

# อิฐบล็อกประสานที่ผสมขยะเปลือกหอยนางรมบด

## ไม่ผ่านกระบวนการเผา

### Non-Burnt Ground Oyster Shell Waste

### Interlocking Block

ทวิช กล้าแท้<sup>1\*</sup> กงกิจ ยิ่งเจริญกิจจจร<sup>1</sup> เกரியงศักดิ์ จันทกุล<sup>1</sup> และ อรรถเดช อับดุลมาติน<sup>2</sup>

Tawich Klathae<sup>1\*</sup>, Kongkit Yingchaloenkitkhajorn<sup>1</sup>, Kriangsak Jantakool<sup>1</sup> and Akkadath Abdulmatin<sup>2</sup>

Received: 24 June 2020, Revised: 23 March 2021, Accepted: 14 May 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำขยะเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OSW) มาทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน (CT, 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW) โดยกำหนดอัตราส่วนวัสดุเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์ และ ขยะเปลือกหอยนางรมบด) ต่อดินลูกรังในอัตราส่วน 1:6 โดยน้ำหนัก เพื่อทดสอบความต้านทานรับแรงอัด ที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน รวมถึงการดูดกลืนน้ำที่อายุ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า ที่อายุการบ่ม 28 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน CT, 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 6.3, 5.6, 5.0, 4.9, 4.8 และ 4.5 MPa ตามลำดับ และยังพบว่าค่าการดูดกลืนน้ำ เฉลี่ยเท่ากับ 79, 84, 91, 121, 148 และ 155 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ต่อมาที่อายุการบ่ม 90 วัน อิฐบล็อกประสาน CT มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 8.4 MPa และยังพบว่าอิฐบล็อกประสาน 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW มีค่ากำลังรับแรงอัด เท่ากับ 7.4, 6.5, 6.0, 5.9 และ 5.6 MPa หรือคิดเป็นคิดเป็นร้อยละ 88, 77, 77, 70 และ 67 ของอิฐบล็อกประสานที่ CT ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ขยะเปลือกหอยนางรม, ไม่ผ่านกระบวนการเผา, กำลังอัด, การดูดกลืนน้ำ, อิฐบล็อกประสาน

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

<sup>1</sup> Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Campus, 99 Moo 4, Thong Nian, Khanom, Nakhon Si Thammarat 80210, Thailand.

<sup>2</sup> สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ 99 ตำบลโลกเขิน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University, 99 Khokian, Muang, Narathiwat 96000, Thailand.

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Tawich.k@rmutsv.ac.th Tel: 08 4149 7426

## ABSTRACT

This research aims to utilize ground oyster shell waste (OSW) to replace ordinary Portland cement (OPC) in interlocking blocks. OSW was used to replace OPC at 0, 10, 20, 30, 40 and 50 wt% of binder (CT, 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW and 50OSW) in interlocking blocks. The ratio of binder (OPC and OSW) to lateritic soil was 1:6 %wt. The properties of interlocking blocks such as compressive strength at 28, 90 days and water absorption capacity at 28 days were investigated. The result showed that at the age of 28 days CT interlocking blocks had compressive strength and water absorption capacity about 6.3 MPa and 79 kg/m<sup>3</sup>, respectively. At the same age, the interlocking blocks 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW and 50OSW had compressive strength about 6.3, 5.6, 5.0, 4.9, 4.8 and 4.5 MPa, respectively, while, the water absorption capacity of interlocking blocks was 79, 84, 91, 121, 148 and 155 kg/m<sup>3</sup>, respectively. At the later age of 90 days, CT interlocking blocks had compressive strength of about 8.4 MPa, while, the interlocking blocks 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW and 50OSW had compressive strength about 7.4, 6.5, 6.0, 5.9 and 5.6 MPa or 88, 77, 71, 70 and 67% of CT interlocking blocks, respectively.

**Key words:** oyster shell waste, not process burning, compressive strength, water absorption, interlocking block

### บทนำ

จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นจังหวัดที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศไทย สินค้าสร้างชื่อเสียงให้กับจังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้แก่ หอยนางรม กุ้ง ปลา ปู กุ้ง หอยแครง และสัตว์น้ำอื่นๆ ส่งผลให้จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นแหล่งผลิตอาหารทะเลของประเทศ โดยในปี 2560 จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีจำนวนฟาร์มเลี้ยงหอยจำนวน 874 ฟาร์ม คิดเป็นเนื้อที่เลี้ยงหอย 14,688.88 ไร่ หรือร้อยละ 22.05 ของเนื้อที่เลี้ยงหอยทั้งหมด มากที่สุดเป็นอันดับสอง รองจากจังหวัดสมุทรสงคราม และมีผลผลิตหอยรวมกัน 10,945.46 ตันต่อปี เป็นอันดับสี่ รองจากจังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดชลบุรี และจังหวัดชุมพร ตามลำดับ และเมื่อจำแนกผลผลิตออกตามชนิดพบว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีผลผลิตหอยแครง 8,486.53 ตัน หอยแมลงภู่ 319.66 ตัน และหอยนางรม 2,139.27 ตัน (Fishery Statistics Analysis

and Research Group, 2018) ทุกๆ 1 กิโลกรัมของผลผลิตหอยนางรม จะส่งผลให้เกิดขยะจากเปลือกหอยนางรม ประมาณ 370-700 กรัม หรือประมาณ 790-1,497 ตันต่อปี เฉพาะในจังหวัดสุราษฎร์ธานี (Yao *et al.*, 2014) ซึ่งขยะจากเปลือกหอยนางรมเหล่านี้ไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการเผาทำลาย หรือย่อยสลายไปได้เองตามธรรมชาติ ทำให้เพียงกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบเท่านั้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสถานะแวดล้อม เป็นต้น

โดยปัจจุบันปัญหาที่เกิดขึ้นจากขยะเปลือกหอยชนิดต่างๆ ได้เกิดขึ้นในหลายประเทศ เช่น ประเทศจีน และประเทศไต้หวัน โดยมีรายงานการเกิดขยะที่มาจากจากเปลือกหอยนางรมประมาณ 300,000 และ 160,000 ตันต่อปี ตามลำดับ (Chiou *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015) ในงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเปลือกหอยชนิดต่างๆ เช่น เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแมลงภู่ เปลือกหอยแครง รวมถึงเปลือก

หอยนางรม พบว่าเปลือกหอยเหล่านี้ มีองค์ประกอบหลักของแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยองค์ประกอบทางเคมีคล้ายกับหินปูน ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) และมีส่วนของออกไซด์อื่นปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ ( $\text{MgO}$ ) ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เฟอรัสออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) และอลูมินาออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) โดยในกรณีของหอยนางรม พบว่ามีองค์ประกอบของ  $\text{CaO}$  อยู่ระหว่าง ร้อยละ 48.0-86.8 ในขณะที่มีการสูญเสียน้ำหนักหลังจากการเผา (Loss on ignition, LOI) อยู่ระหว่างร้อยละ 23.2-51.0 (Yoon *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2005; Lertwattanaruk *et al.*, 2012; Olivia *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2015; Ez-zaki *et al.*, 2016; Djobo *et al.*, 2016) ในปี 2012 Bin-Yang *et al.* (2012) ได้ทำการศึกษาวิธีการบดเปลือกหอยนางรมบดแบบเปียก และแบบแห้งเพื่อเป็นวัสดุสำหรับการทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในคอนกรีต โดยตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผงเปลือกหอยนางรมบดโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) และการสังเกตของลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาคด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) โดยทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อัตราส่วน ร้อยละ 0, 5, 10, 15, และ 20 ที่อายุการบ่ม 3, 7, และ 28 วัน ผลการทดลองพบว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมผงเปลือกหอยนางรมบดที่มีวิธีการบดแบบเปียก ที่อัตราส่วน ร้อยละ 5-10 มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ต่อมา Klathae and Horpet (2019) ได้ศึกษา

กำลังอัดและการหดตัวแบบอโตจีเนียสของซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เปลือกหอยนางรมบด แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผลการศึกษาพบว่า ซีเมนต์เพสต์ซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วย เปลือกหอยนางรมบดที่อัตราส่วนร้อยละ 10 มีค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม (OPC100) ที่อายุ 90 วัน และมีการลดลงของกำลังอัดเมื่อมีการเพิ่มขึ้น ที่ร้อยละ 20, 30 และ 40 ตามลำดับ การหดตัวแบบอโตจีเนียสพบว่าซีเมนต์เพสต์ซึ่งแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วย เปลือกหอยนางรมบดนั้น มีค่าสูงกว่า OPC100 และเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มร้อยละการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ ด้านคุณสมบัติทางกายภาพของเปลือกหอยนางรมบด มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีสีคล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 คือสีเทาแต่มีสีอ่อนกว่าเล็กน้อยโดยมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.59 ซึ่งค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ หรือความละเอียดเท่ากับ 1,200 ตารางเซนติเมตร/กรัม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 60.53 ไมครอน ในขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอยนางรมบด มีแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีปริมาณของ  $\text{CaO}$  เท่ากับ ร้อยละ 48.85 แต่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจาก ไม่ได้ผ่านกระบวนการเผา ในส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เท่ากับร้อยละ 4.31 ในขณะที่มีอลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) และไอรอนออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) มีปริมาณต่ำมาก มีเพียงร้อยละ 1.17 และร้อยละ 0.40 ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** Physical properties and chemical composition (%) of ordinary Portland cement (OPC), ground oyster shells waste (OSW) (Klathae and Horpet, 2019)

Materials		OPC	OSW
Physical Properties	Specific gravity	3.15	2.48
	Median particle size, $d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	16.50	60.53
	Blaine fineness, ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	3,400	1,200
Chemical Composition (%)	Silicon dioxide ( $\text{SiO}_2$ )	20.80	4.31
	Aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	5.50	1.17
	Ferric oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	3.16	0.40
	Calcium oxide (CaO)	64.97	48.85
	Magnesium oxide (MgO)	1.06	0.99
	Potassium oxide ( $\text{K}_2\text{O}$ )	0.55	0.14
	Sodium oxide ( $\text{Na}_2\text{O}$ )	0.08	0.87
	Sulfur trioxide ( $\text{SO}_3$ )	2.96	0.62
	Loss on ignition (LOI)	1.40	40.37

จากผลการวิจัยดังกล่าวข้างต้น มีความเป็นไปได้ในการลดขยะจากเปลือกหอยนางรมบด โดยการนำมาผลิตเป็นวัสดุในงานก่อสร้าง ดังนั้น บทความวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกหอยนางรมบด ซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการเผา ในการแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐบล็อกประสาน (Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2004) และนำเสนออัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยนางรมบดที่เหมาะสม รวมถึงวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสานจากเปลือกหอยนางรมบด

เพื่อลดปริมาณขยะในชุมชน และกำจัดขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเล อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด ได้อย่างเหมาะสม และพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่สามารถผลิตขึ้นเองได้ในชุมชน

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC), ASTM C150 (ASTM C150, 2015)



ภาพที่ 1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ภาพที่ 2 ขยะเปลือกหอยนางรมชนิดที่ไม่ผ่านการบวกรวมการเผา



ภาพที่ 3 ดินลูกรัง จากบ่อดินในพื้นที่ ตำบลท้องเนียน อำเภอนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.2 เปลือกหอยนางรมชนิดที่ไม่ผ่านการบวกรวมการเผา (OSW) จากพื้นที่ อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยนำเปลือกหอยนางรมมาทำความสะอาด และทำให้แห้งโดยการตากแดด อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการบดเปลือกหอยโดยไม่ผ่านการเผา ด้วยเครื่องบดหยาบเป็นเวลา 4 ชม. เมื่อเปลือกหอยบดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) แล้วนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ เป็นเวลา 2 ชม. เพื่อให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 100 (0.149 มิลลิเมตร) แล้วนำเปลือกหอยนางรมบดมาอบให้แห้งในตู้อบ ที่มีอุณหภูมิ  $110 \pm 5$  °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.3 ดินลูกรังจากบ่อดินในพื้นที่ ตำบลท้องเนียน อำเภอนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช ผึ่งแดด

ให้แห้งแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 นำไปอบที่อุณหภูมิ  $100 \pm 5$  °C ใช้เวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปทดสอบสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง ได้แก่ การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และทดสอบการหาค่า Atterberg limit

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 อัตราส่วนผสมการทำอิฐบล็อกประสานที่ประกอบด้วยวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์และขยะเปลือกหอยนางรมบด) : ดินลูกรัง เท่ากับ 1:6 โดยน้ำหนัก (วัสดุประสาน 1 กิโลกรัม : ดินลูกรัง 6 กิโลกรัม) จำนวน 6 อัตราส่วนผสม คือร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน ทุกอัตราส่วนผสมเท่ากับ 0.98 โดยอัตราส่วนผสมและสัญลักษณ์ที่

ใช้ในการทดสอบ แสดงในตารางที่ 2 โดยใช้เครื่องผสมวัสดุ และใช้เครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยก (Cinva Ram) แสดงในภาพที่ 4 สำหรับตัวอย่างอิฐบล็อกประสานมีขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 25 เซนติเมตร หนา 25 เซนติเมตร แสดงในภาพที่ 5

จากนั้น ทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วัน และทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำที่ อายุ 28 วัน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช. 602/2547 แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 4 การอัดอิฐบล็อกประสานแบบมือโยก (Cinva Ram)



ภาพที่ 5 ก่อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานหลังจากการขึ้นรูปอิฐบล็อกประสาน



ภาพที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างอิฐบล็อกประสาน

ตารางที่ 2 Mixture proportions (Binder: Lateritic soil, 1:6)

Interlocking block	kg/m <sup>3</sup>				
	Symbols	OPC	OSW	Lateritic soil	Water
CT	240	-	1,440	235	0.98
10OSW	216	24	1,440	235	0.98
20OSW	192	48	1,440	235	0.98
30OSW	168	72	1,440	235	0.98
40OSW	144	96	1,440	235	0.98
50OSW	120	120	1,440	235	0.98

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

## ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

### 1. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผสม

ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง (Lateritic soil) ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าการดูดกลืนน้ำ รวมถึงคุณสมบัติด้าน Atterberg limit เพื่อเป็นการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง และหาค่าขีดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของดินลูกรัง แสดงผลใน ตารางที่ 3 พบว่าดินลูกรังที่ใช้มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.73 ซึ่งโดยทั่วไปดินลูกรัง

จะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.7 ถึง 3.0 (Charoennatkul, 2014) และค่าการดูดกลืนน้ำ เท่ากับ 1.93 ในขณะที่ดินลูกรังมีค่า L.L. เท่ากับร้อยละ 34.37 ค่า P.L. เท่ากับร้อยละ 16.88 และค่า P.I. เท่ากับร้อยละ 5.48 จากค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าดินลูกรังที่นำมาทดสอบ มีค่าความสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นของเหลวค่อนข้างสูง กล่าวคือหากมีการผสมน้ำในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ดินลูกรังชนิดนี้ไม่สามารถขึ้นรูปได้

ตารางที่ 3 The physical properties of aggregate

Properties of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plastic index (%)
Standard (Charoennatkul, 2014)	2.7-3.0	1.5-2.0	< 50	N/A	< 18
Lateritic soil	2.73	1.93	34.37	16.88	5.48

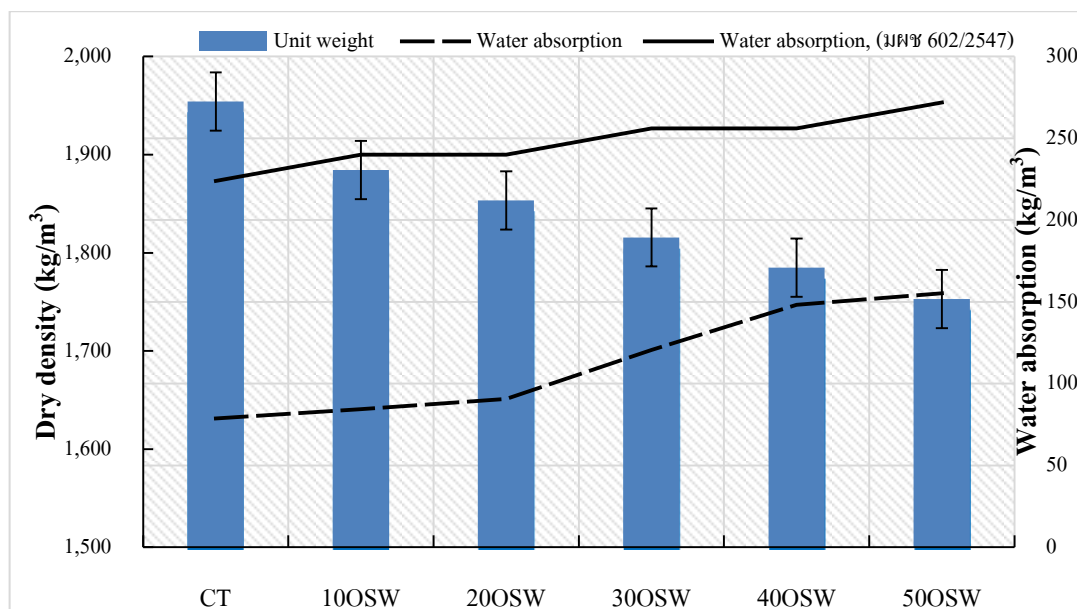
### 2. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

ภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน ที่มีการนำขยะเปลือกหอยนางรมบดที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา (OSW) มาทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่อายุ

การบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าอิฐบล็อกประสาน CT มีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ย และความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย เท่ากับ 79 kg/m<sup>3</sup> และ 1,954 kg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ ในขณะที่อิฐบล็อกประสาน 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW มีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 84, 91, 121, 148 และ 155 kg/m<sup>3</sup> หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 107, 115, 153,

188 และ 197 ของอิฐบล็อกประสานที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย ของอิฐบล็อกประสาน 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW มีค่าเท่ากับ 1,884, 1,853, 1,816, 1,785, และ 1,753  $\text{kg/m}^3$  หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 96, 95, 93, 91 และ 90 ของอิฐบล็อกประสานที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ จากผลการทดสอบความหนาแน่นแห้ง และการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน แสดงให้เห็นว่า การดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการแทนที่ของขยะเปลือกหอยนางรมบด ในขณะที่ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการแทนที่ของขยะเปลือกหอยนางรมบด กล่าวคือความหนาแน่นแห้งของอิฐบล็อกประสานจะแปรผกผันกับการดูดกลืนน้ำ โดยเมื่ออิฐบล็อกประสานมีความหนาแน่นมากขึ้นจะส่งผลให้มีการดูดกลืนน้ำได้น้อยลง และเมื่อความหนาแน่นน้อยก็

จะดูดกลืนน้ำได้มากขึ้น (Dasasamoh *et al.*, 2015) เนื่องจากขยะเปลือกหอยนางรมบดมีขนาดใหญ่ และมีรูพรุนสูง ทำให้มีความหนาแน่นน้อย ส่งผลให้มีการดูดกลืนน้ำที่มากกว่า และขนาดของขยะเปลือกหอยนางรมบดที่ใหญ่กว่าปูนซีเมนต์นั้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ทำได้ยากกว่าอิฐบล็อกประสานที่มีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของอิฐบล็อกประสาน ลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเปรียบเทียบกับ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (602/2547) พบว่าการทดสอบการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานที่ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยขยะเปลือกหอยนางรมบด เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด คือต้องมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ย จากอิฐบล็อกประสานทั้ง 5 ก่อน ไม่มากกว่า  $208\text{--}288 \text{ kg/m}^3$  ซึ่งอิฐบล็อกประสาน ที่มีการนำขยะเปลือกหอยนางรมบดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนทุกส่วนผสม ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด



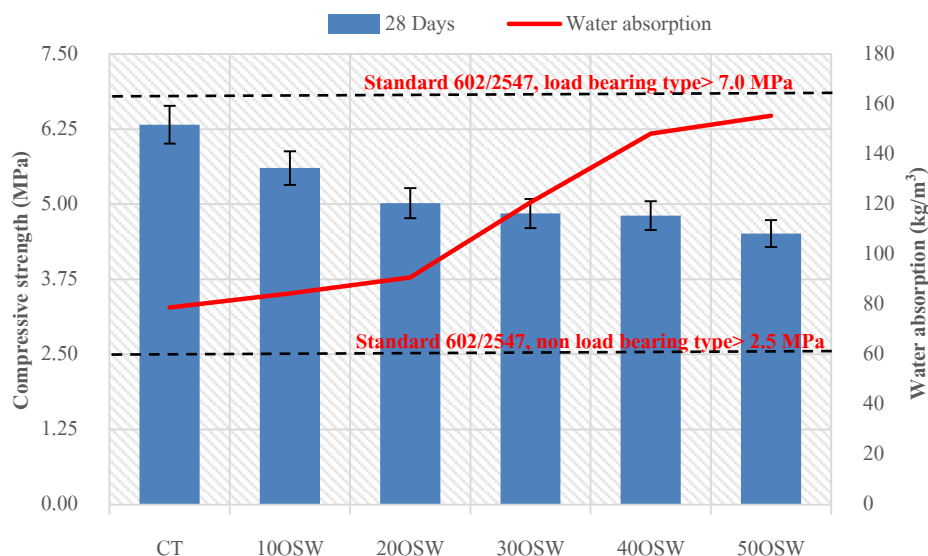
ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน กับร้อยละการแทนที่เปลือกหอยนางรมบดที่อายุ 28 วัน



### 3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน

ภาพที่ 8 แสดงค่ากำลังอัดของอิฐบล็อกประสานซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขยะเปลือกหอยนางรมบด (OSW) ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าอิฐบล็อกประสาน มีลักษณะการพัฒนาค่ากำลังอัดลดลงเมื่อทำการเพิ่มอัตราการแทนที่ของขยะเปลือกหอยนางรมบด โดยอิฐบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 (CT) โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 6.3 MPa ในขณะที่อิฐบล็อกประสาน 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 5.6, 5.0, 4.9, 4.8 และ 4.5 MPa คิดเป็นร้อยละ 89, 79, 77, 76 และ 71 ของอิฐบล็อกประสาน CT ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน พบว่าอิฐบล็อกประสาน มีค่ากำลังอัดลดลง เมื่อทำการเพิ่มขึ้นของการแทนที่ OSW ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 การเพิ่มขึ้นของการแทนที่ OSW ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอิฐบล็อกประสาน มีความหนาแน่นน้อยลง เกิดโพรงและช่องว่างมากขึ้น

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Siripattaraprat (2009) ซึ่งพบว่า การทดสอบการดูดซึมน้ำของปูนฉาบที่มีการนำ OSW แทนที่บางส่วน ในทุกการแทนที่ OSW ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของปูนฉาบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปูนฉาบที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วย OSW ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปูนฉาบ มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วย OSW ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานต้องสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 7.0 MPa สำหรับชนิดรับน้ำหนัก และสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 2.5 MPa สำหรับชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่อายุทดสอบ 28 วัน พบว่าอิฐบล็อกประสานซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขยะเปลือกหอยนางรมบด สามารถนำมาใช้ได้ที่มีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 สำหรับชนิดไม่รับน้ำหนัก



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันและการดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสาน กับร้อยละการแทนที่เปลือกหอยนางรมบด

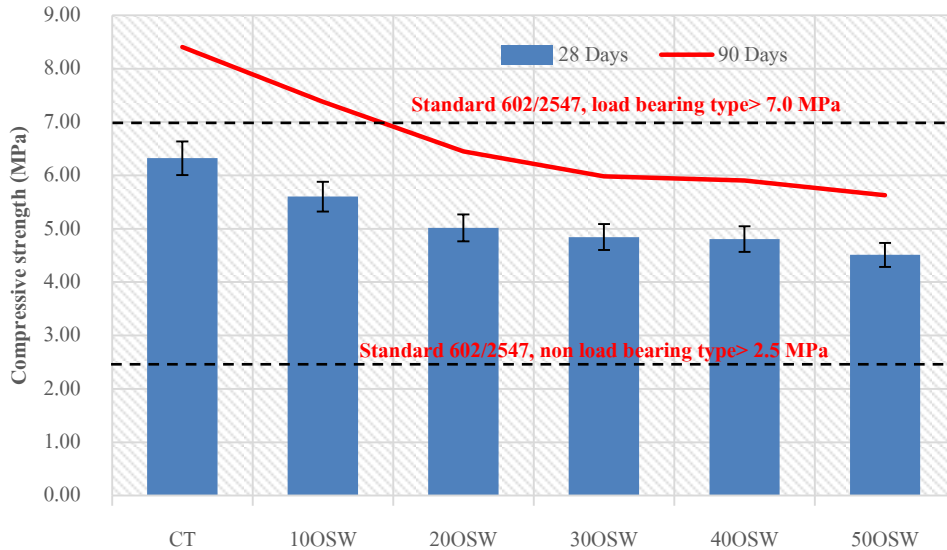
#### 4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันและ 90 วันของอิฐบล็อกประสาน

ภาพที่ 9 แสดงค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 และ 90 วันของอิฐบล็อกประสาน ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขยะเปลือกหอยนางรมบด (OSW) ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน จากผลการทดสอบพบว่า ที่อายุการบ่ม 90 อิฐบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 0 (CT) โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 8.4 MPa ในขณะที่อิฐบล็อกประสาน 10OSW, 20OSW, 30OSW, 40OSW และ 50OSW มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 7.4, 6.5, 6.0, 5.9 และ 5.6 MPa คิดเป็นร้อยละ 88, 77, 71, 70 และ 67 ของอิฐบล็อกประสานที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดของอิฐบล็อกประสานมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการบ่มมากขึ้นในทุกกลุ่มตัวอย่าง ในขณะที่การแทนที่ที่เพิ่มขึ้นของขยะเปลือกหอยนางรมบด ส่งผลให้ค่ากำลังอัดของอิฐบล็อกประสานมีค่าลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lertwattanakul *et al.*,

(2012) ซึ่งศึกษาการนำ OSW มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ปูนฉาบ โดยแทนที่ OPC ที่ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า กำลังอัดของปูนฉาบที่มีการแทนที่ OSW ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีค่ากำลังอัดลดลง เพราะ OSW ค่อนข้างเหนียวต่อการทำปฏิกิริยา แต่เนื่องจากขนาดอนุภาคของ OSW นั้นมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย ทำให้อนุภาคของ OSW บางส่วน สามารถสอดแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์นั้นได้ ซึ่งเมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 ซึ่งกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานต้องสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 7.0 MPa สำหรับชนิดรับน้ำหนัก และสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ไม่น้อยกว่า 2.5 MPa สำหรับชนิดไม่รับน้ำหนัก ที่อายุทดสอบ 28 วันพบว่าสามารถนำมาใช้ได้ทั้งอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ซึ่งจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพช.602/2547 สำหรับชนิด

ไม่รับน้ำหนัก ในขณะที่ อิฐบล็อกประสาน ซึ่งทำการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยขยะเปลือกหอยนางรมบด (OSW) ที่ร้อยละ 10 (10OSW) โดยน้ำหนักของวัสดุ

ประสาน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน มพข.602/2547 สำหรับชนิดรับน้ำหนัก ที่อายุการบ่ม ที่ 90 วัน



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 28 วันและค่ากำลังอัดที่อายุการบ่ม 90 วันของอิฐบล็อกประสาน ที่ร้อยละการแทนที่ต่างๆ กัน

## 5. การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิต

ตารางที่ 4 The costs of interlocking blocks

Specimen	Mixture proportions, (Binder: Lateritic soil, 1:6), [kg. (Baht/kg)]			
	OPC	OSW	Lateritic soil	Baht/Block
CT	0.83 (2.98)	-	4.95 (0.50)	4.93
10OSW	0.74 (2.98)	0.08 (0.40)	4.95 (0.50)	4.72
20OSW	0.66 (2.98)	0.17 (0.40)	4.95 (0.50)	4.51
30OSW	0.58 (2.98)	0.25 (0.40)	4.95 (0.50)	4.29
40OSW	0.50 (2.98)	0.33 (0.40)	4.95 (0.50)	4.08
50OSW	0.41 (2.98)	0.41 (0.40)	4.95 (0.50)	3.87

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขยะจากเปลือกหอยนางรมบด ซึ่งไม่ผ่านการเผา (OSW) มาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) บางส่วน ในอิฐบล็อกประสานในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

โดยเมื่อนำมาวิเคราะห์หาราคาต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าการใช้ขยะเปลือกหอยนางรมบด (OSW) ซึ่งมีราคาประมาณ 0.40 บาทต่อกิโลกรัม (ผลเฉลี่ยการบดเปลือกหอยในเวลา 60 นาที น้ำหนักที่บดได้ 60.7 กิโลกรัม ใช้

พลังงานไฟฟ้า 231.3 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 5.31 แอมป์ ขนาดที่บดได้เล็กกว่า 5 มิลลิเมตร คิดเป็นต้นทุนการผลิตมี ค่าใช้จ่าย 3.57 บาท โดยคิดจากค่าไฟหน่วยละ 3 บาท โดยใช้เวลาในการบดประมาณ 6 ชั่วโมง (บดหยาบเป็นเวลา 4 ชม. เมื่อเปลือกหอยบดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) แล้วนำไปบดต่อด้วยเครื่องบดอนุภาคแบบบอลมิลล์ เป็นเวลา 2 ชม.) และเปลือกหอยนางรมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจึงไม่มีค่าใช้จ่าย แต่อาจจะมีส่วนของค่าขนย้ายรวมถึงค่าแรงในการทำความสะอาด (Klathae and Horpet, 2019) ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีราคาประมาณ 2.98 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 149 บาทต่อกระสอบ (50 กิโลกรัม) (ราคากลาง ณ เดือนกุมภาพันธ์ 2562)

ตารางที่ 5 แสดงการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนของการผลิตอิฐบล็อกประสาน พบว่าอิฐ

บล็อกประสานที่มีการใช้ขยะจากเปลือกหอยนางรมบด ซึ่งไม่ผ่านการเผา มีราคาประมาณ 3.87-4.72 บาทต่อก้อน โดยต้นทุนขึ้นอยู่กับปูนซีเมนต์ และดินลูกรัง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาอิฐบล็อกประสานที่มีขายทั่วไปมีราคาประมาณ 9-10 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าร้อยละ 50 ซึ่งต้นทุนนี้ไม่รวมกับค่าแรง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ สำหรับกรณีการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ในขณะที่เมื่อทำการพิจารณาจุดคุ้มทุน และระยะเวลาในการคืนทุนของการผลิตอิฐบล็อกประสาน พบว่า อิฐบล็อกประสานที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว นั้น ต้องใช้ระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 9.36 เดือน ในขณะที่อิฐบล็อกประสานที่มีการใช้ขยะจากเปลือกหอยนางรมบด ซึ่งไม่ผ่านการเผา มีระยะเวลาในการคืนทุนเฉลี่ยอยู่ที่ระหว่าง 8.5 เดือน เท่านั้น

ตารางที่ 5 Break-even point of interlocking blocks

Specimen	CT	10OSW	20OSW	30OSW	40OSW	50OSW
Price Materials (Baht/Block)	4.93	4.72	4.51	4.29	4.08	3.87
Price Materials/Days (200 Block/Days) (Baht)	987	944	902	859	816	774
Price Materials/Years (20 Days/Month) (Baht)	236,808	226,591	216,374	206,158	195,941	185,724
Labor Cost /Years (400 Baht/2 Man/20 Days/Month) (Baht)				96,000		
Machine Cost (Baht)				22,000		
Summary Cost (Baht)	355,795	345,535	335,276	325,017	314,757	304,498
Sale Price/Block (Baht)				9.50		
Amount Block of Return (Block)	37,452	36,372	35,292	34,212	33,132	32,052
Month of Return (Month)	9.36	9.09	8.82	8.55	8.28	8.01

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

## สรุป

1. อิฐบล็อกประสานตัวอย่างที่อายุการบ่มที่ 28 วัน ในทุกอัตราส่วน มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตาม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.602/2547) ชนิดไม่รับน้ำหนัก ต่อมาที่อายุการบ่มที่ 90 วัน อิฐบล็อกประสาน ในอัตราส่วนการแทนที่ ร้อยละ 0 และร้อยละ

ละ 10 มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (602/2547) ชนิดรับน้ำหนัก ในขณะที่การดูดกลืนน้ำของอิฐบล็อกประสานทุกอัตราส่วนผสม ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (602/2547) ชนิดรับน้ำหนัก

2. การใช้ขยะเปลือกหอยนางรมบด ที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา ทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน ช่วยลดต้นทุนในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักได้สูงสุดถึง 1.06 บาทต่อก้อน ที่อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 50 โดยลดระยะเวลาคืบทุนลงจาก 9.36 เดือน เหลือเพียง 8 เดือน

เมื่อพิจารณาผลข้างต้นแล้วสามารถสรุปได้ว่าขยะเปลือกหอยนางรมบด ที่ไม่ผ่านกระบวนการเผา สามารถนำมาเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ในงานอิฐบล็อกประสานได้ เมื่อมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และมีการควบคุมปริมาณน้ำที่พอเหมาะ เนื่องจากอิฐบล็อกประสานมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานอิฐบล็อกประสานทั้งชนิดรับน้ำหนักแบกทานและไม่รับน้ำหนักแบกทาน หรือนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดอื่น นอกจากจะสามารถลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยตรงแล้ว หากมีการส่งเสริมและให้ความรู้แก่ชุมชนที่มีวัสดุประเภทเปลือกหอยอยู่มาก อาจเป็นการสร้างรายได้และอาชีพ รวมถึงการนำขยะที่เหลือทิ้ง มาใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถใช้งานได้จริงในชุมชน ได้อีกด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินงบประมาณโครงการวิจัย ประเภทเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย คณะผู้วิจัย

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองวิจัย และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- ASTM. 2015. ASTM C150. Standard Specification for Portland Cement. ASTM International, PA, USA.
- Bin-Yang, Z., Qiang, Z., Chang-Feng, C. and Yan, Y. 2012. Structure and property characterization of oyster shell cementing material. **Chinese Journal Structural Chemistry** 31(1): 85-92.
- Charoenmatkul, C. 2014. Interlocking blocks containing oil palm ash and shells waste. **Journal of Community Development and Life Quality** 2(1): 103-112. (in Thai)
- Chiou, I.J., Chen, C.H. and Li, Y.H. 2014. Using oyster-shell foamed bricks to neutralize the acidity of recycled rainwater. **Construction and Building Materials** 64(C): 480-487.
- Dasaesamoh, A., Kabae, Y., Niale, A., Reebu, S., Mamatacha, P. and Samae, Y. 2015. Effect of improvement of para-rubber wood fly ash on compressive strength. **Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal** 8(1): 66-71. (in Thai)
- Djobo, Y.J.N., Elimbi, A., Manga, J.D. and Ndjock, I.D.L. 2016. Partial replacement of volcanic ash by bauxite and calcined oyster shell in the synthesis of volcanic ash-based geopolymers.

- Construction and Building Materials** 113(2016): 673-681.
- Ez-Zaki, H., Diouri, A., Kamali-Bernard, S. and Sassi, O. 2016. Composite cement mortars based on marine sediments and oyster shell powder. **Materiales de Construcción** 66(321): e080. doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2016.01915>
- Fishery Statistics Analysis and Research Group. 2018. **Statistics of Marine Shellfish Culture Survey 2017**. Information and Communication Technology Center, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives 2018. Available Source. <https://www.fisheries.go.th/strategy-stat/themeWeb/books/2560/.pdf>, March 27, 2019. (in Thai)
- Klathae, T. and Horpet, P. 2019. Compressive strength and autogenous shrinkage properties of cement paste containing ground oyster shell. **Thai Science and Technology Journal** 27(4): 752-763. (in Thai)
- Lertwattanaruk, P., Makul, N. and Siripattaraprat, C. 2012. Utilization of ground waste seashells in cement mortars for masonry and plastering. **Journal of Environmental Management** 111(2012): 133-141.
- Li, G., Xu, X., Chen, E., Fan, J. and Xiong, G. 2015. Properties of cement-based bricks with oyster shells ash. **Journal of Cleaner Production** 91: 279-287.
- Olivia, M., Mifshella, A.A. and Darmayanti, L. 2015. Mechanical properties of seashell concrete. **Procedia Engineering** 125: 760-764.
- Siripattaraprat, C. 2009. Influence of ground seashells on properties of plastering mortar. Master of Architecture and Planning. Thammasat University. (inThai)
- Thai Industrial Standards Institute (TISI). 2004. **Community Product Standard 602/2004. Interlocking blocks non-load bearing type**. Ministry of Industry, Bangkok. (in Thai)
- 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(11): 2175-2182.
- Yao, Z., Xia, M., Li, H., Chen, T., Ye, Y. and Zheng, H. 2014. Bivalve shell: not an abundant useless waste but a functional and versatile biomaterial. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology** 44(22): 2502-2530.
- Yoon, H., Park, S., Lee, K. and Park, J. 2004. Oyster shell as substitute for aggregate in mortar. **Waste Management & Research** 22(3): 158-170.