



การใช้ประโยชน์จากเปลือกหอยนางรมแทนที่มวลรวมหยาบในงานคอนกรีต

Utilization of Oyster Shell as Coarse Aggregate in Concrete

ประชุม คำพุด¹ และ ทวิช กล้าแท้^{2*}

Prachoom Khamput¹ and Tawich Klathae^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12120

²หลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.นครศรีธรรมราช 80210

¹Department of Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12120, THAILAND

²Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat 80210, THAILAND

*Corresponding author e-mail: Tawich.k@rmutsv.ac.th

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received: July 12, 2022

Revised: September 1, 2022

Accepted: September 8, 2022

Available online: September 26, 2022

DOI: xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Keywords: compressive strength, oyster shell waste, stone dust, water absorption

This research aims to study the feasibility of using stone dust (SD) to substitute fine aggregate at 100 wt% and oyster shell waste (OSW) partial coarse aggregates replacement at 25, 50, 75, and 100 wt% to produce concrete. The ratio of cement : fine aggregate : coarse aggregates was 1:2:4 wt%. The properties of concretes such as compressive strength at 7, 14, 21, and 28 days, water absorption capacity, and unit weight of concrete at 28 days were investigated. The result showed that the compressive strength of concrete decreased with an increasing rate of OSW replacement while water absorption of concrete increased led to unit weight of concrete decreased. When the values were compared with the Thai Industrial Standards Institute TISI.213-2560 STANDARD FOR READY-MIXED CONCRETE, which met the minimum specification of concrete (than 18 MPa) at 28 days. The results indicated that OSW25 and OSW50 concrete were met the minimum specification. In terms of the production cost, SD to

substitute fine aggregate at 100 wt% and OSW partial coarse aggregates replacement at 25, 50 wt% reductions in the material cost by 23–31% when compared with CT concrete.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำหินฝุ่นเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุแทนที่มวลรวมหยาบร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก ในการผลิตคอนกรีตกำหนดส่วนผสม ปูนซีเมนต์:มวลรวมละเอียด:มวลรวมหยาบ เท่ากับ 1:2:4 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของเปลือกหอยนางรมในคอนกรีตเพิ่มขึ้น ในขณะที่การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าลดลง เมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเปรียบเทียบกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213-2560) ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต้องสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 18.0 เมกะปาสคาล ที่อายุทดสอบ 28 วัน พบว่าคอนกรีตที่มีค่าความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ อัตราส่วนผสมเปลือกหอยนางรมที่ร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก สำหรับการประเมินต้นทุนการผลิตคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุแทนที่มวลรวมหยาบร้อยละ 25 และ 50 โดยน้ำหนัก มีต้นทุนวัสดุลดลงร้อยละ 23–31 เมื่อเทียบกับคอนกรีต CT

คำสำคัญ: กำลังอัด เปลือกหอยนางรม หินฝุ่น การดูดซึมน้ำ

บทนำ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามชายฝั่งทะเลของประเทศไทยขยายตัวอย่างมากในภาคใต้ และภาค

ตะวันออก ทำให้มีอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารทะเลและชุมชนรอบข้างขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประเทศไทยมีจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยนางรม 836 ฟาร์ม (เฉพาะที่มีผลผลิต) หรือร้อยละ 19.09 ของจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยทะเลทั้งหมด เพิ่มขึ้นจากปี ค.ศ. 2019 จำนวน 50 ฟาร์ม หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.36 ส่งผลให้มีผลผลิตหอยนางรมในปี ค.ศ. 2020 มากกว่า 15,746.97 ตัน หรือร้อยละ 13.23 ของผลผลิตหอยทะเลทั้งหมด [1] ซึ่งหลังจากกระบวนการแปรรูปหอยนางรมทุก 1 กิโลกรัม จะคงเหลือขยะจากเปลือกหอยประมาณ 370-700 กรัม หรือจะมีขยะในรูปแบบของเปลือกหอยนางรมประมาณ 5,800-11,000 ตันต่อปี [2] ซึ่งขยะเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ การฝังกลบขยะเปลือกหอยอาจสร้างมลพิษในบริเวณที่ฝังกลบ นอกจากจะส่งกลิ่นเหม็นที่มาจากเศษซากของเนื้อที่ติดมากับเปลือกหอย ซึ่งสร้างความเดือดร้อนให้กับชุมชนใกล้เคียง ยังส่งผลให้ดินสูญเสียความชุ่มชื้น รวมถึงลดการดูดซึมน้ำ และอาจส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสภาวะแวดล้อมในเวลาต่อมา

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีเปลือกหอยนางรม [7]

Chemical Composition (%)	OSW
Silicon dioxide (SiO ₂)	4.31
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	1.17
Ferric oxide (Fe ₂ O ₃)	0.40
Calcium oxide (CaO)	48.85
Magnesium oxide (MgO)	0.99
Potassium oxide (K ₂ O)	0.14
Sodium oxide (Na ₂ O)	0.87
Sulfur trioxide (SO ₃)	0.62
Loss on ignition (LOI)	40.37

ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อนำเปลือกหอยชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์เพื่อลดปริมาณขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเปลือกหอยนางรม มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณของ CaO แต่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจาก ไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา ในขณะที่มีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) ปริมาณต่ำมากดังแสดงในตารางที่ 1 และมีการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการเผา (Loss on ignition, LOI) อยู่ระหว่างร้อยละ 23.2-51.0 [3-7] โดยในปี ค.ศ. 2003 Yoon และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาคูสมบัติเชิงกลของเปลือกหอยนางรมบดโดยการทดแทนมวลรวมในมอร์ตาร์ ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุมที่ผสมกับทราย ผลการทดสอบพบว่าเปลือกหอยนางรมมีองค์ประกอบหลัก คือแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่ในรูปผลึกของแคลไซต์ และมีน้ำหนักเบากว่าทราย โดยความถ่วงจำเพาะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.38 - 2.41 ต่อมา Bamaby [9] ได้ทำการศึกษาเปลือกหอยแมลงภู่ที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมหอยกระป๋องเป็นส่วนผสมในการผลิตมอร์ตาร์ โดยการใช้เปลือกหอยแมลงภู่ทดแทนในส่วนของหินปูนที่ได้มาจากเหมืองหิน โดยใช้ทดแทนในอัตราส่วนร้อยละ 0, 4, 8 และ 12 โดยส่วนของอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย คือ 1:7.8 จากผลการทดสอบพบว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดร้อยละ 12 ที่อายุการบ่ม 90 วัน มีกำลังอัดและกำลังดึงสูงสุด ขณะที่ในปี ค.ศ. 2004 Yoon, Park และ Lee [10] ได้ทำการศึกษาคูสมบัติทางกลของคอนกรีตแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยนางรมบด ผลการทดสอบพบว่าไม่มีปฏิกิริยาระหว่างเปลือกหอยนางรมบดกับซีเมนต์เพสต์เกิดขึ้น ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตลดลงเมื่อค่าความละเอียดลดลง และอัตราการแทนที่ทรายด้วยเปลือกหอยนางรมบดเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2005 Yang, Yi และ Leem [11] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยนางรมมาใช้

เป็นวัสดุในการก่อสร้าง ผลการศึกษาพบว่า เปลือกหอยนางรมบดมีส่วนประกอบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก รวมทั้งยังมีสารอินทรีย์เล็กน้อย การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์ พบว่าในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1:5 และ 1:10 เมื่ออัตราส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมบดแทนที่ทรายที่มากกว่าร้อยละ 20 และ 40 ตามลำดับ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2007 Ballester และคณะ [12] ทำการศึกษาเปลือกหอยแมลงภู่จากอุตสาหกรรมหอยแมลงภู่นิวซีแลนด์ เพื่อทดแทนมวลรวมหยาบในคอนกรีต ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เปลือกหอยแมลงภู่บดทดแทนหินนั้น ไม่มีประสิทธิภาพทางด้านโครงสร้างและไม่ผ่านมาตรฐาน NZS 3108-1983 ของประเทศนิวซีแลนด์ อย่างไรก็ตามการทดสอบด้านประสิทธิภาพของการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตผสมเปลือกหอยแมลงภู่บดสามารถนำไปใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้ เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตตามมาตรฐาน NZS 3108-1983

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าเปลือกหอยนางรมสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบได้ แต่งานวิจัยก่อนหน้ามีการนำเปลือกหอยนางรมแทนที่ในอัตราไม่เกินร้อยละ 40 ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกหอยนางรมในการแทนที่มวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีต ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213-2560) ในอัตราร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาผลกระทบต่อค่ากำลังอัด การดูดซึมน้ำ และความหนาแน่นของคอนกรีต รวมถึงวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตคอนกรีต เปรียบเทียบกับคอนกรีต CT ซึ่งไม่ใช่เปลือกหอยนางรมในส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อลดปริมาณขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีได้อย่างเหมาะสม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) (รูปที่ 1) [13]



รูปที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

1.2 หินฝุ่น (Stone Dust) ผึ่งแดดให้แห้งแล้ว ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.68 และ มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.47 (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 หินฝุ่น

1.3 หินธรรมชาติ (Crushed Limestone) โดยมีขนาดใหญ่สุด 10 มม. แสดงในรูปที่ 3 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.73 มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 6.39 และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 0.67

1.4 เปลือกหอยนางรม (OSW) (รูปที่ 4) จากพื้นที่ อ.อ่างศิลา จ.ชลบุรี นำเปลือกหอยนางรมมาทำ

ความสะอาด และทำให้แห้งโดยการตากแดด อย่างน้อย 24 ชั่วโมง คัดขนาดของเปลือกหอยให้มีขนาดโตสุดไม่เกิน 38.10 มม. มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59 และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 6.21 ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 3 หินธรรมชาติ



รูปที่ 4 เปลือกหอยนางรม



รูปที่ 5 เปลือกหอยนางรม จาก อ.อ่างศิลา จ.ชลบุรี



รูปที่ 6 ล้างทำความสะอาดเปลือกหอยนางรม

ตารางที่ 2 Mixture proportions (OPC: Stone Dust: Coarse Agg., 1:2:4)

Concrete Symbols	kg/m ³					W/C	Slump (cm.)
	OPC	Stone Dust	Crushed Limestone	OSW	Water		
CT	305	635	1,275.00	-	305	1.0	9.5
OSW25	305	635	956.25	318.75	305	1.0	9.5
OSW50	305	635	637.50	637.50	305	1.0	9.0
OSW75	305	635	318.75	956.25	305	1.0	8.0
OSW100	305	635	-	1,275.00	305	1.0	7.0

Remark: OPC: Ordinary Portland Cement Type I, OSW: Oyster Shell Waste

2.2 เตรียมส่วนผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด นำส่วนผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ เปลือกหอยนางรม หินฝุ่น หินปูนย่อย ซึ่งอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) และปูนซีเมนต์ โดยขั้นตอนการผสมคอนกรีตทั้งหมดใช้วิธี Two-stage mixing approach ซึ่งประยุกต์จากงานวิจัยของ Tam และคณะ [14] โดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกนำเปลือกหอยนางรม หินฝุ่น หินปูนย่อยทั้งหมดผสมให้เข้ากันใช้เวลา 60 วินาที ในเครื่องผสม ต่อมาใส่ปูนซีเมนต์ครึ่งหนึ่งผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำที่ต้องการทั้งหมดผสมให้เข้ากันโดยใช้เวลา 60 วินาที ขั้นตอนที่สองเติมปูนซีเมนต์ที่เหลือและใส่น้ำทั้งหมดในเครื่องผสม แล้วทำการผสมให้เข้ากันโดยใช้เวลาในการผสม 120 วินาที ดังรูปที่ 7

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำหินฝุ่นเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุทดแทนมวลรวมหยาบ โดยกำหนดส่วนผสม ปูนซีเมนต์:มวลรวมละเอียด:มวลรวมหยาบ จำนวน 5 อัตราส่วนผสม และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ดังตารางที่ 2 โดยหล่อคอนกรีตทรงกระบอก (Cylinder) ขนาด 15x30 ซม. ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน การดูคุณสมบัติและความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 7 ผสมวัสดุตามอัตราส่วนที่กำหนด

2.3 นำส่วนผสมที่ทำการผสมจนเข้ากันดีแล้ว ตักใส่ในแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด 15x30 ซม. ที่เตรียมไว้ ระหว่างเทคอนกรีตต้องทำการกระทุ้งคอนกรีตร่วมด้วย โดยแบ่งเทเป็น 3 ชั้น และกระทุ้งคอนกรีตชั้นละ 25-30 ครั้ง และปาดผิวหน้าให้เรียบเสมอ ดังรูปที่ 8-10



รูปที่ 8 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต



รูปที่ 9 การหล่อคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก



รูปที่ 10 ปาดผิวหน้าของคอนกรีต



รูปที่ 11 บ่มคอนกรีตในน้ำตามอายุวันที่กำหนด

2.4 ถอดแบบหล่อคอนกรีตหลังจากเทคอนกรีตไปแล้ว อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้น นำไปบ่มในน้ำจนครบอายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน ดังรูปที่ 11

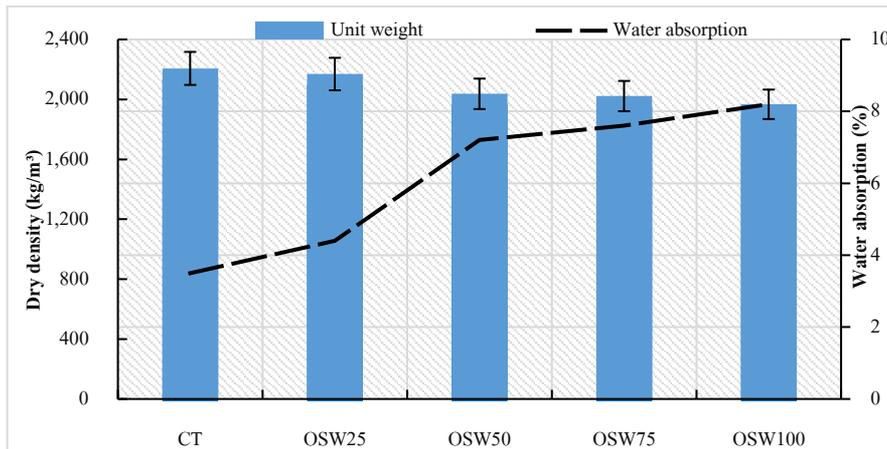
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

รูปที่ 12 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต ซึ่งทำการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยหินฝุ่นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และทดแทนมวลรวมหยาบด้วยเปลือกหอยนางรมบด (OSW) ที่ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีต CT มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 3.5 และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย 2,207 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่คอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4.4, 7.1, 7.6 และ 8.2 หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 126, 206, 217 และ 234 ของคอนกรีตที่ใช้หินธรรมชาติเป็นวัสดุมวลรวมหยาบเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของคอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 มีค่าเท่ากับ 2,169, 2,037, 2,022 และ 1,967 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 98, 92, 92 และ 89 ของคอนกรีตที่ใช้หินธรรมชาติเป็นวัสดุมวลรวมหยาบเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ จากผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง และการดูดซึมน้ำของคอนกรีต แสดงให้เห็นว่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ของเปลือกหอยนางรม ในขณะที่ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการแทนที่ของเปลือกหอยนางรม [15-18] เนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตที่มีการผสมเปลือกหอยนางรมในปริมาณเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดช่องว่างของอากาศภายในตัวอย่างคอนกรีต อีกทั้งเปลือกหอยนางรมมีลักษณะทางกายภาพที่ไม่แน่นอน พื้นผิวมีความขรุขระ เหลี่ยมคม ทำให้มวลรวมของส่วนผสมเรียงตัวกันได้ไม่ดี มีช่องว่างค่อนข้างมาก และส่งผลให้ปูนซีเมนต์ทำหน้าที่ในการเคลือบมวลรวมที่เป็นเปลือกหอยนางรมได้อย่างไม่ทั่วถึง

อัตราการดูดซึมน้ำจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีตตัวอย่าง ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าเมื่อใช้เปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุผสมแทนในอัตราส่วนของมวลรวมหยาบ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเปลือกหอยนางรมมีปริมาณความหนาแน่นน้อยกว่าหิน

[19-20] รวมทั้งขนาดคละและลักษณะของเปลือกหอยนางรมมีผลกระทบต่อการผลิตตัวอย่างคอนกรีต การเรียงตัวของมวลรวมไม่สม่ำเสมอทำให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะและการแทรกตัวของปูนซีเมนต์ไม่สามารถเข้าถึงได้ [21-22]



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีต กับร้อยละการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดที่อายุ 28 วัน

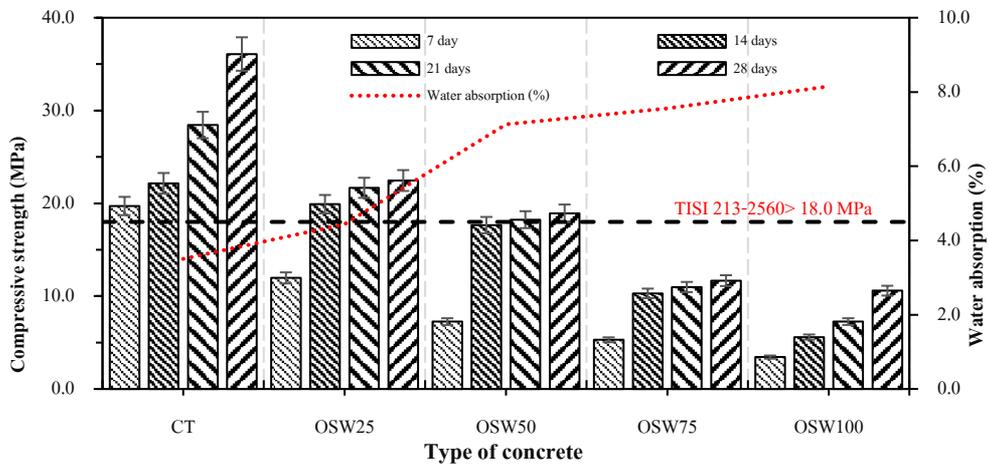
ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต

รูปที่ 13 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตซึ่งทำการทดสอบมวลรวมละเอียดด้วยหินฝุ่นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และแทนที่มวลรวมหยาบด้วยเปลือกหอยนางรม (OSW) ที่ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 (CT) โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 19.7, 22.2, 28.4 และ 36.1 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ในขณะที่คอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 12.0, 7.3, 5.3 และ 3.4 เมกะปาสคาล คิดเป็นร้อยละ 61, 37, 27 และ 17 ของคอนกรีต CT ที่อายุการบ่ม 7 วัน ตามลำดับ ต่อมาที่อายุการบ่ม 14 วัน คอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 19.9, 17.7, 10.3 และ 5.6 เมกะปาสคาล คิดเป็นร้อยละ 90, 80, 46 และ 25 ของคอนกรีต CT ที่

อายุการบ่ม 14 วัน ตามลำดับ ในขณะที่อายุการบ่ม 21 วัน คอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 สามารถพัฒนากำลังอัดเท่ากับ 21.7, 18.2, 11.0 และ 7.3 เมกะปาสคาล คิดเป็นร้อยละ 76, 64, 39 และ 26 ของคอนกรีต CT เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต พบว่าคอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 22.5, 18.9, 11.7 และ 10.6 เมกะปาสคาล คิดเป็นร้อยละ 62, 52, 32 และ 29 ของคอนกรีต CT ตามลำดับ ในขณะที่การดูดซึมน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 4.4, 7.1, 7.6 และ 8.2 หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 126, 206, 217 และ 234 ของคอนกรีตที่ใช้หินธรรมชาติเป็นวัสดุมวลรวมหยาบเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตมีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อทำการเพิ่มขึ้นของการแทนที่ OSW การเพิ่มขึ้นของการแทนที่ OSW ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น [23-25]

เนื่องจากคอนกรีตที่ผสมเปลือกหอยนางรมในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ความหนาแน่นมีค่าต่ำ [19-20] เนื่องจากความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของปูนซีเมนต์ลดลง เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนผสมของเปลือกหอยนางรม [21-22] จึงทำให้ลักษณะการก่อตัวของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมเปลือกหอยนางรมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะมีลักษณะเป็นโพรง และเกิดช่องว่างภายใน ทำให้ตัวอย่างทดสอบไม่สามารถรับกำลังความต้านทานแรงอัดได้ [15-18, 26] เมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของ

คอนกรีตที่ได้ไปเปรียบเทียบกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213-2560) [27] ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต้องสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 18.0 เมกะปาสคาล ที่อายุทดสอบ 28 วัน พบว่าคอนกรีตที่มีค่าความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ อัตราส่วนผสมเปลือกหอยนางรมที่ร้อยละ 25 และ 50 เนื่องจากมีค่าความต้านทานแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอ้างอิงตั้งแต่อายุการบ่มที่ 21 และ 28 วัน ตามลำดับ



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีต กับร้อยละการแทนที่เปลือกหอยนางรม

การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิต

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการหินปูนมาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก และนำเปลือกหอยนางรมมาทดแทนมวลรวมหยาบ ที่ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการหินปูนซึ่งมีราคาประมาณ 0.15 บาทต่อกิโลกรัม และเปลือกหอยนางรม (OSW) ซึ่งมีราคาประมาณ 0.05 บาทต่อกิโลกรัม เนื่องจากเปลือกหอยนางรมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงไม่มีค่าใช้จ่าย แต่อาจจะมีในส่วนของคุณค่าขนย้ายรวมถึงค่าแรงในการทำความสะดวก [7] ในขณะที่ทรายแม่น้ำ และหินธรรมชาติ ซึ่งมีราคาประมาณ 0.60 และ 0.48 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

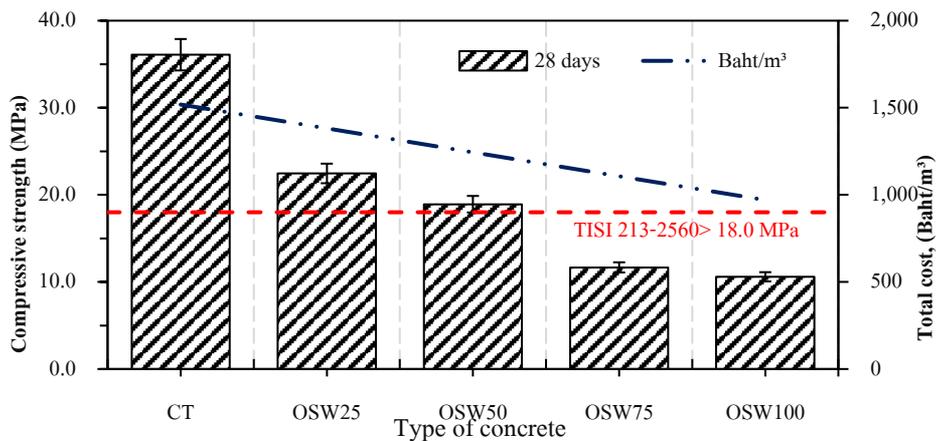
ตารางที่ 3 แสดงราคาคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร พบว่าคอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำ และหินปูนย่อยมีราคาโดยประมาณที่ 1,804.30 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (TISI 231-2560) [27] ในขณะที่คอนกรีตที่ใช้หินปูนทดแทนมวลรวมละเอียดในคอนกรีต (CT) มีราคาโดยประมาณที่ 1,518.55 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 84 ของคอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำ และหินปูนย่อยเป็นวัสดุรวมในการผลิตคอนกรีต เมื่อนำคอนกรีตที่ใช้หินปูนมาทดแทนมวลรวมละเอียดร้อยละ 100 และเปลือกหอยนางรมทดแทนมวลรวมหยาบ ที่ร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 โดยน้ำหนัก พบว่าคอนกรีต OSW25, OSW50, OSW75, และ OSW100 มีราคาโดยประมาณที่ 1,381.49, 1,244.43, 1,107.36 และ 970.30 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ

77, 69, 61 และ 54 ของคอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำ และ หินปูนย่อยเป็นวัสดุผสมรวมในการผลิตคอนกรีต ซึ่งเมื่อ พิจารณาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีต ผสมเสร็จ (มอก. 213-2560) [27] คอนกรีต OSW25, OSW50 สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากถึงร้อยละ 23-31

ในขณะที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 62 และ 52 ตามลำดับ ของคอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำ และ หินปูนย่อยเป็นวัสดุผสมรวมในการผลิตคอนกรีต ดัง แสดงในรูปที่ 14

ตารางที่ 3 ราคาวัสดุของคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร (ม³)

Concrete Symbols	Mixture proportions/m ³ , [kg. (Baht/kg)]						Baht/m ³
	OPC	River sand	Stone Dust	Crushed Limestone	OSW	Water	
TISI 231-2560	305 (2.63)	635 (0.60)	-	1,275.00 (0.48)	-	305 (0.03)	1,804.30
CT	305 (2.63)	-	635 (0.15)	1,275.00 (0.48)	-	305 (0.03)	1,518.55
OSW25	305 (2.63)	-	635 (0.15)	956.25 (0.48)	318.75 (0.05)	305 (0.03)	1,381.49
OSW50	305 (2.63)	-	635 (0.15)	637.50 (0.48)	637.50 (0.05)	305 (0.03)	1,244.43
OSW75	305 (2.63)	-	635 (0.15)	318.75 (0.48)	956.25 (0.05)	305 (0.03)	1,107.36
OSW100	305 (2.63)	-	635 (0.15)	-	1,275.00 (0.05)	305 (0.03)	970.30



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน และราคาวัสดุของการผลิตคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร กับร้อยละ การแทนที่เปลือกหอยนางรม

สรุปผล

1. คอนกรีตที่ใช้หินปูนเพื่อทดแทนมวลรวมละเอียด และเปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุแทนที่มีมวลรวมหยาบ มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ของเปลือกหอยนางรม ในขณะที่กำลังอัดและความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการแทนที่ของเปลือกหอยนางรม

2. อัตราส่วนคอนกรีตที่ใช้เปลือกหอยนางรม

เป็นวัสดุผสมรวมหยาบ ที่ร้อยละ 25 และ 50 มีค่าความต้านทานแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตผสมเสร็จ (มอก. 213-2560) ที่อายุการบ่ม 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

3. คอนกรีต OSW25, OSW50 สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากถึงร้อยละ 23 และ 31 ในขณะที่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 62 และ 52 ตามลำดับ ของคอนกรีตที่ใช้ทรายแม่น้ำ และหินปูนย่อย

เป็นวัสดุมวลรวมในการผลิตคอนกรีต

เมื่อพิจารณาผลข้างต้นแล้วสามารถสรุปได้ว่า หินปูน และเปลือกหอยนางรม สามารถนำมาเป็นวัสดุทางเลือกในการทดแทนมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบได้ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม นอกจากจะเป็นการลดการใช้ทรายแม่น้ำ และหินปูนย่อยแล้ว หากมีการส่งเสริมและให้ความรู้แก่ชุมชนที่มีวัสดุประเภทเปลือกหอยอยู่มาก อาจเป็นการสร้างรายได้ และอาชีพ รวมถึงการนำขยะที่เหลือทิ้ง มาใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถใช้งานได้จริงได้อีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาชีพวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ รวมถึงเอื้อเพื่อสถานที่ และนักศึกษาทุกคนที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Fishery Statistics Analysis and Research Group. Statistics of Marine Shellfish Culture Survey 2020. Information and Communication Technology Center, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives [Internet]. [cited 2022 APR 15]. Availability from: https://www4.fisheries.go.th/local/pic_activities/202112281421011_pic.pdf. Thai.
2. Yao Z, Xia M, Li H, Chen T, Ye Y, Zheng H. Bivalve shell: not an abundant useless waste but a functional and versatile biomaterial. *Crit Rev Environ Sci Technol*. 2014;44(22):2502-30.
3. Li G, Xu X, Chen E, Fan J, Xiong G. Properties of cement-based bricks with oyster-shells ash. *J Clean Prod*. 2015;(91):279-87.
4. Olivia M, Mifshella AA, Damayanti L. Mechanical properties of seashell concrete. *Proced Eng*. 2015;(125):760-4.
5. Djobo YJN, Elimbi A, Manga JD, Ndjock IDL. Partial replacement of volcanic ash by bauxite and calcined oyster shell in the synthesis of volcanicash-based geopolymers. *Constr Build Mater*. 2016;(113):673-81.
6. Ez-Zaki H, Diouri A, Kamali-Bernard S, Sassi O. Composite cement mortars based on marine sediments and oyster shell powder. *Mater Constr*. 2016;66(321):e080.
7. Klathae T, Horpet P. Compressive strength and autogenous shrinkage properties of cement paste containing ground oyster shell. *Thai Journal of Science and Technology*. 2019;27(4):752-63. Thai.
8. Yoon GL, Kim BT, Kim BO, Han SH. Chemical-mechanical characteristics of crushed oyster-shell. *Waste Manage*. 2003;23:825-34.
9. Barnaby C. An Investigation into the reuse of organic waste produced by the New Zealand Mussel Industry [Doctoral dissertation]. Auckland: Auckland University of Technology; 2004.
10. Yoon H, Park S, Lee K, Park J. Oyster shell as substitute for aggregate in mortar. *Waste Manag Res*. 2004;22(3):158-70.
11. Yang EI, Yi ST, Leem YM. Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties *Cem Concr Res*. 2005;35(11):2175-82.

12. Ballester P, Mármol I, Morales J, Sánchez L . Use of limestone obtained from waste of the mussel cannery industry for the production of mortars. *Cem Concr Res.* 2007;37(4):559-64.
13. ASTM C150. American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Portland Cement. Annual Book of ASTM Standard 4(1). PA, USA. 2015.
14. Tam VY, Gao XF, Tam CM. Comparing performance of modified two-stage mixing approach for producing recycled aggregate concrete. *Mag. Concr. Res.* 2006;58(7):477-84.
15. Khankhaje E, Rafieizonooz M, Salim MR, Mirza J, Salmiati, Hussin MW. Comparing the effects of oil palm kernel shell and cockle shell on properties of pervious concrete pavement. *Int J Pavement Res Technol.* 2017; 10(5):383–92.
16. Khankhaje E, Salim MR, Mirza J, Salmiati S, Hussin MW, Khan R, et al. Properties of quiet pervious concrete containing oil palm kernel shell and cockle shell. *Appl Acoust.* 2017; 122:113–20.
17. Martínez -García C, González -Fonteboa B, Martínez-Abella F, Carro-López D. Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete. *Constr Build Mater.* 2017;139:570–83.
18. Nguyen DH, Boutouil M, Sebaibi N, Leleyter L, Baraud F. Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers. *Constr Build Mater.* 2013;49:151–60.
19. Agbede OI, Manasseh J. Suitability of periwinkle shell as partial replacement of river gravel in concrete, *Leonardo Electron. J Pract Technol.* 2009;15:59–66.
20. Falade F. An investigation of periwinkle shells as coarse aggregate in concrete. *Build Environ.* 1995;30(4):573–7.
21. Neville AM, Brooks JJ. *Concrete Technology.* 2nd ed. Essex, UK: Pearson Education; 2010.
22. Shetty MS, *Concrete Technology: Theory and Practice*, 6th ed. New Delhi, India: S. Chand; 2012.
23. Adewuyi AP, Adegoke T. Exploratory study of periwinkle shells as coarse aggregates in concrete works. *ARPN J En Appl Sci.* 2008;3 (6):1–5.
24. Ekop IE, Adenuga OA, Umoh AA. Strength characteristics of granite-pachimalania aurita shell concrete. *Nigerian J Agric Food Environ.* 2013;9(2):9–14.
25. Ettu LO, Ibearugbulem OM, Ezeh JC, Anya UC. A reinvestigation of the prospects of using periwinkle shell as partial replacement for granite in concrete. *Int J Eng Sci Invent.* 2013; 2(3):54–9.
26. Siripattarapavat C. Influence of ground seashells on properties of plastering mortar [Master of Architecture and Planning]. Thammasat University; 2009. Thai.
27. TISI. 213-2560. Thai Industrial Standards Institute (TISI). STANDARD FOR READY–MIXED CONCRETE. Ministry of Industry, Bangkok. Thailand. 2017. Thai.