การศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่เสริมไม้ไผ่เพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง

อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ [1*] และ ณิชาภา มินาบูลย์[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเกี่ยวกับ คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่โดยใช้ไม้ไผ่เป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริม เพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง (Guide Post) โดยศึกษาพฤติกรรมในด้านกำลังอัด กำลังแรงดัด และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ผลการวิจัยพบว่า คอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่สามารถนำมาใช้งานแทนหลักนำทางคอนกรีตเสริมเหล็กได้ โดยให้ค่ากำลังอัด แรงดัด และการดูดซึมในทางที่ดี นอกจากนั้น ผลทดสอบพบว่า หลักนำทางที่ผสมเปลือกหอยแมลงภู่โดยใช้ไม้ไผ่เป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริมสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เมื่อเทียบกับหลักนำทางคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบา, เปลือกหอยแมลงภู่, หลักนำทาง, กำลังแรงดัด

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[2] สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: udomvit.k@rmutr.ac.th รับเมื่อ 5 มีนาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 31 สิงหาคม 2558

Study of Properties and Performance of Lightweight Concrete Reinforced whit Mussel Shell Bamboo to Produce Guide Post

Udomvit Chaisakulkiet[1*] and Nichapha Minaboon[2]

Abstract

This research studies the potential for using mussel shell in light weight concrete guide post work. This paper presents a study of the physical properties of light weight concrete guide post containing mussel shell bamboo. Compressive strength, flexural strength and water absorption were investigated. Test results shown that the use of mussel shell produces light weight concrete guide post mixes with good strength and flexural strength and water absorption. In addition, results shown that the use of mussel shell bamboo improves cost saving with comparison to normal concrete guide post.

Keywords : Lightweight Concrete, Mussel shell, Guide Post, Flexural strength

[1] Department of civil engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

[2] Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Disign, Rajamangala University of Technology Rattanakosin.

[*] Corresponding author, E-mail: udomvit.k@rmutr.ac.th Received 5 March 2015, Accepted 31 August 2015

1. บทนำ

การก่อสร้างทางในบางครั้งแนวก่อสร้างไม่สามารถก่อสร้างให้เป็นแนวทางตรงได้ตลอดทั้งเส้นทาง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวางแนวโค้งเพื่อหลบหลีกสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ที่เป็นปัญหากีดขวางแนวก่อสร้าง ดังนั้นจุดที่เป็นทางโค้งเป็นจุดที่ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ยานพาหนะ และเพื่อเป็นการเตือนให้ผู้ขับขี่รถยนต์ได้รับรู้ถึงสภาพของเส้นทางจึงนำหลักนำทางมาติดตั้งซึ่งหลักนำทางส่วนมากทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีสภาพแข็งแรงแต่ไม่มีความยืดหยุ่น ประโยชน์ของหลักนำทางมีไว้เพื่อเป็นหลักเตือนแนวทางโค้ง เพื่อให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะได้รับรู้ถึงขอบเขตของทางในช่วงโค้ง [1] เพื่อให้ระมัดระวังในการขับขี่ยานพาหนะ อย่างไรก็ตามยังคงพบอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นอยู่บริเวณทางโค้งอยู่เสมอ ส่วนมากจะเป็นการขับขี่ยานพาหนะหลุดจากผิวจราจรและชนกับหลักกันโค้ง ซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้ทำให้สภาพรถยนต์ได้รับความเสียหายเป็นอย่างมาก หลักนำทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันผลิตมาจากแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก ต้นทุนการผลิตสูง การขนย้ายและการติดตั้งลำบากเนื่องจากมีน้ำหนักมาก

ที่ผ่านมา นักวิจัยพยายามศึกษานำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในงานมอร์ต้าร์ คอนกรีตและงานก่อฉาบ [2-6] ซึ่งเป็นวัสดุผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ส่วนการนำมาใช้ในคอนกรีตมวลเบายังมีอยู่น้อย ต่อมานักวิจัยมีแนวความคิดที่ใช้เปลือกหอยแมลงภู่มาเป็นส่วนผสมมอร์ต้าร์หรือคอนกรีต [7] ซึ่งหอยแมลงภู่ จัดอยู่ในไฟลัมมอลลัสคาเป็นหอยสองฝา สีของเปลือกเปลี่ยนไปตามสภาพการอยู่อาศัย กล่าวคือ ถ้าอยู่ใต้น้ำตลอดเวลามีสีเขียวอมดำ ถ้าอยู่บริเวณน้ำขึ้นน้ำลง ถูกแดดบ้างเปลือกจะออกเหลือง เปลือกด้านนอกมีสีเขียวส่วนท้ายจะกว้างกว่าส่วนหน้า [8] ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยใช้เปลือกหอยแมลงภู่มาเป็นส่วนผสม จะใช้ไม้ไผ่เสริมเป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริมที่สามารถหาได้จากท้องถิ่นมาผลิตเป็นหลักนำทางแทนคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะว่าหลักนำทางเป็นเพียงหลักบอกแนวทางเตือนให้ผู้ขับขี่รถยนต์ได้รู้ถึงสภาพทางข้างหน้าว่าเป็นทางโค้ง จึงต้องเพิ่มความระมัดระวังในการขับขี่ แต่ปัจจุบันหลักนำทางทำมาจากคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งลักษณะการใช้งานจริงของหลักนำทางนั้นไม่ต้องการรับกำลังที่มากระทำ จึงไม่จำเป็นต้องทำให้หลักนำทางมีความแข็งแรงมากนัก

ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เปลือกหอยแมลงภู่มาเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพื่อผลิตเป็นเสาหลักบอกแนวของถนน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีต ประกอบด้วยกำลังอัด กำลังดัด และร้อยละการดูดซึมน้ำ

2. วิธีดำเนินการทดลอง

2.1วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ใช้ตามมาตรฐาน ASTM C150 [9] นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาเสริมไม้ไผ่เพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง

2.1.2 เปลือกหอยแมลงภู่

เปลือกหอยแมลงภู่ ที่นำมาใช้ในการในการศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาเสริมไม้ไผ่เพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง นำมาจากจังหวัดสมุทรสงคราม ซึ่งเป็นเปลือกหอยที่ชาวบ้านเก็บมาแล้วนำเนื้อหอยไปขาย ส่วนเปลือกหอยก็มากองทิ้งไว้

ดำเนินการทดลองโดยการทำความสะอาดด้วยการร่อนในตะแกรงและฉีดพ่นน้ำ ทิ้งให้แห้งนำไปบด และทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเปลือกหอยแมลงภู่ การหาขนาดคละของเปลือกหอยแมลงภู่ และการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของเปลือกหอยแมลงภู่ จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล

2.1.3 ไม้ไผ่

ไม่ไผ่ที่นำมาใช้ในการในการศึกษาครั้งนี้ต้องผ่าออกให้ได้ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร ความยาว 1.20 เมตร แล้วนำมาผูกด้วยเชือกให้เป็นสี่เหลี่ยมเพื่อใช้เป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริม หลังจากได้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแล้ว เตรียมวัสดุเพื่อทำแบบหล่อแท่งตัวอย่างวัสดุที่นำมาทำแบบหล่อแท่งตัวอย่างโดยใช้ไม้แบบขนาด 0.15 x 0.15 x 4.00 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ไม้ไผ่ใช้แทนเหล็กเสริม

2.1.4 น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด ปราศจากกรด-ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม ปกติประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ที่สามารถบริโภคได้ ถือว่ามีคุณภาพดีพอสำหรับงานคอนกรีตในการผสมคอนกรีต ต้องใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (water/cement ratio) ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการ

2.2 เตรียมแบบและวัสดุหล่อแท่งตัวอย่างคอนกรีต

2.2.1 มาตรฐานของหลักนำทาง

หลักนำทางหรือหลักกันโค้งสีขาวสลับดำตั้งเรียงกันข้าง ๆ ทางนั่น ปกติจะสูงจากระดับผิวทาง 0.75 เมตร ขนาด 15.00 x 15.00 เมตร ด้านหน้าจะมีแถบวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร 2 วง เอาไว้ให้มองเห็นชัดเจนเวลากลางคืน ตามมาตรฐานของกองวิศวกรรมจราจร [4]

2.2.2 เตรียมตัวอย่าง

1) เตรียมไม้ไผ่

โดยนำไม้ไผ่มาผ่าออกให้ได้ความหนาประมาณ 2 เซนติเมตร ความยาว 1.20 เมตร แล้วนำมาผูกด้วยเชือกให้เป็นสี่เหลี่ยมเพื่อใช้เป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริม ต้องเตรียมวัสดุเพื่อทำแบบหล่อแท่งตัวอย่างวัสดุที่นำมาทำแบบหล่อแท่งตัวอย่างโดยใช้ไม้แบบขนาด 0.15 x 0.15 x 4.00 เมตร มาตั้งแบบให้ได้ตามขนาดมาตรฐาน และแบบปิดหัวหลักนำทาง ขนาด 0.15 x 0.15 x 0.05 เมตร ตามรูปที่ 2 และ 3

รูปที่ 2 ไม้ไผ่ใช้เป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริม

รูปที่ 3 แบบหล่อแท่งตัวอย่าง

2) ผสมคอนกรีต

นำเอาอัตราส่วนที่ได้ออกแบบส่วนผสมใน 1 ลูกบาศก์เมตร มาหาปริมาตรที่จะใช้จากนั้นผสมในแบบหล่อตัวอย่าง จากการศึกษาในครั้งนี้ใช้แบบตัวอย่างทั้งหมด 15 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดลองหาค่าการดูดซึม และค่ากำลังแรงดัด วิธีการหล่อตัวอย่างคอนกรีตแสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 4 หล่อตัวอย่างคอนกรีต

3) ส่วนผสมคอนกรีต

ออกแบบส่วนผสมตามวิธีของ ACI - 211.1-91 [10] โดยการใช้เปลือกหอย ดังแสดงแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีต (กิโลกรัม)

ปูนซีเมนต์	เปลือกหอยแมลงภู่	ทราย	น้ำ	รวม
200	616	496.8	160	1472.8

2.2.3 การบ่มและทดสอบแท่งคอนกรีต

ทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C39 [11] ทดสอบกำลังรับแรงดัดอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C78 [12] และทดสอบหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642 [13]

หล่อแท่งตัวอย่างคอนกรีต 15 แท่งตัวอย่าง และปล่อยทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัว และถอดแบบออก หลังจากนั้นทำการบ่มคอนกรีต โดยใช้วิธีการบ่มคอนกรีตด้วยแผ่นพลาสติกหุ้มแท่งตัวอย่าง ตามรูปที่ 5 ปล่อยทิ้งไว้ให้ได้อายุของแท่งตัวอย่างที่บ่มไว้ ที่อายุ 7, 14, 21 และ28 วัน เพื่อนำแท่งตัวอย่างมาทำการทดสอบกำลังอัด หาค่าการดูดซึม และหากำลังแรงดัด

รูปที่ 5 การบ่มแท่งตัวอย่าง

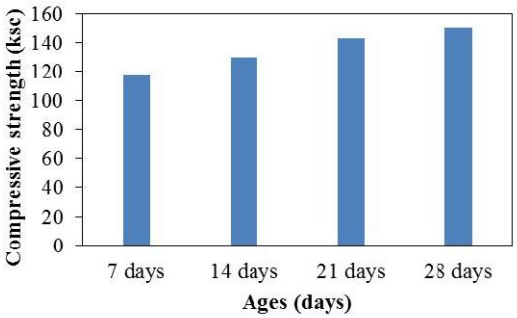
นำแท่งตัวอย่างคอนกรีตทดสอบวางบนฐานรองรับคานทดสอบ ซึ่งบนฐานรองรับจะมีแท่นโลหะผิวโค้ง (Steel Road และ Steel Ball) สองท่อนไว้รับแท่งทดสอบ เพื่อจัดให้เป็นระยะห่างของจุดรองรับ แล้วจัดให้ฐานรองรับแท่งทดสอบอยู่แนวศูนย์กลางและสมดุลบนแท่นกดตัวล่างของเครื่องทดสอบให้เรียบร้อย รูปที่ 6

รูปที่ 6 การทดสอบหากำลังรับแรงดัด

3. ผลการวิจัย

3.1 กำลังอัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดแสดงในรูปที่ 7 พบว่า คอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่ โดยใช้ไม้ไผ่เสริมเป็นโครงสร้าง มีการพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่องตามอายุการทดสอบ เช่น ที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน กำลังอัดมีค่าเท่ากับ 115, 130, 145 และ 150 กก/ซม^2 ตามลำดับ เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอายุการทดสอบ [5, 14-15] เมื่อพิจาณาที่อายุการทดสอบ 28 วัน พบว่า กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่ โดยใช้ไม้ไผ่เสริมเป็นโครงสร้างและคอนกรีตเสริมเหล็ก มีค่าเท่ากับ 150 และ 240 กก/ซม^2 ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีต

3.2 กำลังแรงดัดของคอนกรีต

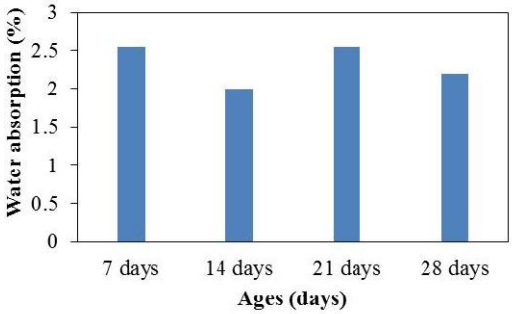
ทดสอบหาค่ากำลังแรงดัด ของคอนกรีต ที่อายุ 7, 14, 21 และ 28 วัน โดยใช้แรงกระทำเป็นจุดที่กึ่งกลางแท่งตัวอย่างทดสอบ (Center-Point Loading) ซึ่งมีขนาด 15.00 x 15.00 x 120.00 เซนติเมตร โดยจุดนี้จะเป็นตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 2 ช่วงเท่าๆกัน ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 2 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังรับแรงดัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามอายุการทดสอบ ส่วนในตารางที่ 3 พบว่า ที่อายุ 28 วัน ค่ากำลังรับแรงดัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่ มีค่าเท่ากับ 88.80 และ 43.80 กก/ซม^2

ตารางที่ 2 กำลังแรงดัดของคอนกรีต

อายุทดสอบ (วัน)	กำลังรับแรงดัด (กก/ซม^2)
7	38.06
14	39.88
21	41.74
28	43.80

3.3 ร้อยละการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำแสดงในรูปที่ 8 พบว่า ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลงที่อายุ 28 วัน เนื่องจากผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น [5] ส่วนในตารางที่ 3 พบว่า ที่อายุ 28 วัน ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแท่งตัวอย่างคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่ มีค่าเท่ากับ 2.74 และ 2.78 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำกับกำลังอัดพบว่า เมื่อร้อยละการดูดซึมน้ำมีค่าน้อย ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าสูงขึ้น อาจเนื่องจากความพรุนในคอนกรีตมีค่าน้อยจึงทึบแน่นขึ้น การซึมผ่านได้ยาก



รูปที่ 8 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของหลักนำทางที่อายุ 28 วัน

รายการทดสอบ	หลักนำทางคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป	หลักนำทางคอนกรีตผสมเปลือกหอยแมลงภู่ใช้ไม้ไผ่เป็นโครงสร้าง
กำลังอัด (กก /ซม^2)	240	150
การรับแรงดัด (กก /ซม^2)	88.80	43.80
ร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)	2.74	2.78

3.4 เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิต

เนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้บางอย่างได้มาจากสิ่งที่เหลือใช้และบางอย่างได้มาจากวัสดุตามธรรมชาติซึ่งมีราคาถูก ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า หลักนำทางที่ผสมเปลือกหอยแมลงภู่โดยใช้ไม้ไผ่เป็นโครงสร้างแทนเหล็กเสริมสามารถประหยัดเงินได้ถึง 67.90 บาท ซึ่งทำให้ช่วยลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งเกิดความสะดวกในการติดตั้ง ซึ่งเป็นการนำของเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์และสามารถลดมลภาวะด้านขยะลงได้

ตารางที่ 4 ราคาต้นทุนการผลิตต่อหลักนำทาง 1 ต้น

ราคาต้นทุนหลักนำทางคอนกรีตทั่วไป			ราคาต้นทุนหลักนำทางผสมเปลือกหอยแมลงภู่ใช้ไม้ไผ่เป็นโครงสร้าง		
วัสดุ	จำนวน	ราคา	วัสดุ	จำนวน	ราคา
ปูนซีเมนต์	8.64 กก.	20.30 บาท	ปูนซีเมนต์	5.40 กก.	12.69 บาท
หิน ½	23.22 กก.	7.63 บาท	เปลือกหอยแมลงภู่	16.63 กก.	-
ทราย	11.61 กก.	4.35 บาท	ทราย	13.39 กก.	5.02 บาท
เหล็ก 9 มม.	4.40 ม.	55.00บาท	ไม้ไผ่	1.00 ม.	1.67บาท
รวมราคา /ต้น (ค่าวัสดุ)		87.28 บาท	รวมราคา / ต้น(ค่าวัสดุ)		19.38 บาท

4. สรุปผล

จากผลการทดลอง คุณสมบัติและประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่ โดยใช้ไม้ไผ่เสริมเป็นโครงสร้างเพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง พบว่าสามารถนำมาใช้งานแทนหลักนำทางคอนกรีตเสริมเหล็กได้ เนื่องจากการทดลองแท่งตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่โดยใช้ไม้ไผ่เสริมเป็นโครงสร้างมีค่ากำลังอัดได้ดี การซึมผ่านน้ำใกล้เคียงกับหลักนำทางคอนกรีตทั่วไป และมีค่ากำลังแรงดัดน้อยกว่าหลักนำทางคอนกรีตเสริมเหล็กประมาณครึ่งหนึ่ง ช่วยลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้ได้มาจากสิ่งที่เหลือใช้ นอกจากนั้น ยังมีน้ำหนักเบากว่าหลักนำทางคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้สะดวกที่จะนำไปติดตั้งซึ่งนับได้ว่าเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้ มาทำให้เกิดประโยชน์ หอยแมลงภู่หลังจากที่นำเนื้อหอยไปใช้ประโยชน์แล้ว เปลือกหอยจะถูกนำไปทิ้งไว้จะเกิดการเน่าเหม็นทำให้เกิดมลภาวะ เมื่อเรานำเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้ให้เป็นประโยชน์ก็สามารถลดมลภาวะลงไปได้

5. ข้อเสนอแนะ

เปลือกหอยแมลงภู่ที่นำมาใช้ในการทดลองแทนวัสดุมวลหยาบ ควรจะบดให้แตกไม่ควรนำไปผสมคอนกรีตทั้งเปลือก เพื่อลดช่องว่างของเปลือกหอยให้น้อยลงจะได้ช่วยลดปริมาณทรายผสมคอนกรีตที่ไปอุดในช่องว่างของเปลือกหอยแมลงภู่ ซึ่งจะทำให้ลดน้ำหนักของหลักนำทางที่ อีกทั้ง อาจจะใช้เปลือกหอยอย่างอื่น เช่น เปลือกหอยแคลง เปลือกหอยขมหรืออาจใช้วัสดุอย่างอื่นมาแทนวัสดุมวลหยาบ เช่น วัสดุที่หาได้จากธรรมชาติ ได้แก่ เมล็ดพุทรา เปลือกลูกจาก เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Bureau of Highway Safety, Department of Highways, “Highway Safety Hand Book”, Traffic Engineering 2006, pp. 1-52 (in Thai).

[2] S. Rukzon and C. Chindaprasirt, “Use of ternary blend of Portland cement and two pozzolans to improve durability of high-strength concrete”, KSCE Journal of Civil Engineering 18, 2014, pp. 1745-1752.

[3] S. Rukzon and C. Chindaprasirt, “Utilization of bagasse ash in high-strength concrete”, Materials and Design 34, 2011, pp. 45-50.

[4] P. Chindaprasirt, C. Chottitanorm and S. Rukzon, “Use of palm oil fuel ash to improve chloride and corrosion resistance of high-strength and high-workability concrete”, Journal of Materials in Civil Engineering 23, 2011, pp. 499-503.

[5] S. Rukzon and C. Chindaprasirt, “Strength, porosity and chloride resistance of mortar using combination of two kinds of the pozzolanic materials”, International Journal Mineral Metallurgy Materials 20, 2013, pp. 808-814.

[6] P. Chindaprasirt and N. Buapa and H.T. Cao, "Mixed Cement Containing Fly Ash for Masonry and Plastering Work", Construction and Building Materials 19, 2005, pp. 612-618.

[7] B. Paloma, M. Isabel, M. Julián and S. Luis, "Use of limestone obtained from waste of the mussel cannery industry for the production of mortars", Cement and Concrete Research 37, 2007, pp. 559-564.

[8] Green mussel, Available at internet website http://www.fisheries.go.th/ Department of Fisheries (in Thai)

[9] ASTM C150, "Standard Specification for Portland cement", Annual Book of ASTM Standards 04.01, 2005, pp. 144-149.

[10] ACI 211.4R, "Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland and Fly ash", ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Michigan 2000.

[11] ASTM C39, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", ASTM Standard 04.02, 2005, pp. 21-27.

[12] ASTM C78, "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)", Annual Book of ASTM Standards 04.01, 2001, pp. 32-34.

[13] ASTM C642, "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", Annual Book of ASTM Standards 04.02, 2005, pp. 338-340.

[14] S. Rukzon, P. Chindaprasirtand R. Mahachai, "Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash", International Journal Mineral Metallurgy Materials 16, 2009, pp. 245-247.

[15] G.C. Isaia, A.L.G. Gastaldini and R. Moraes, "Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete", Cement and Concrete Composites 25, 2003, pp. 69-76.