18.126

ตารางที่ ก-24 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.0	0.005	7.436	18.805
2	6.9	39.2	19.1	0.005	8.131	19.225
3	6.8	39.2	19.2	0.005	8.294	24.760
4	6.8	39.1	19.1	0.005	7.270	20.310
5	6.9	39.2	19.0	0.005	8.182	26.250
เฉลี่ย						21.870

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-25 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.673	24.385
2	6.9	39.0	19.1	0.005	8.128	24.155
3	6.8	39.0	19.2	0.005	8.319	24.510
4	6.8	39.1	19.0	0.005	7.523	24.447
5	6.8	39.2	19.0	0.005	8.094	25.135
เฉลี่ย						24.526

ตารางที่ ก-26 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.207	11.630
2	6.9	39.3	19.0	0.005	7.638	14.382
3	6.8	39.3	19.2	0.005	7.769	10.103
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.348	11.226
5	6.9	39.2	19.0	0.005	8.000	9.243
เฉลี่ย						11.317

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-27 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.207	10.879
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.638	10.326
3	6.8	39.3	19.1	0.005	7.769	11.600
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.348	13.097
5	6.9	39.2	19.1	0.005	8.000	14.789
เฉลี่ย						12.138

ตารางที่ ก-28 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.4	19.2	0.005	7.591	12.874
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.665	14.751
3	6.9	39.2	19.1	0.005	7.672	16.267
4	6.9	39.4	19.0	0.005	7.800	18.392
5	6.9	39.2	19.1	0.005	7.718	12.201
เฉลี่ย						14.897

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ก-29 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.2	0.005	7.207	22.509
2	6.9	39.3	19.1	0.005	7.638	19.176
3	6.8	39.3	19.1	0.005	7.769	16.839
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.348	17.587
5	6.9	39.2	19.1	0.005	8.000	18.116
เฉลี่ย						18.845

ตารางที่ ก-30 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.207	21.384
2	6.9	39.3	19.0	0.005	7.638	21.389
3	6.8	39.3	19.2	0.005	7.769	23.200
4	6.8	39.3	19.2	0.005	7.348	23.200
5	6.9	39.2	19.0	0.005	8.000	22.183
เฉลี่ย						22.271

ภาคผนวก ข
ข้อมูลและการคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบล็อก โดยใช้เปลือกหอยนางรมบดเป็นวัสดุประสาน

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-1 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ (กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.2	19.1	0.005	7.585	6.693
2	6.8	39.0	19.2	0.005	7.800	7.752
3	6.9	39.1	19.1	0.005	7.705	6.510
4	6.9	39.1	19.0	0.005	8.080	7.179
5	6.9	39.0	19.2	0.005	8.260	8.658
เฉลี่ย						7.359

ตารางที่ ข-2 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.0	19.1	0.005	8.413	6.693
2	6.8	39.0	19.0	0.005	8.580	7.752
3	7.0	39.1	19.2	0.005	7.905	6.510
4	7.0	39.0	19.2	0.005	8.490	7.179
5	6.8	39.0	19.1	0.005	8.150	8.658
เฉลี่ย						7.359

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-3 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	7.0	39.2	19.0	0.005	7.948	8.432
2	7.0	39.2	19.1	0.005	8.065	8.963
3	6.9	39.2	19.2	0.005	7.916	6.418
4	7.0	39.1	19.0	0.005	7.706	7.960
5	7.0	39.2	19.1	0.005	7.700	6.086
เฉลี่ย						7.572

ตารางที่ ข-4 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.0	0.005	7.291	8.912
2	6.9	39.2	19.0	0.005	8.018	8.883
3	6.8	39.2	19.1	0.005	7.757	6.337
4	6.8	39.2	19.2	0.005	7.313	7.730
5	6.8	39.2	19.1	0.005	7.574	6.310
เฉลี่ย						7.635

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-5 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.0	19.0	0.005	7.341	9.922
2	6.9	39.1	19.1	0.005	8.104	9.722
3	6.8	39.1	19.0	0.005	7.849	7.431
4	6.9	39.2	19.0	0.005	7.134	8.547
5	6.9	39.0	19.2	0.005	7.193	6.540
เฉลี่ย						8.432

ตารางที่ ข-6 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.0	19.2	0.005	7.411	3.557
2	6.8	39.1	19.1	0.005	7.394	6.948
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.331	8.642
4	6.8	39.2	19.1	0.005	7.612	8.392
5	6.9	39.0	19.0	0.005	7.118	9.091
เฉลี่ย						7.326

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-7 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.1	0.005	7.513	2.003
2	6.8	39.2	19.2	0.005	7.492	5.992
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.423	10.759
4	6.9	39.1	19.1	0.005	7.614	8.719
5	6.8	39.0	19.0	0.005	7.375	9.713
เฉลี่ย						7.437

ตารางที่ ข-8 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	7.0	39.3	19.2	0.005	7.555	2.378
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.100	6.430
3	6.9	39.2	19.1	0.005	7.94	11.491
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.58	9.472
5	6.8	39.3	19.1	0.005	6.817	9.852
เฉลี่ย						7.925

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-9 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.2	0.00	7.480	2.887
2	6.8	39.1	19.0	0.005	7.515	6.780
3	6.8	39.1	19.2	0.005	7.321	11.701
4	6.9	39.2	19.0	0.005	7.714	9.690
5	6.8	39.2	19.1	0.005	7.175	9.043
เฉลี่ย						8.020

ตารางที่ ข-10 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.2	19.0	0.005	7.321	3.125
2	6.8	39.2	19.2	0.005	7.412	7.134
3	6.8	39.0	19.2	0.005	7.561	12.754
4	6.8	39.2	19.1	0.005	7.603	10.456
5	6.8	39.1	19.0	0.005	7.285	9.235
เฉลี่ย						8.541

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-11 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.0	19.1	0.005	7.735	6.137
2	6.8	39.1	19.1	0.005	6.393	5.476
3	6.9	39.2	19.0	0.005	6.693	6.840
4	6.8	39.2	19.0	0.005	6.792	6.612
5	6.8	39.3	19.1	0.005	6.599	12.169
เฉลี่ย						7.447

ตารางที่ ข-12 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.0	0.005	7.439	6.812
2	6.8	39.1	19.1	0.005	7.468	7.273
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.335	5.312
4	6.8	39.2	19.2	0.005	7.435	5.121
5	6.8	39.1	19.0	0.005	8.068	14.510
เฉลี่ย						7.806

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-13 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.2	19.0	0.005	7.800	7.692
2	6.9	39.1	19.2	0.005	6.553	7.735
3	6.9	39.3	19.1	0.005	6.753	6.061
4	6.9	39.3	19.0	0.005	6.890	5.992
5	6.9	39.3	19.0	0.005	6.913	13.799
เฉลี่ย						8.256

ตารางที่ ข-14 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.0	19.2	0.005	7.171	8.032
2	6.9	39.1	19.1	0.005	7.294	6.831
3	6.9	39.2	19.2	0.005	7.194	6.937
4	6.8	39.2	19.0	0.005	6.937	6.077
5	6.9	39.3	19.2	0.005	7.536	13.926
เฉลี่ย						8.361

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-15 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 20 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.1	19.1	0.005	7.652	8.655
2	6.9	39.0	19.0	0.005	7.128	7.473
3	6.8	39.2	19.2	0.005	7.396	7.552
4	6.8	39.1	19.0	0.005	7.729	6.562
5	6.9	39.0	19.1	0.005	7.188	13.787
เฉลี่ย						8.806

ตารางที่ ข-16 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.0	0.005	7.498	6.142
2	6.8	39.1	19.1	0.005	7.358	5.556
3	6.8	39.0	19.2	0.005	7.608	12.877
4	6.8	39.2	19.0	0.005	7.700	6.469
5	6.8	39.0	19.1	0.005	7.345	8.032
เฉลี่ย						7.815

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-17 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.0	19.1	0.005	7.498	9.237
2	6.8	39.1	19.0	0.005	7.358	9.309
3	6.8	39.0	19.2	0.005	7.608	9.664
4	6.8	39.2	19.0	0.005	7.700	6.596
5	6.8	39.2	19.0	0.005	7.345	5.318
เฉลี่ย						8.025

ตารางที่ ข-18 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	7.0	39.4	19.0	0.005	7.657	9.827
2	6.9	39.3	19.1	0.005	7.320	9.868
3	6.9	39.3	19.1	0.005	7.600	10.386
4	6.9	39.3	19.2	0.005	7.574	7.612
5	6.8	39.2	19.1	0.005	7.331	5.777
เฉลี่ย						8.694

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-19 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19	0.005	7.498	9.908
2	6.8	39.1	19.2	0.005	7.358	10.719
3	6.8	39.3	19.1	0.005	7.608	10.554
4	6.8	39.2	19.0	0.005	7.700	7.403
5	6.8	39.2	19.2	0.005	7.345	6.386
เฉลี่ย						8.994

ตารางที่ ข-20 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.2	0.005	7.498	10.250
2	6.8	39.1	19.0	0.005	7.358	10.923
3	6.8	39.1	19.1	0.005	7.608	10.499
4	6.8	39.0	19.1	0.005	7.700	7.503
5	6.8	39.1	19.0	0.005	7.345	6.743
เฉลี่ย						9.184

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-21 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.1	0.005	7.295	7.565
2	6.8	39	19.0	0.005	7.625	7.485
3	6.8	39.2	19.2	0.005	7.195	9.288
4	6.8	39.0	19.0	0.005	7.103	11.140
5	6.8	39.2	19.2	0.005	8.068	8.739
เฉลี่ย						8.843

ตารางที่ ข-22 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซ.ม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.2	0.005	7.512	7.565
2	6.9	39.1	19.1	0.005	7.894	7.485
3	6.8	39.0	19.0	0.005	7.693	9.288
4	6.8	39.1	19.1	0.005	7.821	11.140
5	6.8	39.2	19.0	0.005	7.943	8.739
เฉลี่ย						8.843

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-23 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.5	19.1	0.005	7.435	7.565
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.700	7.485
3	6.9	39.3	19.2	0.005	7.451	9.288
4	6.9	39.3	19.1	0.005	7.791	11.140
5	6.9	39.3	19.1	0.005	7.820	8.739
เฉลี่ย						8.843

ตารางที่ ข-24 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.1	19.0	0.005	7.436	9.016
2	6.9	39.2	19.1	0.005	8.131	8.323
3	6.8	39.2	19.2	0.005	8.294	9.975
4	6.8	39.1	19.1	0.005	7.270	10.692
5	6.9	39.2	19.0	0.005	8.182	8.621
เฉลี่ย						9.325

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-25 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 40 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.673	9.091
2	6.9	39	19.1	0.005	8.128	8.526
3	6.8	39	19.2	0.005	8.319	10.943
4	6.8	39.1	19.0	0.005	7.523	10.737
5	6.8	39.2	19.0	0.005	8.094	8.813
เฉลี่ย						9.622

ตารางที่ ข-26 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 7 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.207	9.574
2	6.9	39.3	19.0	0.005	7.638	8.753
3	6.8	39.3	19.2	0.005	7.769	7.905
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.348	8.031
5	6.9	39.2	19.0	0.005	8.000	11.719
เฉลี่ย						9.197

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-27 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 14 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.207	9.574
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.638	8.753
3	6.8	39.3	19.1	0.005	7.769	7.905
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.348	8.031
5	6.9	39.2	19.1	0.005	8.000	11.719
เฉลี่ย						9.197

ตารางที่ ข-28 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.9	39.4	19.2	0.005	7.591	9.574
2	6.9	39.3	19.2	0.005	7.665	8.753
3	6.9	39.2	19.1	0.005	7.672	7.905
4	6.9	39.4	19.0	0.005	7.800	8.031
5	6.9	39.2	19.1	0.005	7.718	11.719
เฉลี่ย						9.197

Influence of Ground Oyster Shell on Compressive Strength of Concrete Blocks

อิทธิพลของเปลือกหอยนางรมบดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข-29 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 56 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.2	0.005	7.207	9.763
2	6.9	39.3	19.1	0.005	7.638	9.511
3	6.8	39.3	19.1	0.005	7.769	8.758
4	6.8	39.3	19.0	0.005	7.348	7.959
5	6.9	39.2	19.1	0.005	8.000	12.274
เฉลี่ย						9.653

ตารางที่ ข-30 เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 50 ที่อายุ 90 วัน

ตัวอย่างที่	ขนาด(ซม.)			ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (กก.)	เปอร์เซ็นต์การดูดกลืนน้ำ(กก/ลบ.ม)
	กว้าง	ยาว	สูง			
1	6.8	39.2	19.1	0.005	7.207	10.250
2	6.9	39.3	19.0	0.005	7.638	10.013
3	6.8	39.3	19.2	0.005	7.769	8.549
4	6.8	39.3	19.2	0.005	7.348	7.761
5	6.9	39.2	19.0	0.005	8.000	12.308
เฉลี่ย						9.776

ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ประสาร จิตร์เพ็ชร

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.PRASAN JITPAT

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตั้งอยู่เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210 สำนักงาน : (0) 7575 24-36 # 6003, แฟกซ์ : (0) 7575 4028, มือถือ : (0) 84 149 7426 E-mail : prasan.j@rmutsv.ac.th

ประวัติการศึกษา

Date of Graduation	Level	Cert.,Degree	Major	Name of Institute/Province
2008	Bachelor:	B. ENG	Civil Engineering	Walailak University, Thailand/NST
2012	Master:	M. ENG	Transportation Engineering	Prince of Songkla university/SKA

ประวัติผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายทวิช กล้าแท้

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.TAWICH KLATHAE

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตั้งอยู่เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210 สำนักงาน : (0) 7575 24-36 # 6003, แฟกซ์ : (0) 7575 4028, มือถือ : (0) 84 149 7426 E-mail : klathea@hotmail.com...

ประวัติการศึกษา

Date of Graduation	Level	Cert.,Degree	Major	Name of Institute/Province
2007	Bachelor:	B. ENG	Civil Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang / BKK
2011	Master:	M. ENG	Civil Engineering	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang / BKK