การประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมเพื่อทดแทนเสา-คานไม้ไผ่ สำหรับฟาร์มเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น

Application of foam cement filled PVC tubes to replace bamboo columns and beams for floating oyster's farm

ชาตรี งามเสงี่ยม* และ ปฤษฎางค์ เพิ่มสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จ.จันทบุรี
**Corresponding author; E-mail address: Chatree.n@rbru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟม เพื่อทดแทนเสา-คานไม้ไผ่ที่ใช้ผูกทุ่นลอยสำหรับการเลี้ยงหอยนางรม ท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ 1.) ปลอกหุ้มด้านนอกทำจากท่อพีวีซีเกษตรสีเทาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. หนา 2.6 มม. 2.) ซีเมนต์ผสมเม็ดโฟมบรรจุภายใน ซีเมนต์ผสมเม็ดโฟมออกแบบให้มีความหนาแน่น 250 กก./ม.^{3} และ 500 กก./ม.^{3} ของคานและเสาตามลำดับ ทำการวิเคราะห์โครงสร้างเสาและคานจากน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ พบว่าเสารับความเค้นอัดและคานรับความเค้นดัดสูงสุด 0.06 MPa และ 7.36 MPa ตามลำดับ จากนั้นนำตัวอย่างท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมที่สร้างขึ้นไปทดสอบแรงอัดและแรงดัดในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างเสารับความเค้นอัดเฉลี่ยสูงสุด 3.38 MPa ตัวอย่างคานรับความเค้นดัดสูงสุด 50.61 MPa การประยุกต์ใช้ท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมเพื่อทดแทนเสา-คานไม้ไผ่ ทำโดยปักเสาลงในน้ำและฝังอยู่ในพื้นดินใต้น้ำ 1.5 เมตร ส่วนคานผูกยึดติดกับเสาแบบหลวมๆโดยให้สามารถขยับขึ้น-ลงตามระดับน้ำได้ จากนั้นใช้คานเป็นตัวยึดราวเชือกเลี้ยงหอยนางรม ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือนตั้งแต่เริ่มเลี้ยงหอยจนเก็บจำหน่ายจากข้อมูล พบว่าท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมมีลักษณะทางกายภาพที่สมบูรณ์แสดงถึงความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เหมาะสมต่อการใช้งาน

คำสำคัญ: ท่อพีวีซี, ซีเมนต์โฟม, ท่อนรับแรงน้ำหนักเบา

Abstract

This research used PVC tubes reinforced with foam cement as a substitute for bamboo poles and beams to support rope floating for growing oysters. The tubes with a dimeter of 100 mm and 2.6 mm. wall thickness. grey agricultural PVC tubes as an outer covering and foam-cement with a density of 250 kg/m³ and 500 kg/m³ for the poles and beams, respectively. The load of the structure was determined based on the weight of the oysters rope hanging and found to be able to support a maximum compressive stress of pole and bending stress of beam are 0.06 MPa and 7.36 MPa, respectively. The PVC tubes reinforced with foam cement were then tested for compressive and bending strength in a laboratory. The results showed that the average maximum compressive strength of the pole samples was 3.38 MPa, while the average maximum bending strength of the beam samples was 50.61 MPa. The PVC pipes reinforced with foam cement can be used as a substitute for bamboo poles and beams in raft aquaculture systems. The poles are anchored in the water and buried 1.5 meters in the ground under of water, while the beams are attached loosely to the poles using ropes to support the oyster's raft. Data was collected every month for a period of 6 months, starting from the beginning of oyster cultivation until harvest. It was found that the PVC tubes reinforced with foam cement exhibited physical characteristics that demonstrated durability and resistance to environmental factors.

Keywords: PVC Tube, Foam Cement, Light-weight loaded member

1. บทนำ

ปัจจุบันรูปแบบการเลี้ยงหอยนางรมในประเทศไทยมีหลายวิธี เช่น การเลี้ยงบนก้อนหิน, การเลี้ยงกระบะไม้, การเลี้ยงแบบใช้แท่งซีเมนต์, การเลี้ยงโดยใช้หลักไม้, การใช้หลอดหรือท่อซีเมนต์, การเลี้ยงแบบพวงอุบะแขวน, และการเลี้ยงแบบอื่นๆ [1]

ฟาร์มเลี้ยงหอยนางรมขนาดเล็กในภาคตะวันออกของประเทศไทยนิยมเลี้ยงหอยนางรมแบบดั้งเดิม คือ แขวนใต้แพไม้ โดยมีเสาหลักและแพทำจากไม้ไผ่ [2]

ในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดจันทบุรีส่วนใหญ่ใช้วิธีการเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น การเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่นประกอบไปด้วยเสาหลักและคานที่ทำจากไม้ไผ่ และมีราวเชือกผูกระหว่างคานสำหรับห้อยทุ่นลอยและพวงอีแปะให้หอยนางรมมาเกาะอาศัยอยู่ แต่ปัญหาหลักของไม้ไผ่คืออายุการใช้งานที่สั้นประมาณ 1-2 ปี ก็จะผุพัง อีกทั้งยังมีผิวหยาบทำให้หอยชนิดอื่นๆ มาเกาะเสาได้ง่าย ยากต่อการดูแลและแกะออก จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงได้คิดค้นสร้างท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ต่อไปในบทความนี้จะเรียกชื่อว่า “**ท่อนรับแรงน้ำหนักเบา**” มาทดแทนเสาและคานไม้ไผ่ ท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ 1.) ปลอกหุ้มภายนอกทำจากท่อพีวีซีเกษตรสีเทา และ 2.) ซีเมนต์ผสมเม็ดโฟม ดังแสดงในรูปที่ 1

ไม้ไผ่ที่ไม่มีการปกป้องผิวและใช้งานภายนอกติดกับพื้นดินจะมีอายุการใช้งานน้อยกว่า 0.5 ปี [3]

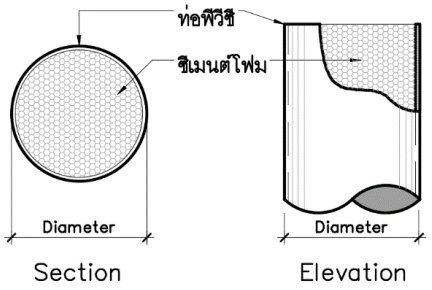
ข้อดีและข้อเสียของท่อพีวีซีเกษตร มีดังนี้ ข้อดี: รับแรงดึงได้ดี, น้ำหนักเบา, มีราคาถูก, ผิวเรียบดูแลรักษาง่าย, และอายุการใช้งานกลางแจ้งประมาณ 10 ปี ข้อเสีย: ไม่ลอยน้ำ, เสียรูปหรืองอได้ง่ายเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากชิ้นส่วนผนังท่อมีความชะลูดมาก จากข้อเสียของท่อพีวีซีสามารถชดเชยได้ด้วยวัสดุซีเมนต์ผสมเม็ดโฟมที่สามารถช่วยเพิ่มกำลังของชิ้นส่วนโดยรวมและมีความสามารถลอยน้ำเนื่องจากเม็ดโฟมมีหน่วยน้ำหนักต่ำประมาณ 16 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

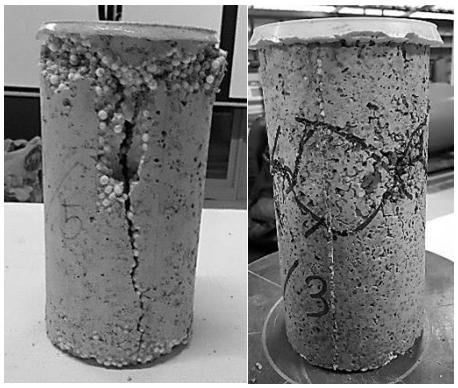
การทดลองผสมคอนกรีตโฟม คอนกรีตโฟมถือว่าเป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีน้ำหนักเบาไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบ คอนกรีตโฟมผลิตได้จากการผสมซีเมนต์เพสต์หรือมอร์ตาร์ที่ได้จาก น้ำ, ซีเมนต์, มวลรวมละเอียด เข้ากับโฟม ซึ่งโฟมทำหน้าที่สร้างช่องว่างอากาศในมอร์ตาร์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) โดยปกติจะอยู่ในช่วง 0.4-1.25 คอกกรีตโฟมสามารถออกแบบให้มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 300 ถึง 1500 กก./ม.^{3} ในการทดลองนี้มีส่วนผสม 2 แบบที่แตกต่างกันคือ ส่วนผสมคอนกรีตโฟมที่มีและไม่มีทรายเป็นส่วนผสมโดยมีความหนาแน่นเป้าหมายอยู่ที่ 1900 กก./ม.^{3} ทำการเก็บตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์จำนวน 18 ตัวอย่าง และทำการทดสอบทางกายภาพ ได้แก่ หาค่าความหนาแน่น, และการรับกำลังอัด ผลการทดสอบที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตน้ำหนักปกติ [4]

คอนกรีตโฟมเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตทั่วไปเนื่องจากไม่มีมวลรวมหยาบเป็นส่วนผสม คุณสมบัติของคอนกรีตโฟมขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับจุลภาคและอัตราส่วนผสม, อิทธิพลของสารยึดเกาะ, วิธีการผสมโฟม, และการบ่ม การสร้างตัวอย่างทดสอบที่มีความหนาแน่นต่ำโดยมีการเติมวัสดุเพิ่ม ได้แก่ เถ้าลอย, ฝุ่นเหมืองหิน, GGBS, และกากตะกอนจากโรงงานกระดาษ ตัวอย่างที่สร้างต้องการความหนาแน่น 1600 กก./ม.^{3} ถึง 1800 กก./ม.^{3} จากนั้นทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดัด, และความต้านทานต่อซัลเฟต [5]

การทดสอบการรับแรงอัดและแรงดัดของตัวอย่างทดสอบมาตรฐานท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ชี้ให้เห็นว่าท่อนรับแรงน้ำหนักเบารับแรงอัดได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างซีเมนต์โฟมมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2 ปลอกท่อพีวีซีมีส่วนช่วยให้ซีเมนต์โฟมรับแรงอัดได้ดีขึ้น 204.15% (ท่อ 100 มม.) และการทดสอบแรงดัดพบว่าท่อนรับแรงน้ำหนักเบารับแรงดัดเพิ่มขึ้น 2568.97% (ท่อ 100 มม.) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างซีเมนต์โฟมมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 3 [6]



รูปที่ 1 รูปตัดและรูปด้านตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา
ที่มา : ชาตรี งามเสงี่ยม (2561) [6]



รูปที่ 2 การวิบัติเนื่องจากแรงอัดของตัวอย่างซีเมนต์โฟมมาตรฐาน
ที่มา : ชาตรี งามเสงี่ยม (2561) [6]

รูปที่ 3 การวิบัติเนื่องจากแรงดัดของตัวอย่างซีเมนต์โฟมมาตรฐาน
ที่มา : ชาตรี งามเสงี่ยม (2561) [6]

การศึกษาการรับกำลังอัดของท่อ UPVC ที่โอบรัดเสาคอนกรีตขนาดสั้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง,ความสูง, และกำลังอัดของคอนกรีตที่แตกต่าง

กัน ผลการรับกำลังอัดของเสาพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อ กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้น และกำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อเสามีความยาวมากขึ้น การเปรียบเทียบผลการรับกำลังอัดระหว่างตัวอย่างเสาที่มีและไม่มีท่อ UPVC โอบรัด พบว่าตัวอย่างมีกำลังเพิ่มมากขึ้น 1.18 ถึง 3.65 เท่า เมื่อมีท่อ UPVC โอบรับ [7]

การศึกษาการทดสอบการรับกำลังอัดของตัวอย่าง CFT (Concrete filled tube) จำนวน 18 ตัวอย่าง ที่สร้างขึ้นมาจากท่อ UPVC ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มม. หนา 7.11 มม. ที่มีความยาวแตกต่างกัน 500 มม., 600 มม., 700มม. และบรรจุภายในด้วยคอนกรีตมวลรวมหยาบที่แตกต่างกันระหว่างขนาด 6.3 มม. และ 10 มม. ผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างทั้งหมดวิบัติเนื่องจากการโก่งเดาะเฉพาะจุดเมื่อตัวอย่างมีความยาวเพิ่มมากขึ้น กำลังอัดที่ได้จากมวลรวมหยาบขนาด 6.3 มม. มีค่าสูงกว่ามวลรวมหยาบขนาด 10 มม. และเมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดกับทฤษฎีพบว่ากำลังอัดของตัวอย่าง UPVC CFT ที่ค่าเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 1.6 [8]

การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุของท่อ PVC ได้แก่การทดสอบแรงดึงเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด การทดสอบ Ring Bending Test เพื่อหาค่า Flexural Stiffness ของท่อ การทดสอบแรงอัดเพื่อหา Buckling Load ของท่อ ค่าจากการทดสอบที่ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะทั่วไปที่ไม่เชิงเส้นของวัสดุ PVC [9]

3. วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาทฤษฎีและรูปแบบการเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดจันทบุรี ใช้เวลาดำเนินงาน 30 วัน

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

1. ตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม.
2. ตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. (Nominal size) สูง 200 มม.
3. ตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. (Nominal size) ยาว 650 มม.

การทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

-การทดสอบความข้นเหลวตามมาตรฐาน ASTM C143/C143M [10]

-การทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M [11]

-การทดสอบกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C293/C293M [12]

ใช้เวลาในการดำเนินงาน 30 วัน

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมตัวอย่างสำหรับใช้งานจริง จากท่อพีวีซีเสริมซีเมนต์โฟมตามที่ออกแบบไว้ ใช้เวลาในการดำเนินงาน 30 วัน

ขั้นตอนที่ 4 การออกแบบติดตั้งเพื่อใช้เป็นเสาหลักและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น ใช้เวลาในการดำเนินงาน 15 วัน

ขั้นตอนที่ 5 การประยุกต์ใช้งานจริง, ผลการทดลอง, และการสรุปผล ใช้เวลาในการดำเนินงาน 210 วัน

4. การเตรียมตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา

ที่มาของการกำหนดน้ำหนักท่อนรับแรงน้ำหนักเบาที่ใช้เป็นโครงสร้างเสาและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรม มีดังนี้

1) การกำหนดให้เสามีน้ำหนักเบาและลอยน้ำได้เป็นข้อดีในเรื่องการขนส่ง, และลำเลียงลงน้ำสามารถทำได้โดยสะดวก ส่วนข้อเสียคือหากมีน้ำหนักเบามากเกินไปก็จะทำให้ติดตั้งหรือปักลงดินได้ยาก และหากติดตั้งตื้นเกินไปแรงเสียดทานอาจไม่เพียงพอที่จะต้านทานแรงพยุงของน้ำ อาจทำให้เสาลอยขึ้นมาในภายหลังได้
2) การกำหนดให้คานมีน้ำหนักเบาที่สุดมีข้อดีหลายประการ คือ ลอยน้ำได้, แรงงานยก, ขนส่ง, และลำเลียงบนผิวน้ำได้โดยสะดวก ส่วนข้อเสียคือหากมีน้ำหนักเบามากเกินไปความแข็งแรงก็จะลดลง การกำหนดน้ำหนักจึงต้องให้มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงที่เพียงพอต่อการใช้งาน

ตามเหตุผลข้างต้นทางผู้วิจัยจึงกำหนดให้เสาและคานมีน้ำหนัก 500 กก./ม.^{3} และ 250 กก./ม.^{3} ตามลำดับ ซึ่งตามน้ำหนักที่กำหนดดังกล่าวให้ความความแข็งแรงที่เพียงพอต่อการใช้งาน (ชาตรี งามเสงี่ยม, 2555)

4.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์โฟมที่มีความหนาแน่น 500 กก./ม.^{3} (CFMix500) และ 250 กก./ม.^{3} (CFMix250) ได้จากการผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, น้ำ, ทราย, และเม็ดโฟมชนิด EPS เข้าด้วยกัน

โดยเม็ดโฟม EPS นั้นทำหน้าที่เพิ่มช่องว่างหรือแทนที่ฟองอากาศในเนื้อของมอร์ตาร์ (CFMix500) และซีเมนต์เพลสต์ (CFMix250) ส่งผลให้โครงสร้างมีน้ำหนักลดลง

ขั้นตอนการผสมมีดังนี้ นำส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นน้ำคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมปูนฉาบจากนั้นเติมน้ำทีละน้อยผสมกันจนเนื้อซีเมนต์โฟมมีความสม่ำเสมอ รายละเอียดส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1 และแสดงรูปที่ 4 หลังผสมซีเมนต์โฟมเสร็จให้ทำการทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีตค่าความข้นเหลวที่เหมาะสมควรมีค่าไม่น้อยกว่า 25 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 5 จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน 100x200 มม. สำหรับใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัด จำนวน 9 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 6 ทำการบ่มตัวอย่างตามอุณภูมิห้อง จนมีอายุ 28 วัน จากนั้นให้นำไปทดสอบ กำลังรับแรงอัดต่อไป

*หมายเหตุ หากตัวอย่างทดสอบมีค่าความข้นเหลวมากเกิดไปเม็ดโฟมซึ่งมีน้ำหนักเบามากจะลอยขึ้นผิวหน้าและแยกออกจากกัน

ตารางที่ 1 ตารางสัดส่วนการผสมซีเมนต์โฟมปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร

ชื่อ	ความหนาแน่น (กก./ม^3)	โพลิเทอมร์ (ลิตร/ม^3)	W/C ratio	น้ำ (กก/ม^3)	ซีเมนต์ (กก/ม^3)	ทราย (กก./ม^3)
CFMix250	250	840	0.48	120	250	-
CFMix500	500	840	0.40	100	250	225

รูปที่ 4 การผสมซีเมนต์โฟมโดยใช้เครื่องผสมปูนฉาบ

รูปที่ 5 การทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีต (Slum Test)

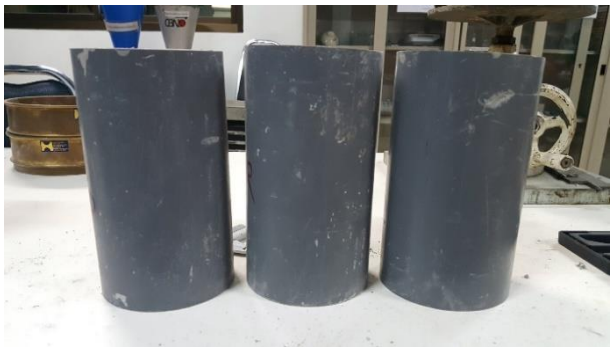
รูปที่ 6 การเก็บตัวอย่างทดสอบขนาดมาตรฐาน
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม.

4.2 การเตรียมตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาสำหรับการใช้งานจริงและทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาสำหรับใช้งานจริงสามารถทำได้โดยผสมซีเมนต์ตามตัวอย่างที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ยาว 4 เมตร ขนาดความยาวมาตรฐานทั่วไป วางในแนวตั้งโดยปิดปลายท่อด้านล่างด้วยฝาครอบ จากนั้นนำซีเมนต์โฟมที่ผสมไว้กรอกลงในท่อทุกๆ 1 เมตร จากนั้นให้ยกสูงจากพื้น 20 ซม.และปล่อยกระแทกจำนวน 15 ครั้ง เมื่อแน่นและกรอกเต็มดีแล้วปาดหน้าให้เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นบ่มตัวอย่างไว้ที่อุณภูมิห้อง ณ สถานที่หล่อตัวอย่างและรอให้อายุครบ 28 วัน หลังอายุครบให้ทำการต่อเสาให้มีความยาว 6 เมตร โดยทำการตัดและต่อท่อนรับแรงน้ำหนักเบาความยาว 4 เมตร เข้ากับท่อนความยาว 2 เมตร ด้วยข้อต่อท่อพีวีซีและใช้กาวประสานเมื่อสนิทดีแล้วจึงจะสามารถนำไปใช้งานได้

การเตรียมตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้โดยนำตัวอย่างใช้งานจริงมาตัดด้วยแท่นตัดไฟเบอร์ สำหรับตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดตัดให้มีความยาว 200 มม. และ 650 มม. ดังแสดงในรูปที่ 8

รูปที่ 7 การเตรียมตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา



(ก)

(ข)

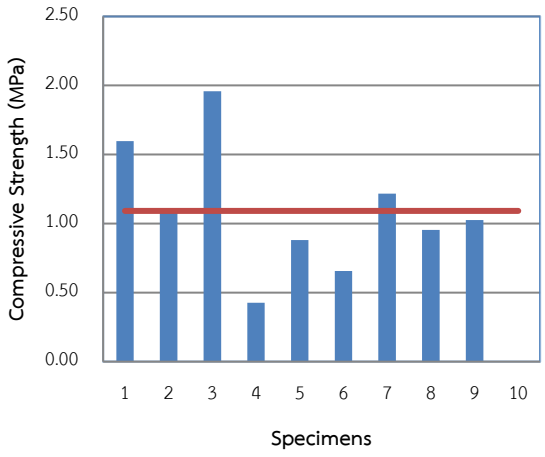
รูปที่ 8 ตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการความสูงสำหรับ (ก) ทดสอบกำลังรับอัด และ (ข) ทดสอบกำลังแรงดัด

4.3 ผลการทดสอบของตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ

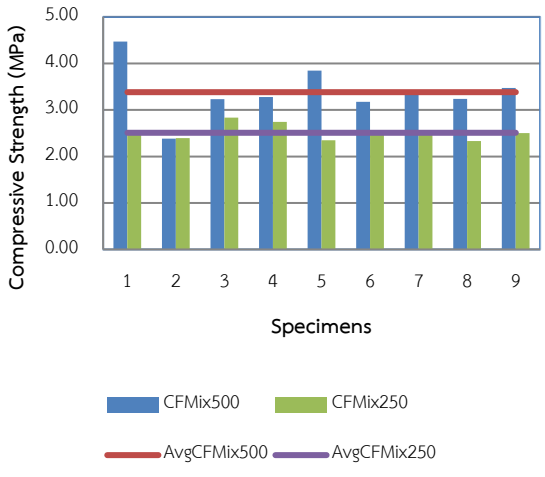
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของตัวอย่างมาตรฐานจำนวน 9 ตัวอย่างพบว่าค่ากำลังอัดประลัยเฉลี่ยเท่ากับ 1.09 MPa ดังแสดงในรูปที่ 9

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ของตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. CFMix250 และ CFMix500 พบว่าค่าความเค้นอัดประลัยเฉลี่ย 2.51 MPa และ 3.38 MPa ตามลำดับ ดังแสดงรูปที่ 10 และในตารางที่ 2

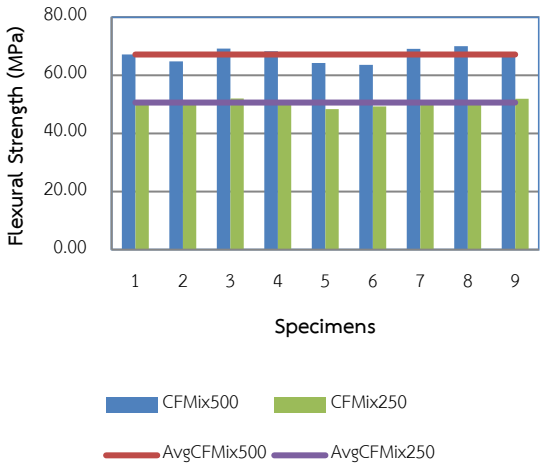
ผลการทดสอบกำลังรีบแรงดัด ของตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ยาว 650 มม. CFMix250 และ CFMix500กำลังรับความเค้นดัดประลัยเฉลี่ย 50.61 MPa และ 67.15 MPa ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 11 และตารางที่ 3



รูปที่ 9 กราฟค่ากำลังอัดของตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน



รูปที่ 10 กราฟค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบท่อนรับแรงน้ำหนักเบา CFMix500 และ CFMix250



รูปที่ 11 กราฟค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบท่อนรับแรงน้ำหนักเบา CFMix500 และ CFMix250

ตารางที่ 2 กำลังรับแรงอัดประลัยโดยเฉลี่ยของตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม.

ชื่อส่วนผสม	ความหนาแน่นโดยเฉลี่ย (kg/m^3)	แรงอัดสูงสุดโดยเฉลี่ย (kN)	พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย (mm^2)	ความเค้นอัดประลัยโดยเฉลี่ย (MPa)
CFMix250	250	25.61	10,207.03	2.51
CFMix500	500	34.46	10,207.03	3.38

ตารางที่ 3 กำลังรับแรงดัดประลัยโดยเฉลี่ยของตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ยาว 650 มม.

ชื่อส่วนผสม	ความหนาแน่นโดยเฉลี่ย (kg/m^3)	โมเมนต์ดัดสูงสุดโดยเฉลี่ย M (kN-mm)	ค่า $\frac{c}{I}$ (mm^3)	ความเค้นดัดประลัยโดยเฉลี่ย (MPa)
CFMix250	250	1,254.00	4.04×10^{-5}	50.61
CFMix500	500	1,663.75	4.04×10^{-5}	67.15

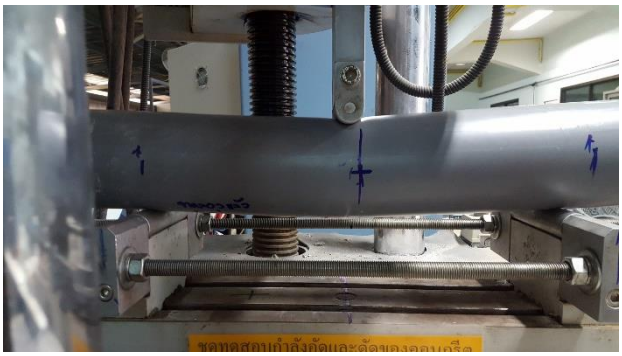
การวิบัติของตัวอย่างทดสอบมาตรฐานเนื่องจากแรงอัด เนื้อวัสดุมีการวิบัติแบบ Shear และแบบ Cone and spilt ดังแสดงในรูปที่ 12

การวิบัติของตัวอย่างทดสอบท่อนรับแรงน้ำหนักเบาเนื่องจากแรงอัด ท่อพีวีซีมีการเสียรูปลักษณะเกิดการปูด, บวมเบ่งตัวออกทางด้านข้างเป็นวงสม่ำเสมอโดยรอบ ส่วนภายในเนื้อซีเมนต์โฟมเกิดการยุบตัวดังแสดงในรูปที่ 13

การวิบัติของตัวอย่างทดสอบท่อนรับแรงน้ำหนักเบาเนื่องจากแรงดัด ท่อพีวีซีมีการโก่งเดาะเฉพาะจุด ณ บริเวณจุดที่ให้แรง และหยุดการทดสอบเมื่อตัวอย่างไม่สามารถรับแรงต่อไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 14

รูปที่ 12 การวิบัติเนื่องจากแรงอัดของตัวอย่างมาตรฐาน

รูปที่ 13 การวิบัติเนื่องจากแรงอัดของตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา



รูปที่ 14 การวิบัติเนื่องจากแรงดัดของตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบา

สมการหาค่าความเค้นอัดและความเค้นดัด ดังแสดงในสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ตามลำดับ

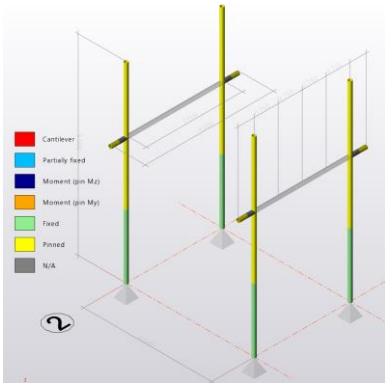
$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2)$$

5. การออกแบบเสาหลักและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น

5.1 การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภาย

การสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม Tekla Structural Designer 2022 มีการกำหนดเงื่อนไขที่จุดรองรับดังนี้ จุดรองรับเสาเป็นแบบยึดแน่น (Fixed) โดยมีพฤติกรรมจริงคือฝังลงใต้ดินลึกประมาณ 1.5 เมตร จุดรองรับของคานกำหนดเป็นแบบหมุด (pin) มีพฤติกรรมจริงยึดกับเสาหลวมๆลอยขึ้นลงตามน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ (Boundary conditions

5.2 การกำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง

เพื่อเป็นการง่ายต่อการสร้างสมมุติฐานงานวิจัยนี้กำหนดให้น้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวดิ่งเท่านั้น น้ำหนักบรรทุกแยกได้ดังนี้

Load 1 น้ำหนักพวงหอยที่โตเต็มที่ 1 กก./พวง จำนวน 20 พวง ดังนั้นราวเชือกจะรับน้ำหนักทั้งหมด 20 กก. จากนั้นถ่ายน้ำหนักกระทำลงคานด้านละ 10 กก. ดังแสดงในรูปที่ 16

Load 2 น้ำหนักพยุงของน้ำที่กระทำต่อเสาและคาน หาได้จากส่วนที่จมน้ำของเสาและคาน คิดเป็นแรงลัพธ์ของน้ำหนักพยุงเท่ากับ 25.50 กก. (0.25 kN) และ 20.40 กก./ม. (0.20 kN) ของเสาและคานตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 17

Load 3 น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง เสา (CFMix500) มีน้ำหนัก 5 กก./ม. (0.05 kN/m) และคาน (CFMix250) มีน้ำหนัก 3 กก./ม. (0.03 kN/m)

สมมุติฐานของน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างมี 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 คานลอยขึ้นลงตามระดับน้ำ

1) น้ำหนักพวงหอยนางรมที่เจริญเติบโตเต็ม (Load 1) ให้พิจารณาน้ำหนักที่สภาวะมีทุ่นลอย ให้คิดน้ำหนักตามแนวดิ่งเท่ากับ 0 กก.

2) แรงพยุงน้ำที่กระทำต่อเสาและคาน (Load 2) สามารถหาได้จากส่วนที่จมน้ำของเสาและคาน เป็นน้ำหนักพยุงกระทำเท่ากับ 25.50 กก. (0.25 kN) และ 20.40 กก. (0.20 KN) ตามลำดับ และมีทิศกระทำขึ้นต่อเสา-คาน

กรณีที่ 2 คานไม่ลอยลงตามระดับน้ำ

1) น้ำหนักพวงหอยนางรมที่เจริญเติบโตเต็ม (Load 1) ให้พิจารณาน้ำหนักที่สภาวะไม่มีทุ่นลอย ให้คิดน้ำหนักที่พวงละ 1 กก. จำนวน 20 พวง ดังนั้น ราวเชือกจะรับน้ำหนักทั้งหมด 20 กก. เป็นน้ำหนักกระทำลงคานแบบจุด จุดละ 10 กก. (98.1N)

2) แรงพยุงน้ำที่กระทำต่อเสาและคาน (Load 2) สามารถหาได้จากส่วนที่จมน้ำของเสาและคาน ในกรณีนี้เสาจมน้ำและคานไม่มีส่วนที่จมน้ำ คิดน้ำหนักพยุงกระทำเท่ากับ 25.5 กก. (0.25 kN) และ 0 กก. (0.00 kN) ตามลำดับ

และในทั้ง 2 กรณีข้างต้นให้รวมน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง (Load 3) สำหรับท่อนรับแรงน้ำหนักเบาขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ที่ใช้ส่วนผสม CFMix250 และ CFMix500 มีน้ำหนัก 3.00 กก./ม. (0.03 kN/m) และ 5.00 กก./ม. (0.05 kN/m) มีทิศกระทำลง ตามลำดับ กำหนดน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 18

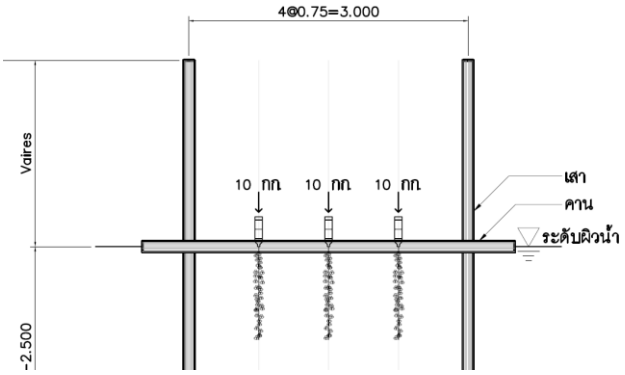
Load Combinations ที่ได้มีดังนี้

กรณีที่ 1 Comb 1= Load 2+Load 3

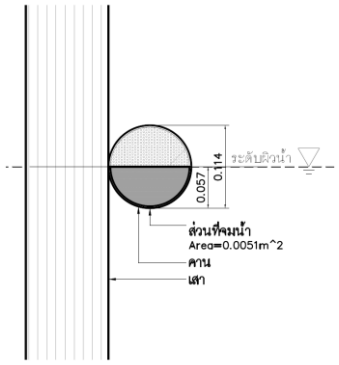
กรณีที่ 2 Comb 2 = Load 1+Load 3

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาแรงภายใน ได้แรงตามแนวแกนที่กระทำต่อเสามีค่าสูงสุดใน Comb 2 เท่ากับ 571 N และโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กระทำต่อคานใน Comb 2 มีค่าเท่ากับ 182,404 N-mm ดังแสดงในรูปที่ 19 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

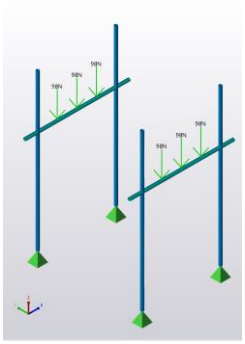
การออกแบบโครงสร้างจะใช้วิธีการคำนวณหาความเค้นที่ต้องการต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าความเค้นที่ทดสอบได้ และกำหนดให้มีความอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4



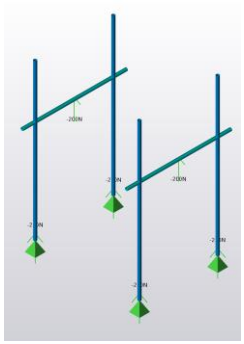
รูปที่ 16 น้ำหนักพวงหอยที่กระทำต่อคาน



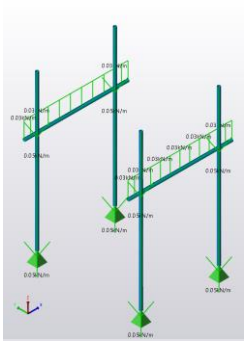
รูปที่ 17 แรงพยุงของน้ำที่กระทำต่อเสาและคาน



(ก)

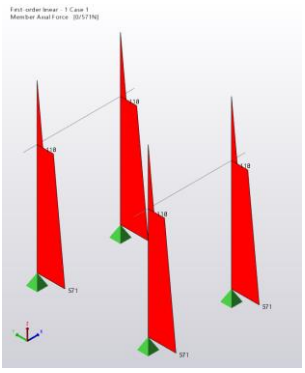


(ข)

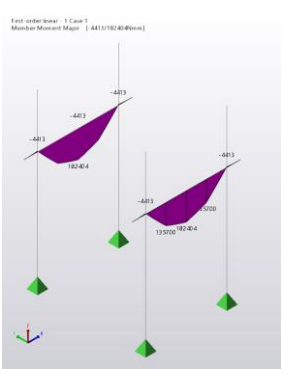


(ค)

รูปที่ 18 การกำหนดน้ำหนักบรรทุก ก. น้ำหนักจากพวงหอย (Load 1), ข.น้ำหนักจากแรงพยุง (Load 2), ค.น้ำหนักจากตัวโครงสร้างเอง (Load 3)



(ก)



(ข)

รูปที่ 19 การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหา ก.Axial Force และ ข.Moment Major

ตารางที่ 4 สรุปผลการออกแบบท่อนรับแรงน้ำหนักกเบาขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม.

ชื่อส่วนผสม	แรงอัดสูงสุด (N)	โมเมนต์ดัดสูงสุด (N-mm)	ความเค้นอัดที่ต้องการ (MPa)	ความเค้นดัดที่ต้องการ (MPa)	ความเค้นอัดออกแบบ (MPa)	ความเค้นดัดออกแบบ (MPa)	สรุป
CFMix250-คาน	-	182,404	-	7.36	2.51	50.61	ผ่าน
CFMix500-เสา	571	-	0.06	-	3.38	67.15	ผ่าน

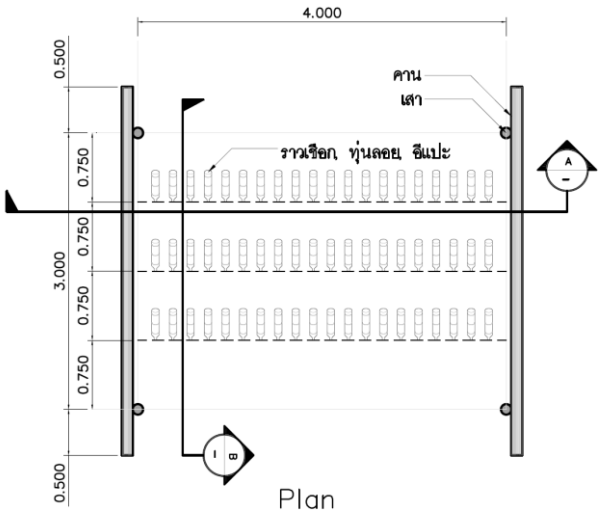
6. รูปแบบการติดตั้งเสาหลักและคานสำหรับการเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น

รูปแบบการติดตั้งเสาและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบทุ่นลอย ประกอบด้วย

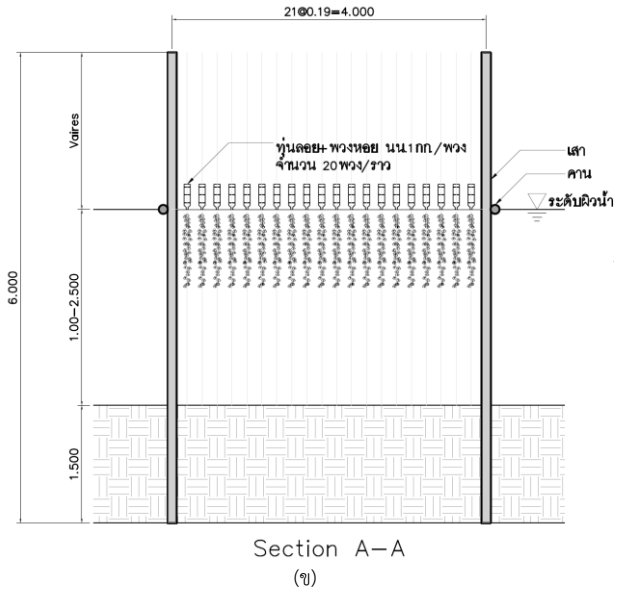
1). เสาหลักรับคานทำจากท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ยาว 6 เมตร โดยทำการต่อท่อท่อนยาว 4 เมตร และท่อนยาว 2 เมตรเข้าด้วยกัน โดยใช้ข้อต่อตรงพีวีซีขนาด 100 มม.และประสานด้วยกาว เมื่อยึดสนิทดีแล้ว ให้ติดตั้งเสาโดยการปักลงในดินใต้น้ำโดยใช้น้ำหนักกดจากผู้ติดตั้ง ให้มีความลึกจากผิวดินใต้น้ำประมาณ 1.5 เมตร ติดตั้งทั้งหมดจำนวน 4 ต้น ห่างด้านละ 3 และ 4 เมตร ดังแสดงรูปที่ 20

2). คานยึดราวเชือกของทุ่นลอยทำจากท่อนรับแรงน้ำหนักเบา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. ยาว 4 เมตร การยึดคานเข้ากับเสาหลักสามารถทำได้โดยใช้เชือกไนลอน ขนาด 8 มม. ผูกแบบหลวมโดยให้คานลอยขึ้นลงตามระดับน้ำทะเลได้

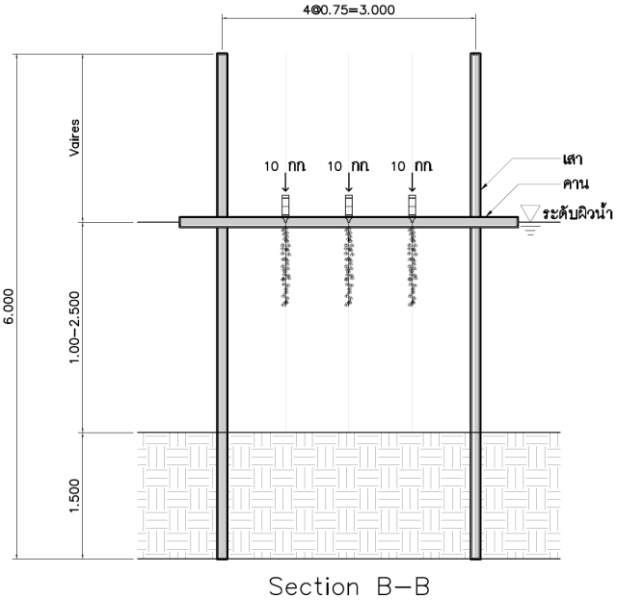
3.) ราวเชือก, ทุ่นลอยพลาสติก และอีแปะ (วัสดุล่อหอย) ขึงราวเชือกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. ระหว่างคานทั้ง 2 ด้านจำนวน 3 แถวห่างกันแถวละ 75 ซม. การติดตั้งทุ่นลอยนำเชือกไนลอนขนาด 4 มม. มัดที่คอขวดพลาสติกขนาด 1500 มล. (ทุ่นลอย) และนำไปผูกติดกับราวเชือก ทุ่นลอยห่างกัน 20 ซม. ผูกจนครบความยาวราวเชือก 4 เมตร การติดตั้งอีแปะ (วัสดุล่อหอย) ใช้เชือกไนลอนขนาดเล็กยาว 1 เมตร มัดติดกับราวเชือกโดยให้อยู่ระหว่างทุ่นลอย ดังแสดงในรูปที่ 20 และ 21



(ก)

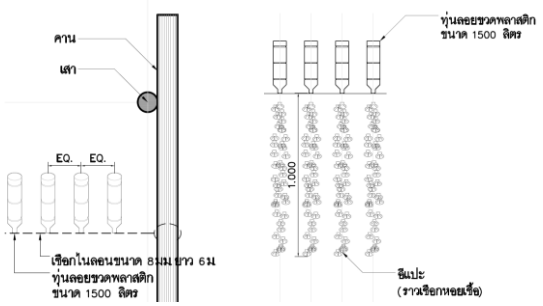


(ข)



(ค)

รูปที่ 20 รูปแบบการติดตั้งเสาหลักและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น (ก) Plan View, (ข) Section A-A, (ค) Section B-B



รูปที่ 21 ราวเชือก, ทุ่นลอยพลาสติก, อีแปะ (รวมเชือกหอยเชื้อ)

7. การประยุกต์ใช้งานจริงและผลการทดลอง

7.1 การประยุกต์ใช้ท่อนรับแรงน้ำหนักเบาในสถานที่จริง

การประยุกต์ใช้ท่อนรับแรงน้ำหนักเบาเพื่อทดแทนเสาหลักไม้ไผ่สำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่นได้ทำการติดตั้งที่อ่าวปิดบริเวณปากแม่น้ำอำเภอท่าใหม่ ตำบลตะกาดง้าว ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2560 ถึงเดือนกรกฎาคม 2561 โดยทำการติดตั้งอย่างถูกวิธี ดังแสดงในรูปที่ 22 ถึง รูปที่ 25

รูปที่ 22 การตอกเสาหลักลงดินที่อยู่ใต้น้ำและการติดตั้งคาน

รูปที่ 23 ยึดคานเข้ากับเสาหลักโดยใช้เชือกไนลอนโดยให้คานสามารถลอยขึ้นลงตามระดับน้ำได้อย่างอิสระ

รูปที่ 24 การติดตั้งทุ่นลอยและอีแปะเข้ากับราวเชือก

รูปที่ 25 เสาหลักและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่นหลังติดตั้งเสร็จ

7.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองการใช้งานจริงจะใช้วิธีการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 เดือน เป็นระยะเวลา 6 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 26 โดยมีเกณฑ์การประเมิน ดังนี้

1. ความสมบูรณ์ของโครงสร้างเสาหลักและคานอยู่ในสภาพสมบูรณ์ ไม่แตก, งอ, หรือ ผุ
2. เสาหลักต้องไม่มีหอยชนิดอื่นมาเกาะ

ตารางที่ 5 ข้อมูลผลการใช้งานจริงตั้งแต่วันที่ ธ.ค. 2560 ถึง ก.ค. 2561 จำนวน 6 เดือน

ชิ้นส่วน	เดือน	ความสมบูรณ์ของโครงสร้าง	ไม่มีหอยเกาะตามเสาและคาน
เสา-คาน	1	ผ่าน	ผ่าน
	2	ผ่าน	ผ่าน
	3	ผ่าน	ผ่าน
	4	ผ่าน	ผ่าน
	5	ผ่าน	ผ่าน
	6	ผ่าน	ผ่าน

รูปที่ 26 โครงสร้างสำหรับเลี้ยงหอยนางรม อายุ 6 เดือน (หลังเก็บเกี่ยว)

8. สรุป

1. การเลี้ยงหอยนางรมในจังหวัดจันทบุรีส่วนใหญ่นิยมเลี้ยงแบบลอยทุ่นเนื่องจากหอยโตได้เร็วเพราะอยู่ใต้น้ำตลอดเวลา โครงสร้างหลักของการเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่นมีเสาและคานทำจากไม้ไผ่ โดยไม้ไผ่ที่ใช้ทำเสาและคานนั้นพบว่ามีอายุการใช้งานที่สั้นประมาณ 2 ปี ก็เริ่มผุอีกทั้งยังมีหอยมาเกาะทำให้ยากต่อการดูแล

2. งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการสร้างตัวอย่าง “ท่อนรับแรงน้ำหนักเบา” เพื่อใช้เป็นโครงสร้างเสาและคานสำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่น เพื่อใช้ทดแทนเสา-คานที่ทำจากไม้ไผ่ ซึ่งท่อนรับแรงน้ำหนักเบาที่พัฒนาขึ้นนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ 1) ปลอกท่อพีวีซีเกษตรสีเทาขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. และ 2) ซีเมนต์โฟมที่บรรจุอยู่ภายในท่อพีวีซี

3. ซีเมนต์โฟมออกแบบให้บรรจุภายท่อพีวีซีมีความหนาแน่น 250 กก./ม.^{3} (CFMix250) และ 500 กก./ม.^{3} (CFMix500) ของคานและเสา

ตามลำดับ โดย CFMix250 จะผสมซีเมนต์กับเม็ดโฟมและน้ำ ส่วน CFMix500 จะมีทรายเป็นส่วนผสมเพิ่ม

4. ผลการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการพบว่าตัวอย่าง CFMix250 และ CFMix500 มีค่าความเค้นอัดสูงสุดเท่ากับ 2.51 MPa และ 3.38 MPa ตามลำดับ และค่าความเค้นดัดสูงสุดเท่ากับ 50.61 MPa และ 67.15 MPa

5. ผลการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างพบว่าความเค้นอัดในเสาสูงสุดที่ต้องการเท่ากับ 0.06 MPa และความเค้นดัดสูงสุดในคานที่ต้องการเท่ากับ 7.36 MPa เมื่อเปรียบเทียบผลความเค้นที่ได้จากห้องปฏิบัติพบว่าตัวอย่างจริงที่สร้างขึ้นนั้นสามารถใช้งานได้

6. การประยุกต์ใช้ตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบาได้ทำการติดตั้งที่อ่าวปิดบริเวณปากแม่น้ำ อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี โดยติดตั้งตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้อย่างถูกต้องและได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้งานเป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่าตัวอย่างท่อนรับแรงน้ำหนักเบามีความแข็งแรงสมบูรณ์ไม่มีหอยเกาะตามเสาและคาน

7. สามารถสรุปได้ว่าท่อนรับแรงน้ำหนักเบาสามารถใช้ทดแทนเสาและคานไม้ไผ่สำหรับเลี้ยงหอยนางรมแบบลอยทุ่นได้

8. ข้อเสนอแนะ ควรมีการเก็บข้อมูลการใช้งานจริงมากกว่านี้และเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านอื่นๆ ระหว่างโครงสร้างรับแรงน้ำหนักเบาและโครงสร้างไม้ไผ่เพื่อให้ทราบข้อดีและข้อเสีย ในด้านอื่นๆเพิ่มต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณชาวตำบลตะกาดเง้า อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี สำหรับการอนุญาตให้นำตัวอย่างทดลองไปใช้งานจริงในพื้นที่ชายฝั่งทะเล

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, และมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่, เครื่องมือ, และอุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณผู้ที่มีพระคุณทุกท่านที่คณะผู้วิจัยมิได้เอ่ยนาม และหากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้วิจัยขอน้อมรับข้อควรปรับปรุงไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] นิพนธ์ ศิริพันธ์. การเลี้ยงหอยนางรม. *เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

[2] Szuster, Brian W., Chalermwat, Kashane, Flaherty, Mark, Intacharoen, Prasarn, (2008). Peri-urban oyster farming in the Upper Gulf of Thailand. *Aquaculture economics & management 2008*, pp. 268-288

[3] Kaminski, S., Lawrence, A., Trujillo, D., & King, C. (2016). Structural use of bamboo: Part 2: Durability and preservation. *TheStructuralEngineer*, 38-43.

[4] MAHESHKUMAR H. THAKRELE, (2014). Experimental study on foam concrete. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development (IJCSEIERD)*, Feb 2014, pp.145-158.

[5] Puttappa C.G., Rudresh V., Ibrahim A., Muthu K.U., Raghavendra H.S., Mechanical properties of foamed concrete. *ICCBT*, 2008, A–43, pp.491-500.

[6] ชาตรี งามเสงี่ยม. (2561). การศึกษาการรับกำลังของซีเมนต์โฟมที่บรรจุอยู่ภายในท่อพีวีซี. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23 โรงเรียนนายร้อยพระจุลเจ้าเกล้า นครนายก*, 18-20 กรกฎาคม 2561.

[7] Gathimba Naftary K., Oyawa Walter O., Mang'urin Geoffrey N. (2014). Compressive strength characteristics of concrete filled plastic tube short columns. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, September 2014, pp.2168-2174.

[8] Usha C.M., Dr. H.Eramma., (2014). Experimental study on concrete filled unplasticized poly vinyl chloride (UPVC) tubes. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, July 2014, pp.331-338.

[9] Mohan K. Neelam, Sriram Kalagal, (2002). Elastic properties of PVC pipes. *Journal of Structural Engineering*, Jully-September 2002, pp.91-96.

[10] *American Society for testing and Materials*. Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete. ASTM C143/C143M-03. 2003.

[11] *American Society for testing and Materials*. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM C39/C39M-01. 2001.

[12] *American Society for testing and Materials*. Standard test method for flexural strength of concrete (Using simple beam with center-point loading). ASTM C293/C293M-06. 2016.