การพัฒนารูปแบบปะการังเทียมระบบถอดประกอบได้โดยคอนกรีตเสริมเหล็กและวัสดุประกอบเสริมไฟเบอร์ยึดด้วยสลักซุปเปอร์ลีน

วิทวัส สิทธิกูล[1] ณรงค์เดช อินทรัตน์ชัยกิจ[1] ศตวรรษ หฤหรรษพงศ์[2*] ปรัชญา ยอดดำรงค์[2]
ทศพร ประเสริฐศรี[2] จิรวัฒน์ จันทร์เรือง[2] ภัทรสุดา โพธิ์ศรี[2]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
และ ประไพพรรณ สิทธิกูล[3]
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

** Corresponding Author: wat_gus@hotmail.com*
[1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
[2] อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
[3] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร

ข้อมูลบทความ **บทคัดย่อ**

ประวัติบทความ :
รับเพื่อพิจารณา : 9 กุมภาพันธ์ 2564
แก้ไข : 12 กุมภาพันธ์ 2565
ตอบรับ : 21 กุมภาพันธ์ 2565
DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.6

คำสำคัญ :
ปะการังเทียม / คอนกรีตเสริมเหล็ก / นิเวศวิทยา / ระบบนิเวศทางทะเล

บทความนี้นำเสนอการพัฒนารูปแบบปะการังเทียมแบบถอดประกอบได้ โดยเสริมโครงสร้างคอนกรีตด้วยวัสดุประกอบเสริมไฟเบอร์ ทั้งนี้ได้พัฒนาออกแบบปะการังเทียม 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบอุเทนถวาย 4, 5 และ 6 โดยใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเสริมเส้นใยและเสริมพลาสติก ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 ออกแบบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้เท่ากับ 210 กก./ซม.^{2} เสริมเหล็กเส้นกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. (RB9) ส่วนการยึดชิ้นส่วนปะการังเทียมใช้สลักซุปเปอร์ลีนที่มีความแข็ง 70 ชอร์ดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ปะการังเทียมอุเทนถวาย 4, 5 และ 6 มีน้ำหนักประมาณ 450, 285 และ 180 กก. ตามลำดับ จากผลการทดสอบ พบว่า อุเทนถวาย 6 มีกำลังต้านทานแรงดัดสูงสุด ส่วนกำลังต้านทานแรงเฉือน พบว่า อุเทนถวาย 4 มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น ๆ ในแง่ของการจัดวางปะการังเทียมลงทะเล วางรูปแบบอุเทนถวาย 4 และ 5 จำนวน 35 และ 38 ก้อน ตามลำดับ จากการสำรวจทางนิเวศวิทยาทางทะเล 4 ครั้ง พบว่า ปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 ที่สำรวจพบ 20 ตัว ไม่มีการวิบัติใด ๆ ทั้งสิ้น ส่วนปะการังเทียมอุเทนถวาย 5 ที่สำรวจพบ 31 ตัว เกิดการวิบัติ 19 ตัว และพบปลาจำนวน 32 ชนิด และ 17 ชนิด ตามลำดับ ปะการังเทียมมีประสิทธิภาพในการดึงดูดปลาทะเลและสิ่งมีชีวิตยึดเกาะติดได้ดี งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าปะการังเทียมคอนกรีตแบบถอดประกอบได้ที่ยึดประกอบกันด้วยสลักซุปเปอร์ลีนมีศักยภาพที่จะนำมาใช้สร้างบ้านให้ปลา อีกทั้งยังกระตุ้นการมีส่วนร่วมและอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลได้

Development of Knockdown Artificial Reef Designs Using Reinforced Concrete and Fiberglass Reinforced Plastic Fastened with Superlene Bolts

Wittawat Sittigool[1], Narongdej Intaratchaiyakit[1], Sattawat Haruehansapong[2*], Pruchaya Yoddumrong[2], Tosporn Prasertsri[2], Jirawat Junruang[2], Phattrasuda Phosri[2]
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Uthenthawai Campus, Bangkok 10330
and Prapaiphun Sittigool[3]
Rajamangala University of Technology Suwanabhumi, Huntra Center, Ayuthaya 13000

[*] Corresponding Author: wat_gus@hotmail.com
[1] Assistant Professor Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture.
[2] Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture.
[3] Department of Animal Science, Faculty of Agricultural-Industry Technology Management.

Article Info

Article History:
Received: February 9, 2021
Revised: February 12, 2022
Accepted: February 21, 2022
DOI : 10.14456/kmuttrd.2022.6

Keywords:
Artificial Reef /
Reinforced Concrete /
Ecology /
Marine Ecosystem

Abstract

This article presents the development of knockdown artificial reef designs using fiberglass reinforced plastic and reinforced concrete. Three artificial reef designed, named as Uthenthawai 4, 5 and 6, were developed. The artificial reefs used in this study were made of reinforced concrete, fiber-reinforced concrete, and fiber-reinforced plastic. The concrete with compressive strength of 210 kg/cm^2 was prepared using Portland cement type V and 9-mm diameter reinforced round steel bar (RB9). Superlean bolts, which were used to join artificial reef fragments, exhibited a hardness value of 70 Shore D and diameter of 25 mm. The artificial reefs Uthenthawai 4, 5, and 6 weighed around 450, 285, and 180 kg, respectively. According to the test results, Uthenthawai 6 had the maximum flexural strength. In terms of shear strength, Uthenthawai 4 was noted to have the highest value when compared with those of the other designs. Thirty-five and thirty-eight pieces of Uthenthawai 4 and 5, respectively, were sent to the sea. Ecological investigation revealed that of the 20 Uthenthawai 4 discovered, none suffered any collapse. In the case of Uthenthawai 5, 31 were discovered; 19 were damaged. Thirty two and seventeen species of fish were observed within the vicinity of both designs, respectively. Such observations confirm that Uthenthawai 4 and 5 can effectively attract marine lives and coverage. The study also reveals that the knockdown artificial reefs connected together with superlene bolts have a potential to be used as a residential community for marine lives and can take part in the conservation of the marine ecosystem.

1. บทนำ

จากข้อมูลสถิติการประมงแห่งประเทศไทย [1] ปริมาณการจับสัตว์น้ำเค็มจากธรรมชาติในช่วง 20 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2541-2560 ลดลงเรื่อยมาจากปริมาณ 2,709,000 ตัน ใน พ.ศ. 2541 ลดลงเหลือ 1,300,400 ตัน ใน พ.ศ. 2560 โดยมีปริมาณการจับลดลงเฉลี่ยในอัตราร้อยละ 3.54 ต่อปี ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดประการหนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณอาหารทะเลที่เคยอุดมสมบูรณ์ในอดีตได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เร่งฟื้นฟูทะเลไทย เช่น การสร้างแหล่งที่อยู่อาศัยให้สัตว์น้ำ การอนุรักษ์ ตลอดจนการสร้างจิตสำนึกให้ทำการประมงอย่างมีความรับผิดชอบ และการจัดการประมงทะเลอย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงการให้ประชาชนมีส่วนร่วม ในขณะเดียวกันการตรวจติดตามสภาพความสมบูรณ์ของแนวปะการังฝั่งทะเลอันดามัน Hansa และคณะ [2] พบว่า ในภาพรวมแนวปะการังฝั่งทะเลอันดามันร้อยละ 50 อยู่ในสภาพเสื่อมโทรมถึงเสื่อมโทรมมาก เนื่องจากภาวะโลกร้อน สะท้อนให้เห็นถึงความเสื่อมโทรมของทะเลไทยเป็นอย่างมาก จากงานวิจัย Supongpun [3] รายงานว่าประเทศไทยเคยเจอภาวะปะการังฟอกขาวรุนแรงมาแล้ว 2-3 ครั้ง ตั้งแต่ใน พ.ศ. 2535-2553 ครอบคลุมแทบทุกพื้นที่ในฝั่งอ่าวไทย และฝั่งอันดามัน แนวปะการังบางแห่งขาวโพลนไปทั้งแนว ปะการังเหล่านี้บางส่วนโดยเฉพาะปะการังก้อน อาจฟื้นคืนกลับมาได้ แต่ปะการังอื่น ๆ เช่น ปะการังเขากวาง ปะการังพุ่ม ไม่สามารถฟื้นคืนได้ ปะการังพวกนี้จึงตายและมีจำนวนลดลง ซึ่งเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ทุกฝ่ายจำเป็นต้องร่วมกันแก้ไข ได้มีความพยายามจากหน่วยงานภาครัฐในการฟื้นฟูทรัพยากรทางทะเลหลายวิธี เช่น มีการใช้ตู้รถไฟ รถขนขยะที่ไม่ได้ใช้แล้ว ยางรถยนต์ ท่อและแท่งคอนกรีต ทิ้งลงทะเลเพื่อสร้างแนวปะการังเทียมถูกนำสู่การรับรู้และชื่นชมต่อประชาชนอย่างกว้างขวาง แนวทางการแก้ไขปัญหาการเสื่อมสภาพของสิ่งแวดล้อมและการลดลงของทรัพยากรนั้น ประเทศไทยได้มีการริเริ่มดำเนินการเพื่อฟื้นฟูทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมหลากหลายวิธีเช่น การปล่อยลูกพันธุ์สัตว์น้ำ การกำหนดเขตหรือระยะเวลาทำการประมง การกำหนดพื้นที่คุ้มครองทางทะเล การขยายพันธุ์สัตว์น้ำเพื่อป้องกันการจับสัตว์น้ำวัยอ่อนที่อาศัยในเขตชายฝั่ง และการป้องกันการทำลายพื้นท้องน้ำอันเป็นแหล่งวางไข่สัตว์น้ำ นอกจากนี้ ในช่วงระยะเวลาเกือบ 30 ปีที่ผ่านมา การฟื้นฟูสภาพแวดล้อมใต้ทะเลโดยการวางวัตถุในทะเลหรือปะการังเทียมเป็นโครงการที่ได้รับความสนใจและร่วมมือจากทั้งทางภาครัฐและเอกชน ซึ่งมีจุดประสงค์หลักในการเป็นที่อยู่อาศัยและหลบภัยของสัตว์น้ำ เพื่อเพิ่มจำนวนสัตว์น้ำให้มากขึ้น โดยเฉพาะในเขตชายฝั่ง ในระยะหลัง พบว่า ปะการังเทียมสามารถเพิ่มมูลค่าและรายได้ให้แก่ประชาชนในพื้นที่ โดยนอกจากช่วยในการอนุรักษ์ฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวใต้ทะเลและสามารถดึงดูดนักดำน้ำให้เข้ามาท่องเที่ยวในพื้นที่ได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการจัดทำปะการังเทียมได้ก่อให้เกิดประโยชน์มากมาย ซึ่งคาดหวังว่า “โครงการจัดสร้างอุทยานการประมงใต้ทะเลไทย” ซึ่งเป็นโครงการจัดสร้างที่อยู่อาศัยให้กับสัตว์น้ำในลักษณะของปะการังเทียมรูปแบบหนึ่งจะสามารถช่วยให้เกิดการฟื้นฟูของทรัพยากรสัตว์น้ำให้อุดมสมบูรณ์ในน่านน้ำไทย สามารถเป็นแหล่งท่องเที่ยว อีกทั้งยังช่วยลดการใช้ประโยชน์ทางทะเลที่ไม่คุ้มค่าและคุ้มทุนอีกด้วย

ปะการังเทียม คือ วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นแหล่งอาศัยของสัตว์ทะเล จัดเป็นสิ่งก่อสร้างที่เอื้อต่อการฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติอันเป็นประโยชน์ต่อการทำประมงการสร้างแหล่งอาศัยของสัตว์ทะเล โดยประเทศญี่ปุ่นและอเมริกา Brock และ Norris [4] เป็นผู้

ริเริ่มวิจัยและพัฒนาการสร้างปะการังเทียม ซึ่งปะการังเทียมได้รับความยอมรับถูกจัดให้เป็นเครื่องมือในการจัดการด้านการประมง โดยทำหน้าที่ในการเพิ่มพื้นที่และผลผลิตด้านทรัพยากรสัตว์น้ำ จากงานวิจัยของ Ronald และ Carrie [5] ได้ระบุวัสดุที่เหมาะสมในการสร้างปะการังเทียมในคู่มือการสร้างปะการังเทียม ได้แก่ เศษแท่งคอนกรีตที่แตกหักจากการก่อสร้าง ยางรถยนต์ ซากรถบรรทุก ซากรถถัง ซากเรือเดินสมุทร ซากแท่นขุดเจาะน้ำมัน ซากเครื่องบิน ซึ่งล้วนเป็นการใช้วัสดุหรือสิ่งก่อสร้างที่ไม่ใช้แล้วให้เป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งวัสดุเหล่านี้ต้องนำมาใช้อย่างระมัดระวัง เพราะอาจก่อให้เกิดมลภาวะทางทะเล จากการสลายตัวของโลหะหนักหรือสารพิษเมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้สร้างปะการังเทียมมากที่สุด คอนกรีตมีสมบัติที่คงทนมีอายุการใช้งานยาวนานแม้ในน้ำทะเลมากกว่า 30–50 ปี นอกจากนี้ ยังสามารถสร้างในรูปแบบที่หลากหลายตามต้องการและพื้นผิวคอนกรีตเหมาะแก่การยึดเกาะและการเจริญเติบโตของปะการัง หอย และพืชน้ำอีกด้วย ข้อเสียของคอนกรีตคือมีการจมตัวสูง โดยเฉพาะในพื้นทรายและพื้นโคลนละเอียด มีน้ำหนักมากทำให้ไม่สะดวกในการขนส่ง และเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง ในงานวิจัย Fitzhardinge และ Bailey [6] พบว่า ปะการังเทียมที่ปลาชอบมากที่สุดเป็นโครงกล่องคอนกรีตขนาดเล็กที่ประกอบกันมีช่องเปิดจำนวนมาก (42 ช่อง) ช่องเหล่านี้เป็นที่หลบซ่อนของปลาอย่างดี และโครงสร้างกล่องเหล่านี้มีสมบัติ ในทางวิศวกรรมที่ทนทาน และคงสภาพในสภาพแวดล้อมที่มีแรงปะทะมาก เช่นในทะเล ส่วนงานวิจัยของ Siripech [7] ได้รายงานการก่อสร้างปะการังเทียมใน อ่าวไทยบริเวณ 4 จังหวัดใต้สุดของประเทศไทย จำนวน 64 แหล่ง พบว่า หลังการก่อสร้าง 2 ปี ท่อคอนกรีตมีการจมตัวมากที่สุด 10-20 เซนติเมตร รองลงมาคือ แท่งลูกบาศก์คอนกรีต จมตัว 5-10 เซนติเมตร และตู้รถไฟบรรทุกสินค้าไม่มีการจมตัวเลย และตรวจพบชนิดของปลาบริเวณลูกบาศก์คอนกรีตมากที่สุด รองลงมาคือตู้รถไฟและท่อคอนกรีต ตามลำดับ จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการออกแบบปะการังเทียมหลายแบบ และใช้วัสดุที่หลากหลายมากขึ้นอยู่กับสภาพความลึก ลักษณะพื้นดินใต้ทะเลและความแรงของน้ำทะเล โดยประเทศญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกามีความก้าวหน้าด้านนี้มาก มีการลงทุนสร้างปะการังเทียมที่สวยงาม ขนาดใหญ่ ซับซ้อน แต่ราคาแพงมาก สำหรับประเทศไทยการออกแบบปะการังเทียมที่สัตว์ทะเลชอบเข้ามาพักอาศัย มีความคงทนถาวรและมีราคาถูกจึงเป็นโจทย์ที่มีความสำคัญมากที่สุด จากศูนย์วิจัยของกรมประมง พบว่า ปะการังเทียมชนิดแท่งคอนกรีตทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์โปร่ง ขนาด 1.50 ตารางเมตร เป็นปะการังเทียมมาตรฐานที่กรมประมงใช้ในการก่อสร้างปะการังเทียมในทะเลมากที่สุด แต่จากปัญหาน้ำหนักของปะการังคอนกรีต ทำให้การขนส่งและการทิ้งลงทะเลต้องใช้เรือประมงและเครนขนาดใหญ่ ทำให้ต้นทุนการสร้างปะการังเทียมสูงมาก [8]

การดำเนินงานโครงการของภาครัฐเกี่ยวกับปะการังเทียมที่ผ่านมา ประสบผลสำเร็จในด้านการสร้างองค์ความรู้ที่สามารถพัฒนาแนวทางการมีส่วนร่วมระหว่างชุมชนกับการพัฒนาโครงการ แต่มีหลายโครงการที่ไม่ประสบผลสำเร็จเนื่องจากไม่คุ้มค่ากับงบประมาณ นอกจากนี้ โครงการส่วนใหญ่ยังไม่มีการศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงวิศวกรรมในการสร้างสิ่งก่อสร้างในทะเล ซึ่งจัดเป็นอุปสรรคสำคัญที่ต้องเผชิญอยู่เสมอ หากมีการศึกษาความเป็นไปได้ของแต่ละโครงการ ผลลัพธ์ที่ได้จากแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้ดังกล่าวข้างต้น จะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจให้

มีการพัฒนาเกี่ยวกับปะการังเทียมให้มีศักยภาพมากขึ้น ทั้งในด้านการอนุรักษ์ฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม ด้านการเพิ่มจำนวนสัตว์น้ำเพื่อการประมง และที่สำคัญที่สุดคือด้านความมั่นคงแข็งแรงจนสามารถอยู่คู่กับทะเลได้อย่างยั่งยืนตลอดไป อย่างไรก็ตามคณะผู้วิจัยเชื่อว่าหากมีการสนับสนุนข้อมูลความรู้ระหว่างนักวิชาการ ผู้เชี่ยวชาญ รวมถึงความร่วมมือกันระหว่างสถาบันการศึกษาและหน่วยงานรัฐที่เกี่ยวข้องจะสามารถแก้ไขอุปสรรคเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามเพื่อให้การศึกษานี้ได้เกิดขึ้นคณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำแนวทางการศึกษาโดยผู้วิจัยจึงออกแบบปะการังเทียมคอนกรีตทางวิศวกรรมที่มีขนาดเหมาะสมต่อสัตว์ทะเล และมีน้ำหนักที่เบาพอที่คนจะยกลงเรือเล็กและนำไปปล่อยลงทะเลได้ด้วยตนเอง เป็นการสร้างอาชีพให้ช่างก่อสร้างรายย่อย และเพิ่มการมีส่วนร่วมของทั้งชาวประมงและประชาชนทั่วไปได้เป็นอย่างดี และนำไปสู่การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมทางทะเลได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนารูปแบบปะการังเทียมระบบถอดประกอบได้ (Knockdown) มาจากงานที่ผู้วิจัยเคยทำการศึกษาวิจัยออกแบบรูปแบบปะการังเทียมมาก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากงานวิจัยเดิมที่ใช้โครงสร้างที่เป็นคอนกรีตเพียงอย่างเดียว (รูปแบบอุเทนถวาย 1 2 และ 3) โดยในงานวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้โครงสร้างที่เป็นคอนกรีต และวัสดุประกอบเสริมไฟเบอร์ (FRP) รวมทั้งยึดสลักด้วยซุปเปอร์ลีน (Superlene) ให้มีความแข็งแรง ทนทาน ปะการังเทียมไม่จมตัวลงในพื้นดินใต้ทะเลมากเกินไป ไม่มีผลเสียต่อสภาพแวดล้อมธรรมชาติในระยะยาว สามารถก่อสร้างได้ง่าย ขนาดเล็ก ประกอบง่าย น้ำหนักเบา และมีราคาที่ถูกกว่า จากงานวิจัยในการออกแบบปะการังเทียมมาก่อนหน้านี้ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการดึงดูดฝูงปลาได้ดี สามารถลำเลียงขนส่งบนเรือประมงขนาดเล็กถึงปานกลางซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากได้ รวมทั้งยังสามารถจัดวางปะการังเทียมไปยังที่หมายได้เองในที่สุด เพื่อเป็นทางเลือกใหม่และทดแทนปะการังเทียมมาตรฐานของหน่วยงานภาครัฐจากกรมประมงเดิม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทำปะการังเทียม

คอนกรีต ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ที่สามารถทนทานต่อน้ำทะเล โดยค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ 210 กก./ซม.^{2} เหล็กเสริม ใช้เหล็กกลมชั้นคุณภาพ SR 24 คือมีความสามารถรับกำลังที่จุดคลากไม่น้อยกว่า 2,400 กก./ซม.^{2} เลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 9 มม. (RB 6 และ RB 9) พลาสติกวิศวกรรม (Superlean nylon, SN) เป็นวัตถุทึบแสงสีขาว มีความแข็ง เหนียว เหมาะสำหรับงานที่รับแรงมาก ๆ ทนทานต่อการกัดกร่อนและการเสียดสี โดยเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. พลาสติกเสริมไฟเบอร์ (Fiber reinforced plastic, FRP) โดยใช้กรรมวิธีผลิตแบบ พัลทรูชัน สามารถสร้างเป็น ทรงหลอด หรือทรงกล่องท่อสี่เหลี่ยมที่มีความหนา 5 มม. สำหรับนำมาทำปะการังเทียมได้ โดยเลือกใช้ทรงหลอด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 10 มม. มาแทนเหล็กเสริม แสดงดังรูปที่ 1

2.2 ขั้นตอนการออกแบบปะการังเทียม

ออกแบบรูปร่างและรายละเอียดชิ้นส่วนปะการังเทียม 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 2 และ 3 โมเดลอุเทนถวาย 4 เป็นปะการังเทียมชนิดแท่งคอนกรีตเสริมเหล็กทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์โปร่ง (รูปที่ 2ก และ 3ก) ขนาด 1.20 x 1.20 x 1.20 เมตร และโมเดลอุเทนถวาย 5 เป็นปะการังเทียมแท่งคอนกรีตเสริมแท่งหลอด FRP (รูปที่ 2ข และ 3ข) ทรงสามเหลี่ยมหัวกระโจม

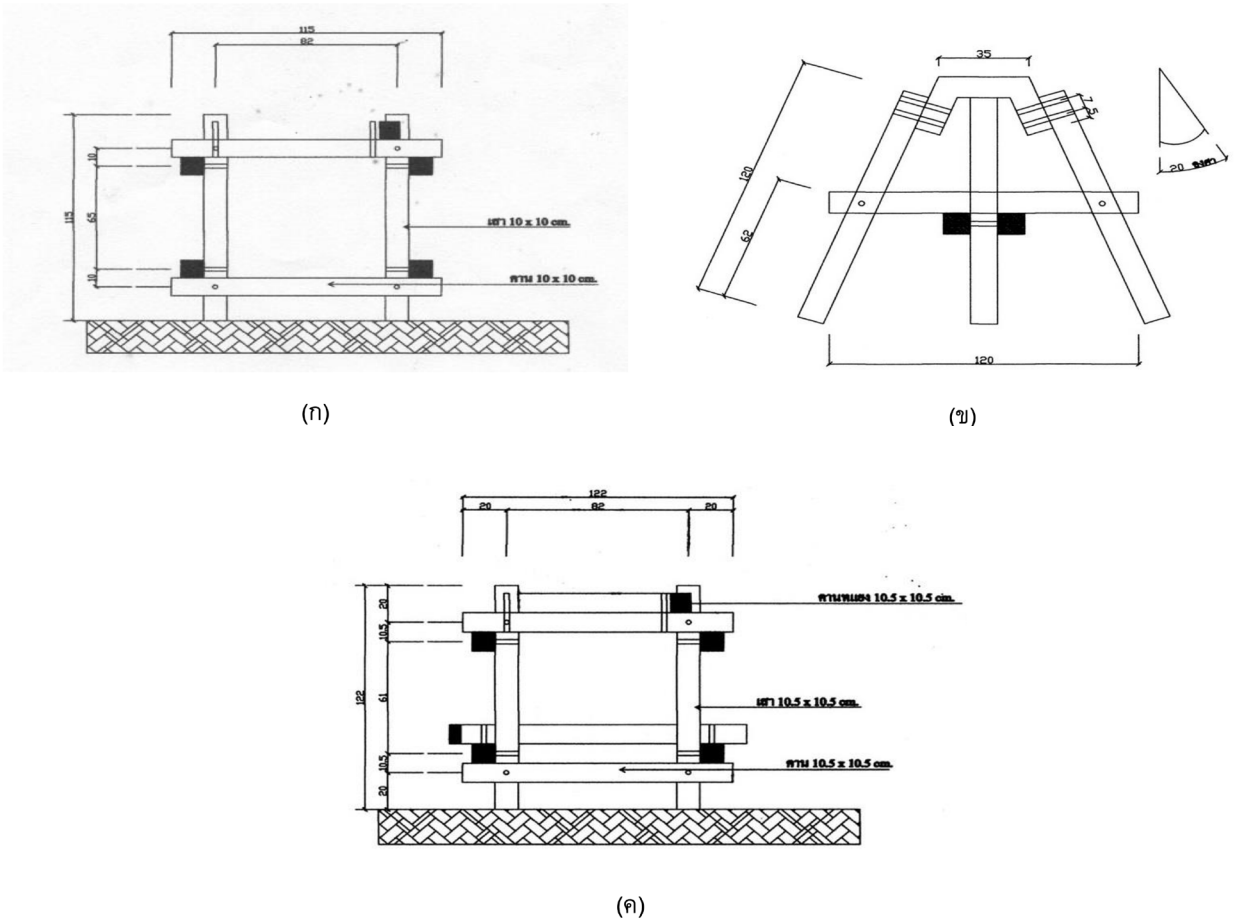
(ทรงปิระมิด) 1.20 x 1.20 x 1.20 ม. ส่วนโมเดลอุเทนถวาย 6 เป็นปะการังเทียมแท่ง FRP (รูปที่ 2ค และ 3ค) ทุกโมเดลสามารถถอดประกอบได้ ยึดชิ้นส่วนด้วยสลัก SN โดยแสดงขนาดรูปด้านปะการังเทียมดังรูปที่ 3 และแสดงรูปหน้าตัดของชิ้นส่วนปะการัง ดังรูปที่ 4 โดยเลือกวัสดุ ออกแบบรูปร่างชิ้นส่วนและโครงสร้างการก่อสร้าง และทำการทดสอบทุกชิ้นส่วนจนกว่าจะได้ชิ้นส่วนปะการังเทียมทุกชิ้นมีความแข็งแรง ทนทาน รับน้ำหนักได้มากกว่าน้ำหนักของปะการังเทียมรวมทั้งชิ้นส่วน ตั้งแต่ 2 เท่าขึ้นไป เพื่อความปลอดภัย ป้องกันความเสียหาย ขณะลำเลียง ขนส่ง จัดวางลงสู่ทะเล รูปแบบปะการังเทียมโมเดลอุเทนถวาย 4 5 และ 6 โดยมีน้ำหนักประมาณ 450 285 และ 180 กก. แสดงดังรูปที่ 2ก 2ข และ 2ค ตามลำดับ

(ก) (ข)

รูปที่ 1 วัสดุประกอบพลาสติก (FRP) (ก) ทรงลูกบาศก์ (ข) ทรงหลอด

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 แบบปะการังเทียม (ก) อุเทนถวาย 4 (ข) อุเทนถวาย 5 (ค) อุเทนถวาย 6



(ก) (ข)

(ค)

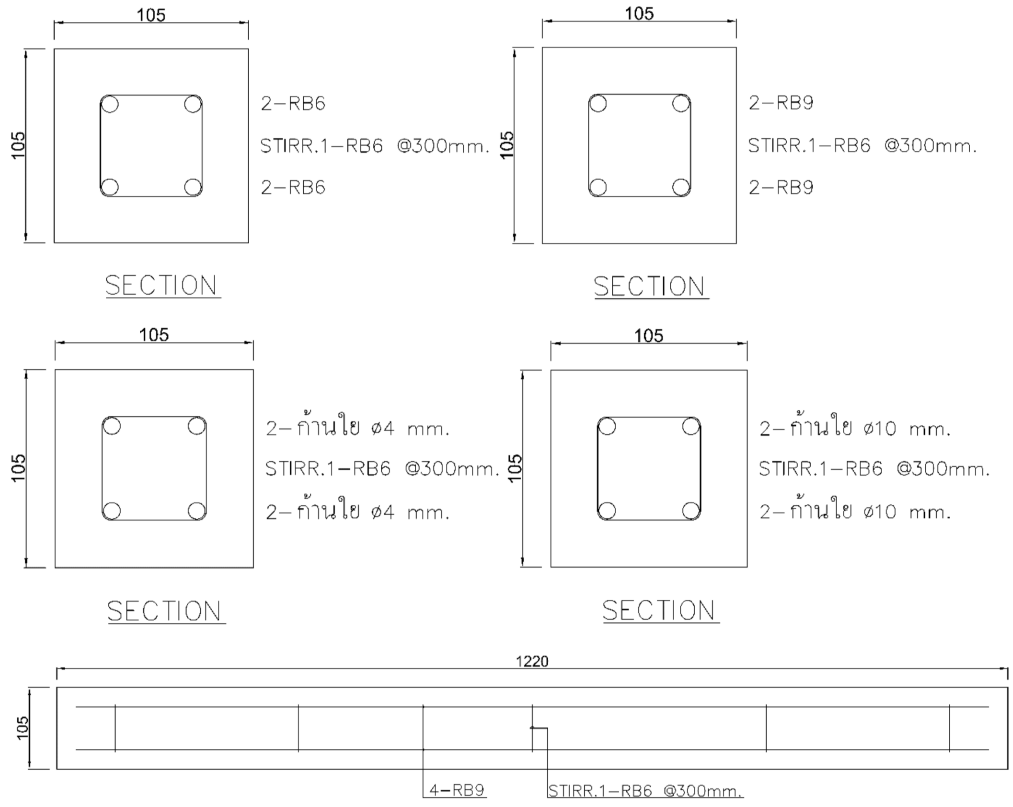
รูปที่ 3 รายละเอียดรูปด้านของปะการังเทียม (ก) อุเทนถวาย 4 (ข) อุเทนถวาย 5 (ค) อุเทนถวาย 6

3. ขั้นตอนการทดสอบปะการังเทียม

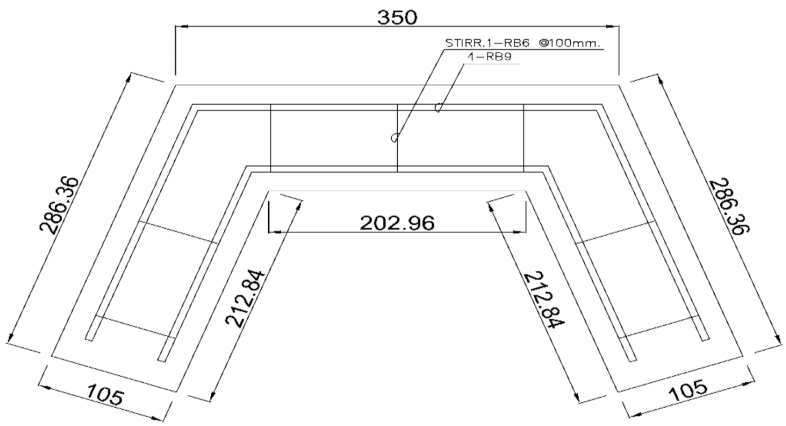
เนื่องจากคอนกรีตเสริมเหล็กมีสมบัติเด่นทางวิศวกรรมด้านกายภาพหลายด้าน สมบัติความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเป็นสมบัติที่เด่นที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติทางกลอื่น ๆ เช่น ความต้านทางแรงเฉือน ความต้านทานแรงดัด และความต้านทานแรงดึง ซึ่งในงานวิจัยนี้สมบัติของชิ้นส่วนปะการังเทียมที่สำคัญและต้องทำการทดสอบเพื่อหาสมบัติทางวิศวกรรม มาใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ เพื่อประกอบการพัฒนาการใช้งานปะการังเทียมต่อไป ซึ่งทำการทดสอบหากำลังต้านทานประกอบด้วยกัน 2 ด้านคือ กำลังต้านทานแรงดัด และกำลังต้านทานแรงเฉือน โดยรายละเอียดทฤษฎีที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.1 กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural strength)

เพื่อหากำลังต้านทานแรงดัดของชิ้นส่วนปะการังเทียม ซึ่งประยุกต์การทดสอบมาจากข้อกำหนดการทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง ชิ้นส่วนปะการังเทียมมีลักษณะคานเชื่อมต่อกัน ปลายชิ้นส่วนต่อกับปลายชิ้นส่วน ทำให้มีพฤติกรรมการรับแรงเหมือนคาน



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 รายละเอียดรูปหน้าตัดของชิ้นส่วนปะการังเทียม
ก) ชิ้นส่วนคานยาวอุเทนถวาย 4 5 และ 6 ข) ชิ้นส่วนคานอุเทนถวาย 5

คอนกรีตเสริมเหล็ก ผลของการทดสอบที่ได้จะทำให้ทราบค่าความต้านทานแรงดัด วิธีการทดสอบเลือกใช้วิธีการให้น้ำหนักกระทำวิธี Four-Point Bending แสดง ดังรูปที่ 5ก ที่กึ่งกลางชิ้นส่วนตัวอย่างแบบ 2 จุด เพื่อให้ค่า Bending Moment ช่วงกลางคานระยะ L/3 มีค่าเท่ากันตลอด โดยมีจุดรองรับที่ปลายตัวอย่างทั้งสองข้างเป็นการจำลองโครงสร้างคานแบบง่าย ซึ่งมีลักษณะการรับแรงเสมือนชิ้นส่วนปะการังเทียมที่ใช้งานจริง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1399 [9] สามารถนำมาคำนวณค่าความต้านทานแรงดัดได้ดังสมการที่ 1 ดังนี้

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (1)$$

โดยที่

σ = ความเค้นดัด (กก./ซม.^{2})

M = โมเมนต์ดัด (กก.ซม.)

c = ระยะกึ่งกลางความสูงคาน (h/2) (ซม.)

I = โมเมนต์ความเฉื่อย (ซม.^{4})

3.2 กำลังต้านทานแรงเฉือน (Shearing strength)

นอกจากแรงดัดที่สามารถทำให้ชิ้นส่วนปะการังเทียมสามารถวิบัติได้แล้วยังมี แรงกระทำจากภายนอกที่สามารถทำให้ตัวสลักที่ยึดชิ้นส่วนของปะการังเทียมสามารถวิบัติได้ในลักษณะการวิบัติด้วยแรงเฉือน ซึ่งตัวสลักยึดที่เป็นวัสดุ SN มีความสารถรับแรงเฉือนได้ ทดสอบโดยใช้สลัก SN Ø 25 มม.เป็นตัวยึดกับชิ้นส่วน โดยอ้างอิงการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6916 [10] ด้วยการกดน้ำหนักลงที่เสาโดยตรง แสดงดังรูปที่ 5ข โดยสามารถนำมาคำนวณค่าความต้านทานแรงเฉือนได้ดังสมการที่ 2 ดังนี้

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2)$$

โดยที่

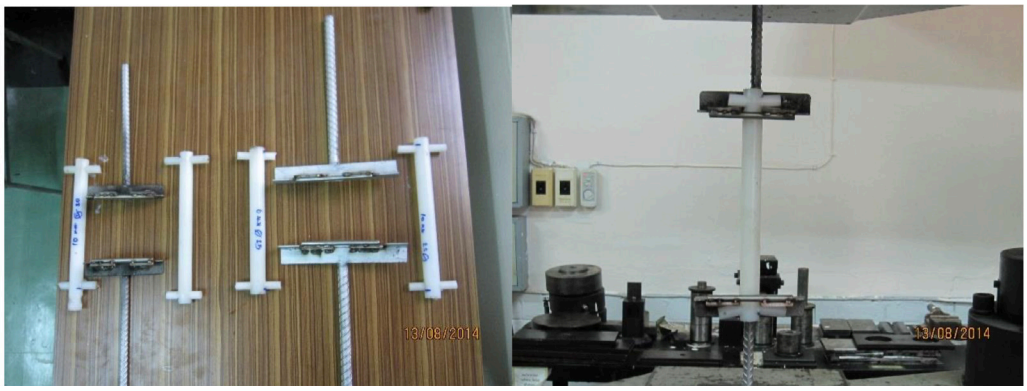
τ = กำลังต้านทานแรงเฉือน (กก./ซม.^{2})

V = น้ำหนักแรงกด (กก.)

A = พื้นที่หน้าตัดของสลักยึด (ซม.^{2})

(ก) (ข)

รูปที่ 5 การทดสอบชิ้นส่วนปะการังเทียม (ก) ทดสอบแรงดัด (ข) ทดสอบแรงเฉือน



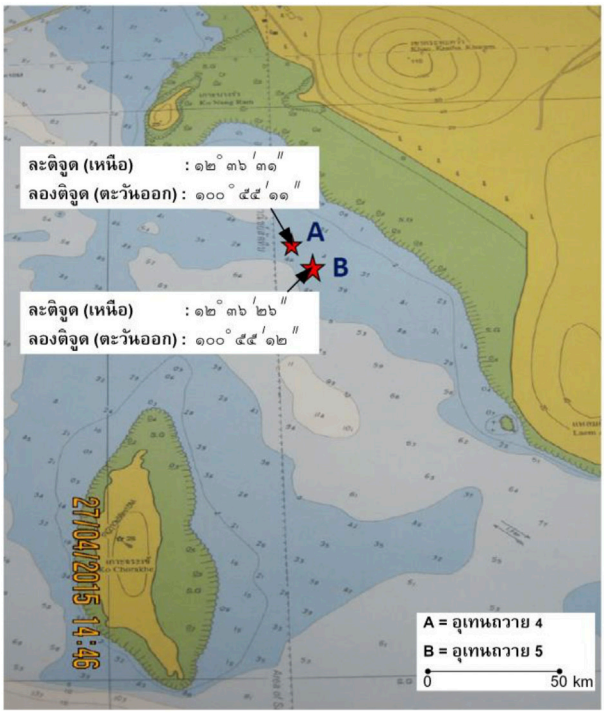
รูปที่ 6 การทดสอบแรงดึงของสลัก Superlean Nylon

3.3 การทดสอบแรงดึงของสลัก SN

ดัดแปลงเครื่องมือเพื่อทดสอบแรงดึง สำหรับใช้แรงดึงสลัก SN โดยใช้งานร่วมกับเครื่องทดสอบแรงดึงแบบ Universal ตามมาตรฐาน ASTM D638 สำหรับ SN ขนาด 20 และ 25 มม. เป็นสลักแกนที่ทำหน้าที่เสียบทะลุผ่านแท่งคอนกรีต และสลักเดือยขนาด 12 มม. ทำหน้าที่เสียบทะลุตัวสลักแกน ทำหน้าที่ป้องกันสลักแกนหลุดออก โดยมีระยะห่างจากปลายสลักแกนที่ระยะ 6 และ 10 มม. ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6

3.4 การกำหนดตำแหน่งจัดวางปะการังเทียม

การเลือกพื้นที่จัดวางปะการังเทียมมีความสำคัญอย่างมากต่อการเก็บข้อมูลงานวิจัย เพื่อให้งานวิจัยสัมฤทธิ์ผล จำเป็นต้องเก็บรวบรวบข้อมูลในระยะยาวต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายปี เพื่อศึกษาทั้งความมั่นคงแข็งแรงของตัวปะการังเทียมเอง และการพัฒนาของทั้งจำนวนสิ่งมีชีวิตและสิ่งมีชีวิตเกาะติด การคัดเลือกพื้นที่จัดวางปะการังเทียมจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก ทางผู้วิจัยได้คัดเลือกพื้นที่หลายแหล่ง โดยพื้นที่ที่น่าจะมีความเหมาะสมมากที่สุด ได้แก่บริเวณ ท่าเรือจุกเสม็ด อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี ด้วยเหตุผลที่สำคัญเนื่องจากเป็นพื้นที่เขตทหาร ซึ่งมีนโยบายอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเล ไม่อนุญาตให้เรือประมงเข้ามาจับปลาในเขตพื้นที่ทหาร ปะการังเทียมน่าจะปลอดภัยจากการทำประมง ตรงพื้นที่ระหว่าง เกาะนางรำ เกาะจระเข้ และแหลมอ้ายฉาว โดยจัดวางปะการังเทียมเป็นกลุ่มแต่ละแบบ มีระยะห่างกัน 100 เมตร เนื่องจากบริเวณที่วางปะการังเทียมทั้ง 2 จุดเป็นจุดที่มีพื้นที่เป็นพื้นทรายปกคลุม และเป็นแนวร่องน้ำเดียวกันในระดับความลึกระหว่าง 10-13 เมตร โดยจัดวางปะการังเทียมรูปแบบอุเทนถวาย 4 จำนวน 35 อัน และ รูปแบบอุเทนถวาย 5 จำนวน 38 อัน ซึ่งขั้นตอนการประกอบกับการเคลื่อนย้ายปะการังเทียมนั้นตัวปะการังเทียมจะเกิดความเสียหายได้ง่ายจึงต้องระมัดระวัง ส่งผลให้จำนวนตัวอย่างปะการังเทียมมีจำนวนไม่เท่ากันส่วนรูปแบบอุเทนถวาย 6 ไม่มีการจัดวางลงทะเล เนื่องจากว่าน้ำหนักปะการังเทียมที่น้อยเกินไปอาจถูกคลื่นพัดขึ้นสู่ฝั่งได้ ซึ่งระยะวันเวลาที่ปล่อยมีอิทธิพลของกระแสน้ำที่แรงซึ่งในการที่จะปล่อยปะการังให้คงอยู่ได้อย่างน้อยควรจะให้หนักกว่าประมาณ 250 กก. ขึ้นไป โดยมีการสำรวจทางนิเวศวิทยาทางทะเล 4 ครั้ง ที่ระยะเวลา 25 38 48 และ 57 เดือน โดยตำแหน่งการจัดวางปะการังเทียมดังแสดงตาม รูปที่ 7



รูปที่ 7 ตำแหน่งจัดวางปะการังเทียม อุเทนถวาย 4 และ อุเทนถวาย 5 บริเวณท่าเรือจุกเสม็ด อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี

3.5 การเก็บข้อมูลปลาแนวปะการังเทียม

วิธีการศึกษาทำโดยใช้วิธีการบันทึกข้อมูลปลาด้วยกล้องวีดีโอใต้น้ำ (Video Census) ดัดแปลงจากวิธีการของ Hill และ Wilinson [11] ทำการบันทึกภาพวีดีโอแบบต่อเนื่องบนแนวสำรวจ จากนั้นนำภาพวีดีโอมาวิเคราะห์ดูชนิด และความชุกชุมของปลาแต่ละชนิดในปะการังเทียมแต่ละรูปแบบภายในห้องปฏิบัติการทดสอบ

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมของปะการังเทียม

ผลการทดสอบความสามารถรับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก และเสริมเส้นใย ที่ขนาดหน้าตัดคาน ขนาด 10.5 X 10.5 X 122 ซม. ความยาวช่วงพาดของคาน (Span, L) 0.81 เมตร โดยทดสอบเสริมเหล็กเส้นกลม RB6 (แบบ 4-1) และ RB9 (แบบ 4-2) เสริมเส้นใย Rod fiber เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 (แบบ 5-1) และ 10 มม. (แบบ5-2) และพลาสติกเสริมเส้นใย (FRP) จากตารางที่ 1 แสดงค่าความเค้นดัด (σ) รับน้ำหนักกด (P) และค่าโมเมนต์ดัด (M) ของปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 5 และ 6 พบว่า อุเทนถวาย 4 ที่มีการเสริมเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 9 มม. มีกำลังดัดที่ 139.91 และ 193.85 กก./ซม^2 ตามลำดับ รูปแบบอุเทนถวาย 5 ที่มีการเสริมเส้นใยเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 และ 10 มม. มีกำลังดัดที่ 26.76 และ 104.22 กก./ซม2 ตามลำดับ ส่วนอุเทนถวาย 6 ที่เป็น FRP มีกำลังดัดที่ 203.41 กก./ซม.^{2}

ตารางที่ 1 ค่าแรงเค้นดัดของรูปแบบปะการังเทียม อุเทนถวาย 4 5 และ 6

รูปแบบ	ตัวอย่าง	แรง (P, kg)	โมเมนต์ดัด (M. kg-cm)	โมเมนต์ความเฉื่อย (I, cm^4)	ความเค้นดัด (σ, km/cm^2)
4-1	เหล็กเส้นกลม Ø 6 mm.	1333	26993.25	1012.92	139.91
4-2	เหล็กเส้นกลม Ø 9 mm.	1847	37401.75	1012.92	193.85
5-1	ก้านเส้นใย Ø 4 mm.	255	5163.75	1012.92	26.76
5-2	ก้านเส้นใย Ø 10 mm.	993	20108.25	1012.92	104.22
6	พลาสติกเสริมเส้นใยแก้ว (FRP)	1938	39244.50	1012.92	203.41

ตารางที่ 2 ค่าแรงเฉือนของรูปแบบปะการังเทียม อุเทนถวาย 4 5 และ 6

รูปแบบ	เสาตัวอย่าง	แรง (P, kg)	แอ่นตัว (mm)	พื้นที่หน้าตัดสลัก (A, cm^2)	แรงเฉือน (V, kg/cm^2)
4	เสริมเหล็กเส้น	3713	14.4	315	11.9
5	เสริมเส้นใย	1253	11.2	315	3.98
6	พลาสติกเสริมเส้นใย	1972	10.7	315	6.26

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสามารถรับแรงดึงของสลักเดือย SN

	แรงดึงดูดสูงสุด (กก.)	ค่าการแอ่นตัวสูงสุด (มม.)	Ø แท่ง Superlene Nylon (มม.)	ระยะรูเจาะห่างจากปลายแท่ง (มม.)	ลำดับความแข็งแรง
1	393	12.3	**Ø 20**	6	4
2	425	18.8	**Ø 20**	10	3
3	563	23.9	**Ø 25**	6	2
4*	657	31.9	**Ø 25**	10	1*

หมายเหตุ * นำไปใช้เป็นสลักปะการังเทียม

จากตารางที่ 2 แสดงค่ากำลังต้านทานแรงเฉือน (τ) และการแอ่นตัว ของปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 5 และ 6 ที่ยึดด้วยสลัก SN เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. ผลการทดสอบพบว่า ตัวปะการังเทียมคอนกรีตที่เสริมเหล็ก เสริมไฟเบอร์ และตัว FRP ที่ยึดด้วยสลัก SN โดยตัวสลักจะเกิดการวิบัติ ที่กำลังต้านทานแรงเฉือนอยู่ที่ 11.79 3.98 และ 6.26 กก./ซม.^{2} และเกิดการแอ่นตัว14.4 11.2 และ 10.7 มม. ตามลำดับ

จากตารางที่ 3 แสดงค่าความสามารถในการรับแรงดึง ของสลักเมื่อนำ SN สลักแกนขนาด 20 มม. ยึดเสียบสลักเดือยขนาด 12 มม. ระยะรูเจาะห่างจากปลายสลักแกนระยะ 6 และ 10 มม.รับแรงดึงได้ 393 และ 425 ตามลำดับ สลักแกนขนาด 25 มม.ยึดเสียบสลักเดือยขนาด 12 มม. ระยะรูเจาะห่างจากปลายสลักแกนระยะ 6 และ 10 มม. รับแรงดึงได้ 563 และ 657 ตามลำดับ

4.2 ผลการสำรวจของการจัดวางปะการังเทียมลงสู่ทะเล

วางแผนจัดวางปะการังเทียมลงทะเล 2 แบบ ได้แก่อุเทนถวาย 4 (แบบ 4-2) ที่มีการเสริมเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. และ อุเทนถวาย 5 (แบบ 5-2) ที่มีการเสริมเส้นใยเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. ซึ่งได้มีการเลือกใช้ปะการังเทียมเสริมเหล็ก และเสริมเส้นใยที่มีความแข็งแกร่ง จากผลการทดสอบทางด้านวิศวกรรมแบบละ 35 และ 38 ตัว ตามลำดับ ในการปล่อยลงทะเลโดยเริ่มต้นจัดวางปะการังเทียมในวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2558 โดยจัดวางให้มีระยะห่างออกเป็น 2 กอง เพื่อประโยชน์สำหรับการวิจัยศึกษาทางนิเวศวิทยาต่อไป โดยบริเวณพื้นที่จัดวางปะการังเทียมเป็นบริเวณร่องน้ำ เป็นผลให้กระแสน้ำสามารถพัดพาตะกอนมาทับถมปะการังเทียม ได้มากกว่าพื้นทะเลปกติทั่วไป ประกอบกับลักษณะพื้นทะเลเป็นทรายละเอียด โดยพบว่า การจมตัวปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 จมตัวเฉลี่ยประมาณ 6-12 ซม. ส่วนการจมตัวปะการังเทียมอุเทนถวาย 5 มีการจมตัวเฉลี่ยประมาณ 5-10 ซม. คล้ายกับงานวิจัยของ Brock และคณะ [4] ซึ่งมีการจมตัวของปะการังเทียมเฉลี่ยอยู่ที่ 8-10 ซม.

ผลการสำรวจในเชิงนิเวศวิทยา ในวันที่ 23 เมษายน 2560 ปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 4 และ 5 จำนวนที่พบทั้งหมด 20 จาก 35 และ 31 จาก 38 ตัว ตามลำดับ พบว่า มีสิ่งมีชีวิตเกาะติดครอบคลุมพื้นที่เข้ามาอาศัยในแนวปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 4 และ 5 จำนวน 7 ไฟลัม จำแนกออกได้ดังนี้ ฟองน้ำ (Porifera) 12 และ 6 ชนิด ไนดาเรีย (Cnidaria) 2 ชนิด มอลัสก์ (Mollusca) 5 และ 2 ชนิด อาร์โธรโพดา (Arthropoda) 2 ชนิด เอดไคโนเดิร์ม (Echinodermata) 7 และ 4 ชนิด และเพรียงหัวหอม (Chordata) 5 และ 4 ชนิด ตามลำดับ โดยสัตว์เกาะติดชนิดเด่นที่พบในแต่ละชนิดมีร้อยละการปกคลุมที่แตกต่างกัน สรุปตามลักษณะการสำรวจเชิงนิเวศวิทยาของสิ่งมีชีวิตเกาะติด แสดงดัง ตารางที่ 4

ความหลากหลายของปลาทะเลที่พบในปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 พบว่ามีทั้งหมด 32 ชนิด แบ่งเป็น 3 อันดับ 16 วงศ์ จำนวนปลาที่พบประมาณทั้งหมด 528 ตัว ลำดับของปลาที่มีมากที่สุด คือ ปลาสากเหลือง (Sphyraena obtusata) ร้อยละ 18.94 ปลาอมไข่เหลือง (Apogon cyanosoma) ร้อยละ 9.66 ปลาสลิดหินเล็ก (Neopomacentrus cyanomos) ร้อยละ 8.52 ปลาอมไข่ลายห้าเส้น (Cheilodipterus quinquelineatus) ร้อยละ 7.95 เป็นต้น ส่วนปะการังเทียมอุเทนถวาย 5 พบว่า มีปลาทั้งหมด 17 ชนิด แบ่งเป็น 3 อันดับ 13 วงศ์ จำนวนปลาที่พบประมาณทั้งหมด 357 ตัว โดยลำดับของปลาที่มีมากที่สุด คือ ปลาอมไข่เหลือง (Apogon cyanosoma) ร้อยละ 14.10 ปลาสลิดหินเล็ก (Neo-

pomacentrus cyanomos) ร้อยละ 12.61 และปลาสลิดหินหางเหลือง (Neopomacentrus bankieri) ร้อยละ 10.92 เป็นต้น โดยแสดงตารางเปรียบเทียบดัง ตารางที่ 5

5. วิจารณ์ผล

จากการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของชิ้นส่วนทั้งคานและเสาของปะการังเทียมต่างๆ เพื่อนำมาพิจารณาการนำไปใช้งานเป็นโครงสร้างทางด้านวิศวกรรมของปะการังเทียม พบว่า FRP มีความต้านทานแรงดัดเป็นอันดับ 1 ส่วนเหล็กเสริมเส้นกลม RB9 เป็นอันดับ 2 และเสริมเส้นใย RF10 เป็นอันดับ 3 โดยปกติโครงสร้างคอนกรีตนั้นเน้นรับแรงอัด (Compressive strength) มากกว่าแรงดึง (Tensile strength) ซึ่งแรงดึงของคอนกรีตนั้นจะมีค่าเพียงร้อยละ 10 ของแรงอัด Chindaprasirt และ Jaturapitakkul [12] จึงต้องมีการเสริมเหล็กเข้ามาช่วยให้โครงสร้างของคอนกรีตสามารถรับแรงอัดและแรงดึงได้พร้อมกัน โดยปกติค่าความต้านทานแรงดัดจะขึ้นอยู่กับค่า ความแข็งแรงครากของวัสดุซึ่งเป็นค่าแสดงความแข็งแรงของวัสดุ โดยค่าความแข็งแรงครากจะแปรผันตามกับแรงดึงของวัสดุยิ่งวัสดุนั้นสามารถรับแรงดึงได้มากก็จะมีค่า ความแข็งแรงคราก ที่มากส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดมีค่าที่สูงตามไปด้วย [13] จากผลการทดสอบจะพบว่า ยิ่งวัสดุเหล็ก หรือ เส้นใย ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ทำให้วัสดุนั้นมีค่าแรงดึง และค่าความแข็งแรงครากที่มาก ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงดัดของวัสดุมีค่าที่สูงตามขนาดของวัสดุ Edoardo และคณะ [14] ดังนั้นปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 และ 5 จึงเลือกใช้วัสดุเสริมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ในที่นี้ คือ RB9 และ RF10 ตามลำดับ ส่วนปะการังเทียมอุเทนถวาย 6 เป็นวัสดุ FRP ที่เป็นพลาสติกเสริมเส้นใยเพียงอย่างที่สามารถรับแรงดึงและค่าความแข็งแรงครากที่มากกว่าวัสดุที่เป็นเหล็กเส้น [15] จึงส่งผลให้ FRP มีความต้านทานแรงดัดเป็นอันดับ 1 เมื่อเทียบกับคอนกรีตเสริมเหล็กกับเสริมเส้นใย ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัว (Deflection) และแรงเฉือน (Shear strength) ของสลัก SN จาก ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบความสามารถรับแรงดึงของสลัก SNเมื่อเริ่มต้นการกดน้ำหนักตัวสลัก SN จะขยับตัวให้เข้าที่ก่อน ด้วยระยะประมาณ 3-5 มม. เนื่องจากรูคอนกรีตมีขนาดที่โตกว่า SN เล็กน้อย ทำให้ค่าการแอ่นตัวนั้นเกิดขึ้นมาก ซึ่งสลัก SN ที่ใส่ในเสาคอนกรีตสามารถรับน้ำหนักได้ 3,713 กก. ในขณะที่มีค่าการแอ่นตัว 14.4 มม. ส่วนสลัก SN ที่ใส่ในเสา FRP สามารถรับน้ำหนักได้ 1,972 กก. ในขณะที่มีค่าการแอ่นตัว 10.7 มม. ตัวอย่างที่นำมาทดสอบนี้ พบว่า เกิดการวิบัติที่เสาคอนกรีต และ FRP ก่อนสลัก SN แสดงให้เห็นว่าตัวสลัก SN นั้นสามารถที่จะนำมาใช้เป็นสลักของโครงสร้างของปะการังเทียมที่สามารถถอดประกอบได้

ส่วนผลการทดสอบแรงดึงสลักแกน SN ขนาด 20 มม. กับสลักเสียบ 12 มม. โดยมีระยะห่างจากปลายแท่ง SN ระยะ 6 และ 10 มม. รับแรงดึงได้ 393 และ 425 กก. ตามลำดับ ส่วนสลักแกน SN ขนาด 25 มม. กับสลักเสียบ 12 มม. โดยมีระยะห่างจากปลายแท่ง SN ระยะ 6 และ 10 มม. รับแรงดึงได้ 563 และ 657 กก. ตามลำดับ ส่วนประเด็นราคาค่าก่อสร้างของปะการังเทียมแต่ละรูปแบบ สามารถประเมินราคาได้ดังนี้ แบบอุเทนถวาย 4-1 และ 4-2 แบบอุเทนถวาย 5-1 และ 5-2 ราคา 4,096 , 4,544 , 2,905 และ 3,191 บาทต่อหน่วย ตามลำดับ

ผลการดำน้ำค้นหาปะการังเทียม จากการจัดวางปะการังเทียมลงทะเล 2 แบบได้แก่แบบอุเทนถวาย 4 และ 5 แบบละ 35 และ 38 ตัว ตามลำดับ หลังจากการจัดวางเสร็จสิ้นเป็นระยะเวลาประมาณ 24 เดือน

เมื่อดำน้ำสำรวจพบปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 4 จำนวน 20 ตัว จากทั้งหมด 35 ตัว กระจายตัวเป็นระยะทางยาวประมาณ 300 ตร.ม. ส่วนแบบอุเทนถวาย 5 จำนวน 31 ตัว จากทั้งหมด 38 ตัว ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 150 ตร.ม. ไม่ปรากฏพบมีการซ้อนทับกันของปะการังเทียมทั้ง 2 แบบ จากผลการตรวจสอบความแข็งแรงทางวิศวกรรม ปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 จำนวนที่สำรวจพบ 20 ตัว ไม่พบการวิบัติใด ๆ ทั้งสิ้น ส่วนปะการังเทียมอุเทนถวาย 5 จำนวนที่สำรวจพบ 31 ตัว เกิดการวิบัติจำนวน 19 ตัว โดยการวิบัติส่วนใหญ่เกิดจากชิ้นส่วนแตกหัก หรือแยกหลุดออกจากกันของตัวคอนกรีตเอง ดังนั้นรูปแบบอุเทนถวาย 4 มีความแข็งแรงเหมาะสมทางวิศวกรรมมากกว่าแบบที่ 5 จาก ตารางที่ 4 และ 5 เป็นผลการสำรวจในเชิงนิเวศวิทยา สิ่งมีชีวิตแบบเกาะติด และปลาทะเลที่เข้ามาอาศัยใช้ประโยชน์บริเวณปะการังเทียมอุเทนถวายทั้ง 2 แบบ ซึ่งปะการังเทียมที่มีสิ่งมีชีวิตแบบเกาะติดและปลาทะเลที่เข้ามาอาศัยอยู่มากที่สุดคือ ปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 4 โดยพบว่า สิ่งมีชีวิตแบบเกาะติด และความหลากหลายของปลาทะเลที่พบ มีอย่างละ 32 ชนิด โดยปลาทะเลที่พบมากสุด คือ ปลาสากเหลือง เนื่องจากรูปทรงที่เป็นปะการังเทียมทรงสีเหลี่ยมลูกบาศก์โปร่ง มีลักษณะรูปแบบคล้ายกับแบบมาตรฐานกรมประมง [1] จึงเป็นการยืนยันความชอบในการเข้ามาใช้ประโยชน์ของสิ่งมีชีวิตเกาะติดและปลาทะเล ส่วนปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 5 ซึ่งเป็นรูปทรงกระโจมหรือทรงปิรามิด สำรวจพบเจอมากถึง 31 ตัว โดยพบว่า สิ่งมีชีวิตแบบเกาะติดครอบคลุมพื้นที่ เข้ามาอาศัยใช้ประโยชน์จำนวน 21 ชนิด และความหลากหลายของปลาทะเลที่พบ มีจำนวนทั้งหมด 17 ชนิด ปลา

ตารางที่ 4 ร้อยละการเกาะของสิ่งมีชีวิตบนปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 และ 5

ชื่อภาษาไทย	ไฟลัม/ชื่อทางวิทยาศาสตร์	ร้อยละสิ่งมีชีวิตแบบเกาะติดปะการัง	
		รูปแบบ 4	รูปแบบ 5
ฟองน้ำ	*Porifera*	25	30
ไนดาเรีย	*Cnidaria*	2	5
มอลัสก์	*Mollusca*	5	5
อาร์โธรโพดา	*Arthropoda*	55	30
เอดไคโนเดิร์ม	*Echinodermata*	2	5
เพรียงหัวหอม	*Chordata*	8	10
อื่นๆ	etc.	3	15

ตารางที่ 5 ร้อยละของสิ่งมีชีวิตและวงค์ตระกูลปลาที่พบในปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 และ 5 จากการสำรวจทางท้องทะเล 4 ครั้ง

ชื่อภาษาไทย	ไฟลัม/ชื่อทางวิทยาศาสตร์	ร้อยละจำนวนปลาทั้งหมด	
		รูปแบบ 4	รูปแบบ 5
ปลาสลิดหินเล็ก	*Neopomacentrus cyanomos*	8.52	12.61
ปลาสลิดหินหางเหลือง	*Neopomacentrus bankieri*	7.39	10.92
ปลาสลิดหินฟ้าหางเหลือง	*Pomacentrus coelestis*	0.95	-
ปลาสลิดหินบั้ง	*Abudefduf bengalensis*	0.38	-
ปลาข้าวเม่าน้ำลึก	*Sargocentron rubrum*	5.11	8.4
ปลาสินสมุทรสีน้ำเงิน	*Pomacanthus semicirculatus*	0.19	-
ปลานกขุนทอง	*Halichoeres sp.*	1.33	-
ปลาสร้อยนกเขาหางเหยียด	*Diagramma pictum*	4.73	8.4
ปลาวัวหางพัด	*Monocanthus chinensis*	0.19	0.56
ปลาอมไข่เหลือง	*Apogon cyanosoma*	9.66	14.01
ปลาอมไข่ลายห้าเส้น	*Cheilodipterus quinquelineatus*	7.95	-
ปลาอมไข่ลายดำ	*Apogon cookie*	0.19	7
ปลาอมไข่	*Apogon sp.*	2.65	-
ปลาสลิดทะเลจุดเหลือง	*Siganus guttatus*	1.14	-
ปลาใบขนุน	*Siganus javus*	4.17	4.2
ปลากะรังจุดน้ำตาล	*Cephalopholis tauvina*	0.19	2.24
ปลากะรังเสือครีบยาว	*Cephalopholis megachir*	0.19	-
ปลากะรังหิน	*Cephalopholis boenack*	0.19	-
ปลากะรังลายน้ำเงิน	*Cephalopholis formosa*	0.38	-
ปลากะพงข้างปาน	*Lutjanus johnii*	4.73	5.6
ปลากะพงเหลืองโพรง	*Lutjanus lutjanus*	6.44	8.4
ปลากะพงเหลืองขมิ้น	*Lutjanus vitta*	5.3	5.6
ปลาผีเสื้อปากยาว	*Chelmon rostratus*	1.33	1.4

ตารางที่ 5 ร้อยละของสิ่งมีชีวิตและวงค์ตระกูลปลาที่พบในปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 และ 5 จากการสำรวจทางท้องทะเล 4 ครั้ง (ต่อ)

ชื่อภาษาไทย	ไฟลัม/ชื่อทางวิทยาศาสตร์	ร้อยละจำนวนปลาทั้งหมด	
		รูปแบบ 4	รูปแบบ 5
ปลาผีเสื้อครีบจุด	*Parachaetodon ocellatus*	1.89	-
ปลานกกะลิง	*Pentapodus setosus*	0.57	-
ปลาทรายขาวแก้มเงิน	*Scolopsis affinis*	1.89	1.4
ปลาแพะครีบจุด	*Upeneus tragular*	0.57	1.96
ปลาสากเหลือง	*Sphyraena obtusata*	18.94	-
ปลาปักเป้าหนามทุเรียน	*Diodon liturosus*	0.19	-
ปลาบู่ทราย	*Cryptocentrus fasciatus*	2.27	-
ปลาสละ	*Sacomberoides commersonnianus*	0.19	
ปลากระดี่ทะเล	*Pempheris vanicolensis*	-	7
ปลาแพะครีบจุด	*Upeneus tragular*	-	1.96
จำนวนชนิดปลาที่พบทั้งหมด		**32**	**17**

ทะเลที่มากที่สุด คือ ปลาอมไข่เหลือง ถึงแม้จะสำรวจพบปะการังเทียมเป็นจำนวนมาก แต่กลับพบสิ่งมีชีวิตแบบเกาะติด และปลาทะเลเข้ามาอาศัยใช้ประโยชน์น้อยสุด อาจเป็นผลเนื่องมาจากปะการังเทียมมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีการล้มหงาย ซ้อนกันและเกิดช่องว่างภายในน้อยกว่า และพื้นที่ในการครอบคลุมทางทะเลต่ำกว่า จึงเป็นสาเหตุที่มีสิ่งมีชีวิตแบบเกาะติดและปลาทะเลเข้ามาใช้ประโยชน์น้อยกว่าแบบอุเทนถวาย 4 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ronal และ Carrie [5] ซึ่งมีการใช้วัสดุหลากหลายชนิด เช่น ไม้ หิน โลหะ คอนกรีต และอื่นๆ ทำเป็นรูปทรงต่างๆ เช่น ทรงสี่เหลี่ยม ทรงกลม ทรงสามเหลี่ยม ทรงกระโจมหรือทรงปิรามิด พบว่าคอนกรีตที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำปะการังเทียม อย่างไรก็ตามอาจทำการศึกษานิเวศวิทยาเชิงพื้นที่ ตลอดจนองค์ประกอบของระบบนิเวศแหล่งน้ำทะเลที่คาดว่ามีผลต่อความหลากชนิดของปลาในพื้นที่ของจุดสำรวจทั้ง 2 จุด เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้พื้นที่จุดสำรวจทั้ง 2 จุด มีความหลากชนิดของปลาทะเลที่แตกต่างกัน [16]

6. สรุปผล

การวิจัยครั้งนี้พบว่า รูปแบบปะการังเทียมอุเทนถวายแบบที่ 4 และ 5 ส่วนตัวยึดสลัก SN เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มม. นั้นสามารถที่จะนำมาใช้เป็นสลักของโครงสร้างของปะการังเทียมที่ถอดประกอบได้ แต่เนื่องจาก SN มีความยืดหยุ่นตัวสูงมีโอกาสเสียรูปได้ง่าย จากน้ำหนัก

ของตัวปะการังเทียม จึงต้องมีความระมัดระวังในการลำเลียงการจัดวางลงทะเล ส่วนการทดสอบสำรวจในเชิงนิเวศวิทยาปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 4 และ 5 ปะการังเทียมอุเทนถวาย 4 จำนวนที่สำรวจพบ 20 ตัว ไม่พบการวิบัติใดๆทั้งสิ้น ส่วนปะการังเทียมอุเทนถวาย 5 จำนวนที่สำรวจพบ 31 ตัว เกิดการวิบัติจำนวน 19 ตัว พบจำนวนชนิดปลาทั้งหมด 32 และ 17 ชนิด จำนวนประมาณทั้งหมด 528 และ 357 ตัว ตามลำดับ สรุปได้ว่าปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 4 ด้วยลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมโปร่งคล้ายรูปแบบมาตราฐานกรมประมง และปะการังเทียมแบบอุเทนถวาย 5 ที่เป็นรูปทรงกระโจมคล้ายทรงปิรามิด ต่างมีศักยภาพในการดึงดูดปลาทะเล และสิ่งมีชีวิตยึดเกาะติดให้เข้ามาใช้ประโยชน์ได้ และมีต้นทุนการผลิตปะการังเทียมแต่ละแบบมีราคาที่ถูกกว่าปะการังเทียมมาตรฐานของหน่วยงานภาครัฐจากกรมประมง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย และหน่วยงานในภาครัฐและเอกชน ศูนย์พัฒนาการประมงแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา กองทัพเรือ บริษัทฮีโน่จำกัด บริษัทเอสซีจีซีเมนต์ไทย บริษัทสยามคาสท์ ไนล่อน บริษัทสยามบราเดอร์ เครือข่ายศิษย์เก่าอุเทนถวาย สนับสนุนจนงานวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

1. Fisheries.go.th, 2018, Fishery Statistics Analysis and Research Group [Online], Available: www.stat.fisheries. go.th/services/services_report/reportappmenu.php?txtServices=0. [13 November 2020]

2. Hansa, C., Nipon, P., Ukkrit, S., Nalinee, T., Thipamas, U., Phitoul, P., Thannongsak, C., and Thatree, S., 1999, Coral Reef Map in Thai Waters Volumes 2nd Place in the Andaman Sea Coral Resource Management Program, Department of Fisheries, 198 p. (In Thai)

3. Supongpan, S., 2012, Coral Bleaching : A Case Study of Thailand in Addressing Climate Change [Online], Available: http://www.talay-thai.com/node/90. [25 October 2020]

4. Brock, R.E. and Norris, J.E., 1989, "An Analysis of the Efficacy of Four Artificial Reef Designs in Tropical Waters," *Bulletin of Marine Science*, 44, pp. 934-941.

5. Ronald, R. and Carrie. S., 2004, Guidelines for Marine Artificial Reef Materials, *A Joint Publication of Gulf and Atlantic States Marine Fisheries Commissions*, 250 p.

6. Fitzhardinge, R.C. and Bailey-Brock, J.H., 1989, "Colonization of Artificial Reef Materials by Corals and other Sessile Organisms," *Bulletin of Marine Science*, 44, pp. 567-579.

7. Siripech, A., 2004, "Artificial Reef Installation in the Southern Gulf of Thailand," *Proceeding of the and Regional workshop on Enhancing Coastal Restores*, Bangkok, pp. 62-66. (In Thai)

8. Harm, J.J. and Szedlmayer, S.T., 2015, "Depth and Artificial Reef Type Effects on Size and Distribution of Red Snapper in the Northern Gulf of Mexico," *North American Journal of Fisheries Management*, 35 (1), pp. 86-96.

9. America Society for Testing and Materials, 2012, "ASTM C1399, Four-point Bending Fixture for Fiber Reinforced Concrete," *ASTM International*, West Conshohocken, Vol. 04.02, Philadephia, United States, 6 p.

10. America Society for Testing and Materials, 2012, "ASTM D6916 Standard Test Method for Determining the Shear Strength between Segmental Concrete Units (Modular Concrete Blocks)," *ASTM International*, West Conshohocken, Vol. 04.13, Philadephia, United States, 7 p.

11. Hill, J. and Wilkinson, C., 2004, Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs. V1, Townsville, Queensland: Australian Institute of Marine Science.

12. Chindaprasirt, P. and Jaturapitakkul, C., 2008, Cement Pozzolan and Concrete, Thailand Concrete Association, Bangkok. [In Thai]

13. Theodore, V., 2000, "Recent Research and Design Developments in Steel and Composite Steel-concrete Structure in USA," *Journal of Constructional Steel Research*, 55 (1-3), pp. 289-303.

14. Edoardo, C., Luigi, D., Giovanni, F. and Marisa, P., 2005, "Composite Steel and Concrete Structures: Technology and Design," *Proceeding of ACI Spring Convention Session,* Italian, pp. 42-51.

15. Yang, Y., Ze-Yang, S. and Gang, W., 2019, "Flexural Capacity and Design of Hybrid FRP-steel-reinforce Concrete Beams," *Advances in Structural Engineering*, 23, pp. 1290-1304.

16. Petkam, R., Champasri, T., Charoenwattanasak, S., Niamphithak, P., Srinuansom, K., Thaiso, K., Tola, S. and Anukoolprasewrt, T., 2016, "Preliminary Survey of Fish Species in the Plant Genetics Conservation Project under the Royal Initiation of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn, the Chulabhorn Dam, Chaiyaphum Province," *Journal of Fisheries Technology Research*, 10 (2), pp. 38-47.