



ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 (มกราคม - ธันวาคม 2563)
Vol. 3 No. 1 January – December 2020

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ

ด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

Royal Thai Naval Academy
Journal of Science
and Technology



ISSN : 2586-971x (Print)
ISSN : 2730-1389 (Online)

Available online at www.rtna.ac.th





พระราชหัตถเลขาในสมุดเยี่ยมโรงเรียนนายเรือ เป็นข้อความประวัติศาสตร์ว่า
“ วันที่ ๒๐ พฤศจิกายน รัตนโกสินทร์ศก ๑๒๕ เรา จุฬาลงกรณ์ พร ได้มาเปิดโรงเรียนนี้
มีความปลื้มใจซึ่งได้เห็นการทหารเรือมีรากหยั่งลงแล้ว จะเป็นที่มั่นสืบไปในภายหน้า”

คณะที่ปรึกษาวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พลเรือโท ไชยนันท์ นันทวิทย์
พลเรือตรี ประชา สว่างแจ้ง
พลเรือตรี สายัณห์ ไอยราชรัตน์
พลเรือตรี ประวุฒิ รอดมณี
พลเรือตรี สุภชิต นาวิสุรพล
พลเรือตรี อุตตะวีร์ ทักษรานุกพงศ์

บรรณาธิการ

กองบรรณาธิการ (ภายใน)

นาวาเอก ประสิทธิ์ จันทร
นาวาเอกหญิง รองศาสตราจารย์ ศิริรัตน์ บุญโสภิต
นาวาเอกหญิง ดวงสุดา ปั่นเมืองปัก
นาวาเอก สุทธิรักษ์ พรหมณีย์
นาวาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ นภาศักดิ์ศรี
นาวาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศุภสิทธิ์ คงดี
นาวาโท พิศณุ คุ้มชัย
นาวาโท อัศนัย ไทรบุญจันทร์
นาวาโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงศิษฐ์ ทวีขพงศ์ธร
เรือเอก บุญญฤทธิ์ สุขเมือง
เรือโทหญิง ณิชฐา สุขบุรณ์
เรือตรี สัญญา วอนน้ำเพชร

กองบรรณาธิการ (ภายนอก)

นาวาเอก สุขสันต์ สีสกุล
นาวาเอก สมาน ใต้รายรัมย์
นาวาเอก ฉัตรชัย เหลืองทองคำ
นาวาโท กมลชัย ประกอบจินดา
นาวาเอก วุฒิชัย ชินไชยมงคล
นาวาเอก ประโยชน์ พรหมมี
นาวาเอกหญิง ลลิตา สวัสดิชัย
นาวาโท ทวี ดีจะมาลา
นาวาโท จตุพร ศรีกลชาญ
เรือเอกหญิง กิตติวรรณ เอ็มสุข
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิรวิภากร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ขาวเน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิพัฒน์ แผ้วฉ่ำ
นางสุภัทรา เดชะศิริพงษ์

ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
รองผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรือ
เสนาธิการ โรงเรียนนายเรือ
หัวหน้าฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ
อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ โรงเรียนนายเรือ

นาวาเอก ประสิทธิ์ จันทร

ผู้อำนวยการกองวิชาวิศวกรรมอุทกศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

บรรณาธิการ

กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และเลขานุการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และผู้ช่วยเลขานุการ
กองบรรณาธิการ และผู้ดูแลระบบ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ
กองบรรณาธิการ และผู้ดูแลระบบ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

กรมกำลังพลทหารเรือ

กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ

กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ

กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ

กรมสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศทหารเรือ

กรมสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศทหารเรือ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

นักวิชาการอิสระ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่ผู้สนใจทั่วไป
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่ ปีละ 1 ฉบับ (มกราคม – ธันวาคม)

สถานที่ติดต่อ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนนายเรือ เลขที่ 204 ถ.สุขุมวิท ต.ปากน้ำ อ.เมืองสมุทรปราการ
จ.สมุทรปราการ 10270
โทรศัพท์ : 0-2475-3986
E-mail: rtna.edu.hg@gmail.com

ออกแบบ-พิมพ์ที่ บริษัท แอดวานซ์ กราฟี่ จำกัด
503 ถ.อิสรภาพ แขวงบ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700
โทรศัพท์ : 062-456-4855
E-mail : suwaboot.adg@gmail.com

บทความหรือข้อคิดเห็น ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน โรงเรียนนายเรือและกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฉบับนี้เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม – ธันวาคม 2563 ซึ่งเป็นครั้งแรกที่ทีมงานกองบรรณาธิการวารสาร ฯ ได้เข้าอบรมการจัดทำระบบการจัดการวารสารออนไลน์ (Thai Journals Online: ThaiJO) ทำให้มีการพัฒนาเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ดำเนินการรับ – ส่ง บทความผ่านระบบการจัดการวารสารออนไลน์ ตามมาตรฐานของ ThaiJO เนื้อหาของบทความยังคงเป็นเนื้อหาสาระที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งในรูปแบบบทความวิจัย และบทความวิชาการ ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจำนวน 6 เรื่อง และบทความวิชาการจำนวน 4 เรื่อง โดยมีบทความวิจัยที่น่าสนใจของ น.อ.ผศ.จิตติ สัมภักตะกุล และ น.ท.ผศ.พีระพงษ์ พรหมจันทร์ ได้เสนอบทความเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR กับการแสดงท่อทางของเรือ เรื่องระบบแสดงผลท่อทางของเรือโดยใช้เทคโนโลยี (A Demonstration of The Ship's Piping Systems Using Augmented Reality Technology) และบทความวิจัยของ น.อ.สมาน ด้รายรัมย์ ได้เสนอบทความเกี่ยวกับการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลโดยใช้เทคโนโลยีของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เรื่องแนวทางการกำหนดเขตรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเลในเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเลของไทย (Guidelines for Coastal Provinces Delimitation in Sovereignty of Thailand) ซึ่งเป็นเนื้อหาที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษา นักวิชาการ และผู้ที่สนใจทั่วไป

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน หากมีข้อเสนอแนะที่จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวารสาร ฯ ฉบับต่อ ๆ ไป กองบรรณาธิการยินดีรับคำแนะนำจากทุกท่าน และขอขอบคุณกองบรรณาธิการ ฯ และทีมงานทุกคน ที่ทำให้วารสารฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเรียบร้อย รวมทั้งท่านผู้อ่านที่ได้ให้ความสนใจติดตามวารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มาอย่างต่อเนื่อง พบกันใหม่ฉบับหน้า

นาวาเอก ประสิทธิ์ จันทร์
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย (Research Article)

หน้า

ระบบแสดงผลท่อทางของเรือโดยใช้เทคโนโลยี (A Demonstration of The Ship's Piping Systems Using Augmented Reality Technology)

1

จิตติ สัมภิตตะกุล

พีระพงษ์ พรหมจันทร์

การพัฒนาระบบคัดแยกพระเครื่องชนิดเนื้อผงโดยใช้เมตริกซ์ของระดับสีเทาที่เกิดขึ้น ร่วมกันและการแปลงเวฟเล็ตและใช้โครงข่ายประสาทเทียมจำแนก (Implementation of Classification System for Buddha Amulet using GCM and Wavelet Transform and using Neural Network for Classify)

9

อนุชิตา ละอองคำ

พิศณุ ภูมิชัย

แนวทางการกำหนดเขตอธิปไตยระหว่างจังหวัดทางทะเลในเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเลของไทย (Guidelines for Coastal Provinces Delimitation in Sovereignty of Thailand)

21

สมาน ไตรยรัมย์

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar-Powered Turbine Aerator)

35

ภาสกร ทองเสน

ยอดชาย เตียเป็น

เครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ (A Mobile Tube Pressure Testing Machine)

45

วีระ บุญพุด

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Study of Shoreline Change Using Geographic Information System)

55

วิมล ตรีชัย

สารบัญ

บทความวิชาการ (Academic Article)

หน้า

ระบบ Link 22 Super Network และการประยุกต์ใช้งาน
(Link 22 Super Network System and Applications)

66

อริยพล อธิระบุติกุล

เปรียบเทียบการยึดเกาะ: (Barnacles and the Attachments)

74

วริษฐา ขาววิเศษ

อนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ (Automatic Differentiation)

83

พีระพงษ์ พรมจันทร์

การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลด้วย

93

ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (Determination of Quantity of Methyl
Ester in Biodiesel by Thin Layer Chromatography (TLC))

สายฝน เกี้ยวสมพันธ์

ระบบแสดงผลท่อทางของเรือโดยใช้เทคโนโลยี

A Demonstration of The Ship's Piping Systems Using Augmented Reality Technology

จิตติ สัมภัตตะกุล¹ และ พีระพงษ์ พรหมจันทร์²

Jitti Sampattakul¹ and Perapong Promchan²

Received: April 23, 2020

Revised: May 18, 2020

Accepted: July 9, 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาาระบบแสดงผลท่อทางของเรือโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อใช้ในการฝึกกำลังพล ให้มีความชำนาญและเป็นการลดค่าใช้จ่ายจากการฝึก โดยบทความนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน ตั้งแต่การศึกษาระบบท่อทางของเรือ การสร้างโมเดล 3 มิติ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR และการสร้างโปรแกรม เพื่อให้กำลังพลสามารถฝึกฝนจากอุปกรณ์ส่วนตัว เช่น Smartphone ได้ โปรแกรมที่ใช้ในการทำวิจัยนี้ได้แก่ โปรแกรม Sketchup โปรแกรม Maya และโปรแกรม Unity Engine เมื่อทำการสร้างโปรแกรมแล้วจึงทำการทดสอบโดยทำการติดตั้งใน Smartphone ของผู้ใช้งาน โดยเมื่อใช้กล้องจาก Smartphone ถ่ายภาพไปที่ภาพอ้างอิง จะแสดงภาพเรือและระบบท่อทาง 3 มิติ ซึ่งการสร้างโปรแกรมนี้นี้ทำให้เห็นประโยชน์ของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR กับการแสดงผลท่อทางของเรือ อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงข้อจำกัดด้าน Hardware และรายละเอียดของระบบท่อทางของเรือเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

คำสำคัญ : Augmented Reality ระบบท่อทางเรือ Sketchup Maya Unity Engine

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Department of Engineering, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-Mail: navy1410@yahoo.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์ ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Department of Mathematics, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-Mail: perapongp@hotmail.com

Abstract

The objective of this paper is to develop a demonstration of the ship's piping systems using augmented reality technology for personnel training in order to enhance their skills and reduce training costs. This paper also mentions the operating procedures such as studying the ship's piping systems, creating a 3D model, using AR technology, and building a program package allowing personnel to learn the systems by using their own smartphones. The programs used for this research are Sketchup, Maya and Unity Engine. After the package is built and installed into the user's smartphone, the user uses the smartphone's camera and points to the reference picture to display the 3D ship and piping systems. The result of this research allows us to gain benefits from applying AR technology to the ship's piping systems. However, the limitations of hardware and the details of ship's piping systems are mentioned for future development.

Keywords: Augmented Reality, Ship's Piping Systems, Sketchup, Maya, Unity Engine

1. บทนำ

กองทัพเรือมีนโยบายในการพัฒนาความสามารถของกำลังพล กองทัพเรือ เพื่อให้สามารถปฏิบัติภารกิจตามที่ได้รับมอบหมายได้สำเร็จคล่อง และใช้เทคโนโลยีในการบำรุงรักษาทุติยภูมิให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเรือรบถือได้ว่าเป็นทุติยภูมิที่สำคัญ ซึ่งกองทัพเรือ มีจำนวนเรือรบอยู่กว่า 340 ลำ หากกล่าวถึงระบบท่อทางในเรือ นั้น สามารถเปรียบเทียบกับเส้นเลือดที่ไหลทั่วตัวเรือ ซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานของเรือ และอาจเกิดอันตรายได้หากละเลยในการบำรุงรักษาระบบท่อทาง เพราะท่อทาง อาจเป็นท่อสำหรับลำเลียงน้ำมันต่างๆ เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเครื่องบิน เป็นต้น ดังนั้นการสำรวจท่อทางหรือการมีแบบแปลน จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานในเรือสามารถเข้าใจถึงระบบและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบท่อทางในเรือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบท่อทางในเรือ เป็นระบบสำคัญที่ใช้ในการส่งของเหลวภายในตัวเรือหรือนอกตัวเรือ โดยทั่วไปผู้ใช้จะไม่ทราบปัญหาของระบบท่อทางจนกว่าจะเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น ความดันในท่อลดลง ท่อแตกหรือมีรูรั่ว ซึ่งอาจมีอันตรายต่อชีวิตผู้ปฏิบัติงานในเรือ แม้เรือจะมีผังท่อทางที่เป็นรูปแบบพิมพ์เขียว แต่เรือที่ประจำการเป็นเวลานาน อาจเกิดการสูญหาย หรือหากมีการปรับปรุงตัวเรือ แปลนระบบท่อทางก็มักไม่ได้มีการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน ดังนั้นผู้ที่ปฏิบัติงาน ณ ปัจจุบัน อาจไม่มีข้อมูลระบบท่อทางซึ่งหากเกิดเหตุจำเป็นต้องมีการซ่อมทำ อาจส่งผลถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน และยากต่อการวิเคราะห์ถึงปัญหา อีกทั้งการที่แปลนมีลักษณะเป็นรูปแบบ 2 มิติ อาจทำให้การซ่อมทำหรือการปรับปรุงให้ทันสมัยเป็นไปได้ยาก

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการสร้างระบบแสดงผลท่อทางในเรือรบโดยใช้เทคโนโลยีโมเดล 3 มิติร่วมกับเทคโนโลยี Augmented Reality เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานในเรือสามารถเห็นภาพระบบท่อทางของเรือได้ชัดเจน และสามารถนำข้อมูลของผังระบบท่อที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัลมาวิเคราะห์ถึงปัญหาได้ดียิ่งขึ้น และเป็นการสร้างระบบเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำรองกรณีเกิดการสูญหายของผังท่อทางเดิม อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงท่อทางให้เป็นปัจจุบันได้ง่าย และสามารถใช้ระบบในการช่วยวางแผนรับมือภัยคุกคามในยามสงคราม เช่น สงครามรูปแบบใหม่ ได้อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อศึกษาระบบช่องทางของเรือรบในกองทัพเรือ ศึกษากระบวนการสร้างโมเดล 3 มิติของระบบช่องทางในเรือ และสร้างระบบแสดงผลช่องทางของเรือรบโดยใช้เทคโนโลยี 3 มิติ และ Augmented Reality (AR)

2.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

โครงการนี้เป็นการวิจัยแบบประยุกต์ โดยเริ่มจากการศึกษาปัญหาและหาเทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ ตลอดจนแนวทางที่สถานศึกษาต่างประเทศใช้ แล้วนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ปรับปรุงให้เหมาะสมกับระบบช่องทางของเรือในกองทัพเรือ แล้วใช้ทักษะและโปรแกรมในการสร้างวัตถุ 3 มิติเป็นระบบช่องทาง ตามผังและการเก็บข้อมูลจากการสำรวจจริงแล้วนำมาเปรียบเทียบในเชิงประสิทธิภาพ คือ การแสดงผลและการควบคุมมุมมองและการเปรียบเทียบเชิงความเสมือนจริง คือ ตำแหน่งความถูกต้องของช่องทางและพื้นผิวของวัตถุ แล้วนำมาทดลองใช้งาน นำคำแนะนำของผู้ใช้งานมาปรับปรุงต่อไปให้เกิดระบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

3. เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

3.1 AR Hardware

ส่วนประกอบของฮาร์ดแวร์สำหรับ AR ได้แก่ หน่วยประมวลผล หน่วยแสดงผล เช่น เซอร์ และ อุปกรณ์ Input ต่างๆ ซึ่งปัจจุบัน อุปกรณ์สื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือ Tablet ที่มีเซนเซอร์ต่างๆ เช่น Accelerometer GPS และ Solid State Compass เหมาะกับการใช้งานรูปแบบของ AR ซึ่งในส่วนของ การแสดงผลนั้น อาจใช้โทรศัพท์มือถือที่มีกล้อง นอกจากนี้ อุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ AR ได้แก่ Tracking Input Device Computer Projector ระบบเครือข่าย เป็นต้น

3.2 AR Software และ Development

การวัดประสิทธิภาพของ AR คือ ความสมจริงที่จะแสดงภาพหรือโมเดลในสภาวะแวดล้อมจริง เราจะเรียกว่า Image Registration[1] โดยส่วนนี้จะเป็นปัญหาเกี่ยวกับการแสดงภาพเสมือนกับวัตถุจริง ซึ่งสามารถทำการแก้โดยใช้เลนส์ทางออปติคัล[2],[3] ขั้นตอนการแสดงผลภาพ AR นั้น อาจแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอนหลักๆ คือ ขั้นตอนแรก จะเป็นการตรวจจับจุดสนใจที่ต้องการให้แสดง ในขั้นตอนนี้ จะใช้ Feature Detection หรือคุณสมบัติของภาพหรือวัตถุที่จะใช้ในการตรวจจับ ได้แก่ Corner Detection, Blob Detection, Edge Detection หรือ Thresholding ขั้นตอนที่สอง จะเป็นการนำวัตถุเสมือนมาแสดงในสิ่งแวดล้อมจริงโดยมีความสัมพันธ์ทางด้านตำแหน่งของวัตถุเสมือนกับวัตถุจริง ในขั้นนี้ อาจใช้การคำนวณรูปร่างของวัตถุในเวลาจริง Real-time หรืออาจทำการประมวลผลก่อนแบบไม่ Real-time ก็ได้ ซึ่งในส่วนของ การคำนวณนี้อาจใช้ Algorithm ที่เกี่ยวข้องมาปรับแต่งตำแหน่งหรือขนาดของวัตถุเพื่อให้การแสดงผลภาพหรือวัตถุ AR มีความถูกต้องแม่นยำ กับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น การออกแบบระบบ AR อาจพิจารณาจากหัวข้อดังต่อไปนี้

การออกแบบด้านบริบทหรือ Context Design – ในการออกแบบลักษณะนี้ จะเน้นด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพของผู้ใช้ พื้นที่และการเข้าถึง โดยการออกแบบในลักษณะนี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะดังต่อไปนี้

Public หมายถึง ผู้ใช้ใช้ส่วนของร่างกายทั้งหมดในการโต้ตอบกับ Software

Personal หมายถึง ผู้ใช้ใช้อุปกรณ์ Smartphone ในพื้นที่สาธารณะ

Intimate หมายถึง ผู้ใช้นั่งอยู่หน้าเครื่องคอมพิวเตอร์และไม่ได้เคลื่อนที่ไปไหน

Private หมายถึง ผู้ใช้ใช้อุปกรณ์สวมใส่ จำพวก Wearable

การออกแบบด้านการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ Interaction Design – การออกแบบลักษณะนี้จะเน้นเกี่ยวกับการปฏิบัติการของผู้ใช้งานต่อผลิตภัณฑ์เพื่อทำให้ผู้ใช้งานได้รับประสบการณ์หรือความสนุก ซึ่งวัตถุประสงค์สำหรับการออกแบบในลักษณะนี้คือการหลีกเลี่ยงความสับสนของผู้ใช้โดยการจัดการด้านการแสดงข้อมูลของระบบ AR ให้เป็นลำดับหรือขั้นตอน

3.3 AR Applications หรือ การประยุกต์ใช้ AR กับงานด้านต่างๆ

AR ได้ถูกประยุกต์ใช้กับงานกันอย่างแพร่หลาย รวมถึงยังใช้กับการฝึกหรือ Training ในด้านต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้เกิดความชำนาญ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการฝึกอีกด้วย

3.4 การออกแบบและสร้างโมเดล 3 มิติ โดยใช้โปรแกรม Sketchup Maya และ Unity Engine

โปรแกรม Sketchup - เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างโมเดล 3 มิติ โดยมีจุดเด่นในด้านความง่ายในการใช้เครื่องมือที่มีมาให้ และสามารถปรับมุมมองในขณะที่สร้างโมเดลได้ รวมทั้งสามารถกำหนดมิติหรือขนาดของโมเดลให้มีสัดส่วนเหมือนจริง

โปรแกรม Maya - เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างงาน 3 มิติ ที่สามารถปรับโมเดลจาก Vertex Face หรือ Edge ได้ เพื่อให้การแสดงผลมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การปรับ Face 4 ที่เหมาะสมกับการคำนวณของคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมนี้อย่างยังสามารถสร้างภาพ Render ที่ให้ความเหมือนจริงได้เป็นอย่างดี

โปรแกรม Unity Engine - เป็นโปรแกรมที่ใช้ควบคุมและสร้างโมเดล 3 มิติ ซึ่งสามารถ Import รูปแบบไฟล์ที่หลากหลาย และสามารถทำการสร้าง (Build) เพื่อใช้กับอุปกรณ์แสดงผลได้หลากหลาย เช่น PC Tablet Mobile และรองรับระบบปฏิบัติการได้แก่ Windows Android IOS เป็นต้น

4. ทบทวนวรรณกรรมและงานที่เกี่ยวข้อง

- Sheryl Staub-French [4] ได้กล่าวว่า การใช้โมเดล 3 มิติ และ 4 มิติ ในการออกแบบสำหรับโครงสร้าง เช่น การก่อสร้างอาคาร รวมถึงการนำมาใช้ร่วมกับระบบท่อทางของอาคาร โดยในบทความของ Sheryl ได้กล่าวถึง เครื่องมือสร้างแบบจำลอง 3 มิติ และ 4 มิติ โดยการวิจัยนี้จะให้แนวทางที่อธิบายถึงปัญหาของโครงการรวมทั้งวิธีการแก้ปัญหาทางเทคนิคขั้นตอน

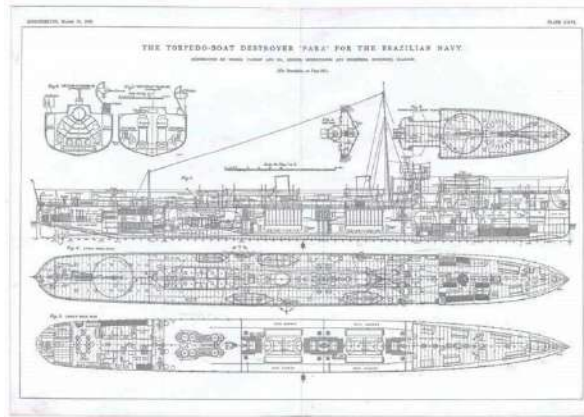
- Messner [5] ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ 3 มิติ โดยใช้เทคโนโลยี Immersive และ Virtual Reality จากการศึกษาพบว่าแบบจำลอง 3 มิติเมื่อแสดงในสภาพแวดล้อมการฉายภาพแบบสมจริงช่วยให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับสภาพแวดล้อมเสมือนจริงได้อย่างเต็มรูปแบบและทบทวนพื้นที่ที่ออกแบบในลักษณะที่ใช้งานง่ายขึ้น

- Khanzode [6] ได้นำเทคโนโลยีการสร้างโมเดล 3 มิติ มาใช้กับงานด้านการก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรมในโครงการจริง และได้บอกถึงรายละเอียดในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในแต่ละขั้นตอน เช่น การสร้างโมเดลของแต่ละชิ้นงานแล้วนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็น Project ที่ทำแบบทีม หรือ การนำโมเดลมาวิเคราะห์ถึงข้อผิดพลาดในการออกแบบ เป็นต้น

5. การดำเนินงาน

5.1 ศึกษากระบวนการในเรือ

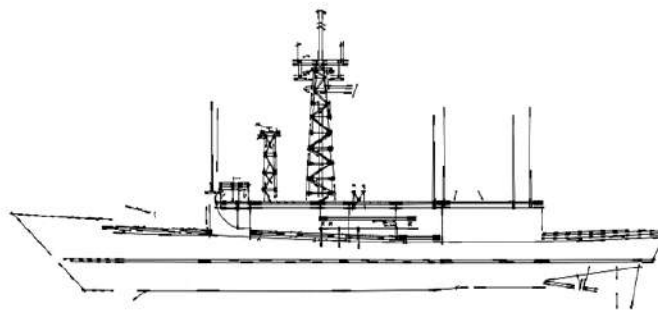
ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบท่อทางในเรือ ซึ่งมีความซับซ้อนและยากต่อการศึกษาสำหรับกำลังพลโดยระบบท่อทางในเรือ มีความแตกต่างกันตามประเภทของเรือและความซับซ้อนของระบบ



รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างโครงสร้างของเรือ

5.2 ศึกษาข้อมูลเรือรบและทำการ Sketch

จากการดำเนินการได้รูปแบบเรือรบจำนวน 1 ลำที่จะแสดงผลโดยใช้เทคโนโลยี AR ได้จากโทรศัพท์มือถือ ซึ่งได้เริ่มตั้งแต่การศึกษาข้อมูลของเรือ ระบบต่อทาง และเทคโนโลยีที่จะใช้แสดงผล โดยเริ่มจากเลือกชนิดเรือที่ต้องการเป็นต้นแบบและทำการ Sketch คร่าวๆ เพื่อให้เกิดภาพในการที่จะใช้โปรแกรมสร้างต่อไป ดังรูปแบบนี้



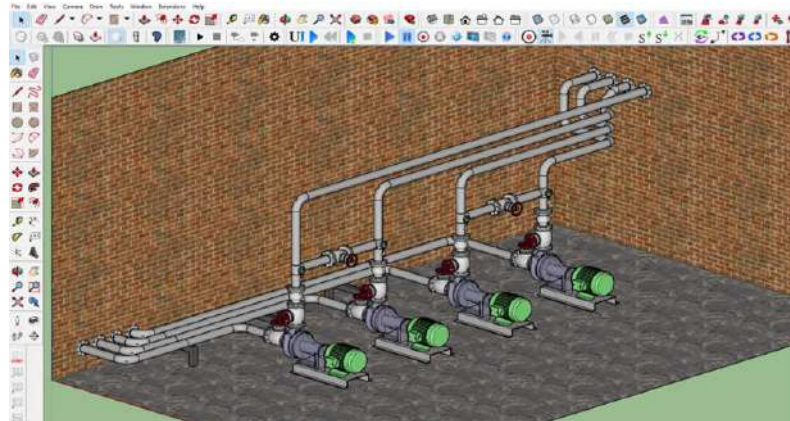
รูปที่ 2 ภาพ Sketch เรือรบที่ต้องการสร้าง

5.3 Render เรือที่สร้างเสร็จแล้ว



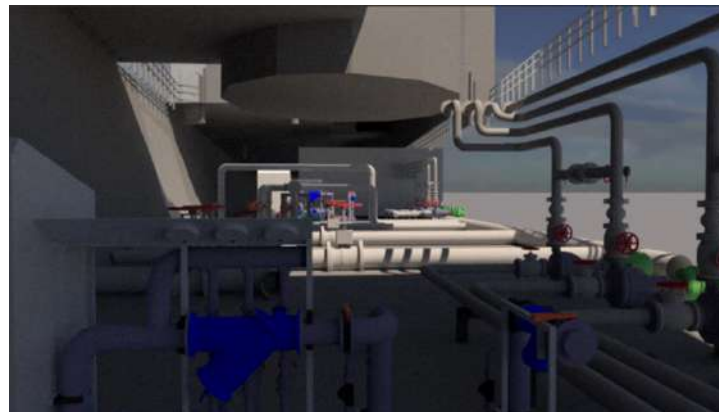
รูปที่ 3 ภาพที่ Render เรือรบ

5.4 ออกแบบระบบท่อทางจำลอง



รูปที่ 4 ออกแบบท่อทางในเรือ

5.5 วัตถุ 3 มิติ ที่ได้หลังจากตกแต่งพื้นผิวและรูปร่างด้วย Maya



รูปที่ 5 ตกแต่งพื้นผิวและรูปร่างด้วย Maya

5.6 สร้างระบบการแสดงผลโดยใช้ภาพอ้างอิง



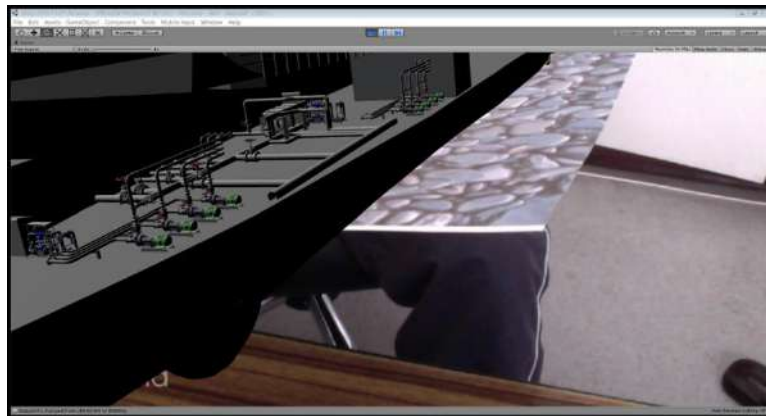
รูปที่ 6 ภาพอ้างอิงสำหรับระบบ AR

5.7 ทดสอบระบบและปรับปรุงในคอมพิวเตอร์ PC



รูปที่ 7 แสดงระบบท่อทางโดยใช้ภาพอ้างอิง

5.8 ทำการสร้างโปรแกรมติดตั้งในโทรศัพท์มือถือโดยใช้ Unity Engine และทดสอบโดยใช้ Smartphone



รูปที่ 8 ทำการติดตั้งใน Smartphone และทดสอบโปรแกรมแสดงท่อทางในเรือรบ

6. สรุป

การใช้เทคโนโลยี Augmented Reality กับระบบท่อทางของเรือ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพและเรียนรู้ได้โดยไม่ต้องไปสถานที่จริง ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการฝึกและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน อีกทั้งยังสามารถฝึกได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง โดยโปรแกรมที่โครงการวิจัยได้สร้างขึ้น สามารถติดตั้งในอุปกรณ์ของผู้ใช้งานได้ เช่น Smartphone และสามารถแสดงระบบท่อทางของเรือได้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบถึงข้อจำกัดด้าน Hardware ของโทรศัพท์ของผู้ใช้งาน กล่าวคือ ความแตกต่างในเรื่องความเร็ว ขนาดความจุของข้อมูล มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งาน อาจทำให้ความสั่นไหวในการแสดงผลแตกต่างกัน นอกจากนี้ รายละเอียดของระบบท่อทางในเรือมีความซับซ้อนแตกต่างกัน ทำให้ใช้เวลาในการสร้างภาพ 3 มิติ แตกต่างกันไป โดยหากมีการพัฒนาเรื่องการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับโปรแกรม เช่น ผู้ใช้งานเลือกกดไปที่ระบบท่อน้ำมันก็สามารถที่จะเห็นการไหลของน้ำมันได้ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ระบบฝึกมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yu-Jen Wang, Po-Ju Chen, Xiao Liang & Yi-Hsin Lin, “Augmented reality with image registration, vision correction and sunlight readability via liquid crystal devices”, Scientific Reports, March 2017.
- [2] Liu, S., Hua, H. & Cheng, D. A Novel Prototype for an Optical See-Through Head-Mounted Display with Addressable Focus Cues. IEEE Trans Vis Comput Graph. 16, 381–393, 2010.
- [3] Chen, H. S., Wang, Y. J., Chen, P. J. & Lin, Y. H. Electrically adjustable location of a projected image in augmented reality via a liquidcrystal lens. Opt Express 23, 28154–28162, 2015.
- [4] Staub-French S. and Fischer M., “Industrial Case Study of Electronic Design, Cost, and Schedule Integration”, Technical Report, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford University, CA., vol.122, 2001.
- [5] Messner, J.I., Riley, D.R., and Moeck, M. “Virtual Facility Prototyping for Sustainable Project Delivery”, Journal of Information Technology in Construction, vol. 11, 2006, p. 723-738.
- [6] Khanzode A., Fischer M., and Reed D. “Case Study of The Implementation of The Lean Project Delivery System (LPDS) using Virtual Building Technologies on a Large healthcare Project”. Proceeding 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-13, Sydney, Australia, 2005.

การพัฒนาระบบคัดแยกพระเครื่องชนิดเนื้อผงโดยการใช้เมตริกซ์ของระดับสีเทาที่เกิดขึ้น
ร่วมกันและการแปลงเวฟเล็ตและใช้โครงข่ายประสาทเทียมจำแนก

Implementation of Classification System for Buddha Amulet Using GLCM and
Wavelet Transform and Using Neural Network for Classify

อนุชิต ละอองคำ¹ และ พิศณุ คุมีชัย²

Anuchit Laongkum¹ and Pisanu Kumeechai²

Received: April 20, 2020

Revised: June 16, 2020

Accepted: June 27, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบคัดแยกข้อมูลพระเครื่องจากภาพดิจิทัลโดยใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูลโครงข่ายประสาทเทียม ในการคัดแยกภาพพระเครื่องจะถูกถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลในสภาวะที่มีการควบคุม เช่น การควบคุมระยะห่างระหว่างตัวกล้องถ่ายภาพและดอกไม้ ความเข้มของแสงในการถ่ายภาพ เป็นต้น งานวิจัยนี้จะเน้นการคัดแยกข้อมูลพระเครื่องชนิดเนื้อผง คุณสมบัติต่างๆที่ใช้ในการสกัดข้อมูลภาพต้นแบบจะใช้การวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวของภาพด้วยเมตริกซ์ระดับเทา (Gray-Level Co-Occurrence Matrices : GLCM) เพื่อเก็บค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวภาพ 10 รูปแบบและใช้ Wavelet Transform และใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อลดขนาดของเวกเตอร์ งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบระบบโดยใช้พระเครื่องชนิดเนื้อผงทั้งหมดจำนวนมากกว่า 40 แบบ มีภาพทั้งสิ้น มากกว่า 1,400 ภาพ โดยมีข้อมูลที่เก็บเป็นภาพต้นแบบจำนวน 800 ภาพ จากนั้นใช้ภาพที่ถ่ายในรูปแบบเดียวกันจำนวน 400 ภาพ และภาพที่วางพระในทิศทางต่างกันอีกจำนวน 200 ภาพซึ่งได้ผลของการประเมินประสิทธิภาพของระบบในแง่ความไว 72.12 %, ความเฉพาะเจาะจง 71.24 % F - Measure 73.74 % และความถูกต้อง 90.80 %

คำสำคัญ : สกัดคุณลักษณะ การจำแนกข้อมูลซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เมตริกซ์ระดับเทา พระเครื่อง

¹ กองโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ที่ 2 กรมอิเล็กทรอนิกส์ทหารเรือ

² nd Electronics Factory Division, Naval Electronic Department, E-mail: nave2523@hotmail.com

² กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Department of Engineering, Education Branch, Royal Thai Naval Academy E-mail:

pisanu41984198@hotmail.com

Abstract

The objective of this paper is to develop a system for extracting amulet information from digital images by using the neural network technique. In classify amulet images from digital cameras in controlled conditions such as distance control, distance between the camera and flowers Light intensity in photography etc. This paper focus on classify amulets of powdered material. The various properties used to extract the original image data are analyzed by the Gray-Level Co-Occurrence Matrices (GLCM) in order to collect the statistical values obtained from the analysis of the floor outline. This paper has tested the system using more than 40 powdered Buddha amulets with a total of more than 1,400 images, with data collected as a prototype of 800 images. The system uses 400 images of the same type and 200 images of Buddha images in different directions. This results in evaluating the efficiency of the system in terms of precision 72.12 %, recall 71.24 % F-measure 73.74 % and accuracy 90.80 %

Keywords: feature extraction, neural network, gray-level co-occurrence matrices, amulet

บทนำ

พระเครื่องเป็นโบราณวัตถุขนาดเล็กมีความศักดิ์สิทธิ์และมีคุณค่าที่มีเอกลักษณ์และรูปแบบเฉพาะทางหรือที่เรียกว่าพุทธศิลป์ โดยมีการสร้างจากมวลสารหลายชนิด เช่น โลหะ วาน ดิน หรือสารอื่นๆ การจำแนกชนิดของพระเครื่องโดยมากจะใช้การมองด้วยตา ผ่านการสังเกต รูปแบบเนื้อมวลสารและพุทธศิลป์ภายในองค์พระ ตามคำบอกกล่าวและประสบการณ์ที่ได้พบเห็นพระเครื่องชนิดนั้นๆ จึงทำให้สามารถจำแนกพระเครื่องชนิดนั้นได้ แต่ในยุคที่คอมพิวเตอร์ และระบบสารสนเทศได้เข้ามามีส่วนช่วยให้ชีวิตมีความเป็นอยู่สะดวกสบายมากขึ้น การรู้จำด้วยคีย์เวิร์ด (Keyword) จึงเป็นส่วนประกอบหลักในการรู้จำทางสารสนเทศที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มา อาจมีความแม่นยำ หรือไม่แม่นยำ ขึ้นอยู่กับการระบุคีย์เวิร์ด ในกรณีของการรู้จำพระเครื่องถ้าผู้จำไม่เคยพบเห็นพระเครื่องชนิดนั้นมาก่อน หรือประสบการณ์ในการดูพระเครื่องยังน้อย ข้อมูลที่รู้จำอาจไม่ถูกต้องตามความต้องการ ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและตรงตามความต้องการ ภาพดิจิทัลจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจที่จะช่วยให้มีความแม่นยำและความถูกต้องในการระบุรูปแบบพระเครื่องมากยิ่งขึ้น โดยการรู้จำข้อมูลจากภาพดิจิทัลจะการใช้การหาลักษณะเด่นหรือโครงร่างบนพื้นผิวภาพเป็นวิธีการที่สำคัญในการรู้จำรูปแบบ โดยมีหลักการทำงาน 5 ขั้นตอนคือ การรับภาพเข้ามาในระบบ (Image Acquisition) การเตรียมภาพก่อนการประมวลผล (Pre-processing) การประมวลผลภาพ (Image Processing) จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการรู้จำข้อมูล (Image Retrieval) ขั้นตอนสุดท้ายคือการแสดงผลข้อมูล (Display Information) ที่ได้จากการรู้จำโดยเทคนิคการสกัดคุณลักษณะของภาพนั้น มีวิธีการที่หลากหลาย ภาพพระเครื่องชนิดพระผงเป็นภาพที่มีลักษณะทางพื้นผิวที่แตกต่างกันทำให้เกิดความแตกต่างกันทางด้านกายภาพจึงเหมาะสมกับการสกัดค่าโครงร่างทางพื้นผิวของภาพโดยอาศัยการวิเคราะห์เมตริกซ์ความสัมพันธ์ของระดับสีเทาซ้ำๆกัน ในโครงร่างของภาพ (GLCM: Gray-Level Co-Occurrence Matrices)

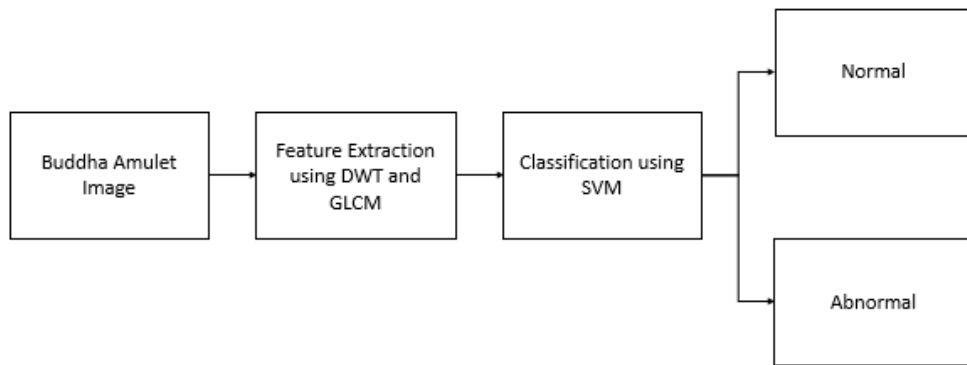
การสกัดคุณลักษณะคือการวัดเชิงปริมาณของภาพ การสกัดข้อมูลภาพจะถูกแปลงเป็นค่าตัวเลขบางค่า ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ มากมายที่สามารถสกัดได้จากภาพ เช่น ความคมชัด ความเหมือนกัน ความสัมพันธ์พลังงาน และเอนโทรปี เป็นต้น สำหรับการแปลงเวฟเล็ตเป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์สำหรับการสกัดคุณลักษณะเด่นจะช่วยให้การวิเคราะห์ภาพตามระดับความละเอียดของภาพ เนื่องจากคุณสมบัติการวิเคราะห์หลายความละเอียด อย่างไรก็ตามเทคนิคแปลงเวฟเล็ตและ GLCM ต้องใช้พื้นที่เก็บข้อมูลขนาดใหญ่และใช้เวลามากในการคำนวณ [1]

การนำภาพดิจิทัลมาใช้เป็นคีย์เวิร์ดในการรู้จำข้อมูล มีผู้วิจัยท่านอื่นได้นำมาใช้กับกลุ่มทดลองหลายชนิด เช่น การจำแนกชนิดของเมื่อยา การจำแนกใบไม้เพื่อจำแนกและบอกข้อมูลของพันธุ์พืช การจำแนกประเภทของไฟบนร่างกายมนุษย์ การรู้จำข้อมูลดอกไม้จากภาพถ่าย และที่นิยมทดลองกันมากคือ การจำแนกและรู้จำเหรียญกษาปณ์เงินตราสกุลต่างๆ เพื่อใช้กับตู้อัตโนมัติ หรือเพื่อทดสอบความแม่นยำในการรู้จำโดยส่วนประกอบหลักที่เป็นหัวใจสำคัญในการรู้จำหรือจำแนก มีด้วยกัน 3 ส่วนคือ กระบวนการปรับแต่งภาพก่อนการประมวลผล การประมวลผลภาพโดยอาศัยการสกัดคุณลักษณะจากภาพ กระบวนการรู้จำภาพหรือการแจกแจงข้อมูล ขึ้นอยู่กับผู้วิจัยแต่ละท่านว่าจะเน้นหนักไปในกระบวนการทำงานส่วนไหน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า กระบวนการปรับแต่งภาพก่อนการประมวลผลภาพและการประมวลผลภาพด้วยการสกัดคุณลักษณะพิเศษจากภาพ เป็นส่วนหลักที่ทำให้เกิดความแม่นยำในการรู้จำ แจกแจง หรือรู้จำอย่างมีนัยสำคัญ โดยรูปแบบในการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนใหญ่จะใช้แนวทางการวิเคราะห์เชิงความถี่ โดยปรับแต่งคุณภาพของภาพถ่าย (Image Enhancement) ให้เหมาะสม เช่นภาพที่ได้มาจากการถ่ายภาพจะได้เป็นภาพสีจากนั้นจะทำการเป็นภาพ Gray Scale [2][3] หรือในบางครั้งอาจแปลงให้เป็นภาพขาวดำ [4] เพื่อสะดวกในการหาพื้นที่ของวัตถุภาพ ในงานรู้จำเหรียญรูปีบางงานต้องตัดขอบเงาของภาพออกเพื่อให้เหลือแต่ตัววัตถุจริงๆ เท่านั้นเพื่อความแม่นยำของการรู้จำบางครั้งต้องตัดขอบเงาของภาพออกเพื่อให้เหลือแต่ตัววัตถุจริงๆ เท่านั้นเพื่อความแม่นยำของการรู้จำ [5] ในการบวนการวิเคราะห์สกัดหาคุณลักษณะของภาพมีเทคนิคที่หลากหลาย เช่น การใช้การหมุนของภาพแบบคงที่ตามองศาที่กำหนด Rotation Invariant วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้มากในการสกัดคุณลักษณะเหรียญ [6] [7] [8] เพราะลักษณะทางกายภาพที่เป็นวงกลมการใช้กราฟ Histogram ในการคำนวณโดยวัดจุดยอดของกราฟและนำค่าที่ได้มาใช้งาน[11] ส่วนกระบวนการตัดแยก แจกแจง รู้จำภาพนั้นสามารถเลือกใช้เทคนิคได้หลากหลายโดยปัจจัยสำคัญอยู่ที่จำนวนคลาส (Class) ของข้อมูล ว่ามีขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่โดยเทคนิค Neural Network แบบต่างๆ [3] [5] [9] [10] โดยมีประสิทธิภาพความถูกต้องในระดับ 80% หรือมากกว่าโดยมีจำนวนคลาส (Class) สูงสุดที่ใช้คือ 16 คลาส ส่วนวิธี Template Matching มีประสิทธิภาพ 77% [2] ในกรณีที่จำนวนคลาสมีมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการรู้จำข้อมูลพระเครื่องด้วยรูปภาพด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์โครงร่างของภาพ (Texture Analysis) เพื่อวิเคราะห์ภาพดิจิทัลแบบข้อมูลเชิงเนื้อหา (Texture) โดยการวิเคราะห์โครงร่างของภาพจากค่าระดับเทาโดยใช้เมทริกซ์ที่เรียกว่า Gray-Tone Spatial-Dependence Matrices หรือ (Gray-Level Co-Occurrence Matrices : GLCM) ซึ่งพิจารณาจากการเกิดค่าระดับเทาซ้ำๆกันโครงร่างของภาพ และสามารถนำคุณลักษณะบางประการมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเก็บ

ลักษณะโครงร่างของพื้นผิวภาพเพื่อนำมาใช้จำแนกและรู้จำข้อมูลของภาพด้วยเทคนิคเพื่อนบ้านใกล้สุด (K-Nearest neighbor)

โครงสร้างของส่วนที่เหลือของบทความนี้จัดเป็นดังนี้ ส่วนที่ 2 ให้อายละเอียดวิธีการดำเนินงาน ขั้นตอนของการทำ GLCM การแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (DWT) และเสนอหลักการของโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนที่ 3 ผลการทดลอง และส่วนที่ 4 คือบทสรุปและการอภิปรายแผนภูมิของเทคนิคการจำแนกพระเครื่องชนิด เนื้อผงที่เสนอดังแสดงด้านล่าง



รูปที่ 1 แผนภูมิที่เสนอ

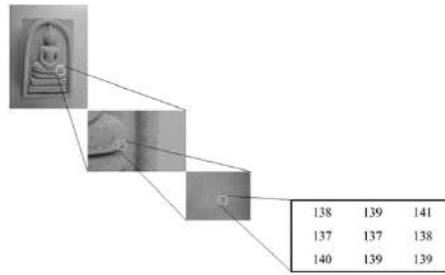
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. คำจำกัดความของภาพ

ภาพ (Image) ประกอบด้วยกลุ่มของวัตถุที่กำหนดบริเวณต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยกส่วนภาพออกเป็น บริเวณต่าง ๆ ตามบริเวณที่สนใจ (Region of Interest) ได้ หน่วยพื้นฐานของภาพ เรียกว่า จุดภาพ (Pixel) โดยจุดภาพหมายถึง จุดภาพในรูปภาพที่รวมกันเป็นภาพขึ้น มีตำแหน่งพิกัด (x, y) และค่าความเข้ม (Intensity) ของภาพ โดยภาพหนึ่งมีจุดภาพมากมาย และแต่ละภาพที่สร้างขึ้นมีความหนาแน่นของจุดภาพ หรือความละเอียด (ความคมชัด) ที่แตกต่างกันไป จึงใช้ในการบอกคุณสมบัติของภาพจอภาพ หรือ อุปกรณ์ แสดงผลภาพได้

ภาพสี (Color Image) ภาพในระบบสี RGB คือเมตริกซ์ขนาด 2D ซ้อนกันจำนวน 3 เมตริกซ์ ซึ่งแสดง ค่าความเข้มของแสงสีแดง (R) 8 บิต สีเขียว (G) 8 บิต และสีน้ำเงิน (B) 8 บิต ดังนั้นภาพสีในระบบ RGB จะมี จำนวนบิตต่อจุดภาพทั้งหมด 24 บิต ทำให้สามารถแสดงสีได้ถึง 16,777,216 สี

ภาพระดับสีเทา (Grayscale Image) จะอยู่ในรูปแบบของความเข้มแสงในแต่ละจุดภาพ โดยจะมี ระดับความเข้มสีเทาคือ 0-255 (8 bit) โดยสีดำจะแทนด้วยค่าตัวเลข 255 สีขาวจะแทนด้วยค่าของตัวเลข คือ 0 รวมทั้งสิ้น 256 ระดับสี ถึงแม้ว่าภาพระดับสีเทามีความซับซ้อนมากกว่าภาพ ขาว – ดำ แต่ภาพระดับสีเทา สามารถให้ข้อมูลได้กว้างขวางมากกว่า ภาพ ขาว – ดำ เนื่องจากภาพระดับสีเทาเกิดจากการแปลงภาพสีใน ระบบ RGB มาเป็นภาพระดับสีเทา



รูปที่ 2 แสดงลักษณะค่าในแต่ละจุดภาพของภาพระดับสีเทา

โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ (1) [1]

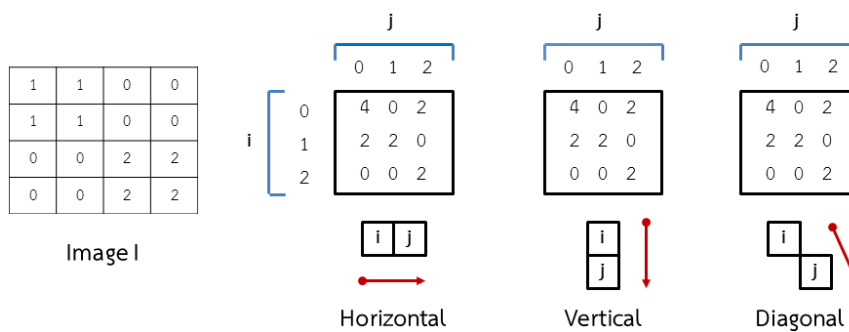
$$Gray = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \tag{1}$$

2. การสกัดคุณลักษณะพิเศษจากภาพ

การสกัดคุณลักษณะพิเศษจากภาพ (Feature Extraction) เป็นวิธีหาจุดเด่นของภาพ เพื่อลดขนาดข้อมูล (Dimension) ของภาพ และนำมาเป็นตัวแทนของภาพ โดยกระบวนการแปลงความข้อมูลภาพ ในการวิเคราะห์ภาพใช้ข้อมูล 3 ประเภท ได้แก่ 1) ข้อมูลเชิงความถี่ (Spectral) คือ ค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของโทนสี (Tone) ในช่วงของความถี่ต่างๆ 2) ข้อมูลเชิงพื้นผิว (Textural) คือ การกระจายเชิงพื้นที่ของการเปลี่ยนแปลงโทนสีภายในช่วงความถี่ที่ต่างกัน 3) ข้อมูลเชิงเนื้อหา(Contextual) คือ ผลที่ได้มาจากการประมวลผลภาพ ซึ่งความแตกต่างระหว่างข้อมูลเชิงความถี่และข้อมูลเชิงพื้นผิว คือ ข้อมูลเชิงความถี่เน้นไปที่ค่าการหาค่าสีเทาของจุดภาพ ส่วนข้อมูลเชิงพื้นผิวเน้นไปที่การหาค่าระดับเทาซ้ำๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางอย่างรวดเร็วในโครงสร้างที่ละเอียด และเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ในโครงสร้างที่หยาบ สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างของภาพจะอาศัยเมทริกซ์ที่เรียกว่า Gray-Tone Spatial-Dependence Matrices หรือ Gray-Level Co-Occurrence Matrices (GLCM)

3. การคำนวณหาค่าลักษณะเด่นจากการวิเคราะห์โครงสร้างพื้นผิวภาพ

การคำนวณหาค่าลักษณะเด่นได้จากการวิเคราะห์เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของระดับสีเทา (GLCM: Gray-Level Co-Occurrence Matrices) สามารถสร้างได้โดยการนับจำนวนคู่จุดภาพ (k,i) และ (m,n) ที่อยู่ใกล้กัน (Neighboring Cells)โดยนับค่าในระดับแนวนอน (Horizontal) ที่ 0° ระดับแนวตั้ง (Vertical) ที่ 90° หรือ แนวทแยงมุม (Diagonal) ที่ 45°, 135° ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 นับจำนวนคู่จุดภาพแนวตั้งและแนวนอน

โดยคำนวณการเกิดค่าระดับเทาซ้ำ ๆ กัน สามารถอธิบายได้ด้วยเมทริกซ์ที่มีความถี่ที่สัมพันธ์กันซึ่งเขียนแทนได้ด้วย $P_{d,r,ij}$ ซึ่งแทนความถี่ในการเกิดค่าระดับเทาที่ i และ j ในวินโดวส์ที่พิจารณาด้วยระยะห่างเท่ากับ d ที่ทิศทาง r ความถี่ของ Gray-level Co-occurrence Matrix สามารถเขียนเป็นฟังก์ชันใน 4 ทิศทางที่ระยะทาง d ใดๆ ได้ดังนี้

$$P_{d,0^\circ}(i, j) = |\{(k, l)(m, n) \in (M \times M) \times (M \times M) : k - m = 0, |l - n| = d, f(k, l) = i, f(m, n) = j\}| \quad (2)$$

$$P_{d,45^\circ}(i, j) = |\{(k, l)(m, n) \in (M \times M) \times (M \times M) : (k - m = d, l - n = -d) \text{ OR } (k - m = -d, l - n = d), f(k, l) = i, f(m, n) = j\}| \quad (3)$$

$$P_{d,90^\circ}(i, j) = |\{(k, l)(m, n) \in (M \times M) \times (M \times M) : |k - m| = d, l - n = 0, f(k, l) = i, f(m, n) = j\}| \quad (4)$$

$$P_{d,135^\circ}(i, j) = |\{(k, l)(m, n) \in (M \times M) \times (M \times M) : (k - m = d, l - n = -d) \text{ OR } (k - m = -d, l - n = -d), f(k, l) = i, f(m, n) = j\}| \quad (5)$$

เมื่อ $|\{...\}|$ แทนเซตของค่าที่เป็นไปได้ตามเงื่อนไขการหารูปแบบค่าคุณลักษณะโครงร่างสามารถทำได้ด้วยการใช้เกณฑ์ในการพิจารณาลักษณะโครงร่างของพื้นผิวภาพบางประการที่ได้จาก Co-Occurrence Matrix ดังนี้

ลำดับสถิติอันดับ 1 สามารถสกัดได้จากค่าของภาพต้นฉบับ (Original Image) ได้เลย โดยดูจากค่าความถี่และความเข้มข้นของฮิสโตแกรมโดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจุดภาพใกล้เคียง (Neighborhood Pixel) การหาคุณลักษณะโครงร่างในแบบนี้ได้แก่การหาค่าของ Entropy ดังแสดงได้ดังสมการที่ 6

$$Entropy = - \sum_i \sum_j p(i, j) \log(p(i, j)) \quad (6)$$

การหาค่าคุณลักษณะโครงร่างในแบบ Autocorrelation เป็นการหาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างขนาดของพื้นที่กับลักษณะของพื้นผิวโดยดูจากความเข้มข้นของพื้นผิวทั่วทั้งภาพ โดยคำนวณได้จากสมการที่ 7

$$Autocorrelation = \frac{\sum_{u=0}^N \sum_{v=0}^N I(u, v) I(u+x, v+y)}{\sum_{u=0}^N \sum_{v=0}^N I^2(u, v)} \quad (7)$$

ลำดับสถิติอันดับ 2 สามารถหาได้จาก เมทริกซ์ GLCM โดยดูจากค่าความเข้มข้นระดับเทาที่ใกล้เคียงกันในตำแหน่งแต่ละจุดภาพโดยมีค่าคุณลักษณะโครงสร้างที่หาได้ตั้งสมการที่ 8 และคุณลักษณะเด่นเชิงพื้นผิวในสมการที่ 9 ถึง 15

$$\text{Correlation} = \frac{\sum_i \sum_j (ij)p(i,j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (8)$$

$$\text{Cluster Shade} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \{i + j - \mu_x \mu_y\}^3 \times P(i, j) \quad (9)$$

$$\text{Dissimilarity} = \sum_{ij=1}^n p_d |i - j| \quad (10)$$

$$\text{Homogeneity} = \sum_{ij=1}^n \frac{P_d}{1 + |i - j|} \quad (11)$$

$$\text{Sum variance} = \sum_{j=2}^{2Ng} (j - f_8)^2 P_{x+y(i)} \quad (12)$$

$$\text{Sum entropy} = - \sum_{i=2}^{2Ng} P_{x+y(i)} \log\{P_{x+y(i)}\} \quad (13)$$

$$\text{Difference entropy} = - \sum_{i=0}^{Ng-1} P_{x-y(i)} \log\{P_{x-y(i)}\} \quad (14)$$

$$\text{Information measure of correlation} = \frac{HXY - HXY_1}{\max\{HX, HY\}} \quad (15)$$

โดยที่ i, j แสดงถึงค่าระดับสีเทา N เป็นจำนวนของระดับสีเทาบนภาพ $P_{i,j}$ เป็นความน่าจะเป็นของพิกเซลตำแหน่งแถวที่ i หลักที่ j

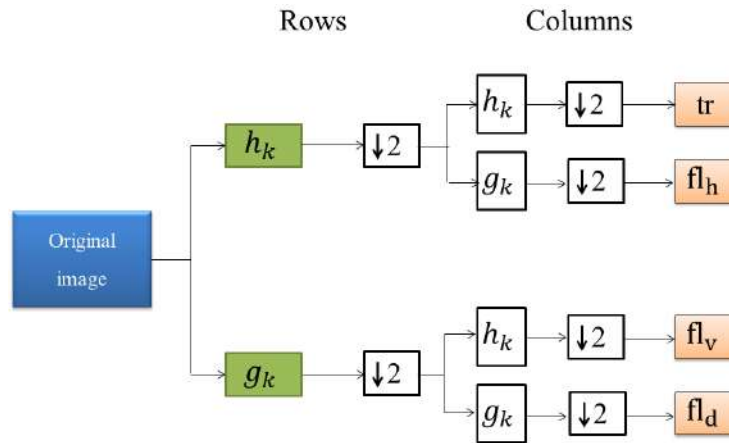
4. การแปลงเวฟเล็ทแบบไม่ต่อเนื่อง (DWT)

การแปลงเวฟเล็ท WT สามารถให้การวิเคราะห์ในหลายช่วงเวลาของคุณสมบัติในท้องถิ่นของสัญญาณที่ซับซ้อน นำไปสู่การประยุกต์ใช้งานจำนวนมากในสาขาต่างๆ เช่น ธรณีฟิสิกส์ดาราศาสตร์ ฟิสิกส์ดาราศาสตร์การสื่อสารภาพ และการเข้ารหัสวิดีโอ เป็นรากฐานสำหรับเทคนิคใหม่ของการวิเคราะห์สัญญาณและการสังเคราะห์เช่นการบีบอัด หลังจากการสลายตัวของภาพลงในช่วงความถี่ที่แตกต่างกัน 4 แบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

LL	HL
LH	HH

รูปที่ 4 การ Sub-Image ของภาพ

ซึ่ง L คือ Low Side ของ การแปลงเวฟเล็ท WT และ H คือ High Side ของ การแปลงเวฟเล็ท WT



รูปที่ 5 ขั้นตอนสำหรับการประยุกต์ใช้ตัวเวฟเล็ต

ในกระบวนการหาคุณลักษณะเด่นใช้การสกัดคุณลักษณะ GLCM ซึ่งจะให้คุณลักษณะเด่นออกมาเป็นเวกเตอร์ขนาด $N \times 2$ ซึ่ง N คือจำนวนวิธีหาคุณลักษณะเด่น และการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (DWT) ต้องนำมาทำการลดมิติของเมตริกซ์เป็นขนาด $N \times 2$ ก่อน นำมาใช้ในการลดมิติอีกด้วย PCA

การจำแนก

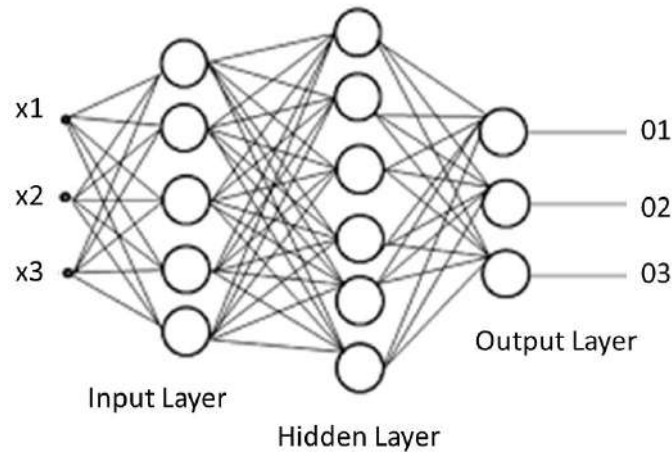
1. การจำแนกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

ในการนำคุณลักษณะเด่นมาใส่การสกัดคุณลักษณะ GLCM สามารถนำมาแยกแยะด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง (DWT) ต้องนำมาทำการลดมิติของเมตริกซ์เป็นขนาด $N \times 2$ ก่อน นำมาใช้ในการลดมิติอีกด้วย PCA แล้วจึงนำมาแยกแยะด้วย โครงข่ายประสาทเทียม จัดเป็นการเรียนรู้ของเครื่องประเภทแบบการเรียนรู้โดยอาศัยตัวอย่างประเภทหนึ่ง ซึ่งมีความสามารถในการจัดหมวดหมู่และการทำนาย (Regression) โครงข่ายประสาทเทียมเป็นรูปแบบการประมวลผลที่ได้รับแรงบันดาลใจจากระบบประสาททางชีวภาพซึ่งมีอยู่หลายชนิดโดยแบ่งตามประเภทของการเรียนรู้ดังต่อไปนี้

- 1) การเรียนรู้แบบต้องการผู้สอน (Supervised Learning) การเรียนรู้ชนิดนี้ต้องการผู้สอนเพื่อบอกความแตกต่างของเอาต์พุตที่ได้กับเอาต์พุตที่ต้องการ ประเด็นที่สำคัญของการเรียนรู้ชนิดนี้คือ การลู่เข้าของความผิดพลาด (Error Convergence) นั่นคือความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตที่ได้กับ เอาต์พุตที่ต้องการน้อยที่สุดโดยการกำหนดค่า น้ำหนักที่เหมาะสม
- 2) การเรียนรู้แบบไม่ต้องการผู้สอน (Un-supervised Learning) การเรียนรู้ที่ไม่มีการใช้ ผู้สอนจากภายนอก การเรียนรู้ประเภทนี้มีการ จัดการด้วยตัวเอง
- 3) การเรียนรู้แบบการสนับสนุน (Reinforcement Learning) การเรียนรู้แบบใช้ค่าตอบแทนอันได้ผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเป็น ตัวกำหนดทิศทางของการเรียนรู้

สำหรับงานวิจัยทางการรู้จำการเรียนรู้แบบต้องการผู้สอนถือเป็นการเรียนรู้หลักที่เกิดขึ้น ในระบบเนื่องจากการระบุเอาต์พุตที่ต้องการขณะเรียนรู้รูปแบบพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีเซลล์ประสาท (Neuron) เพียงหนึ่งเซลล์และมีการเรียนรู้แบบต้องการผู้สอนซึ่งเรียกว่า สถาปัตยกรรมเพอร์เซปตรอน (Perceptron Architecture) โดยที่อินพุตจำนวน n ค่าจะถูกส่ง ผ่านกลุ่มใยประสาทนำเข้า (Dendrites)

เข้าสู่เซลล์ประสาทซึ่งมีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ และให้ผลลัพธ์ของการตัดสินใจผ่านออกมาทางแกนประสาท (Axon) การประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ที่เซลล์ประสาทโดยทั่วไปจะใช้ผลรวมของผลคูณ (Sum of Product) ระหว่างกลุ่มของค่าอินพุตจากเวกเตอร์ลักษณะเด่นและกลุ่มของค่าน้ำหนัก (Weights) ที่โยประสาทนำเข้ามาผลที่ได้จะถูกตัดสินใจอย่างต่อเนื่องด้วยฟังก์ชันการกระตุ้น



รูปที่ 6 โครงข่ายเพอร์เซปตรอนแบบหลายชั้น

2. การจำแนกด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor)

เทคนิคการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbor) เป็นวิธีที่ใช้ในการจัดแบ่งคลาส โดยเทคนิคนี้จะตัดสินใจว่าคลาสใดที่จะแทนเงื่อนไขหรือกรณีใหม่ๆ ได้บ้าง โดยการตรวจสอบจำนวนบางจำนวน (“K” ในขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด) ของกรณีหรือเงื่อนไขที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยจะหาผลรวม (Count Up) ของจำนวนเงื่อนไข และขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดมีขั้นตอน คือ กำหนดขนาดของ K (ควรกำหนดให้เป็นเลขคี่) คำนวณระยะห่าง (Distance) ของข้อมูลที่ต้องการพิจารณากับกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง เรียงลำดับของระยะห่าง และเลือกพิจารณาชุดข้อมูลที่ใกล้จุดที่ต้องการพิจารณาตามจำนวน K ที่กำหนดไว้ พิจารณาข้อมูลจำนวน K ชุด และสังเกตว่ากลุ่ม (Class) ไหนที่ใกล้จุดที่พิจารณาเป็นจำนวนมากที่สุด กำหนด Class ให้กับจุดที่พิจารณา (Class) ที่ใกล้จุดพิจารณามากที่สุด

ฟังก์ชันที่นำมาใช้ในการจำแนกข้อมูลด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ฟังก์ชันระยะทาง (Distance Function) เป็นการคำนวณค่าระยะห่างระหว่างสองข้อมูล เพื่อที่จะมาวัดความคล้ายคลึงกันของข้อมูลโดยสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 16 และระยะทางแบบยุคลิดในสมการที่ 17

$$\text{Absolute Distance} = d_A(x, y) = \sum_{i=1}^N |x_i - y_i| \quad (16)$$

$$\text{Euclidean Distance} = d_E(x, y) = \sum_{i=1}^N \sqrt{x_i^2 - y_i^2} \quad (17)$$

ฟังก์ชันการแจกแจง (Combination Function) เป็นการรวมกันของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณค่าระยะห่าง (Distance) โดยทำการเรียงลำดับค่าระยะห่าง (Distance) จากน้อยไปมาก หลังจากนั้นดูจากค่า “K” ว่ามีค่าเท่าใด จากนั้นนำลำดับที่เรียงได้เทียบกับคลาสข้อมูลที่เรียงแล้วนำมาเป็นผลลัพธ์

ผลการทดลอง

การทดลองได้ดำเนินการบนแพลตฟอร์มของ Window XP พร้อมด้วยโปรเซสเซอร์ 3 GHz และแรม 2 GB ซึ่งทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows XP ขั้นตอนในการพัฒนาใช้ผ่านกล่องเครื่องมือ bio statistical ของ Matlab 2020a ชุดข้อมูลประกอบด้วยภาพพระเครื่องชนิดเนื้อผงทั้งหมดจำนวนมากกว่า 40 แบบ มีภาพทั้งสิ้นมากกว่า 1,400 ภาพ โดยมีข้อมูลที่เก็บเป็นภาพต้นแบบจำนวน 800 ภาพ คุณสมบัติต่างๆที่ใช้ในการสกัดข้อมูลภาพต้นแบบจะใช้การวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวของภาพด้วยเมทริกซ์ระดับเทา (Gray-Level Co-Occurrence Matrices : GLCM) เพื่อเก็บค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์โครงร่างพื้นผิวภาพ 10 รูปแบบและใช้ wavelet transform และใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อลดขนาดของเวกเตอร์สำหรับวิธีการหาอัตราความถูกต้องในเอกสารนี้ใช้สมการตามข้างล่าง

$$Accuracy(\%) = \left(\frac{In-Out}{total} \right) \times 100 \quad (18)$$

In คือ จำนวนของภาพทดสอบทั้งหมดและ *Out* คือ จำนวนของภาพทดสอบที่ตอบผิดและ total คือจำนวนของภาพทดสอบทั้งหมด ตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยค่าความแม่นยำที่สนใจ (Precision) ค่าความเป็นจริง (Recall) และค่าวัดประสิทธิภาพ (F-Measure) และตารางที่ 2 เป็นผลความถูกต้องของวิธีที่นำเสนอ การประเมินประสิทธิภาพใช้วิธีวัดค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ และการวัดประสิทธิภาพโดยรวม ดังสมการที่ (19) (20) และ (21) ตามลำดับ

ความแม่นยำ (Precision) คือ อัตราส่วนของการค้นพบข้อมูลที่ต้องการจากจำนวนของข้อมูลทั้งหมด

$$P = \frac{|Ra|}{|A|} \quad (19)$$

$|Ra|$ คือ จำนวนข้อมูลที่ต้องการ $|A|$ คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

ค่าความเป็นจริง (Recall) คือ อัตราส่วนของการค้นพบข้อมูลที่ต้องการจากจำนวนของข้อมูลที่ต้องการทั้งหมด

$$R = \frac{|Ra|}{|R|} \quad (20)$$

$|R|$ คือ จำนวนข้อมูลที่ต้องการทั้งหมดในฐานข้อมูล

ค่าวัดประสิทธิภาพ (F-Measure) คือ การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งสองค่าระหว่างค่าความแม่นยำและค่าความเป็นจริง ซึ่งจะนำค่าทั้งสองมาคำนวณร่วมกัน

$$F - Measure = \frac{2 \times (R \times P)}{R + P} \quad (21)$$

ตารางที่ 1 ผลการทดลองโดยการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ

Classifiers	Precision	Recall	F-Measure
NN	72.12	71.24	73.74
K-NN	68.77	69.43	67.95

ตารางที่ 2 ผลความถูกต้องของวิธีที่นำเสนอ

	Accuracy
NN	90.80

สรุป

การจำแนกภาพพระเครื่องชนิดเนื้อผงเป็นสิ่งสำคัญในการเสนองาน Preprocessing ของภาพ การทำงานของอัลกอริทึมจะทำกับค่ามัธยฐานของการกรองทำให้มองเห็นคุณลักษณะที่ต้องการในพระเครื่อง ชนิดเนื้อผงได้ มันแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพ ของคุณลักษณะที่ต้องการเมื่อถูกสกัดโดยใช้เทคนิค GLCM การแปลงเวฟเล็ต และ โครงข่ายประสาทเทียม โดยการจำแนกประเภทวิธีโดยโครงข่ายประสาทเทียมให้ผลดี มีความไว 72.12 %, ความเฉพาะเจาะจง 71.24 %, F-Measure 73.74 % และความถูกต้อง 90.80 % การทำงานของอัลกอริทึมที่สร้างขึ้น จากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถ แสดงการวิเคราะห์ภาพ พระเครื่องชนิดเนื้อผงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในอนาคตเมื่อได้รับการปรับปรุงระบบการทำงานให้ใช้งาน ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Zeng, W. Ouyang, J. Yan, H. Li, T. Xiao, K. Wang, & H. Zhou, "Crafting gbd-net for object detection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2018.
- [2] G. Niedbala, "Application of Artificial Neural Networks for Multi-Criteria Yield Prediction of Winter Rapeseed," Sustainability, (2019), 11(2), 533.
- [3] K. Jha, A. Doshi, P. Patel, & M. Shah, "A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence," Artificial Intelligence in Agriculture, (2019).
- [4] K. Liakos, P. Busato, D. Moshou, S. Pearson, & D. Bochtis, "Machine learning in agriculture: A review," Sensors, (2018), 18(8), 2674.
- [5] A. Seema, & D. Rajeshwar, "Pattern recognition techniques: a review," International Journal of Computer Science and Telecommunications, Volume 3, Issue 8, August 2012.

- [6] Suharjito, Imran B, Girsang A S. Family Relationship Identification by Using Extract Feature of Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) Based on Parents and Children Fingerprint. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 2017; 7(5): 2738-2745.
- [7] Ozcan C, Ersoy O, Ogul IU. Classification of SAR image patches with Apache Spark using GLCM texture features.In: International Conference on Advanced Technologies 3rd World Conference on Big Data; Izmir, Turkey; 2018. pp. 1-7.
- [8] V.Gupta, R.Puri and M.Verma.“Prompt Indian Coin Recognition with Rotation Invariance using Image Subtraction Technique”. *Electronics and Communication Engineering Department Thapar University, International Conference on Devices and Communications, IEEE, 2011*
- [9] ชาตรี กอบัวแก้ว. การจำแนกพระมง โดยการเปรียบเทียบลักษณะพิเศษ.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2550.
- [10] Y.Mitsukura. “Design and Evaluation of Neural Networks for Coin Recognition by Using GA and SA”.Department of Information Science & Intelligent Systems, Faculty of Engineering University of Tokushima., The proceeding of the IEEE-INNS-ENNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN2000), IEEE, July 2000, p.178-183.
- [11] ณัฐนันท์ ปรัชญาธิวัฒน์ การตรวจจับ ติดตาม และการแทรกภาพโฆษณาบนลำดับภาพกีฬาฟุตบอล. ครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์ปริญญาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

แนวทางการกำหนดเขตรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเล
ในเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเลของไทย
Guidelines for Coastal Provinces Delimitation in Sovereignty of Thailand

สมาน ใต้รายรัมย์¹

Samharn Dairairam¹

Received: April 3, 2020

Revised: June 15, 2020

Accepted: July 27, 2020

บทคัดย่อ

ประเทศไทยได้ประกาศเขตทางทะเลต่างๆ โดยสามารถเรียงลำดับตามระยะจากชายฝั่งออกไปในทะเลได้ดังนี้ การประกาศเขตอ่าวไทยตอนใน การกำหนดเขตจังหวัดอ่าวไทยตอนใน การประกาศเส้นฐานตรง การประกาศความกว้างของทะเลอาณาเขต การประกาศความกว้างของเขตต่อเนื่อง การประกาศเขตไหล่ทวีป และการประกาศเขตเศรษฐกิจจำเพาะ เขตทางทะเลของประเทศไทยตามอำนาจทางกฎหมายประกอบด้วยเขตอำนาจอธิปไตยและเขตสิทธิอธิปไตย เขตอำนาจอธิปไตย ได้แก่ บริเวณน่านน้ำภายใน คือ บริเวณทะเลที่อยู่ถัดจากเส้นฐานตรงเข้าไปในแผ่นดิน และทะเลอาณาเขต คือ บริเวณทะเลจากเส้นฐานตรงและเส้นฐานปกติออกไปในทะเลมีระยะไม่เกิน 12 ไมล์ทะเล สำหรับเขตอำนาจอธิปไตยเปรียบเสมือนแผ่นดินของไทย ดังนั้นกฎหมายทุกฉบับที่บังคับใช้บนแผ่นดินจึงถูกบังคับใช้ในเขตน่านน้ำภายในและทะเลอาณาเขตด้วย ปัจจุบันมีเพียงจังหวัดในอ่าวไทยรูปตัว ก. เท่านั้นที่มีการกำหนดเขตจังหวัดในทะเลตามพระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ.2502 โดยมีจุดประสงค์ระบุไว้ตอนท้ายว่าเพื่อประโยชน์ในการปกครองและความสะดวกของประชาชน สำหรับจังหวัดชายทะเลอื่นๆ นั้นยังมิได้มีการกำหนดเขตทางทะเลครอบคลุมเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเลของไทยอย่างสมบูรณ์ ทำให้การบังคับใช้กฎหมายขาดประสิทธิภาพ เช่น เจ้าหน้าที่รัฐ ขาดความมั่นใจในตำบลที่เกิดเหตุ หรือกระทำความผิด นำมาซึ่งความลังเลในการดำเนินการตามที่ได้รับอำนาจตามกฎหมาย สิ่งสำคัญประการหนึ่ง คือการแบ่งเขตรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเล การแบ่งเขตความรับผิดชอบทางทะเลนั้นแตกต่างจากการแบ่งเขตทางบก โดยธรรมชาติการแบ่งเขตทางบกจะอาศัยลักษณะภูมิประเทศในการแบ่ง เช่น แม่น้ำ สันเขา เป็นต้น แต่การแบ่งเขตความรับผิดชอบทางทะเลนั้นแตกต่างออกไป เนื่องจากไม่สามารถใช้วิธีการเช่นเดียวกับการแบ่งเขตทางบกได้ ดังนั้นการแบ่งเขตรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเล จึงได้ศึกษาวิธีการ ผลการตัดสินของศาล

¹ รองผู้อำนวยการ กองวิทยาการ กรมอุทกศาสตร์

Deputy Director of Technical Division, Hydrographic Department, E-mail: samharn92@yahoo.com

โลก และศตวรรษระหว่างประเทศทางทะเล มาเป็นแนวทางในการแบ่งเขตความรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเล เพื่อให้เป็นที่ยอมรับในทุกภาคส่วน โดยหากบริเวณใดในเขตอธิปไตยทางทะเลของไทยที่ได้มีการแบ่งเขตทางทะเลไว้บางส่วนอยู่บ้างแล้ว ก็จะคงไว้เช่นเดิมเพียงแต่จะทำการขยายแนวเส้นเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลออกไปให้ครอบคลุมเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเล และการแบ่งเขตความรับผิดชอบทางทะเลในแต่ละคู่จังหวัดจะดำเนินการตามหลักของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ.1982 คือ บรรลุผลอันเที่ยงธรรม โดยผลของการแบ่งเขตความรับผิดชอบทางทะเลจะนำมาซึ่งความชัดเจนในเขตความรับผิดชอบทางทะเลของแต่ละจังหวัด เขตทะเลตามอำนาจอธิปไตยของไทยมีความสมบูรณ์ และนำมาซึ่งการบังคับใช้กฎหมายอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลที่ได้กำหนดขึ้นไปใช้ในงานด้านอื่นๆ ได้อีกด้วย เช่น งานด้านการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยของจังหวัดชายทะเล เขตประมงระหว่างจังหวัด ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งประจำจังหวัด ซึ่งจะช่วยให้หน่วยงานต่างๆ ที่อยู่ภายในจังหวัดเดียวกันเข้าใจตรงกันถึงขอบเขตความรับผิดชอบทางทะเลของจังหวัดตน

คำสำคัญ: อำนาจอธิปไตย สิทธิอธิปไตย เขตระหว่างจังหวัดทางทะเล เขตทางทะเล

Abstract

Thailand has claimed maritime zones starting from coastal line to the sea orderly. There are historic water, sea province for internal the Gulf of Thai, straight baselines, the width of territorial sea, the width of contiguous zone, continental shelf and exclusive economic zone (EEZ). These maritime zones can be recognized by sovereignty and sovereign right. Sovereignties are internal water and territorial sea while sovereign rights are contiguous zone, continental shelf and exclusive economic zone. Internal water is from straight baseline toward the mainland, the territorial sea is from baseline toward the sea not exceeding 12 nautical miles. Law enforcement in internal water and territorial sea is as same as law enforcement on the mainland of the coastal States. Presently, only provinces around the historic water have been designated to have own sea area. The reason for designating the sea provinces is to be manageable. Lacking of sea province for other coastal provinces causes the unfulfilled law enforcement in the sovereignty sea area such as the government officer not sure about the maritime zone in which the suspects breach the law. The most important circumstance is the method to delineate sea province different from the method to demark land demarcation. Land demarcation practically is defined by river channel or valley which cannot be used in the sea. For sea province delimitation guideline, the method will be from case studies from judgments. Already sea area will be reserved, but the lines between sea provinces will be extended to territorial sea. The objective for the delimitation line will be equitable solution as definition in the United Nations Convention on the Law of the Sea 1982 (UNCLOS 1982). The sea provinces will not only ensure the law enforcement in Thai Water but also can be single base map for other purposes such as search & rescue and fishery.

Key words: Sovereignty, Sovereign rights, Inter-maritime province boundaries, Maritime districts

บทนำ

ประเทศไทยได้ประกาศเขตทางทะเลตามข้อกำหนดที่ได้รับไว้ใ้ในอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ.1982 (United Nations Convention on the Law of the Sea 1982 : UNCLOS 1982) [1] หากทำการเรียงลำดับจากชายฝั่งออกไปจะประกอบด้วย น่านน้ำภายใน ทะเลอาณาเขต เขตต่อเนื่อง เขตเศรษฐกิจจำเพาะ และเขตไหล่ทวีป เขตทางทะเลที่ไทยได้ประกาศสามารถจำแนกตามขอบเขตอำนาจได้ 2 ชนิดคือ เขตอำนาจอธิปไตย ได้แก่ น่านน้ำภายใน และทะเลอาณาเขต และเขตสิทธิอธิปไตย ได้แก่ เขตต่อเนื่อง เขตเศรษฐกิจจำเพาะ และเขตไหล่ทวีป สำหรับเขตน่านน้ำภายในและทะเลอาณาเขตที่เป็นเขตอำนาจอธิปไตยนั้นเปรียบเสมือนแผ่นดินของประเทศไทย ดังนั้นกฎหมายทุกฉบับที่บังคับใช้บนแผ่นดินย่อมมีผลบังคับใช้น่านน้ำภายในและทะเลอาณาเขตด้วย แต่ปัญหาที่พบคือการกำหนดเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลนั้นไม่มีเพียงเฉพาะในอ่าวไทยรูปตัว ก ซึ่งเป็นการประกาศกำหนดไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2502 แต่ในจังหวัดชายทะเลอื่นๆ ยังมิได้มีการประกาศเขตจังหวัดทางทะเลอย่างชัดเจน ซึ่งนำมาซึ่งปัญหาต่างๆ เช่น การจับกุมผู้กระทำผิดในทะเลแล้วเจ้าหน้าที่รักษากฎหมายประสบปัญหาในการส่งตัวผู้ต้องหา เช่น ไม่สามารถส่งตัวผู้ต้องหา ณ สถานีตำรวจที่ใกล้กับจุดจับกุมในทะเลได้ โดยพนักงานสอบสวนให้เหตุผลว่าไม่มีอำนาจสืบสวนสอบสวนลงไปในทะเล การแก้ไขปัญหาการทำการประมงผิดกฎหมาย ขาดการรายงาน และไร้การควบคุม ที่กำหนดให้มีการประกาศเขตทะเลชายฝั่งของแต่ละจังหวัด ซึ่งส่งผลให้ต้องมีการกำหนดเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล หรือแม้แต่หน่วยงานต่างๆ ภายในจังหวัดเดียวกัน เช่น คณะกรรมการประมงจังหวัด สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัด สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมประจำจังหวัด เจ้าท่าจังหวัด หรือหน่วยงานอื่นๆ ที่ทำหน้าที่บังคับใช้กฎหมายในทะเลก็ประสบปัญหาในการกำหนดเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล หรือบางหน่วยงานก็ดำเนินการกำหนดเขตรับผิดชอบของตนทางทะเลขึ้นเอง แต่ก็ไม่สอดคล้องกับหน่วยงานภายในจังหวัดเดียวกัน หรือขัดแย้งกับจังหวัดข้างเคียง เมื่อ 9 มีนาคม 2562 ได้มีพระราชบัญญัติการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเล พ.ศ.2562 ตามมาตรา 3 ได้มีการกำหนดเขตทางทะเล และจังหวัดชายทะเลตามมาตรา 26 กำหนดให้จัดตั้งศูนย์อำนวยการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลจังหวัด เรียกโดยย่อว่า “ศรชล.จังหวัด” โดยมีผู้ว่าราชการจังหวัดเป็นผู้อำนวยการศูนย์อำนวยการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลจังหวัด เรียกโดยย่อว่า “ผอ.ศรชล.จังหวัด” มีหน้าที่และอำนาจและ รับผิดชอบเกี่ยวกับการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลในเขตพื้นที่รับผิดชอบของจังหวัดชายทะเล ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีขอบเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลที่ชัดเจน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาเรื่องเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล จึงได้ทำการศึกษาวิจัยการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล โดยมีขอบเขตการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดออกไปถึงระยะอำนาจอธิปไตยของไทยทางทะเลหรือทะเลอาณาเขต โดยนำหลักการที่ระบุใน UNCLOS 1982 คือการแบ่งเขตโดยบรรลุผลอันเที่ยงธรรม [1] และวิธีการตามผลการตัดสินของศาลยุติธรรมระหว่างประเทศที่มีการตัดสินกรณีการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ โดยหลักการและวิธีการที่นำมาใช้นั้นจะไม่ขัดแย้งกับการเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลที่มีอยู่เดิม โดยผลที่ได้รับจะเป็นการเสริมสร้างความมั่นใจในการบังคับใช้กฎหมายให้กับเจ้าหน้าที่ทำหน้าที่ในการรักษากฎหมายในทะเล และเป็นแผนที่ฐาน (Base Map) ให้กับหน่วยงานต่างๆ ของจังหวัดชายทะเลที่มีแผนที่ในการใช้งานฉบับเดียวกัน ช่วยลดปัญหาความเข้าใจที่ไม่ตรงกันทั้งระหว่างหน่วยงานภายในจังหวัด และหน่วยงานระหว่างจังหวัด การแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลเป็นเพียงผลที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์จากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ความยาวชายฝั่ง หรือตำบลที่ตั้งของจุดระหว่างจังหวัดบนบก

บริเวณชายฝั่งที่จะใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดออกไปในทะเลเท่านั้น มิได้นำปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมทางสังคม และเศรษฐกิจเข้ามาร่วมพิจารณา ทั้งนี้เส้นเขตระหว่างจังหวัดสามารถทำการปรับแต่งได้ตามความเหมาะสม ตามปัจจัยที่นำมาประกอบการพิจารณา เพื่อให้บรรลุการยอมรับของจังหวัดข้างเคียงและผลแห่งความเที่ยงธรรม [2] ทั้งนี้ต้องพึงระลึกไว้ว่า การแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลตามเอกสารวิจัยฉบับนี้นั้น เพื่อให้เขตอำนาจอธิปไตยของไทยทางทะเลมีผู้รับผิดชอบ

วิธีการศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล มีขั้นตอนและกระบวนการในการดำเนินการคือ คงไว้ซึ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลที่มีอยู่เดิม นำวิธีการที่ศาลยุติธรรมระหว่างประเทศใช้ในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างประเทศมาประยุกต์ใช้กับการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล โดยยึดหลักการความเที่ยงธรรมตาม UNCLOS 1982

1. ประเทศไทยได้มีการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลไว้แล้วบางส่วนตามที่ได้มีประกาศในราชกิจจานุเบกษา โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้

1.1 พระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ.2502 กำหนดเขตจังหวัดทางทะเลเฉพาะในอ่าวไทยรูปตัว ก ประกอบด้วย ชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ ชนบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเพชรบุรี การกำหนดเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลในบริเวณดังกล่าว เป็นการพิจารณาปรับปรุงค่าพิกัดจากของเดิมให้มีความทันสมัย และขยายเขตทางทะเลของบางจังหวัดให้ครอบคลุมทะเลอาณาเขต ได้แก่ พื้นที่ทางทะเลของจังหวัดชลบุรีที่มีได้อยู่ในอ่าวไทยรูปตัว ก

1.2 จังหวัดชายทะเลบางจังหวัดได้มีการประกาศกำหนดเขตจังหวัดออกไปในทะเล เช่น ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การกำหนดเขตตำบลในท้องที่ ก. สุขสำราญ จ.ระนอง หรือประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง การกำหนดเขตตำบลในท้องที่ อ. คุระบุรี จ.พังงา เป็นต้น โดยเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลตามประกาศดังกล่าวจะอยู่ไม่ไกลจากฝั่งหรือแผ่นดินใหญ่ประมาณ 6 กิโลเมตร ซึ่งไม่ครอบคลุมอำนาจอธิปไตยทางทะเล หรือทะเลอาณาเขต การแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลจะใช้ทิศทาง และข้อมูลที่มีอยู่เดิมทำการขยาย ปรับแต่งเส้นระหว่างจังหวัดทางทะเลให้ขยายออกไปถึงทะเลอาณาเขตโดยไม่กระทบกับเขตทางทะเลในส่วนที่มีอยู่เดิม

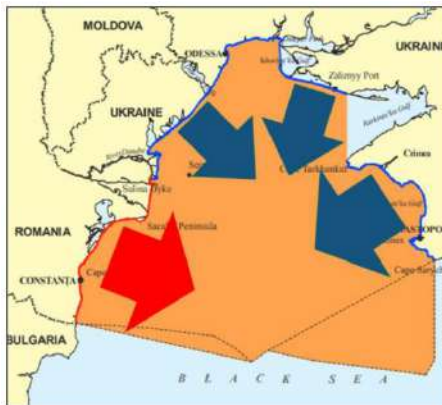
2. ผลการตัดสินกรณีการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐชายฝั่ง ที่ศาลยุติธรรมระหว่างประเทศได้พิจารณาแบ่งสามารถนำมาศึกษาและประยุกต์ใช้กับการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล พอสรุปได้ดังนี้

2.1 กรณีศึกษาระหว่าง เยอรมนี เดนมาร์ก และเนเธอร์แลนด์ การใช้หลักการของเส้นมัธยะแบบเคร่งครัดในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐชายฝั่งทั้ง 3 บริเวณทะเลเหนือ จะทำให้ เยอรมนี ซึ่งเป็นรัฐที่อยู่ตรงกลางและมีลักษณะชายฝั่งโค้งเข้า ทำให้เส้นมัธยะที่ได้ปิดกั้นทางออกสู่ทะเลของเยอรมนี ศาลพิจารณาแล้วเห็นว่าผลดังกล่าวไม่เป็นไปตามหลักแห่งความเที่ยงธรรมจึงทำการปรับแต่งเส้นมัธยะใหม่เพื่อให้เยอรมนีมีทางออกสู่ทะเลเหนือตามรูปภาพที่ 1 [3]



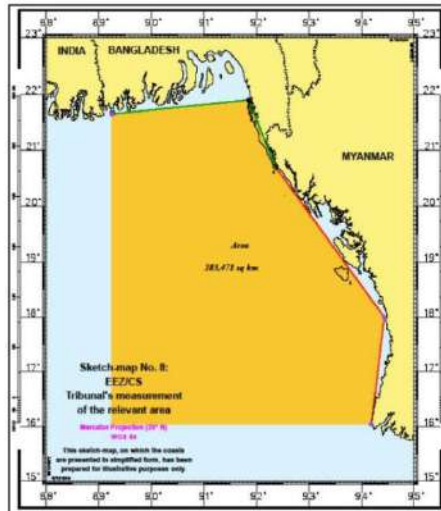
รูปที่ 1 การปรับแต่งเส้นเขตแดนทางทะเลระหว่างเนเธอร์แลนด์ เยอรมนี และเดนมาร์ก
ที่มา: International Court of Justice (ICJ)

2.2 กรณีศึกษาระหว่างโรมาเนียและยูเครน ศาลได้พิจารณาชายฝั่งที่เกี่ยวข้องในการแบ่งเขตแดนระหว่างรัฐชายฝั่งทั้งสอง โดยความยาวชายฝั่งของแต่ละฝ่ายนำมาอ้างเพื่อประกอบการพิจารณาของศาลนั้น ไม่ตรงกับควมยาวและลักษณะภูมิประเทศที่ศาลใช้ในการพิจารณาทั้งหมด แต่สิ่งที่ชัดเจนอย่างหนึ่งคือ ความยาวที่ได้เป็นการวัดความยาวชายฝั่งแบบ Tracing คือการหาความยาวตามความคดเคี้ยวของชายฝั่งตามรูปภาพที่ 2 [4]



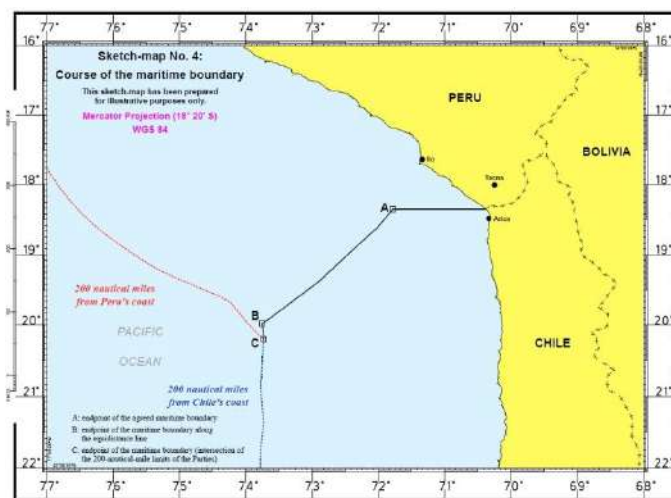
รูปที่ 2 ความยาวชายฝั่งที่ศาลพิจารณาว่าเกี่ยวข้องกับการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างโรมาเนียและยูเครน
ที่มา: International Court of Justice (ICJ)

2.3 กรณีศึกษาระหว่างบังคลาเทศและเมียนมา ศาลได้นำอัตราส่วนความยาวชายฝั่งมาประกอบการพิจารณา เช่นเดียวกับกรณีระหว่างโรมาเนียกับยูเครน แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือ ความยาวชายฝั่งของบังคลาเทศและเมียนมานั้น เป็นการวัดความยาวของชายฝั่งในลักษณะทิศทางทั่วไปของชายฝั่งแทน เนื่องจากชายฝั่งของทั้งสองประเทศมีความสลับซับซ้อนมากกว่ากรณีของโรมาเนียและยูเครนตามรูปภาพที่ 3 [5]



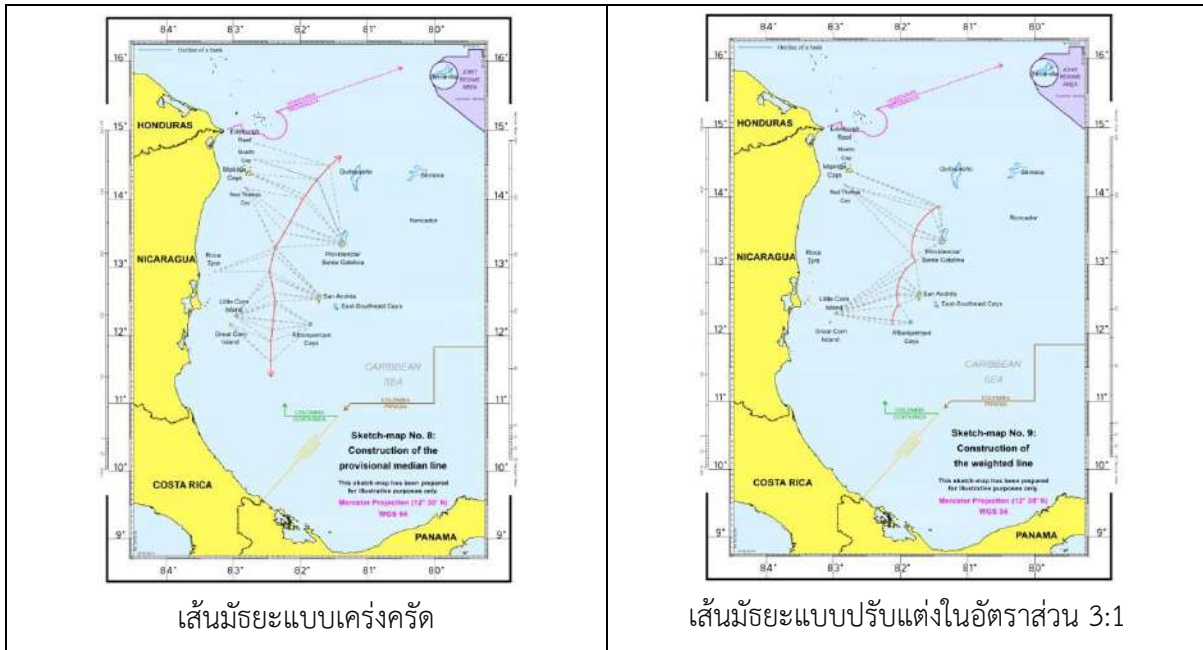
รูปที่ 3 ความยาวทิศทางทั่วไปของชายฝั่งที่ศาลนำพิจารณาในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างบังคลาเทศและเมียนมา
ที่มา: ITLOS

2.4 กรณีศึกษาระหว่างชิลีและเปรู เป็นการแบ่งเขตแดนทางทะเลโดยการใช้เส้นขนานละติจูดออกจากชายฝั่ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับพระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ.2502 ที่เขตระหว่างจังหวัดทางทะเลมีลักษณะเป็นเส้นตรง ตามรูปภาพที่ 4 [6]



รูปที่ 4 การแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างชิลีและเปรูโดยใช้เส้นขนานละติจูดในส่วนแรกจากชายฝั่ง
ที่มา: ICJ

2.5 กรณีศึกษาระหว่างโคลัมเบียและนิการากัว เป็นกรณีที่ศาลมิได้ใช้แผ่นดินใหญ่ในการพิจารณาเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐชายฝั่ง แต่เป็นการใช้เกาะของโคลัมเบียที่อยู่ห่างฝั่งมาก ในขณะที่เกาะของนิการากัวที่อยู่ใกล้ฝั่งมากกว่า ศาลทำการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐทั้งสองโดยการสร้างเส้นมัธยะแบบครึ่งครีต แล้วทำการปรับแต่งเส้นมัธยะตามรูปภาพที่ 5 [7]

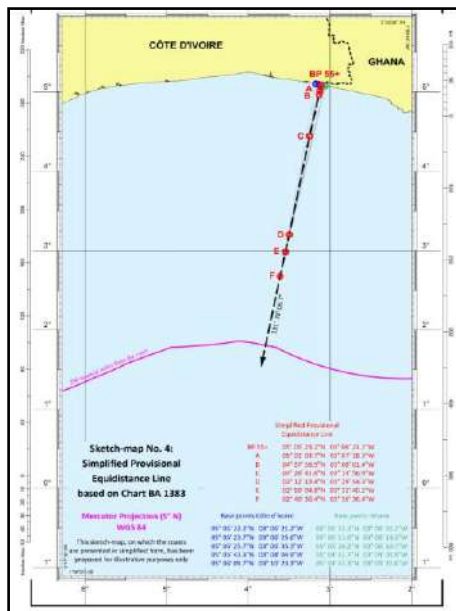


เส้นมัธยะแบบเคร่งครัด

เส้นมัธยะแบบปรับแต่งในอัตราส่วน 3:1

รูปที่ 5 เปรียบเทียบเส้นมัธยะแบบเคร่งครัดและแบบปรับแต่งในอัตราส่วน 3:1 ที่ศาลนำมาใช้ในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างนิการากัวและโคลัมเบีย
ที่มา: ICJ

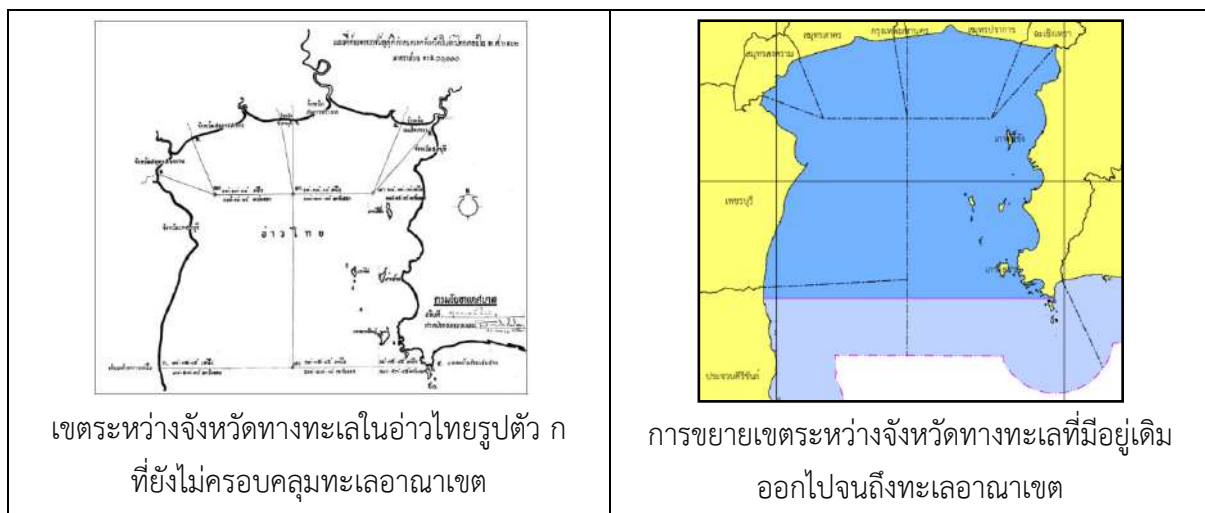
2.6 สำหรับการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างกานาและโคติวัว เป็นการแบ่งเขตแดนระหว่างประเทศที่ศาลใช้เส้นมัธยะแบบเคร่งครัด โดยไม่มีการปรับแต่งเส้นตามรูปภาพที่ 6 [8]



รูปที่ 6 เขตแดนทางทะเลระหว่างกานาและโคติวัวโดยใช้เส้นมัธยะแบบเคร่งครัด
ที่มา: ITLOS

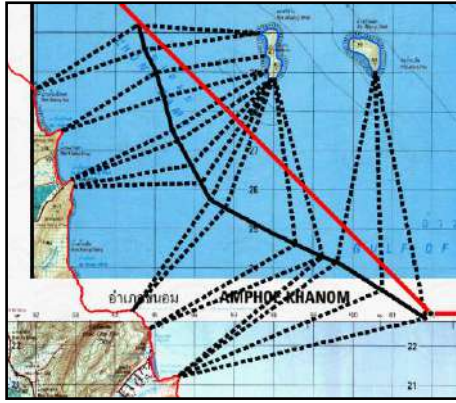
3. UNCLOS 1982 ได้กำหนดหลักการในการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐว่า ต้องบรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม (Equitable Solution) โดยการนำสถานะแวดล้อมพิเศษ (Special Circumstance) มาประกอบในการพิจารณา [1] โดยความเที่ยงธรรมนั้นมิได้มีการกำหนดคำจำกัดความไว้อย่างชัดเจนและมีลักษณะเป็นนามธรรม [9] ส่วนสถานะแวดล้อมพิเศษก็เป็นการกล่าวอย่างกว้างๆ และยกตัวอย่างไว้บ้างเช่น ลักษณะทางกายภาพ ภูมิศาสตร์ เศรษฐกิจ สังคม เป็นต้น หากศึกษาผลการตัดสินของศาลยุติธรรมระหว่างประเทศจะเห็นว่า แต่ละกรณีต่างก็มีผลการตัดสินที่แตกต่างกันออกไป ปัจจัยที่ศาลนำมาประกอบการพิจารณา ก็ไม่เหมือนกัน ซึ่งมีการกล่าวไว้อย่างชัดเจนในกรณีการตัดสินระหว่างบังคลาเทศและเมียนมาว่า “การพิจารณาแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ ในแต่ละกรณีต่างก็มีลักษณะเฉพาะ ดังนั้นองค์ประกอบในการพิจารณาก็จะแตกต่างกันไป แต่การพิจารณาดังกล่าวก็ยังคงไว้ซึ่งหลักการของความเที่ยงธรรม” [5] ดังนั้นจึงไม่มีกฎที่จำเพาะเจาะจงในการแบ่งเขตแดนทางทะเลและไม่สามารถนำหลักการ และวิธีการที่มีการใช้ในการแบ่งเขตแดนทางทะเลใดๆ มาใช้กับอีกกรณีอื่นๆ ได้ แต่ก็ให้พิจารณาตามสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุผลแห่งความเที่ยงธรรม สำหรับการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดชายทะเลของไทย มิใช่เป็นการแบ่งเขตแดนทางทะเลระหว่างรัฐ แต่เป็นการแบ่งเพื่อให้ทะเลที่อยู่ในบริเวณอำนาจอธิปไตยมีผู้รับผิดชอบสามารถบังคับใช้กฎหมายได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงสามารถสรุปหลักการและวิธีการในการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลที่นำมาใช้กับจังหวัดชายทะเลของไทยได้ ดังนี้คือ

3.1 ปรับปรุงค่าพิกัดจากของเดิมให้มีความทันสมัย และขยายเขตทางทะเลของบางจังหวัดให้ครอบคลุมทะเลอาณาเขตจะเป็นในกรณี พระราชบัญญัติกำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ.2502 และการประกาศเขตการปกครองบางส่วนออกไปในทะเล ตามรูปภาพที่ 7



รูปที่ 7 ภาพซ้ายแสดงเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลตาม พ.ร.บ.กำหนดเขตจังหวัดในอ่าวไทยตอนใน พ.ศ.2502 ภาพขวาผลจากงานวิจัยในการขยายเขตจังหวัดทางทะเลออกไปถึงทะเลอาณาเขต

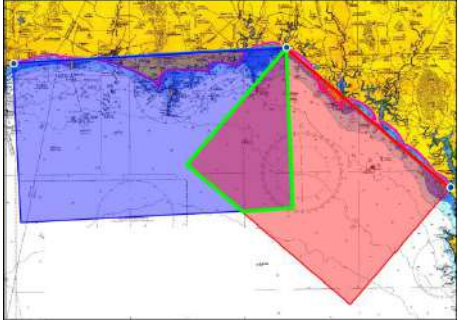
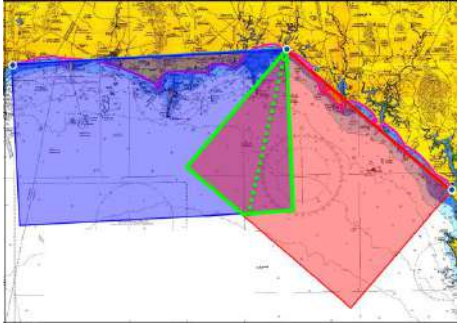
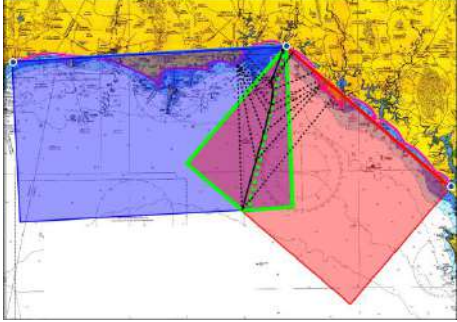
3.2 การปรับแต่งเส้นมัธยะให้เป็นเส้นตรง สำหรับจังหวัดชายทะเลที่มีเกาะห่างฝั่ง ซึ่งส่วนมากจะเป็นจังหวัดในฝั่งทะเลอันดามัน โดยทำการสร้างเส้นมัธยะแบบครึ่งครีตจากการใช้แผ่นดินและเกาะของแต่ละจังหวัดในการสร้างเส้นมัธยะ และทำการปรับแต่งเส้นมัธยะดังกล่าวให้มีลักษณะเป็นเส้นตรง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง ตามรูปภาพที่ 8



รูปที่ 8 การปรับแต่งเส้นมัธยะให้เป็นเส้นตรง เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน

3.3 จังหวัดชายทะเลที่มีลักษณะราบเรียบ จะใช้หลักการแบ่งแบบอัตราส่วนสัมพันธ์ คือการหาพื้นที่ทับซ้อนทางทะเลระหว่างจังหวัดและทำการแบ่งพื้นที่ทางทะเลที่ทับซ้อนกันตามอัตราส่วนความยาวชายฝั่ง โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการตามรูปภาพที่ 9 - 13

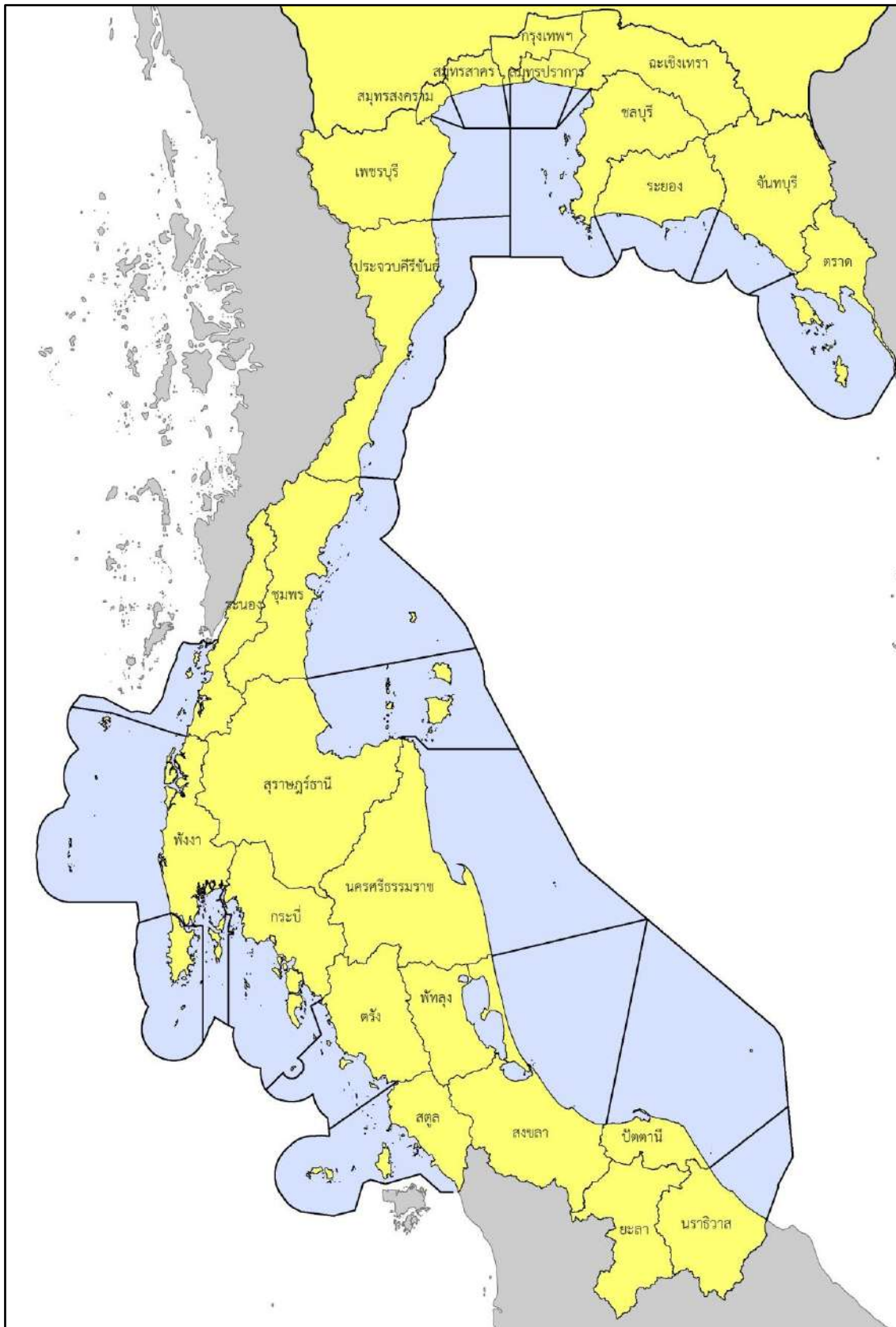
<p style="text-align: center;">รูปที่ 9</p>	<p>หาความยาวชายฝั่งของแต่ละจังหวัดจากจุดสิ้นสุดระหว่างจังหวัดทางบก ซึ่งจะใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดออกไปในทะเล</p>
<p style="text-align: center;">รูปที่ 10</p>	<p>หาทิศทางทั่วไปของชายฝั่งของแต่ละจังหวัด โดยการลากเส้นตรงจากจุดสิ้นสุดระหว่างจังหวัดทางบก</p>

 <p style="text-align: center;">รูปที่ 11</p>	<p>สร้างพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางทั่วไปของชายฝั่งออกไปในทะเล จนถึงระยะทะเลอาณาเขต เพื่อหาพื้นที่ทับซ้อนทางทะเลระหว่างคู่งจังหวัด</p>
 <p style="text-align: center;">รูปที่ 12</p>	<p>ทำการแบ่งพื้นที่ทับซ้อนทางทะเลระหว่างคู่งจังหวัด โดยนำอัตราส่วนความยาวชายฝั่งมาประกอบการแบ่งพื้นที่ทับซ้อนทางทะเล เช่น ความยาวชายฝั่งระหว่างจังหวัด ก คือ 100 กิโลเมตร จังหวัด ข คือ 50 กิโลเมตร ดังนั้นอัตราส่วนในการแบ่งพื้นที่ทับซ้อนทางทะเลระหว่างจังหวัด ก และจังหวัด ข คือ 2 : 1 โดยจุดเริ่มต้นในการแบ่งคือจุดสิ้นสุดระหว่างจังหวัดทางบก ออกไปในทะเลและสิ้นสุดที่ระยะทะเลอาณาเขต โดยเป็นเส้นตรง</p>
 <p style="text-align: center;">รูปที่ 13</p>	<p>เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเส้นมัธยะจะพบว่ามี ความใกล้เคียงกันมาก แต่เส้นมัธยะจะมีความ สลับซับซ้อนมากกว่า และยุ่งยากในการนำไปใช้ งาน</p>

ผลการศึกษา

ผลที่ได้จากการศึกษาการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล คือแผนที่แสดงแนวทางการกำหนดเขตรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเลในเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเลของไทย ซึ่งจะช่วยในการบริหารจัดการพื้นที่ทางทะเลที่ดีและมีประสิทธิภาพ ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการบังคับใช้กฎหมายในทะเล และการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลมีความเข้าใจและมั่นใจในการปฏิบัติงาน นอกจากนี้ยังส่งเสริมความเป็นเอกภาพของหน่วยงานภายในจังหวัดชายทะเล ในการนำแนวทางดังกล่าวไปดำเนินการต่อในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความรับผิดชอบของหน่วยงานใดๆ ภายในจังหวัด เช่น เจ้าท่าจังหวัด ประมงจังหวัด หรือหน่วยงานอื่นๆ ภายในจังหวัดเดียวกันมีความเข้าใจตรงกันเกี่ยวกับขอบเขตความรับผิดชอบพื้นที่ทางทะเลของจังหวัดตน การนำเสนอผู้กระทำความผิดสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากทราบว่ากระทำความผิดเกิดขึ้นในจังหวัดใด

ทั้งนี้ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดเขตรับผิดชอบระหว่างจังหวัดทางทะเลในเขตอำนาจอธิปไตยทางทะเลของไทย สามารถสร้างเป็นแผนที่แสดงเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลได้ตามรูปภาพที่ 14



รูปที่ 14 ร่างแผนที่แสดงเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลครอบคลุมเขตทะเลอาณาเขต

วิจารณ์และสรุปผล

เมื่อ 6 เมษายน พ.ศ.2561 ประเทศไทยได้มีประกาศสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่อง การประกาศแผนการปฏิรูปประเทศ ส่วนที่ 1 ภาพรวมการปฏิรูปประเทศด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) การอนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน ได้แก่ ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง โดยได้มีการเน้นย้ำในส่วนของการบริหารจัดการเขตทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งรายจังหวัด ได้กล่าวถึงการกำหนดเขตจังหวัดทางทะเลไว้ว่า **“ประเทศไทยมีเขตจังหวัดทางทะเล รวม 23 จังหวัด ซึ่งมีเพียง 7 จังหวัดในอ่าวไทยตอนใน คือ จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดธนบุรี (กรุงเทพมหานคร) จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดชลบุรี ที่มีการกำหนดเขตจังหวัดในการบริหารทรัพยากรจากการแบ่งเขตทางทะเล ได้อย่างชัดเจนและสามารถใช้ประโยชน์ในการกำหนดเขตการปกครอง การวางแผนและการดำเนินการบริหาร จัดการทรัพยากรทางทะเล การบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องและเขตอำนาจศาล และความสะดวกในการดำเนินชีวิตของประชาชน จึงควรมีการกำหนดเขตจังหวัดทางทะเลที่เหลือให้ครบถ้วนเพื่อประโยชน์สูงสุดในการบริหารทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งได้อย่างชัดเจน”** โดยมีเป้าหมายหรือผลอันพึงประสงค์และผลสัมฤทธิ์ ที่จำเป็นต้องมีเขตระหว่างจังหวัดทางทะเล คือ การจัดทำ One Marine Chart สำหรับ One Marine Chart จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแสดงเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลไว้สำหรับการบริหารจัดการในภาพรวมด้วย นอกจากนี้แผนการปฏิรูปประเทศได้กล่าวถึง พ.ร.บ.การรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเล ซึ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลก็ได้ถูกระบุไว้ใน พ.ร.บ.การรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลด้วยเช่นกัน จากข้อมูลดังกล่าวเป็นสิ่งย้ำเตือนว่าการแบ่งเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งในการรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเล และการปฏิรูปประเทศ แต่ทั้งแผนปฏิรูปประเทศ และ พ.ร.บ.การรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเล ไม่ได้มีแผนที่แนบท้ายแต่อย่างใด ดังนั้นการมีแผนที่แสดงเขตระหว่างจังหวัดทางทะเลจะช่วยให้แผนปฏิรูปประเทศและ พ.ร.บ.การรักษาผลประโยชน์ของชาติทางทะเลมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมสนธิสัญญาและกฎหมาย กระทรวงการต่างประเทศ, อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ.1982. กรุงเทพฯ
- [2] วิรงรอง ทิมดี, สมาน ใต้รายรัมย์. แนวทางการขยายเขตพื้นที่รับผิดชอบของคณะกรรมการประมงประจำจังหวัดในเขตทะเลชายฝั่งระยะ 12 ไมล์ทะเล. เอกสารวิชาการฉบับที่ 7/2560. ราชการบริหารส่วนกลาง กรมประมง. กรุงเทพฯ
- [3] International Court of Justice (ICJ). (Judgment of 20 February 1969). North Sea Continental Shelf Cases, Federal Republic of Germany; Denmark; Netherlands. Hague.
- [4] International Court of Justice (ICJ). (Judgment of 3 February 2009). Maritime Delimitation in Black Sea (Romania v. Ukraine). Hague.

- [5] International Tribunal for the Law of the Sea (ITLOS). (Judgment of 14 March 2012). Dispute Concerning Delimitation of the Maritime Boundary between Bangladesh and Myanmar in the Bay of Bengal. Hamburg.
- [6] International Court of Justice (ICJ). (Judgment of 27 January 2014). Case concerning maritime dispute (Peru v. Chile). Hague.
- [7] International Court of Justice (ICJ). (Judgment of 13 December 2007). Territorial and maritime dispute (Nicaragua v. Colombia). Hague.
- [8] International Tribunal for the Law of the Sea (ITLOS). (Judgment of 23 September 2017). Dispute Concerning Delimitation of the Maritime Boundary between Ghana and Cote D'Ivoire in the Atlantic Ocean. Hamburg.
- [9] สมาน ได้รายรัมย์, (2557). The Equi-Area/Ratio The new method for maritime delimitation. United Nations, New York & National Oceanography Centre, Southampton.

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์

Solar-Powered Turbine Aerator

ภารดร ทองเสน¹ และ ยอดชาย เตียเปิน²

Paradon Thongsen¹ and Yodchai Tiapel²

Received: April 23, 2020

Revised: May 29, 2020

Accepted: June 26, 2020

บทคัดย่อ

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์แบบใต้ผิวน้ำแนวตั้ง อาศัยการออกแบบด้วยการจำลองพลศาสตร์ของไหล เพื่อเลือกขนาดใบพัดที่เหมาะสมกับกำลังขับของมอเตอร์และพลังงานที่ได้จากโซลาร์เซลล์ขนาด 600 วัตต์ โดยใบพัดมีลักษณะแบบซี่ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร จมน้ำลึก 0.6 เมตร มีแกนเพลากลางต่อตรงกับมอเตอร์กระแสตรงชนิดไม่มีแปรงถ่านขนาด 500 วัตต์ 1,000 รอบต่อนาที เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 850 รอบต่อนาที สามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจนได้ 2.48 kgO₂/kWh

คำสำคัญ: เครื่องเติมอากาศใบพัด พลังงานแสงอาทิตย์

¹ ช่างเทคนิคชำนาญการ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
Professional technician, International Maritime College, Kasetsart University Si Racha Campus
E-mail: paradon.t@ku.th

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
Assistant Professor, International Maritime College, Kasetsart University Si Racha Campus
E-mail: yodchai.ti@ku.th

Abstract

The solar-powered turbine aerator relied on the design with CFD to select the suitable rotor size for the motor power and 600 watts of solar power. The diameter of the propeller was 160 millimeter, submerged about 0.6 meter, assembled with a hollow shaft and directly connected with a brushless DC motor of 500 watts and 1,000 rpm. The solar-powered aerator can reach a maximum speed of 850 rpm. with oxygen transfer rate of 2.48 kgO₂/kWh.

Keywords: Aerator, CFD, Solar power

บทนำ

ปัจจุบันการเติมออกซิเจนให้กับน้ำทั้งทางด้านการเลี้ยงสัตว์น้ำ และการบำบัดน้ำเสีย ส่วนใหญ่ใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ หรือไฟฟ้าขับเคลื่อนเพื่อเติมออกซิเจนให้กับน้ำ ส่งผลให้มีภาระค่าใช้จ่ายต้นทุนพลังงาน ในปัจจุบันมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างแพร่หลายในหลายๆ รูปแบบ เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพมากในประเทศไทยเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ

แนวความคิดการพัฒนาเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และนำพลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำลังให้กับมอเตอร์ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศที่มีประสิทธิภาพ จะสามารถช่วยแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายพลังงานได้

บททวนวรรณกรรม

การเติมอากาศเป็นกลไกทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) [1] เพื่อขจัดก๊าซที่ปนอยู่ในน้ำ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เหล็ก ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารอินทรีย์ระเหยง่าย การเติมออกซิเจนลงในน้ำจัดให้เป็นอุปกรณ์ aerator [2] สามารถแบ่งได้ตามกลไกการทำงาน คือ เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ เช่น กังหันน้ำชัยพัฒนา แสดงดังรูปที่ 1 ใช้วิธีการตักน้ำด้วยช่องน้ำที่เจาะรูน้ำพรุน เมื่อช่องน้ำหมุนจะตักยกน้ำขึ้นและน้ำจะไหลผ่านรูน้ำพรุน ทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศก่อนที่จะตกลงด้านล่าง และ กังหันตีน้ำเป็นเครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำแสดงดังรูปที่ 2 โดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนใบพัดให้หมุนเพื่อตีน้ำ ทำให้มีการเติมอากาศและน้ำไหล ซึ่งเหมาะสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบกึ่งธรรมชาติ

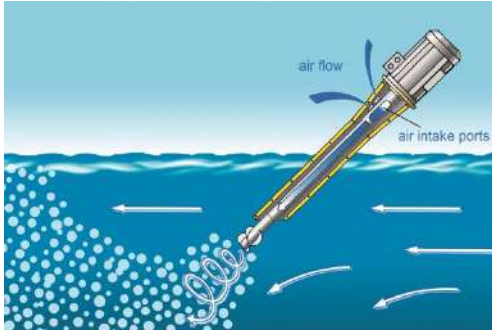


รูปที่ 1 กังหันน้ำชัยพัฒนา [3]



รูปที่ 2 กังหันตีน้ำ [4]

เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบแนวนอนแสดงดังรูปที่ 3 และแบบกึ่งหันแกนตั้งแสดงดังรูปที่ 4 เครื่องเติมอากาศชนิดนี้อาศัยใบพัดหมุนใต้น้ำทำให้ความดันบริเวณท้ายใบพัดลดลงต่ำกว่าความดันบรรยากาศ อากาศเหนือผิวน้ำจะถูกดูดผ่านเข้าแกนเพลลา ทำให้อากาศแตกเป็นฟองอากาศเล็กๆ สัมผัสกับน้ำ เกิดการแลกเปลี่ยนออกซิเจน

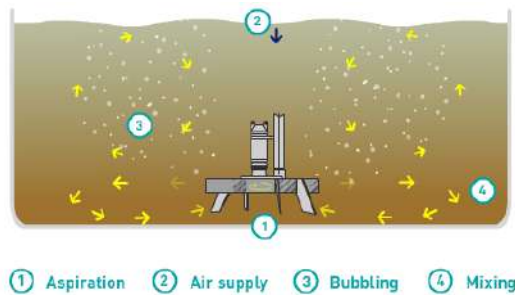


รูปที่ 3 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบแนวนอน [5]



รูปที่ 4 เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบแนวตั้ง [6]

เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำแสดงดังรูปที่ 5 มีลักษณะการทำงานผสมกันระหว่างระบบเป่าอากาศและระบบเครื่องเติมอากาศ กล่าวคือ อากาศหรือออกซิเจนจะถูกเป่ามาตามท่อ และจะถูกใบพัดเทอร์ไบน์ตีฟองอากาศขนาดเล็กกระจายไปทั่ว เครื่องเติมอากาศชนิดนี้มีความสามารถในการให้ออกซิเจนสูง แต่มีราคาและการบำรุงรักษาสูงกว่าแบบอื่น



รูปที่ 5 ภาพการเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ [7]

เครื่องเติมอากาศแบบเจ็ตมีด้วยกัน 2 แบบ คือ แบบใช้หลักการการทำงานของ Venturi แสดงดังรูปที่ 6 ทำงานโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำฉีดผ่านหัวฉีดเวนจูรี่ที่มีรูปร่างเป็นคอขวดเพื่อเพิ่มความเร็วของน้ำจนกระทั่งเกิดแรงดูดอากาศลงมาผสมกับน้ำทำให้เกิดการถ่ายเทออกซิเจนลงไปใต้น้ำ และ แบบ Water Jet Aerator แสดงดังรูปที่ 7 ใช้หลักการปั้มน้ำผ่านระบบท่อหลักและแยกไปยังท่อย่อยๆ ที่มีปลายท่อเป็นรูปทรงหัวฉีด โดยภายในท่อจะมีท่ออากาศที่สามารถดึงอากาศให้เข้ามาผสมกับน้ำก่อนที่จะออกจากหัวฉีด



รูปที่ 6 เวนจูรี [8]



รูปที่ 7 การสูบน้ำลงบนผิว [9]

ค่ามาตรฐานประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศพื้นฐานแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1 [10] ซึ่งเครื่องเติมอากาศแบบ vertical pumps, pump sprayers, propeller aspirator pumps, paddle wheels และ diffused air นิยมใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่วนเครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีด และ pure oxygen นิยมใช้ในบ่ออนุบาลปลาและกุ้ง [11]

ตารางที่ 1 มาตรฐานประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนของอุปกรณ์เครื่องเติมอากาศพื้นฐาน

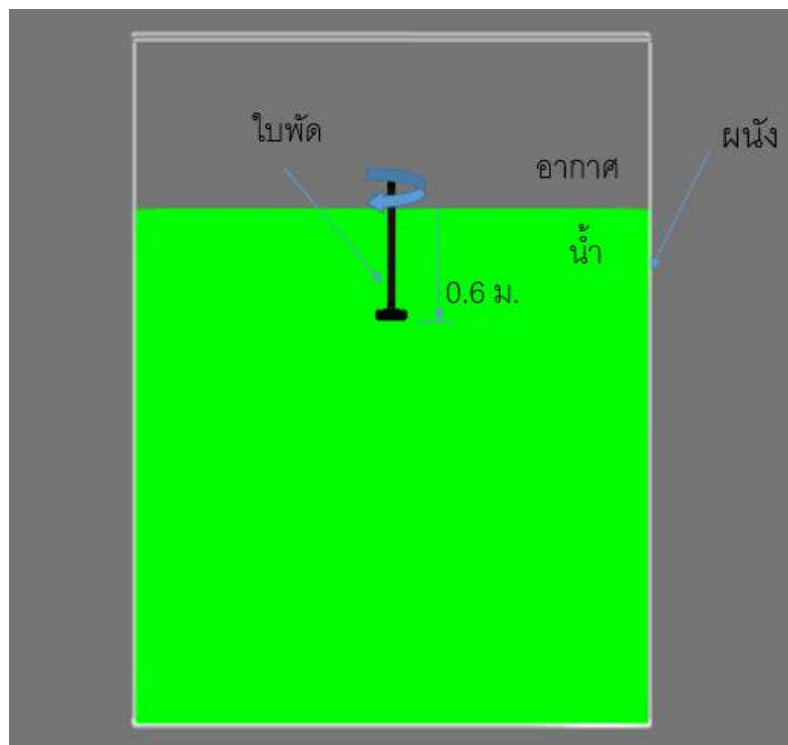
ชนิดของเครื่องเติมอากาศ	ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนเฉลี่ย (kgO ₂ /kWh)
Flexible link aerator with circle holes	2.7
Flexible link aerator without circle holes	1.84
Propeller aspirator pump	1.58
Vertical pump	1.28
Paddle wheel	1.29-2.75
Pump sprayer	0.9-1.9
Diffused air	0.7-1.2

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เลือกใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์โดยอาศัยแผ่นโซลาร์เซลล์ในการแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่มีพลังงานไฟฟ้าอย่างจำกัด การเลือกชนิดของเครื่องเติมอากาศที่เหมาะสมกับพลังงานไฟฟ้าที่มีจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง Kazi Faridul Hasan (2013) กล่าวว่าเครื่องเติมอากาศแบบใบพัดมีจุดเด่นคือ สามารถถ่ายเทออกซิเจนได้จำนวนมากแต่ใช้พลังงานน้อย อุปกรณ์ราคาไม่แพง ทนทานต่อการใช้งาน และบำรุงรักษาง่าย [12] การออกแบบจึงเลือกใช้ใบพัดใต้น้ำแบบแกนตั้ง โดยการติดตั้งใช้งานเป็นแบบทุ่นลอยติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์อยู่ด้านบน

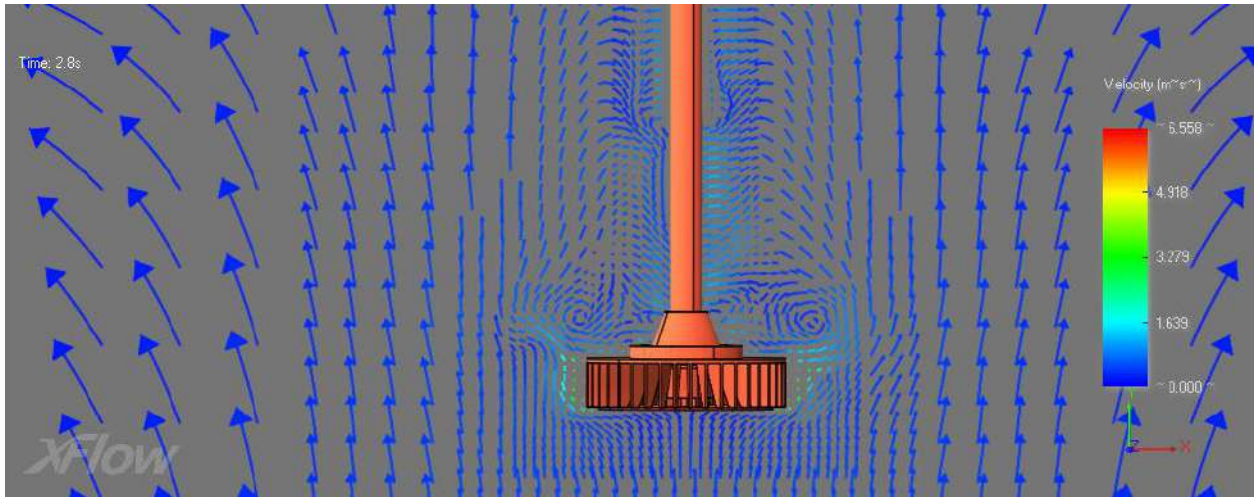
อาศัยการจำลอง CFD (Computational Fluid Dynamics) เพื่อหาขนาดใบพัดที่เหมาะสมกับขนาดกำลังมอเตอร์ที่จะนำมาใช้งาน โดยจะเลือกใช้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 แผ่น สามารถผลิตกำลังสูงสุดได้ 600 วัตต์ ในเบื้องต้นกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดมีขนาด 160 มม. มีลักษณะเป็นแบบซี่ๆ จำนวน 40 แผ่น ต่อเข้ากับเพลากลวงขนาด 1 นิ้ว ยาว 828 มม. ใช้โปรแกรม CFD สำเร็จรูป

XFlow เลือกโมเดลการจำลองแบบ Free surface กำหนดให้ใบพัดจมน้ำระยะที่เหมาะสมที่ความลึก 0.6 เมตร เนื่องจากระดับความลึกมีผลต่ออัตราการใช้พลังงานเนื่องจากค่าความดันสถิตที่เพิ่มมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 8 หมุนด้วยความเร็วรอบ 1000 rpm 800 rpm 600 rpm และ 400 rpm เลือกขนาดเมส บริเวณรอบนอก (resolved scale) มีขนาดเท่ากับ 0.5 เมตร และบริเวณใกล้ใบพัด (target resolved scale) มีความละเอียดมากขึ้นเท่ากับ 0.0075 เมตร

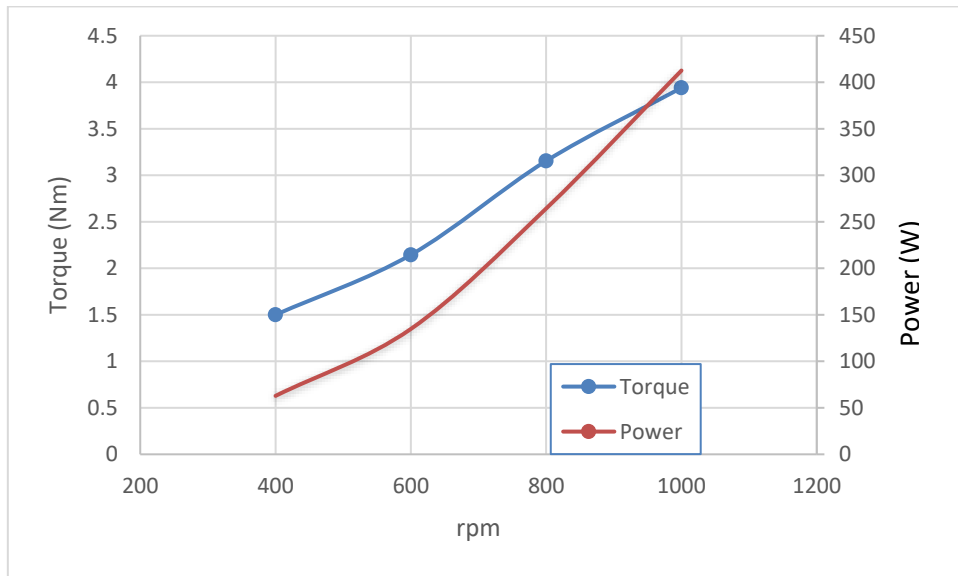


รูปที่ 8 โดเมนการจำลอง

ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 แสดงเป็นเวกเตอร์ของความเร็วน้ำบริเวณรอบๆ ใบพัด และจากการปรับค่าความเร็วต่างๆ สามารถแสดงค่ากำลังขับที่ใช้แสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ากำลังขับที่ใช้ที่ความเร็วรอบสูงสุด 1,000 rpm ใช้กำลังขับประมาณ 412 วัตต์ ดังนั้นจึงเลือกใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร จมน้ำลึก 0.6 เมตร ติดกับเพลากลางขนาด 1 นิ้ว ยาว 0.828 เมตร เจาะรูบริเวณปลายด้ายบนสำหรับให้อากาศไหลผ่านจากบริเวณเหนือผิวน้ำไปยังบริเวณใบพัดที่มีความดันต่ำ ต่อตรงกับมอเตอร์ชนิด BLDC ขนาด 500 วัตต์ 1,000 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพ 84%

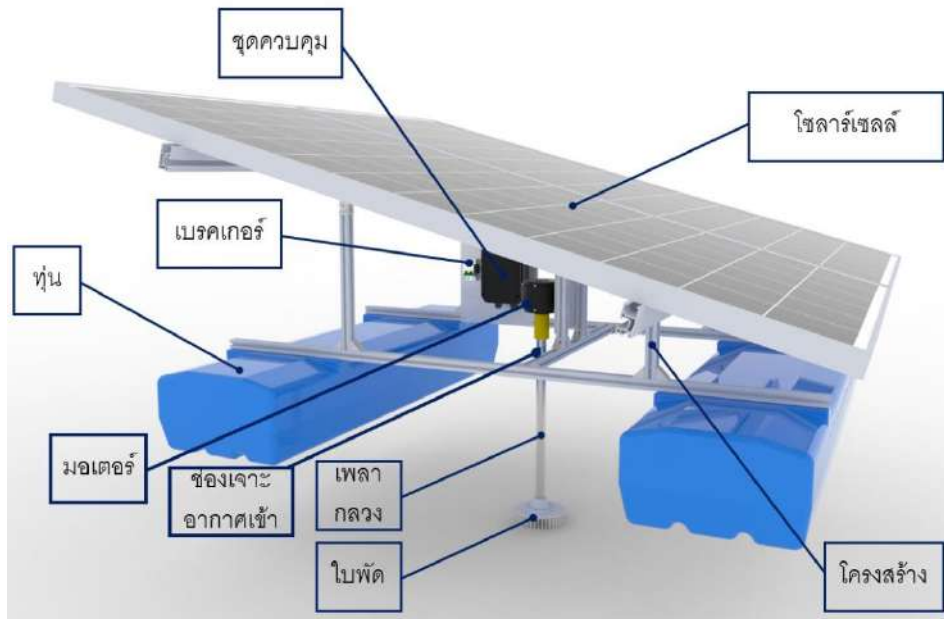


รูปที่ 9 เวกเตอร์ความเร็วน้ำรอบๆ ใบพัด

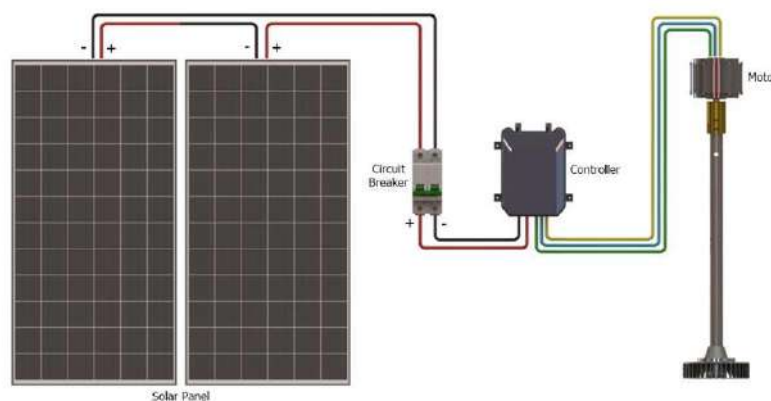


รูปที่ 10 ค่าแรงบิด และกำลังงาน เทียบกับความเร็วรอบ

กำหนดให้แผงโซลาร์เซลล์มีมุมเอียง 15.5° อาศัยหุ่นรูปทรงกระบอกจำนวน 2 หุ่น สำหรับรับน้ำหนักโครงสร้างของชุดเครื่องเติมอากาศทั้งหมดในขณะที่ติดตั้งอยู่ในน้ำ รายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 11 มีการติดตั้งตัวควบคุม MPPT (Maximum Power Point Tracking) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการผลิตไฟฟ้าให้ได้สูงสุดจากแผงโซลาร์เซลล์ และติดตั้งตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ (Motor controller) อยู่ภายในกล่องควบคุม (Controller) วงจรไฟฟ้าเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ชิ้นส่วนเครื่องเติมอากาศไบพัตพลังงานแสงอาทิตย์



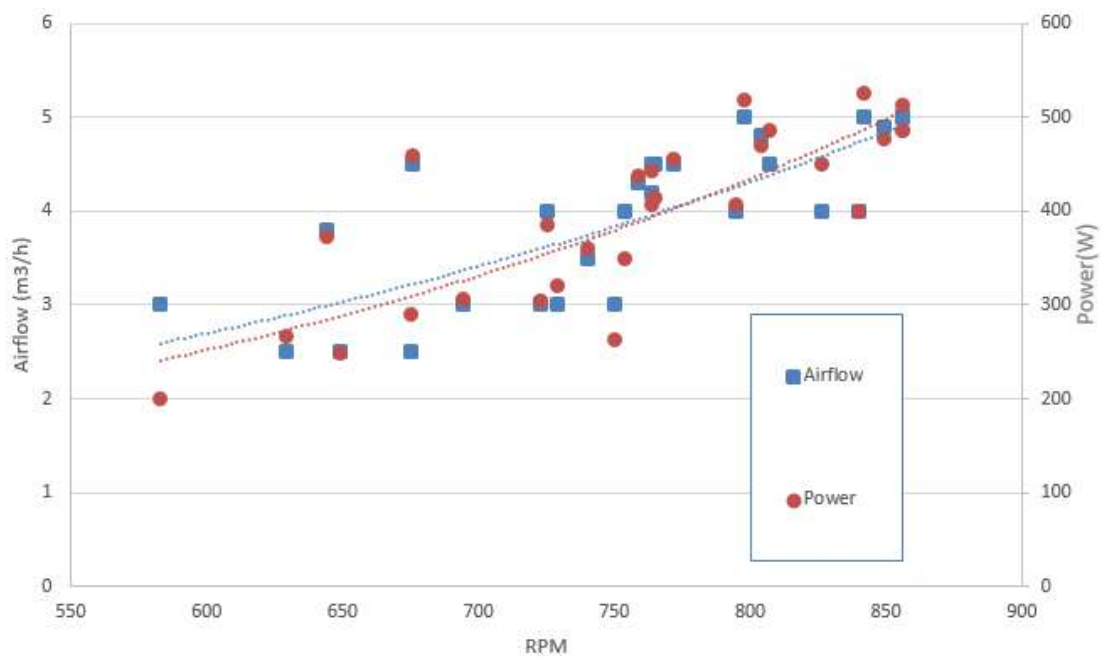
รูปที่ 12 วงจรไฟฟ้าเครื่องเติมอากาศไบพัตพลังงานแสงอาทิตย์

ผลการศึกษา

เครื่องเติมอากาศไบพัตพลังงานแสงอาทิตย์ทดสอบในบ่อเลี้ยงปลาน้ำนิ่ง มีพื้นที่ขนาด 4,000 ตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 13 มีแสงแดดตลอดทั้งวัน โดยหันหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงทิศใต้ กำหนดให้ชุดไบพัตหั่นจมน้ำที่ระดับความลึก 0.6 เมตร และมีการติดตั้งอุปกรณ์การวัดอัตราการไหลอากาศ (flow meter) ที่ติดตั้งครอบเฟลลาของไบพัต โดยการทดสอบดำเนินการตรวจวัดค่าความเร็วรอบไบพัต ปริมาณอากาศของอากาศที่สามารถเติมให้กับน้ำ (m^3/h) กระแสไฟฟ้า (A) และแรงดันไฟฟ้า (V) การทดสอบดำเนินการตรวจวัดตั้งแต่เช้าถึงเย็นหลายๆ วัน เพื่อให้ได้คุณลักษณะการทำงานของเครื่องเติมอากาศไบพัตพลังงานแสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 14 โดยค่ากำลังไฟฟ้านำมาคำนวณจากสมการ $Power=AV$ (watt) ซึ่งเส้นประคือค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบ



รูปที่ 13 การติดตั้งทดสอบในบ่อน้ำ



รูปที่ 14 อัตราการไหลของอากาศและกำลังไฟฟ้าเทียบกับความเร็วรอบ

อริปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการพัฒนาเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนทุ่นลอย โดยอาศัยโซลาร์เซลล์ขนาด 300 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อแบบอนุกรม ใช้มอเตอร์ชนิด BLDC ขนาด 500 วัตต์ 48 โวลต์ ต่อกับเพลลาที่ติดตั้งมีใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 160 มิลลิเมตร อยู่ที่ตำแหน่งปลายเพลลา จมอยู่ใต้แนวน้ำที่ระดับความลึก 0.6 เมตร เพลลาใบพัดมีลักษณะกลวงเพื่อให้อากาศสามารถไหลจากเหนือผิวน้ำเข้าไปผสมกับน้ำในบริเวณใต้น้ำได้ ผลการทดสอบจะเห็นว่าเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ดีตลอดทั้งวันที่มีแดด โดยสามารถทำงานได้เองอัตโนมัติเมื่อท้องฟ้าเริ่มมีแดด เครื่องทำงานได้ดีที่สุด (ความเร็วรอบสูงสุด) ในช่วงเวลาประมาณบ่ายโมงถึงบ่ายสองโมง และความเร็วรอบจะค่อยๆ ลดลง จนกระทั่งหยุดทำงานเมื่อแสงแดดหมดในช่วงตอนเย็น เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 850 rpm สามารถดึงอากาศลงไปผสมกับน้ำได้อัตราการไหลประมาณ $5 \text{ m}^3/\text{h}$ ใช้กำลังงานประมาณ 0.518 กิโลวัตต์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนมาตรฐานของเครื่องเติมอากาศตามตารางที่ 1 ที่จัดอยู่ในประเภท Propeller aspirator มีค่าประมาณ $1.58 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ ซึ่งเครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจน (21% ในอากาศ) เท่ากับ $5 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 0.21 \times 1/0.518 \text{ kW} = 2.48 \text{ kgO}_2/\text{kWh}$ ซึ่งสามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจนมากกว่า 1.569 เท่าเทียบกับค่ามาตรฐาน

เครื่องเติมอากาศใบพัดพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีอุปกรณ์และหลักการทำงานไม่ซับซ้อน และราคาไม่แพง สามารถถ่ายเทปริมาณออกซิเจนให้กับน้ำได้ดี ที่สามารถนำไปใช้งานกับแหล่งน้ำต่างๆ เช่น บ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือแหล่งน้ำคลองสาธารณะ ที่ต้องการบำบัดให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งแหล่งพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งหรือพลังงานจากเครื่องยนต์ที่มีการปล่อยมลพิษสู่บรรยากาศ มีความคุ้มค่าไม่ต้องจ่ายค่าต้นทุนค่าพลังงาน ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานเชื้อเพลิง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahmad and Boyd (1988), Ahmad, T., & Boyd, C. E. (1988). Design and performance of Paddle Wheel Aerators. *Aquacultural Engineering*, 7(1), 39-62.
- [2] Jayraj P., Subha M. Roy, C.K.Mukherjee and B.C.Mal (2017), Design characteristics of submersible aerator, *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 18: 1017- 1023.
- [3] มูลนิธิชัยพัฒนา (2559), กังหันน้ำชัยพัฒนา, สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2563, จากเว็บไซต์ : https://www.chaipat.or.th/site_content/item/18-chaipattana-water-turbine-development.html
- [4] ทองสมายล์ (2560), เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตึ้นน้ำ, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มีนาคม 2563, จากเว็บไซต์ : http://www.thongsmile.com/index.php?lay=show&ac=article&id=539727699&Ntype=6#.Xp_VcgzblU
- [5] Aqua aerobic (2018), Oxystar Aspirating Aerator, Retrived March 15, 2019 from <https://www.aqua-aerobic.com/aeration-mixing/aspirating-aerators/>

- [6] Toring (2017), Floating turbine aerator : Retrived March 15, 2019 from <https://www.toring.com/en/toring-aerator>
- [7] Europelec (2018), Submerged low speed turbine, Retrived March 20, 2019 from <http://www.europelec.com/the-submerged-low-speed-turbine-sofie.html>
- [8] Wassertec (2017), Venturi injectors, Retrived March 20, 2019 from <https://www.wassertec.co.za/mazzei-venturi-injectors/>
- [9] Task (2018), Jet aeration systems, Retrived March 25, 2019 from <http://task.be/en/content/jet-aeration-subsurface-wastewater-aeration/>
- [10] Ayub. M. (2015). Design of Flexible Link Aerator System to Generate Dissolved Oxygen in Prawn Pond. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia: Tesis Sarjana Muda.
- [11] Claude E. Boyd (1998), Pond water aeration systems, *Aquacultural Engineering* 18 (1998) 9–40
- [12] Kazi Faridul Hasan (2013), Types & use of aerators in hatchery, Lecture, Retrived May 5, 2020 from https://www.slideshare.net/KaziFaridul/types-use-of-aerators-in-hatchery?from_action=save

เครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่

A Mobile Tube Pressure Testing Machine

วีระ บุญผุด¹

Weera Boonphud¹

Received: April 14, 2020

Revised: June 2, 2020

Accepted: July 9, 2020

บทคัดย่อ

เครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ได้ถูกวิจัยและพัฒนาขึ้นเพื่อทดแทนเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบประจำที่ เพื่ออำนวยความสะดวกให้บริการให้กับหน่วยต่างๆ ของกองทัพเรือที่อยู่ห่างไกล ในการทดสอบตรวจสอบความแข็งแรงของท่อบรรจุแรงดันสูงประเภทต่างๆ ที่ใช้ในกองทัพเรือมีความปลอดภัยในการใช้งาน เช่น เครื่องดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ และท่ออากาศอัดสำหรับการหายใจ ตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA 10) Standard for Portable Fire Extinguishers 2002 Edition ในการวิจัยใช้ระบบ Hydrostatic test ออกแบบ water Jacket สูง 920 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 335 mm หนา 20 mm ติดล้อที่ฐานล่าง น้ำหนักถังเปล่า 40 kg และ ป้อนน้ำแรงดันสูงที่ 3,000 psi ผลการทดลองอัตราการขยายตัวถาวรผิดพลาดเพียง 0.1% เมื่อเทียบกับการทดสอบกับท่อมาตรฐาน และผลการทดสอบกับท่อดับเพลิงตัวอย่างขนาด 15 lbs เปรียบเทียบกับผลของเครื่องทดสอบแบบประจำที่ต่างกัน 2% ซึ่งถือว่าเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่มีมาตรฐานและใช้งานได้จริง

คำสำคัญ : เครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ เครื่องดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ ท่ออากาศอัด สำหรับการหายใจ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Department of Physics and Chemistry, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: baankhawhom@hotmail.com

Abstract

A mobile tube pressure testing machine has been researched and developed to replace the regular stationary pressure testing machine in order to facilitate services for various units of the Royal Thai Navy that are located in remote areas from testing units. This mobile pipe pressure tester is used for testing the strength of various types of high pressure hose used in the Royal Thai Navy such as the carbon dioxide extinguishers and scuba cylinder. In order to be safe for use according to the National Fire Protection Association (NFPA 10) Standard for Portable Fire Extinguishers 2002 Edition. In this research, using the designed **hydrostatic test** system with the water Jacket 920 mm high, 235 mm diameter, 20 mm thickness, mounted to the wheel at the bottom. There is 40 kg empty tank weight and 3,000 psi high pressure water pump. The research showed that the permanent expansion rate is 0.1% error compared to the standard pipe test and the test result with fire hose size 15 lbs. with 2% difference compared to the results of routine testing machines which assumes that the mobile tube pressure tester is standard and practical.

Keywords: Mobile Tube Pressure Testing Machine, Carbon Dioxide Extinguisher, scuba cylinder

1. ความเป็นมาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันกองทัพเรือ (ทร.) มีท่อบรรจุก๊าซแรงดันสูงจำนวนมาก เช่น ถังดับเพลิงแบบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และท่ออากาศดำน้ำ และกรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ (วศ.ทร.) เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบทดสอบสภาพการใช้งานของตัวท่อ พบว่า มีท่อบรรจุก๊าซแรงดันสูงจำนวนมากที่รอการตรวจสอบความปลอดภัยตามมาตรฐาน National Fire Protection Association (NFPA 10) Standard for Portable Fire Extinguishers 2002 Edition โดยเฉพาะหน่วยขึ้นตรง ทร. ในเขตพื้นที่ต่างจังหวัด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อสร้างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่
- 2.2 เพื่อขยายขีดความสามารถให้การสนับสนุนทดสอบกำลังดันท่อให้กับหน่วย ทร. ที่อยู่นอกพื้นที่บริการ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

- 3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่
- 3.2 เลือกระบบที่เหมาะสมที่สุดตามงบประมาณที่มีจำกัดและดำเนินการออกแบบ
- 3.3 จัดสร้างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่
- 3.4 ดำเนินการทดสอบในพื้นที่ กองทัพเรือภาค 2 (สงขลา)
- 3.5 สรุปผลการทดสอบ และปิดโครงการ

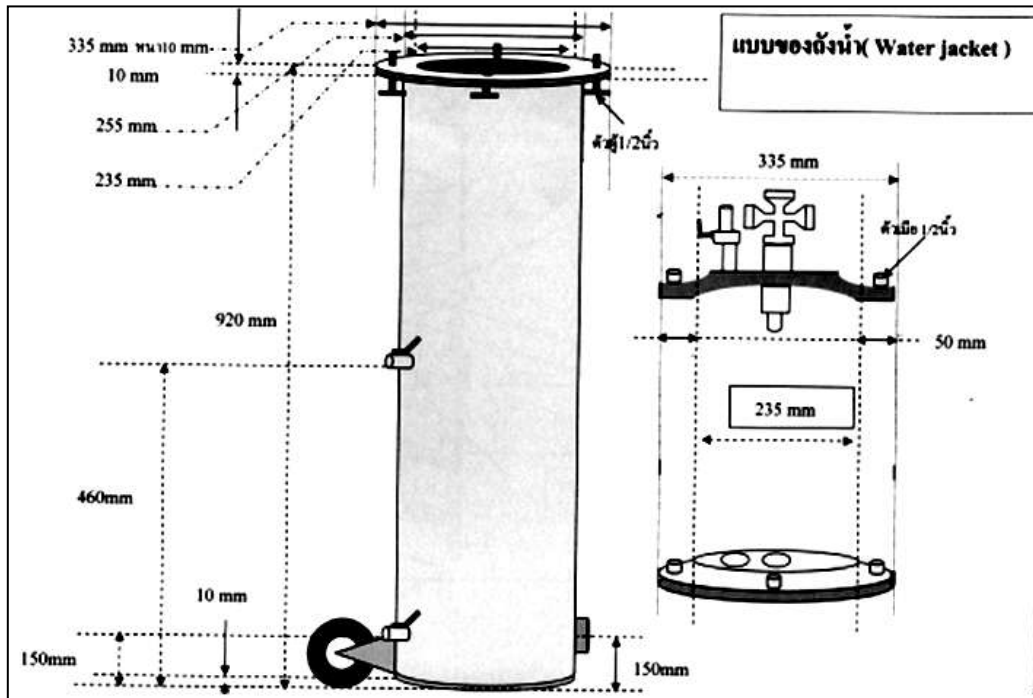
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ได้เครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่
- 4.2 ประหยัดงบประมาณกว่าจัดซื้อจากต่างประเทศ 3 - 4 เท่า
- 4.3 เป็นไปตามมาตรฐาน NFPA 10
- 4.4 หน่วยผู้ใช้ปลอดภัยที่ได้ใช้พัสดุที่ปลอดภัยได้มาตรฐาน

5. การออกแบบเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ (A mobile tube pressure testing design)

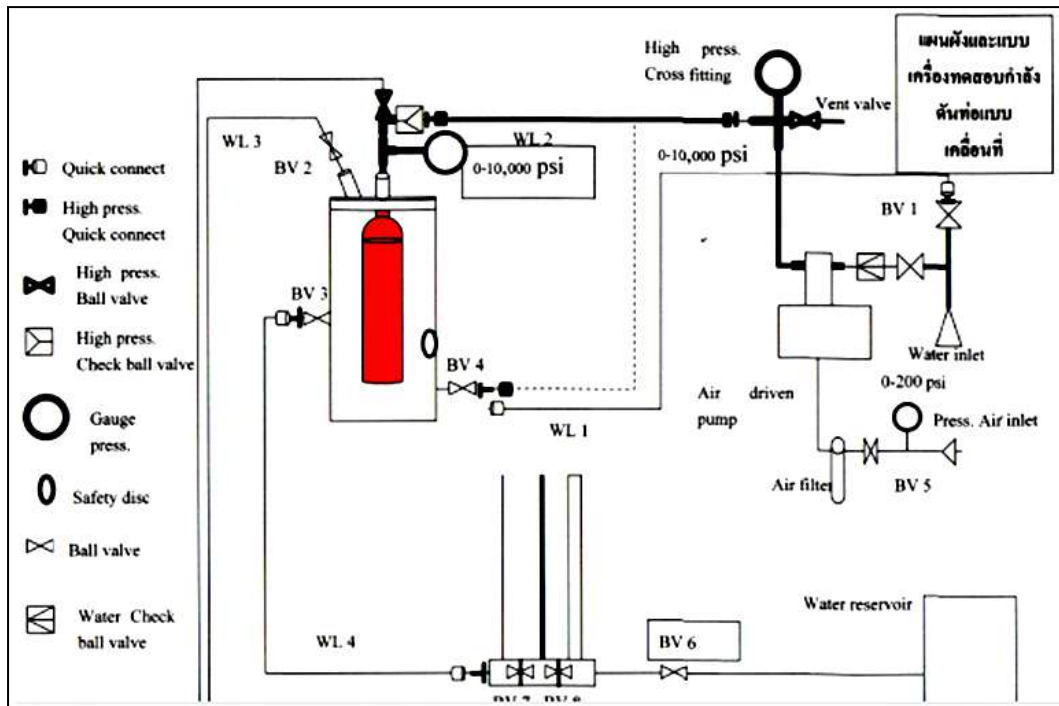
5.1 Water jacket (Hydrostatic Test)

ถังทดสอบทำจากโลหะสแตนเลสรูปทรงกระบอกสูง 920 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 335 mm หนา 20 mm ติดล้อที่ฐาน น้ำหนักรวมหนัก 40 kg มีฝาเปิดปิดได้ สามารถทนแรงดันได้ 3,000 lbs [1] บนฝาติดตั้งเกจวัดความดัน ติดตั้งวาล์วปรับลดความดัน (Vent valve) ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ถังทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ (Water jacket) [1]

- 5.1.1 วาล์วน้ำขนาด 1/2 นิ้ว สำหรับเติม - ถ่ายน้ำในถังน้ำ(ด้านข้างถังทดสอบ)
- 5.1.2 วาล์วน้ำขนาด 1/2 นิ้ว สำหรับต่อไปยังชุดแสดงผลการขยายตัว - หดตัวของท่อทดสอบ
- 5.1.3 วาล์วน้ำขนาด 1/2 นิ้ว สำหรับไล่อากาศในถังน้ำ
- 5.1.4 Safety glass window
- 5.1.5 ฝาถังวาล์วน้ำขนาด 1/2 นิ้ว สำหรับระบายอากาศในถังน้ำ
- 5.1.6 Crossing fitting ประกอบด้วย ข้อต่อเกจวัดความดัน วาล์วระบายอากาศในท่อและข้อต่อวาล์วกันกลับ



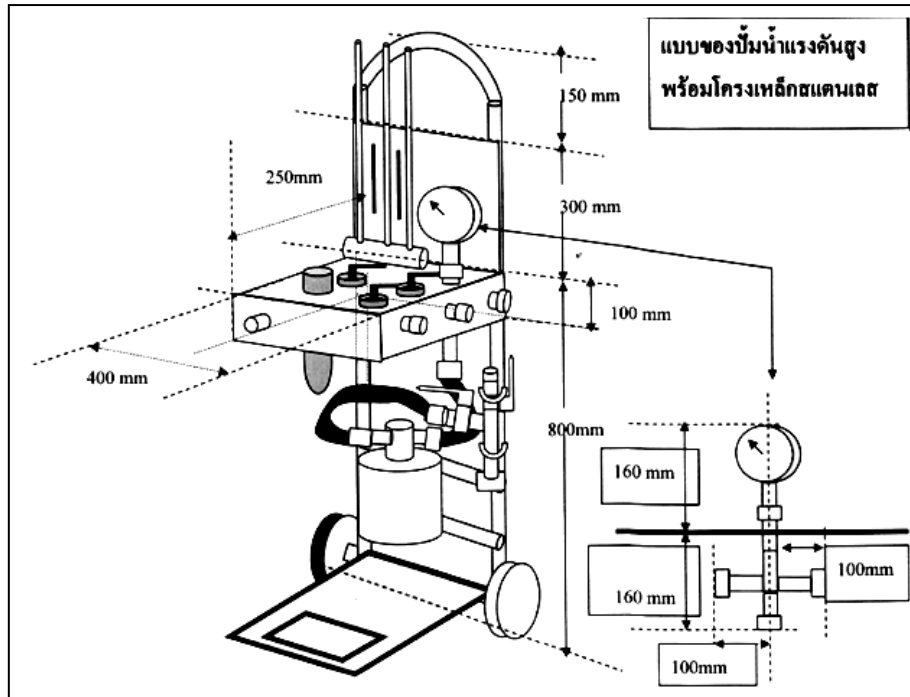
รูปที่ 2 ผังระบบทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ (Water jacket) [1]

5.2 เครื่องปั้มน้ำแรงดันสูง (Air driven high pressure pump)

5.2.1 ตัวปั้มน้ำสามารถสร้างความดันทดสอบ (Hydrostatics pressure) ได้ต่อเนื่องจาก 0 ถึง 10,000 psi โดยใช้ความดันอากาศหรือก๊าซไนโตรเจนเป็นแหล่งกำเนิดให้ปั้มน้ำสร้างแรงดันแยกจากถังทดสอบ

5.2.2 มีเกจวัดความดัน 2 ชุด ๆ ละ 2 ตัว คือขนาด 0 - 5,000 psi และ 0 - 10,000 psi

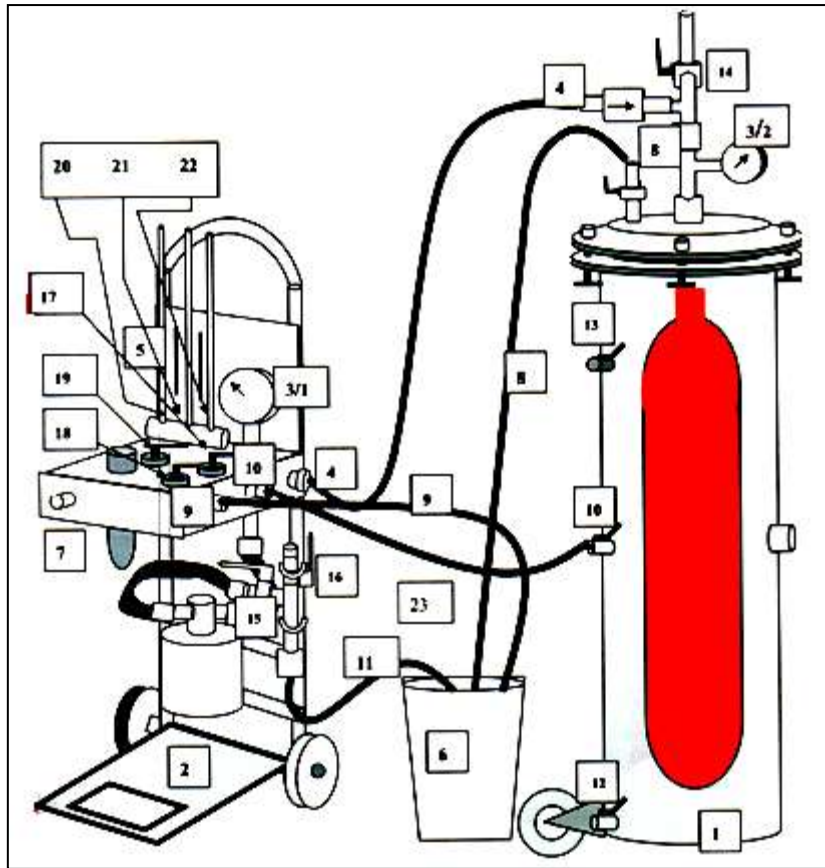
5.2.3 ชุดแสดงผลการขยายตัวของท่อก๊าซทดสอบ สามารถอ่านค่าละเอียดได้ไม่เกิน 0.2 cm³



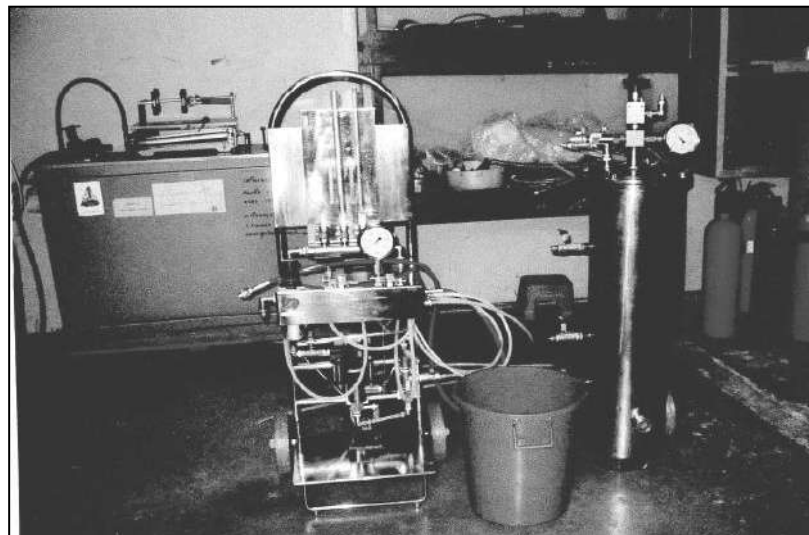
รูปที่ 3 ชุดปั้มน้ำแรงดันสูง(Air driven high pressure pump) [1]

5.3 การประกอบเครื่องทดสอบกำลังดันท่อ

- 5.3.1 ต่อเชื่อมส่วนประกอบหลักเข้าด้วยกันคือ ตัวถังทดสอบ ฝาถังทดสอบ ปั้มน้ำแรงดันสูง ชุด Column แสดงผลทดสอบ[1]
- 5.3.2 ทุกรอยต่อเชื่อมต้องมีซีลยางประกบป้องกันการรั่วซึมของน้ำและอากาศ [2]
- 5.3.3 ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำในถังน้ำ โดยการใส่น้ำให้เต็มถึงน้ำแล้วเปิดเครื่องปั้มน้ำทำความดันไปที่ประมาณ 100 psi หากมีการรั่วซึม เกจวัดความดันจะตก ถ้าพบให้ทำการแก้ไข
- 5.3.4 ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำทั้งระบบ เป็นการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ปิดเครื่องปั้ม แล้วเปิดวาล์วระบายความดันที่ฝาถังให้ความดันในถังน้ำลดลงเป็นปกติ จากนั้นเติมน้ำเข้าทางวาล์วสำหรับเติมน้ำลงถัง แล้วเปิดวาล์วเพื่อปรับระดับน้ำใน Column ชุดแสดงผลให้อยู่ที่ระดับหนึ่งแล้วปิดวาล์วน้ำ จากนั้นตรวจสอบการรั่วซึมของระบบอีกครั้งหนึ่ง หากระดับน้ำใน Column ชุดแสดงผลลดลงแสดงว่ามีการรั่วซึม ให้ทำการแก้ไข ดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 ผังแบบการประกอบส่วนของเครื่องทดสอบกำลังดันท่อ [2]



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบกำลังดันท่อประกอบเสร็จแล้ว

6. การทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

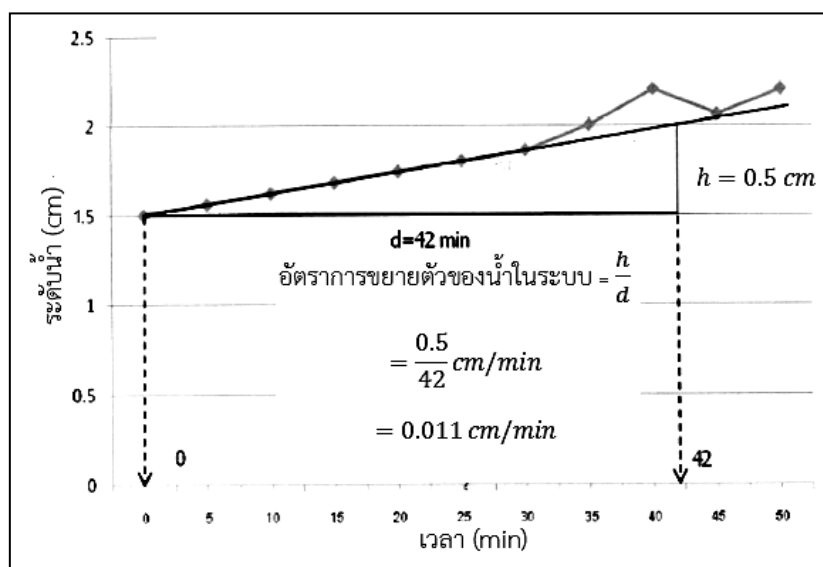
6.1 การทดลองที่ 1 หาผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกต่อผลการทดสอบกำลังดันท่อ [3]

ในการทดสอบนี้เพื่อแสดงว่าหากมีการนำเครื่องทดสอบไปทดสอบในที่ต่างๆ ของ ทร. ที่มีความร้อนแตกต่างกัน อุณหภูมิมีผลต่อการทดสอบหรือไม่ ตามตารางที่ 1 และรูปที่ 6 - 8

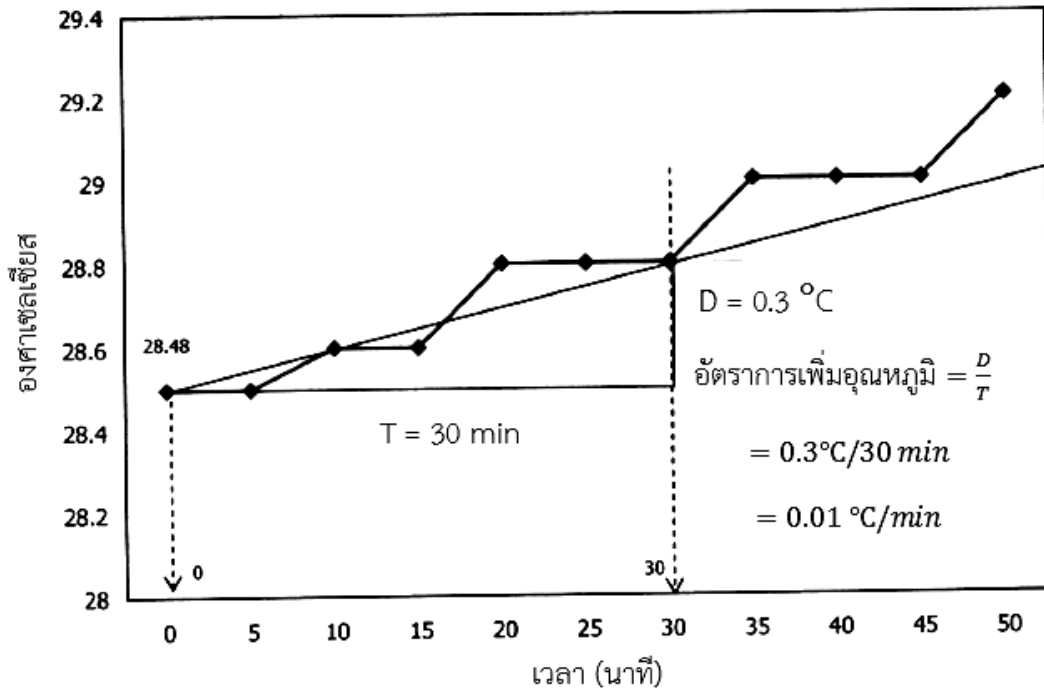
ตารางที่ 1 หาผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกต่อผลการทดสอบกำลังดันท่อ

เวลา (นาที)	ทดสอบที่ความดันคงที่ 3,000 psi	
	อุณหภูมิ (°C)	ระดับน้ำ (cm)
0	28.5	1.5
5	28.5	1.56
10	28.5	1.62
15	28.6	1.68
20	28.6	1.74
25	28.8	1.8
30	28.8	1.86
35	28.8	2
40	29	2.2
45	29	2.06
50	29.2	2.2

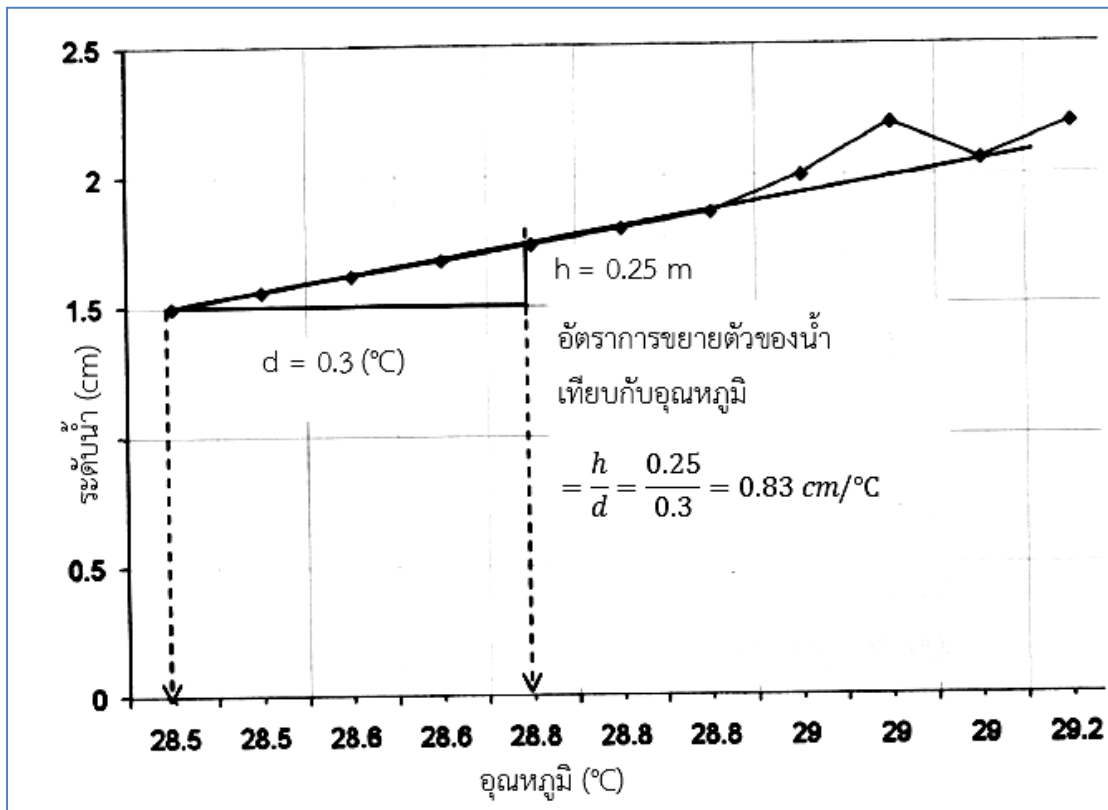
จากการทดสอบอัตราการขยายตัวของน้ำในระบบต่อเวลาเนื่องจากอุณหภูมิภายนอกที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.011 cm/min หรือ 0.11 mm/min จะเห็นได้ว่าใน 1 นาที การขยายตัวของน้ำในระบบน้อยมาก แสดงว่าอุณหภูมิภายนอกมีผลต่อการเพิ่มระดับของน้ำน้อยมาก [4]



รูปที่ 6 แสดงอัตราการขยายตัวของน้ำต่อเวลา [3]



รูปที่ 7 แสดงอัตราการขยายตัวของน้ำต่อเวลาตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 50 นาที (1030 - 1120) [3]



รูปที่ 8 แสดงอัตราการขยายตัวของน้ำในระบบต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น [3]

6.2 การทดลองที่ 2 เปรียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่กับติดตั้งอยู่กับที่

ตารางที่ 2 ทดสอบกับถังดับเพลิงคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 15 lbs

ถังดับเพลิงคาร์บอนไดออกไซด์ ขนาด 15 lbs	การขยายตัวของท่อเมื่อทดสอบ กับเครื่องทดสอบกำลังดันท่อ แบบเคลื่อนที่ (mm)	การขยายตัวของท่อเมื่อทดสอบ กับเครื่องทดสอบกำลังดันติด ตั้งอยู่กับที่ (mm)
ครั้งที่ 1	0.2 mm	0.22 mm
ครั้งที่ 2	0.3 mm	0.3 mm
ครั้งที่ 3	0.2 mm	0.2 mm

ตารางที่ 3 ทดสอบกับถังดับเพลิงคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 10 lbs

ถังดับเพลิงคาร์บอนไดออกไซด์ ขนาด 10 lbs	การขยายตัวของท่อเมื่อทดสอบ กับเครื่องทดสอบกำลังดันท่อ แบบเคลื่อนที่ (mm)	การขยายตัวของท่อเมื่อทดสอบ กับเครื่องทดสอบกำลังดันติด ตั้งอยู่กับที่ (mm)
ครั้งที่ 1	0.12 mm	0.14 mm
ครั้งที่ 2	0.20 mm	0.25 mm
ครั้งที่ 3	0.31 mm	0.26 mm

ตารางที่ 4 ทดสอบกับท่อหายใจใต้น้ำ (SCUBA)

ท่อหายใจใต้น้ำ (SCUBA)	การขยายตัวของท่อเมื่อทดสอบ กับเครื่องทดสอบกำลังดันท่อ แบบเคลื่อนที่ (mm)	การขยายตัวของท่อเมื่อทดสอบ กับเครื่องทดสอบกำลังดันติด ตั้งอยู่กับที่ (mm)
ครั้งที่ 1	0.60 mm	0.73 mm
ครั้งที่ 2	0.68 mm	0.76 mm
ครั้งที่ 3	0.64 mm	0.87 mm

6.3 การทดลองที่ 3 เปรียบผลการทดสอบระหว่างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ระหว่างท่อดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์กับท่อทดสอบมาตรฐานขนาดเดียวกัน

ตารางที่ 5 ทดสอบกับถังดับเพลิงคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 15 lbs

	การขยายตัวของท่อดับเพลิงแบบ คาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 15 lbs (mm)	การขยายตัวของท่อทดสอบมาตรฐาน (mm)
ครั้งที่ 1	0.1 mm	0.101 mm
ครั้งที่ 2	0.11 mm	0.102 mm
ครั้งที่ 3	0.1 mm	0.101 mm

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 การเคลื่อนย้ายเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกโดยรถยนต์บรรทุกเล็กขนาด 1 ตัน

7.2 การทดสอบภายนอกสถานที่ต่อผลกระทบจากอุณหภูมิภายนอกที่มีผลต่ออัตราการขยายตัวของท่อทดสอบเท่ากับ 0.11 mm/min ถือว่าน้อยมาก อุณหภูมิภายนอกจึงไม่มีผลต่อการทดสอบ

7.3 ผลการทดสอบระหว่างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่กับท่อดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 15 lbs เทียบกับท่อทดสอบมาตรฐานขนาดเดียวกันมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 0.1%

7.4 ผลการทดสอบระหว่างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่กับท่อดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 15 lbs เทียบกับเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบติดตั้งประจำที่ มีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 2%

8. สรุปผลการวิจัย

เครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 335 mm ติดตั้งที่ฐานด้านล่าง โดยใช้การทดสอบแบบ Hydrostatic Test ที่ความดันสูง 3,000 psi จากการวิจัยทดลองเคลื่อนย้ายโดยรถบรรทุกขนาดเล็กขนาด 2 ตันไปทดสอบที่จังหวัดสงขลาพบว่าตัวเครื่องสามารถใช้งานได้ตามปกติ และผลการทดสอบเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่กับท่อทดสอบมาตรฐานมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 0.1% และ ผลการทดสอบระหว่างเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบเคลื่อนที่กับท่อดับเพลิงแบบคาร์บอนไดออกไซด์ขนาด 15 lbs เทียบกับเครื่องทดสอบกำลังดันท่อแบบติดตั้งกับที่มีค่าความคลาดเคลื่อน 2% จึงเห็นได้ว่าทั้งการเคลื่อนย้ายและการทดสอบสะดวกและให้ผลเทียบเท่ากับเครื่องทดสอบทั่วไป สามารถใช้งานได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม, 2551.
- [2] อนันต์ วงศ์กระจ่าง. ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2533.
- [3] Reza Javaherdashti, and Farzaneh Akvan, CRC Press 2018. Hydrostatic Testing, Corrosion, and Microbiologically Influenced Corrosion. 1st Edition. pp 119-178
- [4] Wiroon Tanthapanichakoon . Kindle Edition. March 14, 2015. One-Stop Guide for Pressure and Leak Tests with Hydrostatic and Pneumatic Testing, 1st Edition. pp 102-145

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Study of Shoreline Change Using Geographic Information System

วิสนุ ตรุษทุ่ง¹

Wissanu Truttung¹

Received: April 20, 2020

Revised: May 20, 2020

Accepted: June 27, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งกลุ่มน้ำปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณปลายแหลมตะลุมพุกถึงเขื่อนกันทรายบ้านบ่อคณที 3 ช่วงเวลา คือ ปี 2538, 2542 และ 2545 โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ รวมระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 45.8 กิโลเมตร

ผลการศึกษาพบว่า จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศ ช่วงปี พ.ศ. 2538-2542 พบว่าหลังจากสร้างเขื่อนกันทรายบริเวณปากคลองระบายน้ำ บ้านบ่อคณที ในปี พ.ศ. 2527 ส่งผลให้สภาพแนวชายฝั่งบริเวณริมถนนปากพนัง-หัวไทร ซึ่งอยู่ด้านเหนือเขื่อนกันทรายบ้านบ่อคณที เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงในอัตรา 7.89 เมตรต่อปี เป็นความยาวตามแนวชายฝั่งประมาณ 400 เมตร ซึ่งหลังจากเกิดปัญหาดังกล่าว ได้มีการสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งบริเวณริมถนนปากพนัง-หัวไทร เป็นระยะทางประมาณ 4 กิโลเมตร ประกอบด้วย รอดักทรายรูปตัวที จำนวน 19 ตัว และรอดักทรายรูปตัวโอจำนวน 4 ตัว แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2543 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศ ช่วงปี พ.ศ. 2542-2545 พบว่าบริเวณด้านเหนือรอดักทรายตัวสุดท้าย เป็นระยะทางตามแนวชายฝั่งประมาณ 2.6 กิโลเมตร เนื่องจากถูกกัดเซาะหายไปประมาณ 118,450.70 ตารางเมตร โดยมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 15.18 เมตรต่อปี และมีแนวโน้มพื้นที่ดังกล่าวจะถูกกัดเซาะเพิ่มขึ้น สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะ เนื่องจากคลื่นลมในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งตามธรรมชาติ ส่วนบริเวณที่มีโครงสร้างตามแนวชายฝั่ง เช่น เขื่อนกันทรายบริเวณปากคลอง (Jetty) เขื่อนกันทรายตามแนวชายฝั่ง (Break Water) รอดักทราย (Groins) หรือบริเวณปากคลองที่มีการสร้างแนวเขื่อนคอนกรีต โครงสร้างเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในพื้นที่ศึกษา กล่าวคือ ช่วยป้องกันการตื้นเขินของร่องน้ำ และป้องกันการกัดเซาะ แต่เป็นตัวขวางกั้นการเคลื่อนตัวของมวลทราย โดยเร่งให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณด้านเหนือของโครงสร้างชายฝั่งหรือด้านท้ายน้ำ และเร่งให้เกิดการทับถมของตะกอนทรายด้านทิศใต้ของโครงสร้าง ซึ่งเป็นด้านเหนือน้ำ

จากผลการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า การดำเนินการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในแต่ละพื้นที่ควรดำเนินการในภาพรวม เนื่องจากการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีความสัมพันธ์กันทั้งระบบ ในการสร้างสิ่งก่อสร้างชายฝั่งใดๆ มักจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งข้างเคียง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรธรรมชาติชายฝั่งทะเล เช่น การสูญเสียหาดทราย

¹ กองเครื่องหมายทางเรือ ศูนย์สนับสนุนการเดินเรือ กรมอุทกศาสตร์

Aids to Navigation Division, Navigational Supporting Center, Hydrographic Department,

E-mail: wissanu.thu@gmail.com

สวนมะพร้าว ป่าชายเลน ซึ่งผลกระทบดังกล่าวจะเกิดขึ้นในระยะยาว จึงควรมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในการที่จะสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่ยื่นล้ำไปในทะเล

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ การกัดเซาะชายฝั่ง

Abstract

This study is to analyze the Shoreline Change from the aerial photo using the geographic information system. The area of study is the coast of Pak-Panang The total distance is approximately 45.8 kilometers. Another area is in the vicinity from the tip of Talumpook peninsula to the jetty of Baan Bor Khone Thee. The analysis of coastal alteration from the aerial photo is carried out based on the data of the area from the tip of Talumpook peninsula to the jetty of Baan Khone Thee by comparing the change between 2 periods, from 1995 to 1999 and from 1999 to 2002.

The study result revealed that wind wave in the NE monsoon is the crucial factor on the alteration of the natural shoreline. The protection structures such as jetty at the mouth of canal, groin along the shore or at the outlet can impact on the change in the study area. They prevent the shallow of water channel and erosion. They, however, also act to impede the sand movement by accelerating the erosion up end the structure or downstream direction and, subsequently, accelerating the deposition process at the down end of the structure which is the upstream direction. From the comparison of aerial photo taken in 1995 and 1999, it is found that the construction of the jetty at the Ban Bor Khon Thee canal mouth in 1984 causes a severe erosion of the shore along the Pakpanang – Huatrai road up end the jetty for 400 meters at the rate of 7.89 meters per year. From that point the Harbor Department constructed the protection structures for 4 kilometers long which compose of 19 T-groins and 4 I-groins. The construction was finished in 2000. From the comparison of aerial photo taken in 1999 and 2000, it is found that at the up end of the last groin found the erosion of 2.6 kilometers long, or 118,450.70 m². The rate of erosion is 15.18 meters per years and the increasing rate is gradually.

The protection measure for coastal erosion in particular area, therefore, must be performed in a whole picture. The movements of sand are interrelated that the construction of any structure will inevitably impact the vicinity areas thus requires cautions. The impact can last even in a very long term.

Keywords: Shoreline Change, Geographic Information System, Coastal Erosion

บทนำ

พื้นที่ชายฝั่งของจังหวัดนครศรีธรรมราช มีความยาวประมาณ 190 กิโลเมตร เริ่มจากชายฝั่งในอำเภอขนอม ต่อเนื่องลงมาทางใต้จนถึง อำเภอสิชล เกิดปัญหาการกัดเซาะที่รุนแรงในหลายพื้นที่ รวมทั้งชายฝั่งในเขตลุ่มน้ำปากพองที่มีความยาวประมาณ 80 กิโลเมตร พบว่าถูกกัดเซาะในชั้นรุนแรง โดยมีสาเหตุการกัดเซาะชายฝั่งที่แตกต่างกันทั้งปัจจัยทางธรรมชาติ และปัจจัยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเล บ้านเกาะฝ้าย-บ้านนำทรัพย์และบ้านบ่อคณสี จากงานวิจัยของ สมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง, 2545 พบว่า ชายฝั่งบ้านเกาะฝ้าย ถึง บ้านนำทรัพย์ มีอัตราการกัดเซาะ 7.45 เมตร ต่อปี ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจาก การสร้างเขื่อนกันทราย (Jetty) ที่บริเวณปากคลองระบายน้ำ บ่อคณสี ในปี พ.ศ. 2527 และในการแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณดังกล่าว ได้มีการสร้างคันดักตะกอนรูปตัวที จำนวน 19 ตัว และคันดักตะกอนรูปตัวไอ อีก 4 ตัว ซึ่งแล้วเสร็จในปี 2543 ปัจจุบันมีโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะตลอดแนวชายฝั่ง แต่ยังคงพบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเกิดขึ้นอยู่ [1]

วิธีการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการนำเส้นแนวชายฝั่งในแต่ละช่วงปีมาเปรียบเทียบกัน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และกำหนดระดับความรุนแรงของอัตราการกัดเซาะชายฝั่ง โดยกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอนหลัก คือ (1) การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (2) การแจกแจงข้อมูลคลื่นน้ำลึก (3) การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ดังรายละเอียดแต่ละขั้นตอน มี ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ รวบรวมข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยา สมุทรศาสตร์ แผนที่ภูมิประเทศ และรูปถ่ายทางอากาศ โดยได้รวบรวมจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ บริเวณแหลมตะลุมพุก ถึง บริเวณบ้านบ่อคณสี จากกรมแผนที่ทหาร ประกอบด้วย ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศปี พ.ศ. 2538 ปี พ.ศ.2542 มาตราส่วน 1:50,000 และข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศปี พ.ศ. 2545 มาตราส่วน 1:25,000

1.2 ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา สมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ และอุทกวิทยา ประกอบด้วย สถิติความเร็วและทิศทางลมราย 3 ชั่วโมง ของกรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลคลื่นรายปีบริเวณชายฝั่งทะเล จังหวัดนครศรีธรรมราช ช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2548 ของกองอุตุนิยมวิทยา กรมอุทกศาสตร์ ข้อมูลสถิติความเร็ว และทิศทางของกระแสน้ำ จากการสำรวจและตรวจวัดจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

2. การแจกแจงข้อมูลคลื่น เป็นการนำข้อมูลคลื่นที่ได้จาก WAM มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม NEMOS โดยใช้โปรแกรม WSAV ซึ่งเป็นชุดคำสั่งย่อย โดยกำหนดช่วงของความสูง ทิศทาง และคาบเวลาคลื่นที่เหมาะสม และแสดงค่าในรูปแบบต่างๆ เช่น ผังคลื่น แบบตาราง (Block) และแบบฮิสโตแกรม (Histogram)

3. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

การศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในงานวิจัยนี้ เพื่อหาความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแง่ พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ(Erosion) และพื้นที่ที่เกิดการงอก (Accretion) จากอดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

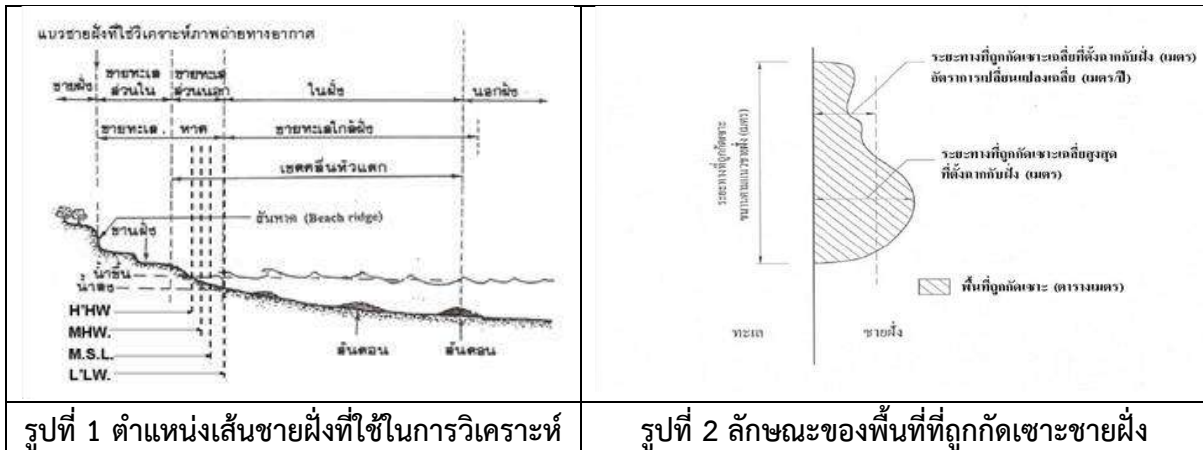
3.1 ปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิตของรูปถ่ายทางอากาศ

3.2 การลากเส้นแนวชายฝั่งจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการลากเส้นแนวชายฝั่งโดยใช้โปรแกรมประมวลผลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView GIS Version 3.2 โดยใช้แนวสันหาด หรือโครงสร้างสุดท้ายริมชายฝั่งที่เห็นชัดเจนที่สุดเป็นเส้นแนวชายฝั่ง ใช้หลักการเดียวกับงานวิจัยการเปลี่ยนแปลง

ของชายฝั่งลุ่มน้ำปากพนัง [1] และโครงการศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรีถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ [2] (ดังรูปที่ 2)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาพื้นที่การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับ (Overlay Technique) โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แล้วคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และกำหนดระดับความรุนแรงของปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ก่อนเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงจะต้องทำการแก้ความถูกต้องของตำบลงบณด้วยจุดควบคุมทางราบ (GCP) และการตรวจสอบในพื้นที่ภาคสนาม หรือการใช้ข้อมูลซึ่งผ่านการประมวลผลภาพ (Image Processing) และการจัดให้ข้อมูลภาพหรือแผนที่ที่มีพิกัดตรงกันก่อน (Rectification Process) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต และกำหนดเลขหมายประจำกลุ่มพื้นที่ที่ออกขึ้นและพื้นที่ที่กัดเซาะ [3]

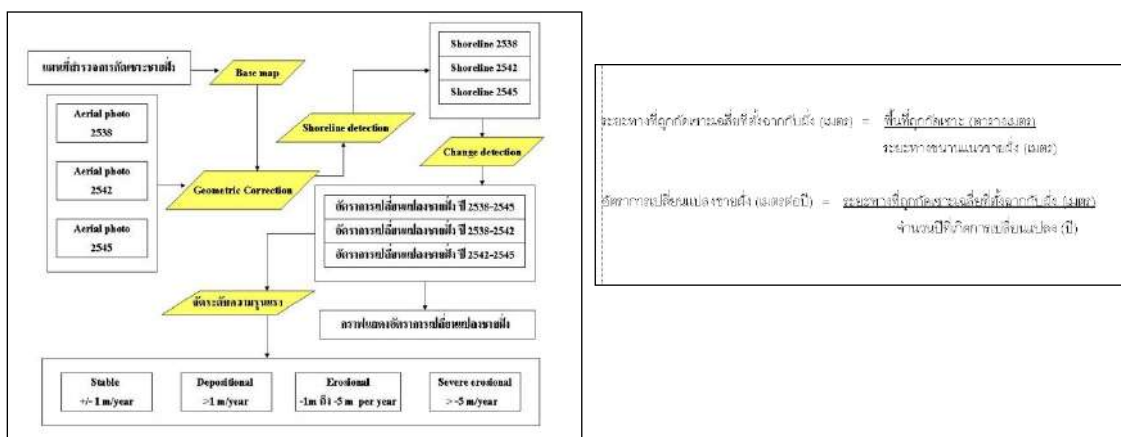
3.4 การกำหนดระดับความรุนแรงของปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้หลักเกณฑ์ เช่นเดียวกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอ่าวไทย [4] โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ 1) มีการกัดเซาะรุนแรง (อัตราการกัดเซาะ > 5 เมตรต่อปี) 2) มีการกัดเซาะปานกลาง (อัตราการกัดเซาะ 1 - 5 เมตรต่อปี) 3) มีการสะสมตัว (อัตราการสะสมตัว 1 - 5 เมตรต่อปี) 4) คงสภาพ (อัตราการเปลี่ยนแปลง ±1 เมตรต่อปี)



รูปที่ 1 ตำแหน่งเส้นชายฝั่งที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปที่ 2 ลักษณะของพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะชายฝั่ง

ที่มา : สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2546, หน้า 3-3



รูปที่ 3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ

ข้อมูลสถิติคลื่นจาก WAM (Wave Forecasting Model)

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลคลื่นที่ได้จากการสังเคราะห์คลื่นจากข้อมูลลม โดยกองอุตุวิทยามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งคำนวณจากแบบจำลองการพยากรณ์คลื่นในทะเล (WAM model) โดยใช้ข้อมูลลมซึ่งเป็นข้อมูลจากการตรวจวัดด้วยดาวเทียม แหล่งข้อมูลจากสถาบันวิจัย The Master Environmental Library (MEL) (<http://mel.dmsomil>) กองทัพเรือ ประเทศสหรัฐอเมริกา ลักษณะของข้อมูลนั้น เป็นข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยทุก 12 ชั่วโมง ที่ระดับ 10 เมตรเหนือผิวน้ำทะเล ซึ่งข้อมูลลมมีตามภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลกทุก 1 องศา (60 ไมล์ทะเล) เปิดให้บริการข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ที่จะนำมาใช้ได้ตามต้องการ ส่วนข้อมูลลมที่เลือกใช้ ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ชายฝั่ง จังหวัดนครศรีธรรมราช บริเวณ ละติจูด 8 องศา 15 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 100 องศา 45 ลิปดาตะวันออก (บริเวณท่าฝาง อ.ปากพนัง ออกไปทางตะวันออก น้ำลึกประมาณ 30 เมตร) (ภาพที่ 4) โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2541-2548 ผลที่ได้เป็นข้อมูลคลื่นรายปี ทุก 3 ชั่วโมง และวิธีการนี้เป็นการสังเคราะห์คลื่นจากลมเช่นเดียวกับ Sojisuporn et al.(2005) [5] และ เรือเอก วันชัย จันทร์ละเอียด, 2548 [6] จากข้อมูลคลื่นที่ได้จากการสังเคราะห์จากข้อมูลลม สรุปสถิติคลื่นนัยสำคัญ (Significant Wave) ปี พ.ศ.2541-2548 มีความสูง (Mean Significant Wave Height) 0.6 - 0.7 เมตร คาบคลื่น (Mean Significant Wave Period) 3.7-3.8 วินาที เกิดความสูงคลื่นมากสุดในปี พ.ศ. 2548 คือ 5.2 เมตร คาบคลื่น 7 วินาที โดยทิศทางจากทิศ 78.8 องศา หรือทิศตะวันออกเฉียงค่อนไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ (ENE) โดยในช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (ก.พ.-เม.ย.) มีคลื่นสูง 0.7 เมตร คาบคลื่น 3.8 วินาที มาจากทิศตะวันออกเฉียง ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (พ.ค.-ก.ย.) มีคลื่นสูง 0.4 เมตร คาบคลื่น 3.4 วินาที มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (พ.ย.-ม.ค.) มีคลื่นสูง 1.1 เมตร คาบคลื่น 4.3 วินาที มาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

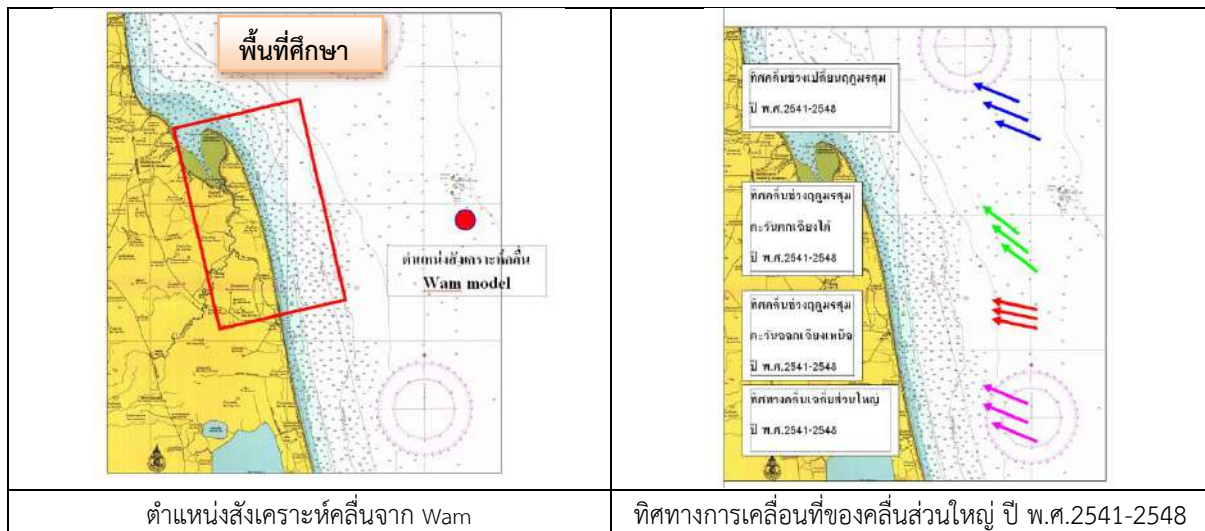
สรุปได้ว่าบริเวณนอกชายฝั่ง อำเภอปากพนัง มีทิศทางของคลื่นส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันออกเฉียงค่อนไปทางตะวันออกเฉียงใต้ (ESE) (ภาพที่ 4) โดยเฉพาะในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือคลื่นมีความสูงในช่วง 0.5 - 1 เมตร สำหรับในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีทิศทางคลื่นส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันออกเฉียงค่อนไปทางตะวันออกเฉียงใต้ (ESE) 41.7% แต่กลับมีคลื่นที่มาจากทิศตะวันตกค่อนไปทางตะวันตกเฉียงใต้ (WSW) เพียง 11.9% เท่านั้น ส่วนหนึ่งอาจจะเกิดจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อนที่ก่อตัวในแถบมหาสมุทรแปซิฟิกตอนบนและทะเลจีนใต้ ซึ่งมีทิศทางเดินจากตะวันออกเฉียงค่อนไปทางตะวันตกเรื่อยมาผ่านหมู่เกาะฟิลิปปินส์ลงสู่ทะเลจีนใต้ ซึ่งพัดผ่านประเทศไทยในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม ทั้งนี้พายุที่เข้าอ่าวไทยตอนบน ก็อาจส่งผลต่อคลื่นในทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนล่างได้เช่นกัน [1]

ตารางที่ 1 ข้อมูลคลื่นนัยสำคัญตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2548 บริเวณท่าชายฝั่ง อ.ปากพั้ง

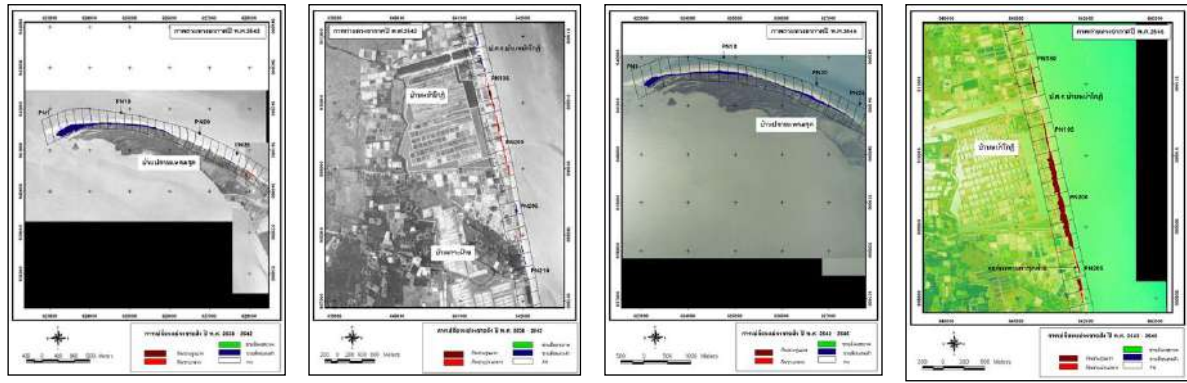
สถิติข้อมูลคลื่น	ปี พ.ศ.							
	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548
Mean Significant Wave Height (m)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
Mean Significant Wave Period (sec)	3.7	3.8	3.7	3.7	3.7	3.8	3.8	3.7
Standard Deviation of HS (m)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6
Standard Deviation of TP (sec)	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9
Largest HS (m)	2.6	3.1	3.1	2.7	2.7	2.7	2.9	5.2
Period band (sec) of Largest HS	6.0	7.0	7.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0
Direction band (deg) of Largest HS	56.3	33.8	33.8	78.8	78.8	78.8	56.3	78.8

ตารางที่ 2 ข้อมูลคลื่นนัยสำคัญตามฤดูกาล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2548

สถิติข้อมูลคลื่น	ปี พ.ศ. 2541-2548		
	ก.พ.-เม.ย.	พ.ค.-ต.ค.	พ.ย.-ม.ค.
Mean Significant Wave Height (m)	0.7	0.4	1.1
Mean Significant Wave Period (sec)	3.8	3.4	4.3
Standard Deviation of HS (m)	0.5	0.2	0.6
Standard Deviation of TP (sec)	0.8	0.7	0.9
Largest HS (m)	3.8	1.7	5.2
Period band (sec) of Largest HS	7.0	4.0	7.0
Direction band (deg) of Largest HS	81.0	281.8	80.9



รูปที่ 4 ตำแหน่งสังเคราะห์คลื่นจาก Wam และทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่นส่วนใหญ่



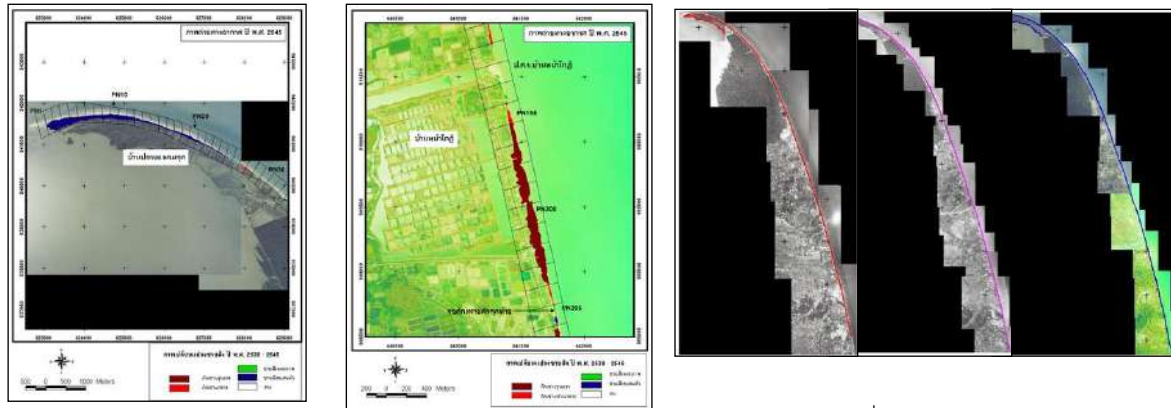
PN1-PN29

PN191-PN214

PN1-PN25

PN187-PN207

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงช่วง ปีพ.ศ.2538–2542



PN1-PN30

PN192-PN205

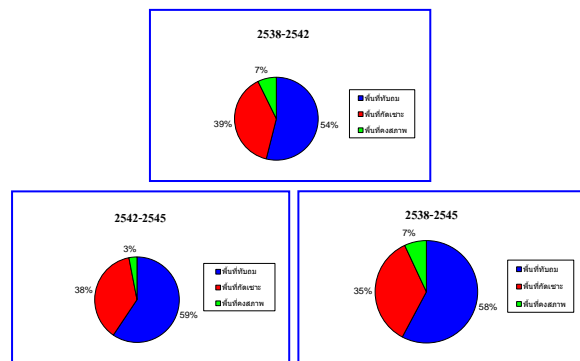
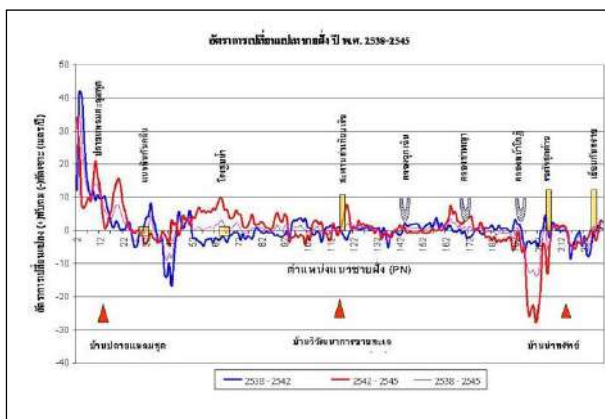
เส้นแนวชายฝั่งปี พ.ศ.2538, 2542, 2545

เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง ช่วงปี พ.ศ.2538-2545

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบแนวชายฝั่งแต่ละช่วงเวลา

ตารางที่ 3 สรุปการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง 3 ช่วงเวลา

ช่วงปีที่พิจารณา	พื้นที่ที่ทับถม		พื้นที่กัดเซาะ		พื้นที่คงสภาพ	
	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%	ตร.ม.	%
2538-2542	291,413	53.79	210,955	38.94	39,385	7.27
2542-2545	333,421	59.43	210,882	37.59	16,768	2.99
2538-2545	484,057	58.11	294,482	35.39	54,442	6.99



รูปที่ 6 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ปีพ.ศ.2538-2545

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศ

จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ตั้งแต่บริเวณปลายแหลมตะลุมพุกถึงเขื่อนกันทราย บ้านคณดีโดยข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ 3 ช่วงเวลาคือ ปี พ.ศ. 2538-2542 2542-2545 และ 2538-2545 ระยะทางตามแนวชายฝั่ง 45.8 กิโลเมตร พบว่าช่วงปี พ.ศ. 2538-2542 มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด 541,754 ตารางเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัว 291,413 ตารางเมตร (53.79%) พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ 210,955 ตารางเมตร (38.94%) และพื้นที่คงสภาพ 39,385 ตารางเมตร (7.27%) โดยรวมมีพื้นที่ที่ทับถมเพิ่มขึ้นในพื้นที่ 89,421 ตารางเมตร และช่วงปี พ.ศ. 2542-2545 พบว่า มีพื้นที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด 561,072 ตารางเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่ชายฝั่งสะสมตัว 333,421 ตารางเมตร (59.43%) พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ 210,882 ตารางเมตร (37.59%) และคงสภาพ 16,768 ตารางเมตร (2.95%) โดยรวมมีพื้นที่ที่ทับถมเพิ่มขึ้นในพื้นที่ 121,308 ตารางเมตร เมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงเวลา 7 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538-2545 พบว่ามีพื้นที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด 827,695 ตารางเมตร โดยคิดเป็นพื้นที่ที่ทับถม 479,626 ตารางเมตร (57.94%) พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะ 294,482 ตารางเมตร (35.5%) และคงสภาพ 53,586 ตารางเมตร (6.47%) โดยรวมมีพื้นที่ที่ทับถมเพิ่มขึ้นในพื้นที่ 827,695 ตารางเมตร สรุปได้ว่า สภาพชายฝั่งโดยรวมในพื้นที่ศึกษามีการทับถมมากกว่าการกัดเซาะทุกช่วงเวลาที่ยังพิจารณา ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นการทับถมของชายฝั่งด้านทิศใต้ของพื้นที่ (ด้านเหนือน้ำ) และมีการกัดเซาะด้านทิศเหนือซึ่งเป็นด้านท้ายน้ำของพื้นที่ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้เด่นชัดคือ บริเวณปลายแหลมตะลุมพุก บ้านหน้าโกฏิ บ้านนาทรัพย์และบริเวณบ้านป่อคณดี

สรุป

สภาพลักษณะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่บริเวณปลายแหลมตะลุมพุก ถึงบริเวณเขื่อนกันทราย (Jetty) บ้านป่อคณดี เป็นพื้นที่เปิดโล่ง ไม่มีเกาะหรือสิ่งป้องกันคลื่นลมจากทะเล และทอดตัวเป็นแนวยาวจากเหนือไปใต้ ทำให้ชายฝั่งมีแนวโน้มถูกกัดเซาะตลอดเวลา ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541-2548 สรุปได้ว่าคลื่นในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งตามธรรมชาติ โดยมีกระแสน้ำ ระดับน้ำและกระแสลม เป็นปัจจัยเสริมตามธรรมชาติ

เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากอิทธิพลของโครงสร้างชายฝั่งทะเลพบว่า บริเวณที่มีโครงสร้างชายฝั่ง จะมีการทับถมของตะกอนทรายด้านทิศใต้ของพื้นที่ ซึ่งเป็นด้านเหนือน้ำ และชายฝั่งจะถูกกัดเซาะด้านทิศเหนือของพื้นที่ ซึ่งเป็นด้านท้ายน้ำ เมื่อพิจารณาการวางตัวของชายฝั่ง กับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าหาฝั่ง สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การเคลื่อนตัวของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ตั้งแต่ปลายแหลมตะลุมพุกถึงเขื่อนกันทรายบ้านคณดี มีการเคลื่อนที่จากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ จากงานวิจัยของสมปรารถนา ฤทธิ์พริ้ง (2545) พบว่าการสร้างเขื่อนกันทรายบริเวณปากคลองระบายน้ำบ้านป่อคณดี ในปี พ.ศ. 2527 ทำให้เกิดการกัดเซาะที่รุนแรง บริเวณริมถนนปากพั้ง-หัวไทร ด้านเหนือเขื่อนกันทรายบ้านป่อคณดี [1] และจากการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศ ช่วงปี พ.ศ. 2538-2542 พบว่าบริเวณด้านเหนือเขื่อนกันทรายประมาณ 400 เมตร มีอัตราการกัดเซาะสูงสุด 7.89 เมตรต่อปี ซึ่งหลังจากเกิดปัญหาดังกล่าว กรมเจ้าท่าได้สร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 4 กิโลเมตร ประกอบด้วยรอดักทรายรูปตัวที จำนวน 19 ตัว และรูปตัวโอ จำนวน 4 ตัว แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2543 และจากการเปรียบเทียบภาพถ่ายทางอากาศ ช่วงปี พ.ศ. 2542-2545 พบว่าการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณนี้ มีอัตราการกัดเซาะลดลง คือมีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 3.21 เมตรต่อปี ส่วนด้านใต้เขื่อนกันทรายบ้านคณดี สภาพชายฝั่งมีการทับถม แต่บริเวณด้านเหนือรอดักทรายตัวสุดท้ายตลอดระยะทางตามแนวชายฝั่ง 2.0 กิโลเมตร ชายฝั่งถูกกัดเซาะในระดับรุนแรง ซึ่งพบว่ามีอัตราการกัดเซาะสูงสุดถึง 27.83 เมตรต่อปี ซึ่งสรุปได้ว่าอิทธิพลของโครงสร้างชายฝั่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

ชายฝั่ง โดยจะกีดขวางการเคลื่อนตัวของมวลทราย ซึ่งบริเวณที่อยู่ด้านเหนือโครงสร้างชายฝั่งเหล่านี้ (ด้านท้ายน้ำ) ไม่ว่าจะเป็นเขื่อนกันทรายปิดปากคลองต่างๆ (Jetty) เขื่อนกันทรายตามแนวชายฝั่ง หรือรอก (Groins) ท่าเทียบเรือ หรือบริเวณที่มีทางออกของน้ำจืดออกสู่ทะเล เช่น คลองหน้าโกฏี มีแนวโน้มที่จะถูกกัดเซาะในอัตราที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ส่วนบริเวณที่อยู่ด้านใต้ (เหนือน้ำ) มีแนวโน้มที่จะถูกทับถมในอัตราที่สูงขึ้นเช่นกัน

เพราะฉะนั้นในการดำเนินการป้องกันแก้ไขปัญหการกัดเซาะชายฝั่ง ในแต่ละพื้นที่ควรดำเนินการในภาพรวม เนื่องจากระบบการเคลื่อนตัวของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ค่อนข้างกว้าง และมีความเกี่ยวเนื่องกันทั้งระบบ ในการสร้างสิ่งก่อสร้างชายฝั่งใด ๆ มักมีผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งบริเวณข้างเคียง จึงควรต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในการที่จะสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เพิ่มเติม

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการศึกษาทั้งหมด พบประเด็นที่น่าสนใจที่เป็นข้อเสนอแนะดังนี้

1. การนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง เป็นวิธีที่รวดเร็วประหยัดงบประมาณ และระยะเวลาในการศึกษา แต่ความถูกต้องจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความถูกต้องชัดเจนของข้อมูลภาพถ่าย และความชำนาญของผู้ที่ตีจิกไตต์เส้นแนวชายฝั่ง

2. เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งนั้น ในแต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกันไป ตามอิทธิพลของลมมรสุม และสภาพคลื่น เพราะฉะนั้น ถ้าหากจะนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศมาใช้ในการวิเคราะห์ หากมีงบประมาณเพียงพอควรจะใช้ข้อมูลในช่วงเวลา หรือฤดูกาลเดียวกัน

3. ในพื้นที่ที่อ่อนไหว ควรมีการศึกษาและเฝ้าระวัง การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง อย่างต่อเนื่องทุกปี จะทำให้ทราบถึงสาเหตุ และอัตราการเปลี่ยนแปลงที่แน่นอนขึ้น และเมื่อเก็บบันทึกเป็นสถิติ จะทำให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้น และทำให้มีความเข้าใจ เพื่อที่จะเข้าไปป้องกัน เฝ้าระวัง และวางแผนจัดการพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวได้ชัดเจนขึ้น

4. การสร้างสิ่งก่อสร้างชายฝั่งใด ๆ มักมีผลกระทบต่อพื้นที่ชายฝั่งบริเวณข้างเคียง จึงควรต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษในการที่จะสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมปรารถ ฤทธิ์พริ้ง,. (2545). การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนล่าง. วิทยานิพนธ์ วมศ., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.(2546). โครงการศึกษาแผนแม่บทการแก้ไขปัญหการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ตั้งแต่ปากแม่น้ำเพชรบุรีจังหวัดเพชรบุรีถึงปากแม่น้ำปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. บริษัทเซ้าท์อีสท์เอเชียเทคโนโลยี จำกัด.
- [3] ดนุพล ตันนโยภาส, จักรกริส กสิสุวรรณ และ เซาว์น ยงเฉลิมชัย. (2543). การรับรู้จากระยะไกล เพื่อเฝ้าติดตามการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในภาคใต้ตอนล่าง ประเทศไทย (ปัตตานีและนราธิวาส). วารสารปารีชาติ, 15(1), 17-28.
- [4] สีน สีนสกุล, สุวัฒน์ ตียะไพรัช, นิรันดร์ ชัยมณี และ บรรเจิด อร่ามประยูร. (2545). การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย, กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ.

-
- [5] Sojisuporn, P., Saramul, S., Jarupongsakul, T. and Thana, B. (2005). Some physical oceanographic characteristics relating to coastal erosion at Pak Phanang river basin, Nakorn Si Thammarat province. *Metals, Materials and Mineral*, 2 (2005), 41-53.
- [6] วันชัย จันทร์ละเอียด. (2548). การเฝ้าติดตามเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งตั้งแต่บ้านต้นหยงเปาว์ถึงบ้านบางตาวา จังหวัดปัตตานี โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแบบจำลอง GENESIS วิทยานิพนธ์ วทม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดสงขลา.

ระบบ Link 22 Super Network และการประยุกต์ใช้งาน

Link 22 Super Network System and Applications

อริยพล ธีระชุติกุล¹

Ariyaphon Teerachutikul¹

Received: March 14, 2020

Revised: June 16, 2020

Accepted: July 1, 2020

บทคัดย่อ

ระบบเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี (Tactical Data Link :TDL) เป็นมาตรฐานในการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุหรือสายเคเบิลของกองทัพสหรัฐและพันธมิตรทางทหารระหว่างรัฐบาลตามองค์การสนธิสัญญาแอตแลนติกเหนือ (North Atlantic Treaty Organization : NATO) โดยระบบการควบคุม บังคับบัญชา การสื่อสาร คอมพิวเตอร์ และการข่าวกรอง (C4I) ทางทหารทั้งหมดจะใช้ TDL ที่ได้มาตรฐานความปลอดภัยเพื่อถ่ายทอดและรับข้อมูลทางยุทธวิธีต่อกัน ระบบ Link 22 เป็นระบบวิทยุล่าสุดที่องค์การ NATO ให้การรับรองโดยมีความสามารถในการสื่อสารแบบนอกเหนือจากการมองเห็น (Beyond Line-Of-Sight) ทำให้ระบบอำนวยการยุทธสามารถเชื่อมต่อข้อมูลไม่ว่าจะเป็นหน่วยบก หน่วยเรือ หน่วยทางอากาศ รวมถึงการเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลยุทธวิธีบนพื้นดิน อีกทั้งยังสามารถใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลยุทธวิธีระหว่างหน่วยทหารของประเทศที่เข้าร่วมเครือข่ายอีกด้วย ในปัจจุบันระบบ Link 22 ได้ถูกนำไปใช้ในยามสงบวิกฤตและสงครามเพื่อสนับสนุนภารกิจขององค์การ NATO และประเทศพันธมิตรอย่างเป็นทางการเรียบร้อยแล้ว

คำสำคัญ : ระบบเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี แลกเปลี่ยนข้อมูลยุทธวิธี

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาการเรือและเดินเรือ ฝายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Department of Seamanship and Navigation, Academic Branch, Royal Thai Naval Academy Email: tit44101@hotmail.com

Abstract

“Tactical Data Link (TDL) is a standard in radio or cable communications that the US military and allied military intergovernmental government according to the North Atlantic Treaty (NATO). Command, Control, Communications, Computers, and Intelligence (C4I) will use standard TDLs to transmit and receive tactical information with each other. Link 22 is the latest radio system certified by NATO with In addition to the visual communication (Beyond Line-Of-Sight) allows The Combat operations to connect data such as land units, air units, ships Including connection to the tactical database system on the ground It can also be used to exchange tactical information between military units of the countries that join the Network. The Link 22 system is currently being used in times of peace, crisis and war in solid support of NATO and its allies.

Keywords : Tactical Data Link, TDL, Link 22

1. บทนำ

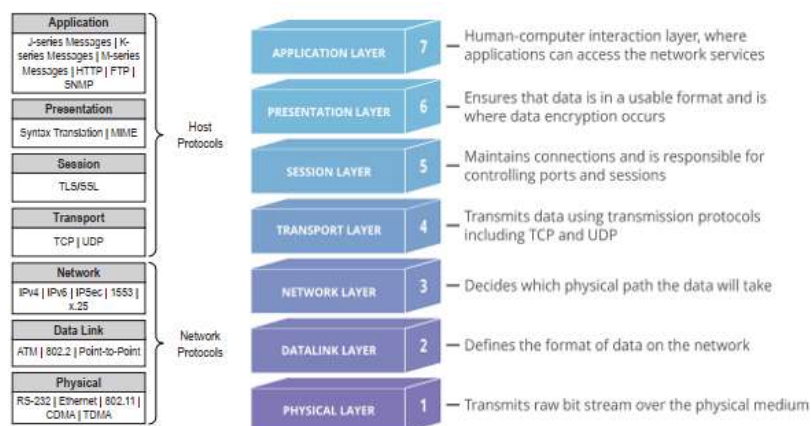
ในช่วงปลายพุทธศตวรรษที่ 2520 องค์การสนธิสัญญาแอตแลนติกเหนือ (North Atlantic Treaty Organization : NATO) ได้ก่อตั้งโปรแกรมปรับปรุง Link 11 (NATO Improved Link Eleven: NILE) ซึ่งในโปรแกรมดังกล่าวระบุถึงการสร้างมาตรฐานของข้อความทางยุทธวิธีแบบใหม่ เพื่อปรับปรุงการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหน่วยและจัดหาสถาปัตยกรรมการสื่อสารแบบเลเยอร์ (Layer) เชื่อมต่อข้อมูลแบบใหม่ โดยกำหนดชื่อว่า Link 22 ต่อมาเมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2533 องค์การ NATO ได้กำหนดคุณลักษณะของระบบเบื้องต้นจนได้ข้อกำหนดของระบบการใช้งานและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และก่อตั้งโปรแกรม NILE ที่ได้รับเงินทุนและดำเนินการร่วมกัน 7 ประเทศได้แก่ แคนาดา, ฝรั่งเศส, เยอรมัน, อิตาลี, เนเธอร์แลนด์, สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา ภายใต้การสนับสนุนของบันทึกความเข้าใจ (MOU) ของคณะกรรมการกำกับดูแลควบคุมโปรแกรม NILE และได้รับการบริหารจัดการจากคณะกรรมการบริหารโครงการ Program Management Warfare (PMW) ประกอบด้วยตัวแทนจากแต่ละประเทศที่เข้าร่วมและผู้จัดการโครงการจากสหรัฐอเมริกาตั้งอยู่ที่ Space and Naval Warfare Command (SPAWAR) ในซานดิเอโกรัฐแคลิฟอร์เนีย [1] สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงจาก Link 11 มาเป็น Link 22 นั้นมาจากข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่ไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของการรบร่วมต่างๆ เช่น ด้านการตรวจการณ์ทางบก การตรวจการณ์ทางอากาศ การควบคุมทางอากาศยาน และขาดความสามารถในการจัดการโครงข่ายได้

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบขีดความสามารถของเครือข่าย Link 11 และ Link 22 [2]

ขีดความสามารถ	Link 11	Link 22
การติดตามยุทธโธปกรณ์	✓	✓
การตรวจการณ์ทางอากาศ	✓	✓
การตรวจการณ์ทางบก	-	✓
การตรวจการณ์ผิวน้ำ	✓	✓
การตรวจการณ์ใต้น้ำ	✓	✓
การตรวจการณ์ทางอวกาศ	-	✓
สงครามอิเล็กทรอนิกส์	✓	✓
การประสานงานของอาวุธ	✓	✓
การบังคับบัญชา	✓	✓
การควบคุมทางอากาศ	-	✓
การจัดการโครงข่าย	-	✓

2. แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา

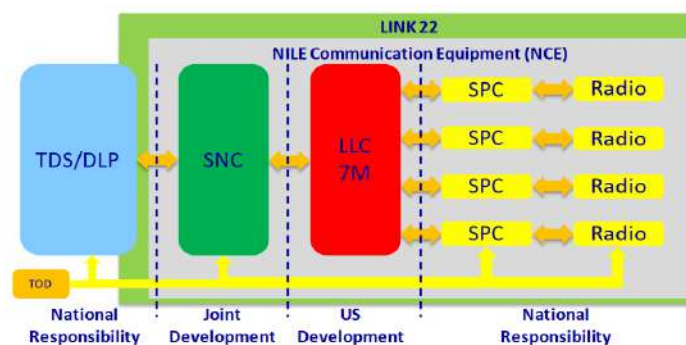
การพัฒนา ระบบ Data Links สามารถแบ่งได้เป็น 2 ยุคได้แก่ ยุคแรก เริ่มต้นตั้งแต่ พ.ศ. 2493 – 2513 ซึ่งใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์แบบ 8 บิต ทำให้ความสามารถในการส่งข้อมูลมีจำกัดเพียง 600 – 2,400 บิตต่อวินาที เท่านั้น ตัวอย่าง Link ที่ได้รับการพัฒนาในยุคนี้ได้แก่ Link 1, Link 4, Link 11, Link 11B และ Link 14 ต่อมา ยุคที่ 2 เริ่มตั้งแต่หลัง พ.ศ. 2513 เป็นต้นมา จะใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์แบบ 16 บิต ดังนั้นจะทำให้ Link ในยุคที่ 2 นี้สามารถทำงานได้หลากหลายและมีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 2,400 บิตต่อวินาที - 1 เมกะบิตต่อวินาที ตัวอย่าง Link ที่ได้รับการพัฒนาในยุคที่สองนี้ได้แก่ Link 16 และ Link 22 [3] ดังนั้นเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน Link22 จึงออกแบบโดยใช้สถาปัตยกรรมแบบเลเยอร์คล้ายกับรูปแบบมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบเปิด (Open System Interconnection Model: OSI Model) ที่กำหนดโดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (The International Organization for Standardization: ISO) ซึ่งแยกฟังก์ชันภายในเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นมีการทำงานที่เฉพาะเจาะจงวิธีการนี้จะสามารถเชื่อมต่อส่วนขยาย (Extension) ได้สูงสุดและเปิดให้ผู้ใช้บริการหลายรายพร้อมกันได้



รูปที่ 1 เปรียบเทียบสถาปัตยกรรม Link 22 [4] กับแบบจำลอง OSI Model [5]

อีกทั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดโครงการจึงใช้วิธีการพัฒนาแบบ OSI Model ภายใต้ นโยบายการนำวิทยุและอุปกรณ์ Link 11 ที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้ใหม่ การใช้คอมพิวเตอร์พาณิชย์ทั่วไป (Commercial Off-The-Shelf : COTS) ใช้ระบบการทำงานอัตโนมัติเพื่อลดการตอบสนองของมนุษย์กับ เครื่องจักร และใช้มาตรฐานข้อความให้ใกล้เคียงกับ Link 16 ให้มากที่สุด

เพื่อการเชื่อมต่อที่สมบูรณ์ระบบ Link 22 จึงถูกออกแบบประกอบด้วย NILE Communication Equipment (NCE) และ Data Link Processor (DLP) ภายใต้การเชื่อมต่อ DLP นั้น ระบบ Link 22 ประกอบด้วยอินเทอร์เฟซที่เชื่อมต่อไปยังระบบควบคุมเครือข่าย (SNC) และมีการจัดการข้อความทางยุทธวิธี (Tactical Messages) ที่ถูกกำหนดคุณสมบัติไว้ใน ATDLP-5.22 โดยระบบจะส่งและรับข้อมูล (Data Link) ในส่วนของ DLP เชื่อมต่อกับหรือเป็นส่วนหนึ่งของระบบข้อมูลทางยุทธวิธี (Tactical Data System: TDS) หรือที่เรียกว่าระบบโฮสต์ของ NILE Unit (NU) ซึ่งประมวลผลข้อความทางยุทธวิธีที่ได้รับและสร้างข้อความทาง ยุทธวิธีสำหรับการส่งผ่านตามข้อกำหนดระดับชาติของหน่วย ผ่านการใช้เวลาของวัน (Time of Day: TOD) ที่ตรงตามข้อกำหนดของ Link 22 [6] อีกทั้งมาตรฐานคุณลักษณะอินเทอร์เน็ตเฟส NILE และ SNC ทั้งหมดได้รับการกำหนด ออกแบบและพัฒนาร่วมกันโดย NILE Nations ซึ่งหลังจากประเทศสหรัฐอเมริกาพัฒนามาตรฐาน ความปลอดภัยใหม่ชื่อว่า LLC 7M เสร็จสิ้นแล้วได้ให้หน่วยงานความมั่นคงแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (National Security Agency :NSA) รับรองระบบความปลอดภัยดังกล่าวในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 [7]



รูปที่ 2 ระบบ Link 22 เชื่อม NILE Communication Equipment [8]

จากรอบสี่เหลี่ยมด้านในภาพที่ 2 เป็นอุปกรณ์สื่อสารของ NILE (NILE Communications Equipment: NCE) ซึ่งประกอบด้วย ระบบควบคุมเครือข่าย (System Network Controller: SNC) มาตรการรักษาความปลอดภัยการติดต่อสื่อสาร (Communication Security: COMSEC) (LLC 7M) ตัวควบคุมการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing Controllers: SPCs) ระบบวิทยุ และความปลอดภัยของการสื่อสาร (Communications Security)

ด้านการเพิ่มความสามารถในการรักษาความปลอดภัย Link 22 มีระบบการรักษาความปลอดภัย (Communication Security :COMSEC) ที่น่าเชื่อถือซึ่งมีอุปกรณ์เข้ารหัสและถอดรหัสภายในระบบ เครื่องอุปกรณ์เข้ารหัส (Crypto) นี้ติดตั้งในเลเยอร์ลิงค์ข้อมูลเรียกว่า Link Level COMSEC (LLC) ซึ่งใช้ชิป อิเล็กทรอนิกส์ที่ผ่านการรับรองความปลอดภัยจาก NATO [9] อีกทั้งเป็นยังเป็นชนิดเดียวกันกับ Link 16 และ LLC มีขีดความสามารถในการตรวจจับความพยายามในการทำลายเครือข่ายได้อีกด้วย ในอนาคตโปรแกรม

NILE จะทำการพัฒนากลายเป็น Modernized LLC (MLLC) เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานตามแผน Crypto Modernization Roadmap ของหน่วยงานความมั่นคงแห่งชาติของสหรัฐอเมริกาอีกด้วย

จากการพัฒนาที่กล่าวมานั้นสามารถนำคุณลักษณะของ Link 11 และ Link 22 มาเปรียบเทียบโดยสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของ Link 11 และ Link 22 [10]

คุณลักษณะ	Link 11	Link 22
ความถี่	HF / UHF	HF / UHF Spread
ความเร็ว (บิตต่อวินาที)	1,800	-
การป้องกันสงครามอิเล็กทรอนิกส์	-	✓
การเข้ารหัส	✓	✓
การใช้ Node ในการเชื่อมต่อ	✓	-
ระยะส่งที่มากกว่า LOS	-	✓
จำนวนข้อมูล (กิโลบิตต่อวินาที)	1.2	✓
ลักษณะของข้อความ	S-series	✓
สถาปัตยกรรมในการส่ง	Duplex digital	DTDMA

3. คุณลักษณะของ Link 22

3.1 ระบบโครงข่าย (Link 22 Network)

ระบบโครงข่ายของ Link 22 เรียกว่า Link 22 Super Network สามารถเชื่อมอุปกรณ์ตั้งแต่ 2 ถึง 125 หน่วย (Unit) ในโครงข่าย NILE เดียวกัน และยังสามารถเชื่อมต่อกับโครงข่าย NILE Networks ได้สูงสุด 8 โครงข่าย NILE Networks โดยหน่วยที่เข้าร่วมใน Link 22 Super Network สามารถเป็นสมาชิกได้สูงสุด 4 โครงข่าย NILE Networks และเพื่อให้เกิดการสื่อสารที่ราบรื่นระหว่างหน่วย แม้ว่าจะใช้ตัวกลางการส่ง (Media) ที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองความต้องการสื่อสารภายใต้เงื่อนไขของการแพร่กระจายคลื่นของแต่ละหน่วย และในโครงข่าย Link 22 หน่วย NILE ทุกหน่วยสามารถสื่อสารกับหน่วย NILE ได้ทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงโครงข่าย NILE ที่เข้าร่วม อีกทั้งหน่วยต่างๆ ยังสามารถส่งต่อข้อความเพื่อขยายความครอบคลุมการสื่อสาร (Coverage) เรียกว่า รีเลย์ (Relay) โดยอัตโนมัติ

3.2 การสื่อสารแบบนอกเหนือจากการมองเห็น (Beyond Line-Of-Sight : BLOS)

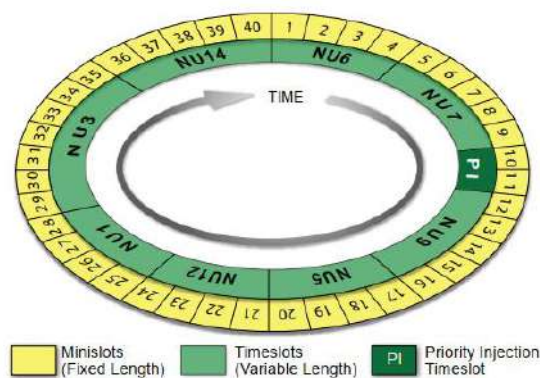
ภายใต้โครงข่าย NILE สามารถใช้การสื่อสารข่ายความถี่สูง (HF) หรือข่ายความถี่สูงพิเศษ (UHF) คู่กันได้ โดยการสื่อสารแบบ HF ในช่วงความถี่ 2-30 MHz ซึ่งให้การสื่อสารที่นอกเหนือจากการมองเห็นในข่ายความถี่สูงจะเรียกว่า HF Sky Wave นั้น ระบบส่งสัญญาณจะทำการปรับกำลังและมุมของเสาส่งให้เหมาะสมสำหรับการส่ง โดยปกติแล้ว HF Sky Wave สามารถส่งสัญญาณได้สูงสุดได้ถึง 300 ไมล์ทะเล ทั้งนี้ข่าย HF ยังสามารถให้การสื่อสารแบบการมองเห็น (Line-Of-Sight : LOS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ส่วนการสื่อสารข่ายความถี่สูงพิเศษหรือ UHF นั้นจะอยู่ในช่วงความถี่ 225-400 MHz ซึ่งด้วยความถี่ที่สูงจะให้การสื่อสารแบบ LOS เท่านั้น ระบบ Link 22 จะเลือกใช้อ่านความถี่ที่เหมาะสมร่วมกับการเลือกรูปแบบการส่งด้วยความถี่คงที่หรือมีความถี่แบบ Hopping ได้ผ่านการคำนวณอัตราครอบคลุม

3.3 การเชื่อมต่อแบบและการบริหารข้อมูล

ระบบ Link 22 จะมีการเข้าถึงข้อมูลแบบ Time Division Multiple Access (TDMA) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถกระจายข้อมูลระหว่างสมาชิกในเครือข่ายทั้งหมด โดยการใช้ระยะเวลาของวงรอบใหญ่และถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลา (Timeslots) ที่มีระยะเวลาที่แตกต่างกัน [11] แต่ระบบจะจัดสรรให้กับหน่วยเฉพาะที่มีความจำเป็นเร่งด่วนในเครือข่ายก่อนต่อมาจึงจัดให้กับหน่วยส่งสัญญาณให้ทำการส่งในช่วงเวลาของตนเอง และหน่วยอื่น ๆ ที่เหลือทั้งหมดเฝ้าฟังในช่วงเวลาดังกล่าว แต่อาจมีช่วงเวลาในการให้ลำดับความสำคัญกับบางหน่วยส่งซึ่งระบบสามารถระยะเวลาที่หน่วยส่งต้องรอได้เพื่อให้สามารถส่งข้อความที่มีลำดับความสำคัญสูงก่อน และถ้าหากหลายหน่วยต้องการส่งสัญญาณในช่วงเวลาที่มีความสำคัญในเวลาเดียวกัน ระบบจะจัดสรรการส่งสัญญาณซ้ำในช่วงเวลาของหน่วยอีกครั้งเพื่อป้องกันการส่งที่ทับซ้อนกันจนหน่วยต่าง ๆ ไม่ได้รับข้อความ

3.4 โครงสร้างของวงจรเครือข่าย (Network Cycle Structure)

เครือข่าย NILE ใช้โปรโตคอล TDMA ผ่านโครงสร้างของวงจรเครือข่าย (Network Cycle Structure: NCS) โดยกำหนดให้แต่ละเครือข่ายแบ่งเวลาเป็นช่วงความยาวคงที่ที่เรียกว่า Minislots ที่มีระยะเวลาแตกต่างกันไปตามประเภทของรูปแบบการส่ง และยังมีช่วงเวลาที่ยืดหยุ่นที่เรียกว่า Timeslots ที่ประกอบด้วย Minislots ซึ่งเพื่อความยืดหยุ่นทำให้ Timeslots ของแต่ละ NCS มีขนาดแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เครือข่าย NILE จะกำหนดช่วงเวลาได้รับการจัดสรรให้กับหน่วยต่างๆ เท่ากันหรือปรับเปลี่ยนช่วงเวลาตามลำดับความสำคัญของหน่วยส่งโดยให้หน่วยส่งข้อความที่มีลำดับความสำคัญสูงส่งผ่านในช่วงเวลาเพิ่มเติม (Priority Inject Timeslot) ได้ อีกทั้งระบบจะตรวจสอบว่าแต่ละหน่วยมีโอกาสส่งสัญญาณอย่างน้อยหนึ่งครั้งภายในระยะเวลาที่กำหนดตามวงรอบ (Network Cycle Time :NCT) ซึ่ง NCT จะประกอบด้วยจำนวนของ Minislots ที่เป็นสร้างวงจรเครือข่าย โดย NCT สามารถมีผลรวมของความยาวของช่วงเวลาสูงสุดถึง 1,024 Minislots ขึ้นอยู่กับจำนวนของกองกำลัง เมื่อเครือข่ายโครงสร้างของวงจรเครือข่ายทำงานจะเรียกว่า Operational NCS (ONCS) โดยระบบ Link 22 มีความสามารถในการแก้ไข ONCS และให้ระบบควบคุมเครือข่ายสามารถปรับเปลี่ยน ONCS ได้



รูปที่ 3 โครงสร้างของวงจรเครือข่ายของ Link 22 [12]

ดังนั้นผู้วางโครงข่ายการสื่อสารต้องคำนึงถึงจำนวนข้อความทางยุทธวิธีต่อวินาทีที่หน่วยจะต้องส่ง (Capacity Need) รวมถึงปริมาณการใช้รีเลย์และระยะเวลาที่สามารถรอระหว่างการส่งสัญญาณ (Access Delay) ก่อนการเริ่มต้นเครือข่าย

4. สรุป

การปฏิบัติการทางทหารในปัจจุบันมีความซับซ้อนกองทัพจึงได้พัฒนาระบบอำนวยการรบที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง เพื่อให้ข้อมูลข่าวสาร ภาพสถานการณ์ และคำสั่งผ่านการสื่อสารได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ ผ่านระบบเชื่อมโยงข้อมูลทางยุทธวิธี (TDL) ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลในพื้นที่การรบแบบบูรณาการ ซึ่งระบบ Link 22 เป็นระบบที่ถูกพัฒนาล่าสุดโดยประเทศในกลุ่มองค์การ NATO เพื่อทดแทนข้อจำกัดของ Link 11 โดยข้อได้เปรียบหลักนั้นคือ การสื่อสารแบบนอกเหนือจากการมองเห็น ทำให้สามารถแสดงภาพการรบผ่านการเฝ้าตรวจของหน่วยทางอากาศ ทางบก และทางทะเลได้ทันทีแบบไร้รอยต่อผ่านเทคโนโลยี DTDMA ดังนั้นการศึกษาระบบ Link 22 จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาระบบอำนวยการรบของกองทัพไทยทั้งในระดับยุทธการและยุทธวิธีให้มีความสามารถเทียบเท่ากับองค์การ NATO

เอกสารอ้างอิง

- [1] Project Management Office. Customer Information Guide (CIG), NATO Improved Link Eleven (NILE), 2019. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.link22.org/>
[สืบค้นเมื่อ: 8 พฤศจิกายน 2562]
- [2] Anca STOICA, Diana MILITARU, Dan MOLDOVEANU & Alina POPA. TACTICAL DATA LINK – FROM LINK 1 TO LINK 22. Naval Academy Scientific Bulletin Volume XIX, no.2, pp. 317, 2016.
- [3] North Atlantic Treaty Organization. NATO Standardization Agreement: STANAG 5522 [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://standards.globalspec.com/std/1308592/STANAG%205522>.
[สืบค้นเมื่อ: 9 พฤศจิกายน 2562]
- [4] Northrop Grumman, Understanding Voice and Data Link Networking, Virginia, pp. 1-6, 2014.
- [5] Cloudflare. What is Layer 7? | How Layer 7 of the Internet Works. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/what-is-layer-7/>
[สืบค้นเมื่อ: 5 พฤศจิกายน 2562]
- [6] C3B Interoperability Profiles Capability Team. NATO Interoperability Standards and Profiles Volume 3, 2018. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://nhqc3s.hq.nato.int/>
[สืบค้นเมื่อ: 9 พฤศจิกายน 2562]
- [7] North Atlantic Treaty Organization. Link Level COMSEC (LLC) 7M [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.ia.nato.int/niapc/Product/Link-Level-COMSEC--LLC--7M_648.
- [8] Customer Information Guide (CIG), NATO Improved Link Eleven (NILE) Project Management Office (PMO), San Diego, pp. 8/39, 2019.
- [9] Raytheon. Link Level COMSEC (LLC) 7M, 2017. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://www.ia.nato.int/niapc/Product/Link-Level-COMSEC--LLC--7M_648
[สืบค้นเมื่อ: 8 พฤศจิกายน 2562]

- [10] Anca STOICA.Diana MILITARU.Dan MOLDOVEANU &Alina POPA. TACTICAL DATA LINK – FROM LINK 1 TO LINK 22. Naval Academy Scientific Bulletin Volume XIX, no.2, pp. 319, 2016.
- [11] Elsevier B.V..Time Division Multiple Access [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/time-division-multiple-access>. [สืบค้นเมื่อ: 10 พฤศจิกายน 2562]
- [12] Northrop Grumman Understanding Voice and Data Link Networking. San Diego, pp. 4-25, 2014

เพรียงกับการยึดเกาะ

Barnacles and The Attachments

วริษฐา ขาววิเศษ¹

Warittha Khaowised¹

Received: May 5, 2020

Revised: May 25, 2020

Accepted: June 22, 2020

บทคัดย่อ

เพรียงเป็นสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทสัตว์ขาปล้อง (Arthropod) อยู่ในชั้น (Infraclass) Cirripedia ใน Subphylum Crustacea อาศัยในบริเวณน้ำตื้นและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง เพรียงมีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่มันอาศัยอยู่ จัดเป็นสัตว์ยึดเกาะอยู่กับที่ (Nonmotile หรือ Sessile) กินอาหารโดยผ่านการกรองอาหารจากน้ำ (Suspension Feeders) แต่ในช่วงที่เป็นตัวอ่อนสามารถว่ายน้ำได้ เป็นจำพวกแพลงก์ตอนที่มีขนาดเล็ก (Microscopic Plankton) ในช่วงที่เป็นตัวอ่อนลงยึดเกาะกับพื้นผิววัสดุต่างๆ ในทะเล และพัฒนาจนเป็นตัวเต็มวัย ถือเป็นช่วงที่ก่อให้เกิดปัญหาพื้นผิวสกปรก (Fouling) กองทัพเรือยังนิยมใช้สีกันเพรียงเพื่อป้องกันการยึดเกาะของเพรียงและพืชใต้น้ำ โดยมีสารพิษคือ Copper Oxide เป็นตัวทำลายตัวอ่อนเพรียง แต่อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ไประยะหนึ่งสีเหล่านี้ย่อมหมดสภาพ และถึงเวลาสมควรที่ควรนำเรือขึ้นบกมาบำรุงรักษาและตรวจสอบทั้งระบบ ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์และนักสมุทรศาสตร์พยายามคิดค้นหาวิธีแก้ปัญหายุ่งยากที่เพรียงที่ลงเกาะนี้ (Antifouling) โดยใช้วิธีทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ซึ่งแต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อด้อยต่างๆกัน การนำมาใช้จึงควรปรับและพิจารณาให้เหมาะกับการใช้งาน

คำสำคัญ : เพรียง ความสกปรกของผิว การป้องกันเพรียงเกาะ สีกันเพรียง

¹ กองสมุทรศาสตร์ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

Oceanographic Division, Hydrographic Department, The Royal Thai Navy

E-mail : anny_12355@hotmail.com

Abstract

Barnacles are invertebrate sea animals, which are classified as members of Arthropods of the Infraclass Cirripedia in the Subphylum Crustacea. They tend to spend their lives in shallow and tidal waters. There are many types depending on their living environments. They are nonmotile (sessile) and suspension feeders. However, barnacle larvae, a micro plankton type, are able to swim. The stage the larvae grow into adults and attach themselves to surfaces in the sea causes a fouling condition. The Royal Thai Navy prefers to use antifouling paint containing copper oxide to protect barnacles and marine plants. For a while anyway, deterioration of this paints will occur so it is the suitable time for maintenance ship and operation checking at the same time. Scientists and oceanographers have tried to find solutions to the problem employing methodologies in physics, chemistry as well as biology and each has its own advantages and disadvantages. Therefore, those should be used to determine which method is best suited for a job.

Keywords : Barnacles, Fouling, Antifouling, Antifouling Paint

1. บทนำ

เพรียงกับการยึดเกาะของเพรียงเป็นปัญหาที่แก้ได้ยากมาเนิ่นนาน และมีค่าใช้จ่ายสูงในการบริหารจัดการโดยเฉพาะกับการยึดเกาะบนพื้นผิวของตัวเรือ เนื่องจากมันสามารถยึดเกาะบนพื้นผิววัสดุทุกชนิดที่จุ่มอยู่หนึ่งๆ ในทะเลได้ภายในเวลาไม่เกิน 48 ชั่วโมง นอกจากนี้การยึดเกาะยังทำลายพื้นผิววัสดุที่มันยึดเกาะอยู่ด้วย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงในการบำรุงรักษา ก่อนที่จะกล่าวถึงปัญหาดังกล่าว เรามาทำความรู้จักกับ “เพรียง” กันก่อนว่ามันเป็นสิ่งมีชีวิตประเภทใดและดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างไรในทะเล



รูปที่ 1 เพรียงกับการยึดเกาะบนพื้นผิว ที่มา <https://en.wikipedia.org/wiki/Barnacle>

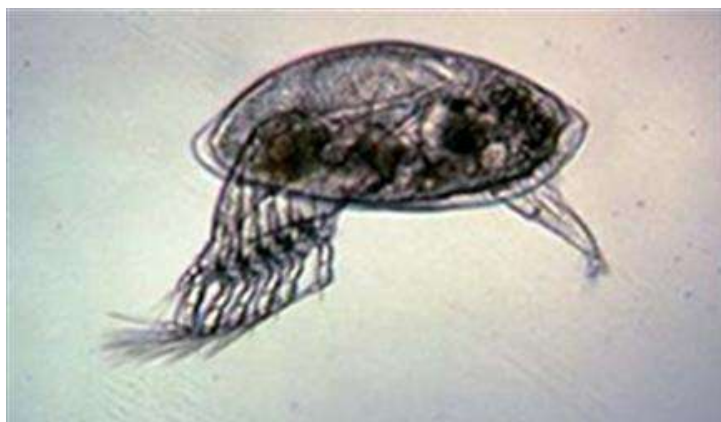
2. ชีววิทยาของเพรียง

“เพรียง” ภาษาอังกฤษใช้คำว่า “Barnacles” เป็นสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทสัตว์ขาปล้อง (Arthropod) อยู่ในไฟลัม Arthropoda ชั้น (Infraclass) Cirripedia ใน Subphylum Crustacea เป็นญาติกับปูและกุ้ง ส่วนใหญ่อาศัยในบริเวณน้ำตื้นและบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลง เป็นสัตว์ยึดเกาะอยู่กับที่ (Nonmotile หรือ Sessile) กินอาหารโดยผ่านการกรองอาหารจากน้ำ (Suspension Feeders) แต่ในช่วงที่เป็นตัวอ่อนสามารถว่ายน้ำได้ เป็นจำพวก Microscopic Plankton หรือแพลงตอนขนาดเล็กมาก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูซึ่งจะเห็นลักษณะตามรูปที่ 2 มีตาข้างเดียวในระยะแรก (First Stage) เรียกว่า *Nauplius* [1]



รูปที่ 2 ตัวอ่อนของเพรียงระยะที่ 1 *Nauplius* ที่มา <https://en.wikipedia.org/wiki/Barnacle>

6 เดือนผ่านไป เริ่มพัฒนาเข้าสู่ขั้นที่ 2 เรียกว่า *Cyprid* (รูปที่ 3) ซึ่งเริ่มสร้างโครงร่างเปลือกแข็งหุ้มตัวอ่อนไว้ภายในและเริ่มหาพื้นผิวที่เหมาะสมกับการยึดเกาะ เช่น ท่อเรือ ก้อนหิน เปลือกหอย ผิววาท หรือแม้กระทั่งเพรียงด้วยกันเองขอให้พื้นผิวแข็งมันก็สามารถยึดเกาะได้ โดยหลังสารชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นไขมัน (Oily Compound) เพื่อที่จะกำจัดน้ำออกไปจากพื้นผิวนั้นๆ โดยสารชนิดนั้นจะไปแทนที่น้ำที่เคลือบพื้นผิวอยู่ หลังจากนั้นจะหลั่งสารโปรตีนประเภท Phosphoprotein Compound ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวยึดตัวมันกับพื้นผิว หลังจากนั้นมันก็ดำรงชีวิตอยู่โดยการยึดเกาะกับพื้นผิว และกวาดอาหารซึ่งได้แก่ แพลงก์ตอนและสารอาหารในทะเลเข้าปากโดยอวัยวะที่ทำหน้าที่คล้ายมือ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอ่อนของเพรียงระยะที่ 2 *Cyprid* ที่มา <http://yk8.sakura.ne.jp/Barnacle/Pages/Larva.html>

การสืบพันธุ์ถือเป็นปัญหาของสัตว์ที่ยึดเกาะอยู่กับที่ เช่น ปะการัง และฟองน้ำ ซึ่งมีวิธีขยายพันธุ์ด้วยการฟ่นไข่และสเปิร์มออกไปผสมกันใต้น้ำแต่เพรียงมีวิธีการที่แปลกกว่านั้น โดยมันมีอวัยวะเพศที่ค่อนข้างยาวและถือได้ว่ายาวที่สุดในสัตว์ที่อยู่ในอาณาจักร (Kingdom) เดียวกัน (รูปที่ 4) ทำให้ง่ายต่อการผสมพันธุ์กับตัวเมียทั้งที่อยู่ในระยะใกล้และไกล แต่เพรียงเป็นสัตว์ที่มี 2 เพศในตัวเดียวกันหรือแยกเพศได้ยาก (Hermaphroditic) จึงสามารถตั้งท้องและออกลูกเป็นตัวได้ในคราวเดียวกัน [1]



รูปที่ 4 อวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้ ที่มา <https://writer.dek-d.com/dek-d/story>

3. ประเภทของเพรียง เพรียงมีหลากหลายสายพันธุ์ อาศัยอยู่แตกต่างกันในหลากหลายสภาพแวดล้อมดังนี้ [2]

3.1 Acorn Barnacles เป็นชนิดที่พบเห็นในบ้านเราเป็นส่วนใหญ่ ตามรูปที่ 1 หรือภาษาชาวบ้านเรียกว่า เพรียงหิน (Balanus Amphitrite) พบเกาะติดกับเปลือกหอยแต่บางครั้งพบเกาะติดกับลำตัวของวาฬ จะมีรูปร่างเป็นรูปหกเหลี่ยมฝังตัวอยู่ในลำตัวของวาฬ (รูปที่ 5) โดยไม่ทำความเจ็บปวดหรืออันตรายใดๆ ให้กับวาฬเลยแต่อาศัยกรองอาหารจากน้ำที่ไหลผ่านตัววาฬ และในทางตรงกันข้ามกลายเป็นที่อยู่อาศัยของเหาวาฬ (Whale Lice) ซึ่งเป็นสัตว์ที่ทำประโยชน์ให้กับวาฬแบบเกื้อกูลกัน



รูปที่ 5 เพรียงที่เกาะติดกับลำตัววาฬ ที่มา <https://th.sciencenetnews.com/เพรียง/>

3.2 ประเภท Free-floating Barnacle มีอวัยวะที่มีลักษณะเหมือนคอห่าน บางครั้งเรียก Goose Barnacles เป็นชนิดที่สามารถยึดเกาะกับวัสดุหรือสิ่งมีชีวิตที่ลอยน้ำและเจริญเติบโตได้ เช่น สาหร่าย เศษไม้ หรือเชือกที่ขาดลอยน้ำมา เปรียงประเภทนี้มีสองเพศในตัวเดียวอย่างชัดเจนแต่อวัยวะเพศผู้จะค่อนข้างเล็กกว่าอวัยวะเพศเมีย



รูปที่ 6 Goose Barnacles ที่มา <https://alchetron.com/Goose-barnacle>

3.3 ประเภท Buoy Barnacles เป็นเพรียงที่ไม่เกาะติดอยู่กับที่และสามารถลอยตามน้ำได้ โดยอาศัยการผลิตสารชนิดหนึ่งทำหน้าที่คล้ายโฟมหรือฟองน้ำในตัวมันเอง ทำให้มันสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกับแมงกระพรุน (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 Buoy Barnacles ที่มา <https://www.pinterest.cl/pin/438819557414298271/>

3.4 ประเภทที่อาศัยอยู่ในน้ำลึก เกาะติดอยู่กับวัสดุที่จมอยู่ในน้ำลึกและที่พบบ่อยคือเกาะอยู่บริเวณใกล้เคียงกับภูเขาไฟใต้ทะเลซึ่งอุดมไปด้วยสารอาหารจากปากปล่องภูเขาไฟ มันสามารถทนทานกับน้ำที่มีอุณหภูมิสูงถึง 400 องศาเซลเซียส และสารพิษบริเวณนั้นได้ เปรียงประเภทนี้แทนที่จะกวาดอาหารจากน้ำ มันกลับยื่นอวัยวะคล้ายมือที่เต็มไปด้วยขนไปทำหน้าที่เหมือนต้นไม้ให้แบคทีเรียมาเกาะและกินแบคทีเรียเป็นอาหาร (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 เปรียงน้ำลึกบริเวณภูเขาไฟใต้ทะเล ที่มา

http://www.phschool.com/science/science_news/articles/venting_concerns.html

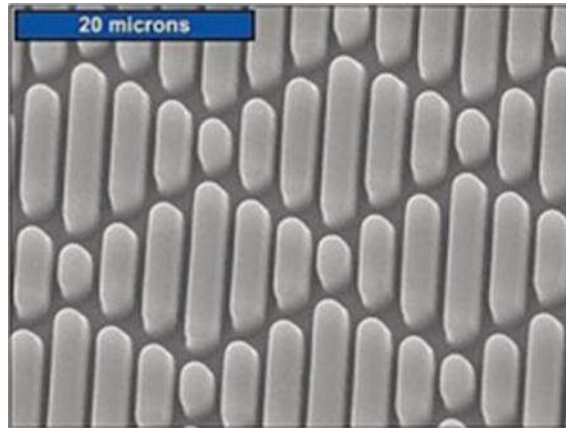
4. การยึดเกาะและการป้องกัน

เปรียงสามารถสกัดสารชนิดหนึ่ง (Natural Glue) ที่มีคุณสมบัติคล้ายกาวซีเมนต์ ได้ภายใน 24 ชั่วโมง หลังจากทำการเกาะลงบนพื้นผิว ไม่ว่าจะเป็นสิ่งไม่มีชีวิต เช่น ตัวเรือ ต่อม่อะพาน ฯลฯ หรือแม้กระทั่งสิ่งมีชีวิตด้วยกันเอง ได้แก่ สัตว์ทะเล เช่น หลังเต่า ผีววาฬ เป็นต้น สารชนิดนี้มีความแข็งแรงมาก (Adhesive Strength) ประมาณ 22-60 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งนักวิจัยพยายามคิดค้นนำสารชนิดนี้ไปใช้ในทางการค้า [3] เนื่องจากความแข็งแรง ทนทานของมัน แต่อย่างไรก็ตามถ้าเปรียงไปยึดเกาะกับตัวเรือ ปัญหาที่ตามมาคือเรือต้องแบกน้ำหนักเปรียงไปกับเรือด้วย ซึ่งเปรียงไม่ได้เกาะแค่เพียงชั้นเดียวมันสามารถเกาะซ้อนกันได้อีกหลายชั้นมาก ทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นจากปกติถึง 40 เปอร์เซ็นต์และต้องสิ้นเปลืองกับการบำรุงรักษาผิวตัวเรือด้วยการนำเรือเข้าอู่เพื่อทำการขูดเปรียงออก

การป้องกันการยึดเกาะของเปรียงกับตัวเรือในปัจจุบันยังนิยมใช้สีกันเปรียงทาเคลือบผิว ซึ่งสารเคมีในสีกันเปรียงคือทองแดงซึ่งเป็นโลหะหนักและใช้เป็นส่วนผสมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเมื่อลงน้ำทองแดงจะถูกชะล้างออกมาจากสีและฆ่าตัวอ่อนของเปรียงหรือสัตว์อื่นๆ ที่จะมายึดเกาะกับตัวเรือ [4] นั่นหมายถึงโลหะหนักที่ปนมากับสีกันเปรียงก็จะปนเปื้อนอยู่กับสิ่งแวดล้อมในทะเล ทำให้เกิดภาวะมลพิษจากโลหะหนัก (Heavy Metal Pollution) ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์และนักสมุทรศาสตร์จึงพยายามคิดค้นหาวิธีอื่นที่จะกำจัดเปรียงทดแทนการใช้สีกันเปรียง ไม่ว่าจะเป็นการหาวัสดุพิเศษมาทำตัวเรือที่จะทำให้เปรียงไม่สามารถยึดเกาะได้ หรืออาจเกาะได้แต่ง่ายต่อการขูดออก [4] หรือใช้วิธีทางไฟฟ้ารบกวนการลงเกาะของตัวอ่อนเปรียง ฯลฯ ซึ่งก็ยังคงอยู่ในขั้นตอนการทดลองและพัฒนาให้ได้ประโยชน์และเหมาะสมกับการใช้งาน

ศาสตราจารย์ Shaoyi Jiang แห่ง University of Washington คิดค้นหาวัสดุที่ใช้ชื่อว่า Zwitterionic Compounds [5] ซึ่งสารประกอบนี้สามารถเปลี่ยนประจุไฟฟ้าในน้ำจากบวกเป็นลบและจากลบเป็นบวก เพื่อเป็นการรบกวนการลงเกาะของตัวอ่อนเปรียง ผู้ที่คิดค้นวิธีกำจัดเปรียงอีกท่านคือ ศาสตราจารย์ Brennan, a University of Florida Engineering [6] คิดค้นจากการสังเกตได้ว่าเปรียงไม่เกาะปลาฉลาม

ดังนั้นจึงทำการศึกษารูปแบบของผิวปลาฉลามพบว่ามีรูปแบบตามรูปที่ 9 ซึ่งได้ทำการทดลองในห้องทดลอง แล้วพบว่าถ้าทำการเคลือบผิววัสดุด้วยรูปแบบนี้จะป้องกันการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่เกาะบนพื้นผิวได้ดีกว่าพื้นผิวเรียบ



รูปที่ 9 รูปแบบของผิวปลาฉลาม Shark Scale-like Pattern [6]

เปรียบเทียบกับง่าย ๆ กับเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ที่มีขนาด 50 ไมครอน รูปแบบนี้มีขนาด 150 ไมครอน ใหญ่กว่าเส้นผมประมาณ 3 เท่า ศาสตราจารย์ Brennan พยายามทำรูปแบบนี้ให้มีขนาด 2-16 ไมครอน ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และเป็นขนาดที่ป้องกันการกักตัวของสิ่งมีชีวิตได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะเคลือบผิวตัวเรือด้วยรูปแบบ Shark Scale-like Pattern เพื่อจะลดการยึดเกาะของเพรียงและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จากการสังเกตในสภาพแวดล้อมทางทะเลพบว่าเพรียงจะยึดเกาะได้ดีกับสิ่งที่ไม่เคลื่อนที่หรือมีการเคลื่อนที่น้อยมาก เช่น เสาปูน เสาหินที่ใช้เป็นสะพานหรือตอม่อต่างๆ ในทะเล ในกรณีของเรือ เพรียงจะไม่สามารถยึดเกาะตัวเรือได้เลยถ้าเรือลำนั้นเคลื่อนที่ตลอดเวลา ซึ่งในความเป็นจริงเราไม่สามารถกระทำเช่นนั้นได้ เราจึงพยายามคิดค้นหาวิธีที่จะป้องกันหรือลดอัตราการยึดเกาะของเพรียงบนพื้นผิววัสดุต่างๆ อีกหนึ่งวิธีที่ใช้วิทยาการทางชีววิทยาในการแก้ปัญหาการยึดเกาะของเพรียง ได้มาจากการสังเกตว่า ฟองน้ำและปะการังเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีพื้นผิวแข็งและไม่เคลื่อนที่ในทะเลเช่นกันแต่กลับไม่มีเพรียงมายึดเกาะที่ผิวจากการศึกษาชีววิทยาของสัตว์ทั้งสองชนิดนั้นพบว่าพื้นผิวของปะการังมีแบคทีเรียและสาหร่ายบางชนิดมายึดเกาะและอาศัยอยู่ในลักษณะพึ่งพาอาศัยกันกับฟองน้ำและปะการังในแบบจะขาดกันและกันไม่ได้ จากการที่เรามองฟองน้ำและปะการังเป็นสัตว์ต่าง ๆ

นอกจากแรงควัตถุของฟองน้ำและปะการังเองแล้ว ก็ยังเป็นเพราะแรงควัตถุของสาหร่ายและแบคทีเรียที่ยึดเกาะด้วย ประโยชน์ที่ฟองน้ำและปะการังได้รับก็ใช้เพื่อการหล่อเลี้ยง ส่วนแบคทีเรียก็อาศัยธาตุอาหารจากการขับของเสียและสาหร่ายก็อาศัยคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจของปะการังมาใช้ในการสังเคราะห์แสง[7] ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงตั้งข้อสังเกตและสมมุติฐานว่าแบคทีเรียน่าจะมีผลต่อการยึดเกาะของเพรียง จึงทำการวิจัยโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อการตรวจหาสายพันธุ์แบคทีเรียที่อาศัยอยู่กับฟองน้ำหรือปะการังอ่อนที่สามารถยับยั้งการลงเกาะของตัวอ่อนเพรียงหินชนิด *Balanus Amphitrite* โดยคัดแยกเชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งมาจากฟองน้ำหรือปะการังอ่อน ผลการศึกษาวิจัยพบว่าฟิล์มแบคทีเรียจำนวน 1 สายพันธุ์ คือ IMS279-7 แสดงผลยับยั้งการลงเกาะของตัวอ่อนเพรียงหินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แบคทีเรียนี้จัดอยู่ในสกุล *Aeromonas* [8] การวิจัยนี้ถือว่าเป็นอีกแนวทางที่นอกเหนือจากการใช้วิธีทางฟิสิกส์และเคมีซึ่งน่าสนใจไม่แพ้กัน

แต่ในทางปฏิบัติถ้าจะนำไปใช้เคลือบกับวัสดุที่ใช้ทำตัวเรือคงต้องมีอุปสรรคอีกมากมายซึ่งจะต้องศึกษาและทำการทดลองอีกยาวนาน

5. กองทัพเรือกับการป้องกันเปรียง

กองทัพเรือยังนิยมใช้การทาสีตัวเรือ นอกจากจะเป็นการรักษาสภาพของตัวเรือให้อยู่ในสภาพดี ในแง่ของการช่วยชะลอและป้องกันการผุกร่อนมิให้เกิดขึ้นเร็วแล้วยังช่วยป้องกันการยึดเกาะตัวของเปรียงและวัชพืชใต้น้ำได้อีกด้วยจึงเป็นสีที่ใช้ทาเรือระดับแนวหน้าและใต้น้ำ สีกันเปรียง (Antifouling Paint) ที่กองทัพเรือใช้มีคุณสมบัติช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ผิวของเรือได้ และมีสารที่เป็นพิษต่อเปรียงและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในระยะแรกของการเจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตามต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษด้วย องค์ประกอบโดยทั่วไป ประกอบด้วยผงสีที่ยึดด้วยสารเรซินได้แก่ Acrylic Resin, ไวนิลเรซินและยางคลอรีนต ส่วนสารพิษต่อเปรียงนั้นได้แก่ Copper oxide และ TriButyl Tin (ปัจจุบันจัดเป็นสารต้องห้าม) ซึ่งเมื่อละลายน้ำก็จะปลดปล่อยสารพิษออกมาทำลายตัวอ่อนของเปรียงทำให้เปรียงไม่สามารถลงเกาะที่พื้นผิวได้ ประสิทธิภาพของสีกันเปรียงขึ้นอยู่กับอัตราการชะละลายของสีเมื่อสัมผัสกับน้ำและจะต้องคงที่และต้องไม่เร็วจนเกินไป เพราะจะทำให้อายุการใช้งานสั้นแต่ก็ต้องไม่ช้าเกินไปจนไม่สามารถยับยั้งการเกาะของเปรียงได้ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากสีกันเปรียงมีสารพิษที่ทำลายตัวอ่อนของเปรียงแล้วยังทำลายสิ่งแวดล้อมด้วย ดังนั้นสีกันเปรียงที่กองทัพเรือใช้จึงต้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล คือหน่วยงานของกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา (Naval Sea System Command : NAVSEA) และมาตรฐานงานสีเรือของกองทัพเรืออังกฤษ (Defend Standard : DEFSTAN) เป็นต้น [4]

6. สีกันเปรียงกับนโยบายความมั่นคงแห่งชาติทางทะเล

จากการที่สีกันเปรียงมีสารพิษที่เป็นโละหนักซึ่งสามารถปนเปื้อนในทะเลและทำลายสิ่งแวดล้อมทางทะเลได้จึงไปเกี่ยวข้องกับนโยบายความมั่นคงแห่งชาติทางทะเลในหัวข้อ การปกป้องทรัพยากรธรรมชาติทางทะเลรวมถึงการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติที่มีชีวิตในทะเล ซึ่งถือเป็นปัญหาหนึ่งของสถานการณ์ความมั่นคงในพื้นที่ทางทะเลของประเทศไทยในปัจจุบัน เนื่องจากการขาดประสิทธิภาพในการจัดการทางทะเลของภาครัฐประกอบกับการแสวงหาประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติจากทะเลอย่างขาดความรับผิดชอบและการควบคุม อีกทั้งขาดนโยบายและยุทธศาสตร์ที่เหมาะสมในการกำกับดูแล รวมทั้งการบังคับใช้กฎหมายและการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมทางทะเลได้รับผลกระทบอย่างกว้างขวาง ความหลากหลายทางชีวภาพลดลงอย่างรวดเร็ว

เนื่องจากเรือทุกลำมีความจำเป็นต้องใช้สีกันเปรียง ดังนั้นหากมีการใช้สีกันเปรียงที่มีสารพิษเกินค่ามาตรฐานจะส่งผลให้สารพิษออกมาปนเปื้อน ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตและการปนเปื้อนทางทะเล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวม รัฐบาลพยายามผลักดันเรื่องการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการทางนโยบาย ยุทธศาสตร์รวมทั้งมีมาตรการในเชิงรุก ทั้งนี้หน่วยงานที่รับผิดชอบหลักในด้านการปกป้อง รักษา พื้นฟูทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมทางทะเล ได้แก่ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามความร่วมมือในทุกภาคส่วนมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ได้แก่ ภาครัฐ สังคม เอกชนและประชาชนควรมีความตระหนักในเรื่องคุณค่า ความรับผิดชอบและการอนุรักษ์ การบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งครัดและโปร่งใส เป็นธรรม รวมทั้งการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องและเพียงพอจากภาครัฐ จะทำให้การขับเคลื่อนนโยบายความมั่นคงของชาติทางทะเลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพ [9] [10]

7. บทสรุป

ในต่างประเทศ Office of Naval Research สหรัฐอเมริกาให้ทุนกับนักวิทยาศาสตร์ที่คิดค้นแก้ปัญหาได้อย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการคิดค้นและการทดลองในเรื่องนี้ยังมีมากมาย แต่ผลการทดลองแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดีและข้อด้อยต่างๆ กัน บางวิธีเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับสิ่งที่ไม่เคลื่อนที่แต่ไม่สามารถนำมาใช้กับสิ่งที่เคลื่อนที่ได้ เช่น เรือ เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องนำมาประยุกต์และปรับเปลี่ยนให้ใช้ด้วยกันได้อย่างลงตัวและสมบูรณ์แบบ ส่วนในบ้านเราก็มีการวิจัยและทดลองในเรื่องนี้แต่ไม่มากเท่าไร ส่วนใหญ่นิยมใช้สีกันเพรียงกันเป็นหลัก เนื่องจากสะดวกและมีความจำเป็นต้องนำเรือขึ้นบกมาเพื่อบำรุงรักษาในด้านอื่นๆ ด้วย จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมที่จะทำการขูดเพรียงและทาสีกันเพรียงไปในคราวเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามการใช้สีกันเพรียงต้องคำนึงถึงค่ามาตรฐานของสารพิษที่อยู่ในสีกันเพรียงด้วยมิให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด หรือใช้สีที่มีมาตรฐาน เนื่องจากจะไปส่งผลกระทบต่อการทำลายสภาวะแวดล้อมทางทะเลในแง่ของการปนเปื้อนและมลพิษทางทะเล ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งของสถานการณ์ความมั่นคงทางทะเลของประเทศไทยที่ทุกภาคส่วนต้องให้ความร่วมมือกันในการแก้ปัญหา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ruppert, E.E and Barnes.(1994) R.D.Invertebrate zoology.6th Edition. International edition.USA.: Saunders college publishing.
- [2] Susan M.Libes. (2009) Introduction to Marine Biogeochemistry.2nd Edition. California: Academic Press.
- [3] Yule,A.B. and G.Walker. (1984)The temporary adhesion of barnacle cyprids: effect of some differing surfaces characteristics. J.marine.Biol.U.K.64:429-439.
- [4] กรมแผนการช่างกรมอุทการเรือ.2554.งานทาสีเรือของกองทัพเรือกับมาตรฐานการใช้งาน. นาวีศาสตร์94(12):46-49.โรงพิมพ์สารบรรณ กองทัพเรือ
- [5] Osman,R.W. (1977).The establishment and development of a marine epifaunal community. Ecological Monographs,47:37-63.
- [6] Crisp,D.J., G Walker,G.A.Young, and A.B.Yule. (1985)Adhesion and substrate choice in mussels and barnacles.J.Colloid and Inverface Sci.,104(1):40- 50,
- [7] ปัทมา ระงับพิศม์.2545.การยับยั้งการลงเกาะของตัวอ่อนเพรียงหิน (Balanus amphitrite) โดยแบคทีเรีย ทะเลที่อาศัยอยู่กับฟองน้ำหรือปะการังอ่อนจากหมู่เกาะช้างจังหวัดตราด.: <http://newtdc.thailis.or.th/>
- [8] สมชาย สุรสรยุทธ.2545.การเปรียบเทียบการเติบโตของเพรียงหินบนเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิว.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [9] เผด็จศึกดี จารยะพันธ์และคณะ(2550ก). ผลประโยชน์แห่งชาติทางทะเล: สถานการณ์และข้อเสนอ. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
- [10] เผด็จศึกดี จารยะพันธ์และคณะ(2550ข).โครงการสถานการณ์ปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตของประเทศไทยกับการใช้ทะเลอย่างยั่งยืน.กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

อนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ

Automatic Differentiation

พีระพงษ์ พรหมจันทร์¹

Perapong Promchant¹

Received: April 19, 2020

Revised: May 28, 2020

Accepted: June 27, 2020

บทคัดย่อ

การหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันนั้นในศาสตร์ทางด้านคณิตศาสตร์สามารถหาค่าได้ตามนิยามด้วยสูตรที่เรียกว่า Symbolic Differentiation และการคำนวณประมาณค่าของอนุพันธ์เชิงตัวเลขใช้วิธีการที่เรียกว่า Numerical Differentiation แต่การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างซอฟต์แวร์ประยุกต์ที่ต้องมีการหาค่าอนุพันธ์มาเกี่ยวข้องนั้นไม่สามารถหาอนุพันธ์โดยใช้สูตรและนิยามทางด้านอนุพันธ์มาคำนวณในขั้นตอนของการประมวลผลโปรแกรมได้ จึงมีวิธีการคำนวณหาค่าอนุพันธ์ที่เรียกว่า การหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ (Automatic Differentiation) ซึ่งสามารถเขียนเป็นขั้นตอนวิธีเพื่อเขียนเป็นคำสั่งตามไวยากรณ์ของภาษาคอมพิวเตอร์ประมาณค่าของอนุพันธ์ในโปรแกรมที่สร้างขึ้นได้ ทำให้หลักการของการหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติมีประโยชน์มากต่อการเรียนรู้ในศาสตร์ของวิทยาศาสตร์ด้านการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประมาณค่า

คำสำคัญ : การประมาณค่าของอนุพันธ์เชิงตัวเลข ขั้นตอนวิธี การหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาคณิตศาสตร์ ฝ่ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Assistant Professor, Department of Mathematics, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

Email: perapongp@hotmail.com

Abstract

Finding the derivative of function in mathematical science can be determined by definition. Formula called Symbolic differentiation and calculating the estimation of numerical derivatives using a method called Numerical differentiation but computer programming to create application software that requires the determination of derivative values cannot be calculated by using derivative formulas to calculate in the process of program processing. Therefore, there is a way to find the calculation of the derivative called Automatic Differentiation, which can be written as an algorithm to write as a command, according to the syntax of a computer language. Making the principle of automatic derivative is very useful for learning in the science of computational science using computer program estimation.

Keywords: Numerical Differentiation, Algorithm, Automatic Differentiation

บทนำ

การหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันในวิชาแคลคูลัสมีนิยามและสูตรการหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันมูลฐานทุกฟังก์ชันที่ชัดเจน ส่วนการคำนวณการประมาณค่าของอนุพันธ์เชิงตัวเลขใช้วิธีการที่เรียกว่า Divided Difference ปัจจุบันนักคณิตศาสตร์ประยุกต์ได้คิดค้นการเขียนขั้นตอนวิธี เพื่อหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่เรียกว่า อนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ (Automatic Differentiation) [1] เหมาะสำหรับงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างซอฟต์แวร์ประยุกต์ [2] ที่ต้องมีการหาค่าอนุพันธ์มาเกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นวิธีการหาอนุพันธ์ในลักษณะของพีชคณิตเชิงคอมพิวเตอร์ คือแยกฟังก์ชันที่ซับซ้อนออกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน และใช้หลักวิธีการของกฎลูกโซ่มาหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันมูลฐาน กระทำซ้ำในลักษณะเดียวกันไปเรื่อยๆจนได้คำตอบ โดยขั้นตอนการหาค่าอนุพันธ์สามารถเขียนเป็นอัลกอริธึมในเชิงคอมพิวเตอร์ได้ และสามารถนำอัลกอริธึมนั้นมาเขียนเป็นไวยากรณ์ของภาษาได้ง่าย สะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรมเพื่อประยุกต์กับงานที่ต้องใช้การหาค่าอนุพันธ์ คำนวณหาผลเฉลยทางด้านวิทยาศาสตร์หรือวิศวกรรมศาสตร์

การหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ

ฟังก์ชันมูลฐานคือฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปของ ฟังก์ชันค่าคงที่ ฟังก์ชันกำลัง ฟังก์ชันเลขชี้กำลัง ฟังก์ชันลอการิทึม ฟังก์ชันตรีโกณมิติ ฟังก์ชันตรีโกณมิติผกผัน ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิก และฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกผกผัน ซึ่งฟังก์ชันมูลฐานเหล่านี้มีสูตรการหาค่าอนุพันธ์ตามนิยามทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจน ถ้าเป็นฟังก์ชันที่ซับซ้อน การหาค่าอนุพันธ์โดยตามสูตรของคณิตศาสตร์เป็นเรื่องยากสลับซับซ้อน แต่สามารถหาได้ด้วยวิธีการหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ (Automatic Differentiation) โดยอาศัยหลักการแยกฟังก์ชันที่ซับซ้อนออกเป็นฟังก์ชันมูลฐานที่มีสูตรคำนวณชัดเจน แล้วใช้กฎลูกโซ่มารวมค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมา ได้ผลลัพธ์เป็นค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันซับซ้อนที่ต้องการหาผลเฉลย ซึ่งเป็นค่าอนุพันธ์ที่แท้จริงไม่ใช่การประมาณค่า โดยมีวิธีการ

หาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติอยู่ 2 รูปแบบคือ Forward Mode และ Reverse Mode ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป

1. วิธี Forward Mode

การหาค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชันที่มีตัวแปรอิสระ n ตัว คือ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ โดยที่ฟังก์ชัน f ไม่เป็นฟังก์ชันมูลฐาน เริ่มต้นด้วยการแยกฟังก์ชันที่ซับซ้อน $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน โดยกำหนดฟังก์ชันมูลฐานแต่ละฟังก์ชันที่ประกอบเป็น f ออกมาทีละฟังก์ชัน

เริ่มต้น กำหนดให้ $i = n + 1$

กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง (Intermediate Variable) x_i ให้มีเท่ากับฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมา นั่นคือ

$$x_i = f_i(x_k, k \in J_i)$$

เมื่อ J_i คือเซตตรรกษณที่บอกว่า x_k เป็นตัวแปรอิสระของฟังก์ชันมูลฐาน f_i

เมื่อแยกฟังก์ชันมูลฐานออกมาแล้ว ใช้กฎลูกโซ่หาค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชันมูลฐานนั้น

จะได้ว่า $\nabla x_i = \sum_{j \in J_i} \frac{\partial f_i(x_k, k \in J_i)}{\partial x_j} \nabla x_j$ เมื่อ $\nabla x_j = e_j$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน x_j

กำหนดให้ $i = n + 2$

กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง x_i ให้มีค่าเท่ากับฟังก์ชัน มูลฐาน นั่นคือ $x_i = f_i(x_k, k \in J_i)$

โดยกฎลูกโซ่ จะได้ว่า $\nabla x_i = \sum_{j \in J_i} \frac{\partial f_i(x_k, k \in J_i)}{\partial x_j} \nabla x_j$

เพิ่มค่า i กระทำในลักษณะแยกฟังก์ชันมูลฐาน และการบวก ลบ คูณ หาร ของตัวแปรระหว่างกลาง จนกระทั่งตัวแปรระหว่างกลางตัวสุดท้ายเท่ากับฟังก์ชัน ที่ต้องการหาค่าเกรเดียนต์ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

สมมติว่าขั้นสุดท้าย กำหนดให้ $i = m$ เมื่อ m คือจำนวนเต็มบวกที่ทำให้ตัวแปรระหว่างกลาง

$$x_m = f_m(x_k, k \in J_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

ทำให้ สรุปได้ว่า ค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ คือ

$$\nabla f = \nabla x_m = \sum_{j \in J_m} \frac{\partial f_m(x_k, k \in J_m)}{\partial x_j} \nabla x_j$$

ดั่งจะสรุปเป็นขั้นตอนวิธี (Algorithm) ได้ดังนี้

ขั้นตอนวิธี Forward Mode

กำหนดให้ $f: R^n \rightarrow R$ ต้องการหาค่าเกรเดียนต์ของ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

ขั้นเริ่มต้น กำหนดให้ $i = n + 1$

ขั้นหลัก

1. สมมติให้ x_i เป็นตัวแปรระหว่างกลาง
2. แยก $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน

โดยเลือกฟังก์ชันมูลฐานที่อยู่ในฟังก์ชัน f หรือผลบวก ลบ คูณ หาร ของตัวแปรระหว่างกลางที่กำหนดให้ก่อนหน้านี้ กำหนดให้ $x_i = f_i(x_k, k \in J_i)$ เมื่อ J_i คือเซตตรรกษณิที่บอกว่า x_k เป็นตัวแปรอิสระของฟังก์ชันมูลฐาน f_i โดยกฎลูกโซ่ จะได้ว่า

$$\nabla x_i = \sum_{j \in J_i} \frac{\partial f_i(x_k, k \in J_i)}{\partial x_j} \nabla x_j$$

3. ตรวจสอบว่า

$$x_i = f_i(x_k, k \in J_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ หรือ ไม่}$$
4. ถ้า $x_i \neq f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ แล้ว กำหนดให้ $i = i + 1$ และ กลับไปขั้นตอนที่ 1 , 2

ถ้า $x_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ แล้ว กำหนดให้ $m = i$ จะได้ว่า $\nabla f = \nabla x_m$ แล้วหยุดการคำนวณ เพื่อให้การใช้ขั้นตอนวิธีคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชันที่ซับซ้อนโดยวิธี Forward Mode ชัดเจนยิ่งขึ้นจะยกตัวอย่างประกอบดังนี้

กำหนดให้ $f(x_1, x_2) = (x_1 + x_2)x_1 + \sin(x_2)$

จะเห็นได้ว่า f ไม่เป็นฟังก์ชันมูลฐาน จะทำการแยก f ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐานดังนี้

กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง $x_3 = f_3(x_1, x_2) = x_1 + x_2$ เพราะฉะนั้น $J_3 = \{1, 2\}$ โดยกฎลูกโซ่ จะได้ว่า

$$\nabla x_3 = \frac{\partial f_3}{\partial x_1} \nabla x_1 + \frac{\partial f_3}{\partial x_2} \nabla x_2 = \nabla x_1 + \nabla x_2$$

กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง $x_4 = f_4(x_1, x_3) = x_3 x_1$ เพราะฉะนั้น $J_4 = \{1, 3\}$ โดยกฎลูกโซ่ จะได้ว่า

$$\nabla x_4 = \frac{\partial f_4}{\partial x_1} \nabla x_1 + \frac{\partial f_4}{\partial x_3} \nabla x_3 = x_3 \nabla x_1 + x_1 \nabla x_3$$

กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง $x_5 = f_5(x_2) = \sin(x_2)$ เพราะฉะนั้น $J_5 = \{2\}$ โดยกฎลูกโซ่ จะได้ว่า

$$\nabla x_5 = \frac{\partial f_5}{\partial x_2} \nabla x_2 = \cos(x_2) \nabla x_2$$

กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง $x_6 = f_6(x_4, x_5) = x_4 + x_5$

เพราะฉะนั้น $J_6 = \{4, 5\}$ โดยกฎลูกโซ่ จะได้ว่า $\nabla x_6 = \frac{\partial f_6}{\partial x_4} \nabla x_4 + \frac{\partial f_6}{\partial x_5} \nabla x_5 = \nabla x_4 + \nabla x_5$

จะเห็นได้ว่า $x_6 = f_6(x_4, x_5) = x_4 + x_5$

$$= f(x_1, x_2) = (x_1 + x_2)x_1 + \sin(x_2) \text{ เท่ากับฟังก์ชันที่ต้องการหาค่าเกรเดียนต์แล้ว}$$

เพราะฉะนั้น $\nabla f(x_1, x_2) = \nabla x_6 = \nabla x_4 + \nabla x_5$

$$= x_1 \nabla x_3 + x_3 \nabla x_1 + \cos(x_2) \nabla x_2$$

$$= x_1 (\nabla x_1 + \nabla x_2) + x_3 \nabla x_1 + \cos(x_2) \nabla x_2$$

$$= (x_1 + x_3) \nabla x_1 + (x_1 + \cos(x_2)) \nabla x_2$$

$$= (2x_1 + x_2) \nabla x_1 + (x_1 + \cos(x_2)) \nabla x_2$$

$$= (2x_1 + x_2) e_1 + (x_1 + \cos(x_2)) e_2$$

$$= (2x_1 + x_2, x_1 + \cos(x_2))$$

2. วิธี Reverse Mode

ในการหาค่าเกรเดียนต์โดยวิธี Reverse Mode นั้น เป็นวิธีที่ใช้ขั้นตอนวิธีหาค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ และเป็นฟังก์ชันซับซ้อนที่ไม่เป็นฟังก์ชันมูลฐาน เริ่มต้นด้วยการแยกฟังก์ชันซับซ้อนที่ต้องการหาค่าเกรเดียนต์ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน กำหนดตัวแปรระหว่างกลางให้มีค่าเท่ากับฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมาหรือผลบวก ลบ คูณ หารของตัวแปรระหว่างกลางที่กำหนดไว้ก่อนหน้า กระทำการแยกไปเรื่อยๆ จนกระทั่งตัวแปรระหว่างกลางตัวสุดท้ายคือฟังก์ชันที่ต้องการหาค่าเกรเดียนต์ สามารถอธิบายในรูปของสัญลักษณ์ได้ดังนี้

กำหนดให้ $i = n + 1$ กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง x_i ให้มีจำนวนเท่ากับฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมา
นั่นคือ $x_i = f_i(x_k, k \in J_i)$

เมื่อ J_i คือเซตตรรกษณที่บอกว่า x_k เป็นตัวแปรอิสระของฟังก์ชันมูลฐาน f_i

กำหนดให้ $i = n + 2$ กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง x_i ให้มีจำนวนเท่ากับฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมา
นั่นคือ $x_i = f_i(x_k, k \in J_i)$

แล้วเพิ่มค่า i กระทำในลักษณะแยกฟังก์ชันมูลฐาน และการบวก ลบ คูณ หาร ของตัวแปรระหว่างกลาง
ไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง ตัวแปรระหว่างกลางตัวสุดท้ายคือฟังก์ชันที่ต้องการหาค่าเกรเดียนต์ f

สมมติว่า $i = m$ ได้

$$x_i = f_i(x_k, k \in J_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

นั่นคือ $x_m = f_m(x_k, k \in J_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

เมื่อแยกฟังก์ชันที่ซับซ้อนออกเป็นฟังก์ชันมูลฐานทั้งหมดแล้ว ขั้นตอนหาค่าเกรเดียนต์ โดยการกำหนดตัวแปร
ผูกพัน (Adjoint Variable)

$y_i, i = 1, 2, 3, \dots, m$ คือค่าอนุพันธ์ย่อยของ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ เทียบกับ x_i

นั่นคือ $y_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$; $i = 1, 2, 3, \dots, m$ จะได้ว่า $y_m = \frac{\partial f}{\partial x_m} = \frac{\partial x_m}{\partial x_m} = 1$

เพราะฉะนั้น เริ่มต้น กำหนดให้ $y_m = 1$ และ $y_i = 0$ สำหรับ $i = 1, 2, 3, \dots, m - 1$

คำนวณหาค่า y_i ; $i = 1, 2, 3, \dots, m$ โดยใช้กฎลูกโซ่

เริ่มต้น $i = m$

$$\text{จะได้ } y_j = y_j + \left[\frac{\partial f_m(x_k, k \in J_m)}{\partial x_j} \right] y_m \quad \text{สำหรับทุก } j \in J_m$$

เริ่มต้น $i = m - 1$

$$\text{จะได้ } y_j = y_j + \left[\frac{\partial f_{m-1}(x_k, k \in J_{m-1})}{\partial x_j} \right] y_{m-1} \quad \text{สำหรับทุก } j \in J_{m-1}$$

กระทำซ้ำไปเรื่อยๆ

เริ่มต้น $i = n+1$

$$\text{จะได้ } y_j = y_j + \left[\frac{\partial f_{n+1}(x_k, k \in J_{n+1})}{\partial x_j} \right] y_{n+1} \text{ สำหรับทุก } j \in J_{n+1}$$

แล้วสรุปผลรวมค่าของ $y_i ; i = 1, 2, 3, \dots, m$

ผลลัพธ์สุดท้าย จะได้ค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ คือ

$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right) = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

ดั่งจะสรุปเป็นขั้นตอนวิธี(Algorithm) ได้ดังนี้

ขั้นตอนวิธี Reverse Mode

กำหนดให้ $f: R^n \rightarrow R$ ต้องการหาค่าเกรเดียนต์ของ $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

ขั้นเริ่มต้น กำหนดให้ $i = n+1$

ขั้นหลัก

1. กำหนดให้ x_i เป็นตัวแปรระหว่างกลาง
2. แยก $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน โดยเลือกฟังก์ชันมูลฐานที่อยู่ในฟังก์ชัน f หรือผลบวก ลบ คูณ หาร ของตัวแปรระหว่างกลางที่กำหนดให้ก่อนหน้านี้ กำหนดให้ $x_i = f_i(x_k, k \in J_i)$ เมื่อ J_i คือเซตดัชนีที่บอกว่า x_k เป็นตัวแปรอิสระ

ของฟังก์ชันมูลฐาน f_i

3. ตรวจสอบว่า $x_i = f_i(x_k, k \in J_i) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ หรือไม่

ถ้าเป็นจริง แล้ว กำหนดให้ $m = i$ กระทำที่ขั้นตอนที่ 4

ถ้าเป็นเท็จ แล้ว กำหนดให้ $i = i+1$ และกลับไปกระทำขั้นตอนที่ 2

4. กำหนดตัวแปรผูกพัน $y_i, i=1,2,3,\dots,m$ เมื่อ y_i คือค่าอนุพันธ์ย่อยของ f เทียบกับ x_i

$$\text{นั่นคือ } y_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \text{ กำหนดค่า } y_i = 0 \text{ สำหรับ } i=1,2,3,\dots,m-1 \text{ และ } y_m = 1$$

5. สำหรับค่า $i=m$ ลดลงจนถึง $n+1$

$$\text{คำนวณหาค่า } y_j = y_j + \left[\frac{\partial f_i(x_k, k \in J_i)}{\partial x_j} \right] y_i \text{ สำหรับทุก } j \in J_i$$

6. จะได้ $\nabla f = (y_1, y_2, \dots, y_n)$

เพื่อให้การใช้ขั้นตอนวิธีคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชันที่ซับซ้อนโดยวิธี Reverse Mode ชัดเจนยิ่งขึ้น มีตัวอย่างประกอบดังนี้

$$\text{กำหนดให้ } f(x_1, x_2) = (x_1 + x_2)x_1 + \sin(x_2)$$

จะเห็นได้ว่า f ไม่เป็นฟังก์ชันมูลฐาน จะทำการแยก f ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐานดังนี้

$$\text{กำหนดตัวแปรระหว่างกลาง } x_3 = f_3(x_1, x_2) = x_1 + x_2 \text{ เพราะฉะนั้น } J_3 = \{1, 2\}$$

$$x_4 = f_4(x_1, x_3) = x_3 x_1 \text{ เพราะฉะนั้น } J_4 = \{1, 3\}$$

$$x_5 = f_5(x_2) = \sin(x_2) \text{ เพราะฉะนั้น } J_5 = \{2\}$$

$$x_6 = f_6(x_4, x_5) = x_4 + x_5 \text{ เพราะฉะนั้น } J_6 = \{4, 5\}$$

$$\text{จะเห็นได้ว่า } x_6 = f_6(x_4, x_5) = f(x_1, x_2) = (x_1 + x_2)x_1 + \sin(x_2)$$

ทำให้หยุดการแยก f ออกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน

กำหนดตัวแปรผูกพัน $y_i ; i=1,2,3,4,5,6$ เมื่อ y_i คือค่าอนุพันธ์ย่อยของ f เทียบกับ x_i

$$\text{นั่นคือ } y_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \text{ เริ่มต้นกำหนดให้ } y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = y_5 = 0 \text{ และ } y_6 = 1$$

คำนวณหาค่า $y_i ; i=1,2,3,4,5,6$ โดยใช้กฎลูกโซ่จากฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมา

เริ่มต้น $i=6$ จาก $x_6 = f_6(x_4, x_5) = x_4 + x_5$, เมื่อ $J_6 = \{4, 5\}$

$$\text{จะได้ } y_4 = y_4 + \left(\frac{\partial f_6}{\partial x_4}\right) y_6 = 1 \quad \text{และ} \quad y_5 = y_5 + \left(\frac{\partial f_6}{\partial x_5}\right) y_6 = 1$$

เมื่อ $i=5$ จาก $x_5 = f_5(x_2) = \sin(x_2)$, $J_5 = \{2\}$ จะได้ $y_2 = y_2 + \left(\frac{\partial f_5}{\partial x_2}\right) y_5 = \cos(x_2)$

เมื่อ $i=4$ จาก $x_4 = f_4(x_1, x_3) = x_3 x_1$, $J_4 = \{1, 3\}$

$$\text{จะได้ } y_1 = y_1 + \left(\frac{\partial f_4}{\partial x_1}\right) y_4 = x_3 \quad \text{และ} \quad y_3 = y_3 + \left(\frac{\partial f_4}{\partial x_3}\right) y_4 = x_1$$

เมื่อ $i=3$ จาก $x_3 = f_3(x_1, x_2) = x_1 + x_2$, $J_3 = \{1, 2\}$

$$\text{จะได้ } y_1 = y_1 + \left(\frac{\partial f_3}{\partial x_1}\right) y_3 = x_3 + x_1 \quad \text{และ} \quad y_2 = y_2 + \left(\frac{\partial f_3}{\partial x_2}\right) y_3 = \cos(x_2) + x_1$$

หยุดการคำนวณแล้วสรุปผล

$$\begin{aligned} \text{จะได้ค่าเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน } f(x_1, x_2) \text{ คือ } \nabla f &= \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}\right) = (y_1, y_2) \\ &= (x_3 + x_1, \cos(x_2) + x_1) \\ &= (2x_1 + x_2, \cos(x_2) + x_1) \end{aligned}$$

บทสรุป

การหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติ เป็นการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่ซับซ้อน โดยใช้หลักการแยกเป็นฟังก์ชันมูลฐาน และกำหนดตัวแปรระหว่างกลางเพื่อช่วยในการเก็บฟังก์ชันมูลฐานที่แยกออกมา และใช้กฎลูกโซ่หาผลรวมของอนุพันธ์ฟังก์ชันมูลฐาน รวมเป็นอนุพันธ์ของฟังก์ชันซับซ้อนที่ต้องการ ซึ่งเป็นอัลกอริทึมใหม่ แตกต่างจากการหาอนุพันธ์โดยใช้สูตรและนิยามทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งสามารถพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ง่ายตามขั้นตอนวิธีของการหาอนุพันธ์เชิงอัตโนมัติทั้งรูปแบบของ Forward Mode หรือ Reverse Mode ซึ่งเหมาะสำหรับงานด้านเขียนโปรแกรมคำนวณที่ประยุกต์ใช้การหาค่าอนุพันธ์ไปหาผลเฉลยของปัญหาด้านวิทยาศาสตร์ หรือ วิศวกรรมศาสตร์ [3][4]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Griewank, Andreas; Walther, Andrea (2008). Evaluating Derivatives: Principles and Techniques of Algorithmic Differentiation. Other Titles in Applied Mathematics. (2nd ed.). SIAM.
- [2] Neidinger, Richard (2010). Introduction to Automatic Differentiation and MATLAB Object-Oriented Programming. SIAM Review. 52 (3): 545-563. CiteSeerX 10.1.1.362.6580.
- [3] Antoine, S. (2018). Modern Computational Finance: AAD and Parallel Simulations. Wiley.
- [4] Li,X. and Zhong,w.(2001). Applying Extended Automatic Differentiation Technique to Process System Optimization Problem. Proceedings of the American Control Conference, pp. 25-27, America.

การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลด้วยทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

Determination of Quantity of Methyl Ester in Biodiesel by

Thin Layer Chromatography (TLC)

สายฝน เกียวสัมพันธ์¹

Saifon Geywsumpun¹

Received: April 15, 2020

Revised: June 24, 2020

Accepted: June 25, 2020

บทคัดย่อ

ไบโอดีเซลประเทศไทยมี 2 มาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ได้แก่ มาตรฐานไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) และมาตรฐานไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (ไบโอดีเซล B100) มาตรฐานไบโอดีเซลดังกล่าวมีความแตกต่างกันเรื่องค่าสมบัติสำคัญของไบโอดีเซลแต่ละชนิด จากการศึกษาพบว่าข้อกำหนดคุณภาพของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ ต้องมีค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์อย่างน้อย 96.5 จึงจะจัดเป็นไบโอดีเซล ชนิด B100 ซึ่งในทางเคมีสามารถใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet:UV) ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ส่องไปบนแผ่น TLC (Thin Layer Chromatography) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางเคมีที่ใช้ทดสอบความบริสุทธิ์ของสาร สิ่งที่ปรากฏคือ จุด (Spot) ที่ปรากฏภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต โดยการเปรียบเทียบระหว่าง Spot ของไบโอดีเซลตัวอย่าง (Unknown Samples) ที่เราสงสัยว่าจะเป็นไบโอดีเซลชนิดใด กับ Spot ของไบโอดีเซลมาตรฐาน ซึ่งเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 ที่ทราบร้อยละความบริสุทธิ์ที่แน่นอน ผลที่ได้รับคือการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล ให้ผลสอดคล้องกับการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เครื่องมือขั้นสูงในห้องปฏิบัติการเคมี และสามารถใช้เป็นวิธีตรวจสอบชนิดของไบโอดีเซลเบื้องต้นได้

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล เมทิลเอสเทอร์ ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี

¹ กองวิชาฟิสิกส์และเคมี ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ

Department of Physic and Chemistry, Education Branch, Royal Thai Naval Academy

E-mail: Saifon_narak@hotmail.com

Abstract

According to the notification of Department of Energy Business biodiesel in Thailand can be categorized into two types, which are biodiesel for agricultural engines (commodity biodiesel) and fatty acid methyl ester (FAME)-typed biodiesel (biodiesel B100). These two types of biodiesel have different characteristics and specifications. As reported in the literature, the minimum methyl ester content in B100 is specified at 96.5 percent by mass. In this study, the utilization of ultraviolet (UV) light operation at 254 nm wavelength coupled with Thin Layer Chromatography (TLC) is proposed in order to determine methyl ester content in unknown biodiesel. The silica gel on the TLC plate is first impregnated with a fluorescent material that glows under UV light. A spot then can interfere with the fluorescence and appear as a dark spot on a glowing background. A comparison between the spot of unknown biodiesel and spot of B100 can be made where methyl ester content in B100 is exactly known. It is found that the result of methyl ester content in unknown sample obtained from using UV light is consistent with that obtained from sophisticated instrument in chemical laboratory. Thus, this simple and affordable technique can be utilized in the preliminary determination of type of biodiesel.

Keywords: Biodiesel, Methyl Ester, Thin Layer Chromatography

1. บทนำ

ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือเชื้อเพลิงที่ได้จากน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเกิดเป็นสารที่เรียกว่าเมทิลเอสเทอร์หรือเอทิลเอสเทอร์ ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากน้ำมันปิโตรเลียม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ดีโดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) และเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถลดปัญหาการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) อันเป็นสาเหตุของสภาวะก๊าซเรือนกระจก และลดการเกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เนื่องจากในน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ไม่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ การเผาไหม้ของไบโอดีเซลเกิดได้สมบูรณ์ ลดปัญหาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกสู่บรรยากาศ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา อัตราส่วนของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันที่ใช้ ชนิดและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ทำปฏิกิริยา ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่ได้ [1]

ไบโอดีเซลปราศจากกำมะถันและสารอะโรมาติก เนื่องจากเป็นพลังงานที่มาจากพืช สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณร้อยละ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล เมื่อเติมไบโอดีเซลร้อยละ 1-2 ผสมกับน้ำมันดีเซล พบว่าเป็นการเพิ่มค่าการหล่อลื่นให้กับน้ำมันดีเซลช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ [2]

การใช้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากการเปลี่ยนองค์ประกอบของน้ำมันพืชหรือไขมันที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ให้เป็นสารประกอบเอสเทอร์ (Esters) ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทน (Alternative Energy) ที่สามารถใช้น้ำมันดีเซล โดยใช้ไขมันพืชหรือไขมันสัตว์ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล อาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งอาจเป็น กรด เบส หรือเอนไซม์ แต่ส่วนใหญ่จะใช้เบสแก่ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ โพแทสเซียม ไฮดรอกไซด์ จะได้เมทิลเอสเทอร์หรือที่เรียกว่าไบโอดีเซล และกลีเซอรอล ปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างสมบูรณ์ยังขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณน้ำและกรดไขมันอิสระที่มากับวัตถุดิบ มีผลต่อความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยา เพราะน้ำและกรดไขมันอิสระจะไปยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา น้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงจึงควรเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด ส่วนความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณเมทานอล กลีเซอรินอิสระ และสบู่ที่หลงเหลืออยู่ในปฏิกิริยา นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล สามารถผลิตขึ้นใหม่ได้ในเวลาไม่นาน เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงจะปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สฝุ่นละออง และแก๊สพิษชนิดต่าง ๆ ออกมาน้อยกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม [3]

เนื่องจากน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานสากลนั้น มีคุณสมบัติเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียม ผลกระทบต่อเครื่องยนต์ถือว่าไม่มีผลทางด้านลบหรือในกรณีของเครื่องยนต์เก่า อาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนซีลยางบางส่วนเท่านั้นเอง โดยทั่วไปการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในต่างประเทศนิยมนำไปผสมเป็นสูตรต่างๆ เช่น

B2 หมายถึง อัตราส่วนไบโอดีเซล ร้อยละ 2 กับดีเซลร้อยละ 98 มีจำหน่ายทั่วไปในมลรัฐมินนิโซตา ประเทศสหรัฐอเมริกา และจะบังคับใช้ทั้งมลรัฐในปี พ.ศ. 2548

B5 หมายถึง อัตราส่วนไบโอดีเซล ร้อยละ 5 กับดีเซลร้อยละ 95 มีจำหน่ายทั่วไปในประเทศฝรั่งเศส โดยกว่าครึ่งของน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายเป็นน้ำมันสูตร B5

B20 หมายถึง อัตราส่วนไบโอดีเซล ร้อยละ 20 กับดีเซลร้อยละ 80 เป็นน้ำมันผสมที่คณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งชาติ และสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาแนะนำให้ใช้ตามกฎหมายยานยนต์เชื้อเพลิงทดแทนของประเทศ (Alternative Motor Fuels Act : AMFA 1988) ปัจจุบันนิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะรถของบริษัทและรถของหน่วยงานราชการกว่า 147 แห่ง รวมทั้งการใช้ยานยนต์ในพื้นที่ที่ต้องคำนึงถึงมลพิษเป็นพิเศษ เช่น รถรับส่งนักเรียน รถประจำทาง เรือ หรือเครื่องจักรกลที่ใช้ในเหมืองแร่ ทั้งนี้ได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์หัวฉีดและเครื่องยนต์

B40 หมายถึง อัตราส่วนไบโอดีเซล ร้อยละ 40 กับดีเซลร้อยละ 60 เป็นสูตรที่ใช้ในรถขนส่งมวลชนในประเทศฝรั่งเศส ทั้งนี้เพื่อผลในการลดมลพิษ

B100 หมายถึง น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 100 ที่ใช้ในประเทศเยอรมนีและออสเตรียโดยได้รับการรับรองจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ของประเทศ [4]

2. มาตรฐานไบโอดีเซล

สำหรับประเทศไทยคุณภาพของไบโอดีเซลมี 2 มาตรฐาน ได้แก่ มาตรฐานไบโอดีเซล B100 ใช้รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2556 และ มาตรฐานไบโอดีเซลชุมชน ใช้รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซล) พ.ศ.2549

จากมาตรฐานไบโอดีเซลตามรายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2556 หมายถึง ไบโอดีเซล B100 และ

เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ.2549 หมายถึง ไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งไบโอดีเซล B100 มีข้อกำหนดคุณภาพมากกว่าไบโอดีเซลชุมชน แต่ผู้เขียนสนใจค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เป็นหลัก เนื่องจากเป็นค่าที่ถูกกำหนดให้ไบโอดีเซลต้องมีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์สูงมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก ค่าเมทิลเอสเทอร์ร้อยละโดยน้ำหนักตามปกติต้องวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงในห้องปฏิบัติการเคมีที่เรียกว่า GC (Gas Chromatography) แต่หากไม่มีเครื่องมือตัวนี้ส่วนใหญ่จะส่งวิเคราะห์ตามสถาบันที่รับวิเคราะห์ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง ผู้เขียนจึงคิดหาวิธีการที่จะทดสอบไบโอดีเซลเบื้องต้นเพื่อให้สามารถตอบได้ว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นเป็นไบโอดีเซลที่อยู่ในมาตรฐานใด เพื่อให้สามารถนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นไปใช้ให้เหมาะสมต่อเครื่องยนต์ ไม่ก่อความเสียหายกับเครื่องยนต์ ดังนั้นผู้เขียนจึงนำเทคนิค Thin Layer Chromatography:TLC มาใช้ในการคัดแยกความบริสุทธิ์เบื้องต้นของไบโอดีเซลในการศึกษารุ่นนี้ และใช้หลักการอ่านจุดที่ปรากฏบนแผ่น TLC ภายใต้แสงยูวี เพราะการสังเกตด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถแยกได้ว่าไบโอดีเซล B100 แตกต่างจากไบโอดีเซลชุมชนอย่างไร

3. การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล

แหล่งกำเนิดแสงยูวีแหล่งใหญ่ที่สุดคือจากดวงอาทิตย์ และที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นเองโดยมนุษย์ได้แก่ Black Light, UV Lamp, UV LEDs, UV Laser เป็นต้น แสงยูวีจัดอยู่ในช่วงแสงที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (Invisible Light Wavelength) ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่าช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light Wavelength) แต่ยาวกว่ารังสี X-Rays แสงยูวีมีคุณสมบัติพิเศษคือมีพลังงานสูงเป็นพิเศษทำให้มีความสามารถในการส่องทะลุผ่านผิวหนังได้ง่ายกว่าแสงที่เห็นทั่วไป [5]

การอ่านจุดที่ปรากฏบนแผ่น TLC ภายใต้แสงยูวีนั้นต้องใช้ตัวดูดซับที่ผสมอินดิเคเตอร์ฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งเมื่อแผ่น TLC กระทบแสงยูวี ที่ช่วงความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร จะสะท้อนแสงออกมาเป็นสีเขียว ดังนั้นเมื่อมีสารตัวอย่างที่สามารถดูดซับแสงยูวี ได้ตรงจุดใดบนแผ่น TLC ก็จะมีแถบการเรืองแสงของแผ่น TLC เกิดเป็นจุดสีม่วงขึ้นที่จุด ๆ นั้น จึงทำให้สามารถสังเกตเห็นจุดของสารตัวอย่างที่ Develop ได้ [6]

การนำแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) มาใช้ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารทางเคมี เป็นเทคนิคที่ใช้มานานแล้วโดยใช้ควบคู่กับเทคนิคโครมาโตกราฟี เพื่อส่องดูจุด (Spot) ของสารที่เคลื่อนไปบนแผ่น TLC สามารถตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารที่มีปริมาณน้อย จากประสบการณ์ของผู้เขียนในเรื่องการผลิตและควบคุมคุณภาพการผลิตทั้งไบโอดีเซล B100 และไบโอดีเซลชุมชน มีข้อสังเกตที่พบว่า เมื่อนำไบโอดีเซลที่ผลิตได้ส่งวิเคราะห์ผล จนทราบว่าเป็นไบโอดีเซล B100 ค่าข้อกำหนดของเมทิลเอสเทอร์ร้อยละโดยน้ำหนักไม่ต่ำกว่า 96.5 ซึ่งต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography : GC และค่าเมทิลเอสเทอร์ที่วิเคราะห์ได้นี้เป็นค่าหลักที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางเคมีเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการเรื่องโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin Layer Chromatography : TLC) ผู้เขียนจึงนำกระบวนการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TLC นี้มาใช้ในการประดิษฐ์เป็นกล่องเครื่องมือต้นแบบตรวจติดตามความบริสุทธิ์ของการผลิตไบโอดีเซล โดยอาศัยหลอดแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร มาเป็นแหล่งกำเนิดแสงยูวีติดตั้งในกล่องทึบแสง ใช้หลักการของการใช้แสงยูวีส่องผ่านแผ่น TLC ที่สามารถสะท้อนกลับที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร มาใช้เพื่อให้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และราคาถูก เหมาะสำหรับการตรวจสอบเบื้องต้นว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้นั้นจัดเป็นไบโอดีเซล B100 หรือไบโอดีเซลชุมชน ก่อนนำไปส่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการส่งวิเคราะห์สูงกว่ามาก เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ว่าเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 จริง ดังรูป



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์เครื่องต้นแบบตรวจติดตามความบริสุทธิ์ของการผลิตไบโอดีเซล

กรณีของไบโอดีเซลชุมชนก็สามารถตรวจสอบด้วยกระบวนการ TLC เช่นเดียวกัน โดยหลักการ TLC จะใช้การจุ่ม (Spot) สารตัวอย่าง (Unknown Sample) เทียบกับสารมาตรฐาน (Standard) ลงบนแผ่น TLC ชนิดซิลิกาเจลที่มีสารเรืองแสงความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร แล้วจึงผ่านกระบวนการชะสารโดยใช้สารละลาย อินทรีย์ผสมช่วยชะพา Spot ของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานให้ขึ้นไปในระดับที่กำหนดไว้บนแผ่น TLC จากนั้นใช้คีมคีบแผ่น TLC นี้ออกมาผึ่งให้แห้ง แล้วนำไปส่องดูภายใต้แสง UV จะพบ Spot 2 จุดสีม่วงดำ วัดระดับจุดระหว่างจุดของไบโอดีเซลตัวอย่าง เทียบกับจุดของไบโอดีเซลมาตรฐาน (ไบโอดีเซลมาตรฐานมีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 98.7 จัดเป็นไบโอดีเซล B100) โดยการสังเกตระดับของจุดทั้งสอง ถ้าอยู่ในระดับเดียวกันถือว่าไบโอดีเซลตัวอย่างมีค่าความบริสุทธิ์เทียบเท่าไบโอดีเซลมาตรฐาน หมายความว่าไบโอดีเซลตัวอย่างนั้นเป็นไบโอดีเซล B100 สำหรับกรณีที่ระดับของ spot ของไบโอดีเซลตัวอย่าง อยู่ต่ำกว่าไบโอดีเซลมาตรฐาน หมายความว่าไบโอดีเซลตัวอย่างนั้นเป็นไบโอดีเซลชุมชน

นำไบโอดีเซลตัวอย่างที่ผลิตจากพืชน้ำมันชนิดต่าง ๆ ทดสอบด้วยการใช้เทคนิค TLC แล้วส่องผ่านแสงยูวี ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC พบว่า ผลการทดลองที่เป็นไบโอดีเซล B100 ให้ผลวิเคราะห์ร้อยละปริมาณเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 96.5 ทุกตัวอย่าง ในขณะที่ไบโอดีเซลที่ทดสอบด้วยเทคนิค TLC ให้ผลว่าเป็นไบโอดีเซลชุมชนให้ผลวิเคราะห์ร้อยละปริมาณเมทิลเอสเทอร์ต่ำกว่า 96.5 ทุกตัวอย่าง จากผลการทดสอบดังกล่าว ทำให้เครื่องต้นแบบตรวจติดตามความบริสุทธิ์ของการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้แสงยูวีกับ TLC ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซล มีความถูกต้อง แม่นยำ สามารถนำไปใช้งานได้ทั้งในห้องปฏิบัติการเคมี สามารถใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตไบโอดีเซลได้ [7]



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างไบโอดีเซลจากน้ำมันชนิดต่าง ๆ

4. เทคนิค TLC

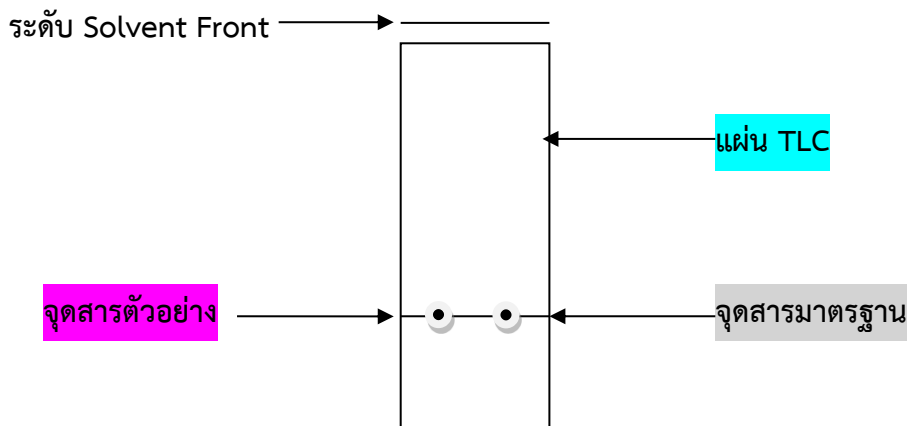
ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (Thin Layer Chromatography) หรือ TLC เป็นวิธีการแยกสารที่สามารถแยกสารปริมาณน้อย ๆ ใช้เป็นเทคนิคในการตรวจสอบจำนวนสารประกอบที่มีอยู่ในสารผสม สามารถใช้ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสาร ตรวจสอบปฏิกิริยาที่กำลังดำเนินอยู่ว่าสมบูรณ์หรือไม่ ทั้งยังใช้หาตัวดูดซับและตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการแยกสารนั้น ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่ง่าย และใช้เวลาไม่มากนัก วิธีการทำงานโดยสารที่ต้องการแยกจะถูกจุดลงบนแผ่น TLC ที่ปลายด้านหนึ่ง เป็นจุดเล็ก ๆ แล้วนำแผ่น TLC นี้ไปจุ่มในภาชนะที่มีตัวทำละลายบรรจุอยู่ โดยเอาปลายด้านที่มีสารจุดอยู่จุ่มลงไป ตัวทำละลายซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่จะเคลื่อนพาสารบนตัวดูดซับขึ้นไปตามแผ่น TLC โดยการซึมผ่านรูเล็ก (Capillary Action) ในขณะเดียวกันตัวดูดซับจะพยายามดึงหรือยึดเอาสารนั้นไว้ จึงทำให้สารเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าตัวทำละลาย อัตราส่วนของระยะทางจากจุดเริ่มต้นที่สารนั้นเคลื่อนที่ต่อระยะทางสูงสุดที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (Solvent Front) จะมีค่าคงที่เรียกว่า ค่า Rf ซึ่งย่อมาจาก Retention Factor ค่า Rf เป็นค่าเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ดังนั้นสารต่างชนิดกันจะมีค่า Rf ต่างกัน แต่สารที่มีค่า Rf เท่ากัน ไม่จำเป็นต้องเป็นสารชนิดเดียวกัน โดยปกติค่า Rf จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของตัวดูดซับ ชนิดของตัวทำละลายและความหนาของตัวดูดซับ

$$Rf = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ได้ (ซม.)}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (ซม.)}}$$

ประโยชน์ของเทคนิค TLC คือ ใช้แยกสารที่มีปริมาณน้อยๆ ได้ ทั้งสารที่มีสีและไม่มีสี และสามารถใช้ทดสอบความบริสุทธิ์ของสารที่สนใจ เพราะสารตัวอย่างที่บริสุทธิ์ย่อมให้จุดเพียงจุดเดียวบนแผ่น TLC [8]

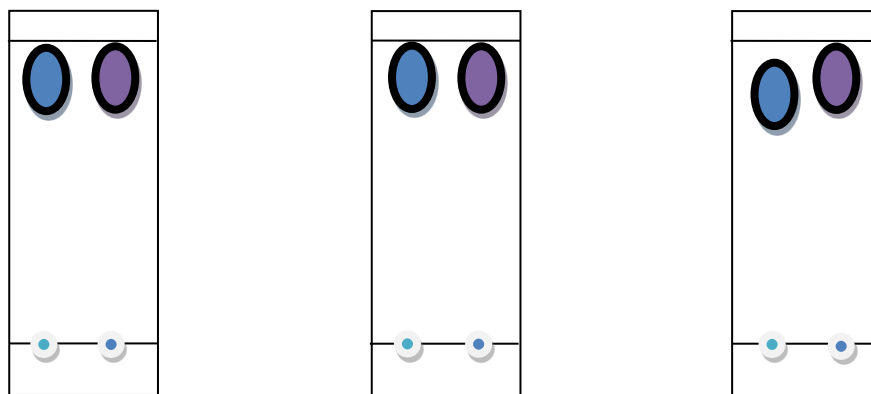
5. การทดลองและผลการทดลอง

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนน้ำมันตัวอย่างให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ในระดับห้องปฏิบัติการ เช่น ใช้วัตถุดิบเป็น น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันรำข้าว ทำปฏิกิริยากับเมทานอล ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตเมทิลเอสเทอร์ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน นำไบโอดีเซลที่ได้ไปทำการจุด ลงบนแผ่น TLC ที่เตรียมไว้ทางด้านซ้ายของแผ่น และจุดสารมาตรฐานทางด้านขวาของแผ่น TLC ก่อน Develop ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 จุดของสารตัวอย่างด้านซ้าย เปรียบเทียบสารมาตรฐานด้านขวา ก่อน Develop

จากนั้นทำการ Develop แล้วนำไปส่องดูจุดที่ปรากฏภายใต้หลอดแสงยูวีภายในกล่องทึบแสง จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4



ไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลือง ไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าว

รูปที่ 4 จุด (Spot) ของสารตัวอย่างด้านซ้าย เปรียบเทียบสารมาตรฐานด้านขวา หลัง Develop ภายใต้หลอดแสงยูวี

จากนั้นนำไบโอดีเซลไปวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์โดยใช้เทคนิค GC ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC

ตัวอย่างไบโอดีเซล	ร้อยละเมทิลเอสเทอร์
1. จากน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์	97
2. จากน้ำมันถั่วเหลือง	98
3. จากน้ำมันรำข้าว	95

จากรูปที่ 3 เป็นตัวอย่างของจุดของเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบกับเมทิลเอสเทอร์มาตรฐาน ก่อน Develop ยังไม่มีจุดใด ๆ ปรากฏบนแผ่น TLC

จากรูปที่ 4 พบว่าถ้าจุดของสารตัวอย่างอยู่ในระดับเดียวกับจุดของสารมาตรฐานหลังผ่านการ develop ส่องดูภายใต้หลอดแสงยูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร แสดงว่าสารตัวอย่างนั้นมีความบริสุทธิ์เทียบเท่าสารมาตรฐานแสดงว่าสารตัวอย่างชนิดนั้นเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 หรือเข้าใกล้ความเป็น B100 นั้นเอง แต่หากพบว่าจุดของสารตัวอย่างอยู่ระดับต่ำกว่าสารมาตรฐานแสดงว่า

สารตัวอย่างชนิดนั้นเป็นไบโอดีเซลชุมชน การทดลองนี้มีความสอดคล้องกับผลในตารางที่ 1 นั่นคือ ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ เท่ากับ 97 ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันถั่วเหลือง เท่ากับ 98 จัดเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 เนื่องจากมีร้อยละเมทิลเอสเทอร์มากกว่า 96.5 ในขณะที่ร้อยละเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันรำข้าว เท่ากับ 95 จึงจัดว่าเป็นไบโอดีเซลชุมชน เนื่องจากจุดของสารตัวอย่างอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับจุดของสารมาตรฐาน และมีค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์น้อยกว่า 96.5 แสดงว่าสารตัวอย่างนั้นมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าสารมาตรฐาน

6. สรุป

ปริมาณร้อยละเมทิลเอสเทอร์ แสดงถึงความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซล และการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซล ที่สมบูรณ์ มาตรฐานกำหนดให้มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 96.5 โดยน้ำหนัก เมื่อปริมาณเอสเทอร์น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการผลิตอาจมีปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเกิดความผิดพลาด ส่งผลให้ความบริสุทธิ์ที่ได้มาน้อยแตกต่างกัน ในความเป็นจริงมีหลายค่าพารามิเตอร์ที่จะต้องตรวจวิเคราะห์ (24-26 ค่าพารามิเตอร์) เพื่อให้ได้มาซึ่งการรับรองคุณภาพของไบโอดีเซลตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ให้สามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้อย่างเหมาะสม อาจนำไปใช้โดยตรงหรือนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ แต่จากประสบการณ์ของผู้เขียนพบว่า ค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์จัดเป็นค่าที่สำคัญที่สุด เพราะหากค่าดังกล่าวนี้อยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐาน B100 แล้ว พบว่าค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ อีกหลายค่าจะสอดคล้องกับค่าร้อยละเมทิลเอสเทอร์เสมอ

การเลือกใช้เทคนิค TLC ภายใต้การส่องผ่านด้วยหลอดแสงยูวี ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เป็นวิธีที่ง่ายในการคัดแยกชนิดของไบโอดีเซลเบื้องต้น ราคาถูก วิธีการไม่ยุ่งยาก สามารถทำการทดสอบซ้ำ ๆ จนแน่ใจว่าไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้นั้นเป็นไบโอดีเซลชนิด B100 จะทำให้ผู้ผลิตเกิดความมั่นใจในคุณภาพการผลิต และยังเป็นโอกาสที่สามารถแก้ไขระหว่างกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดความมั่นใจ แล้วจึงนำผลผลิตนั้นส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูง เช่น GC เพื่อวิเคราะห์หาค่าร้อยละความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์เทียบการสารมาตรฐาน เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าการผลิตไบโอดีเซลแล้วนำส่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือขั้นสูงทันที เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองเนื่องจากค่าส่งวิเคราะห์มีราคาสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Antolin G, Tinaut FV, Briceno Y, Castano V, Perez C, Ramirez AI. Optimization of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology*. 2002;83(2):111-4.
- [2] Bournay L, Casanave D, Delfort B, Hillion G, Chodorge JA. New heterogeneous process for biodiesel production: A way to improve the quality and the value of the crude. *Catalysis Today*. 2005;106(1-4):190-2.
- [3] Van GJ. Biodiesel processing and production. *Fuel Processing Technology*. 2005;86: 1097-1107.
- [4] คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร. พลังงานทดแทนเอทานอลและไบโอดีเซล. กรุงเทพฯ: แปลนพรีนติ้ง; 2545.
- [5] เมกกะฟิล. แสงยูวีคืออะไร. [อินเทอร์เน็ต]. นนทบุรี: เมกกะฟิล; 2563. [สืบค้นเมื่อ 9 เม.ย. 2563]. จาก: <http://www.megafil.co.th/index.php?lay=show&ac=article&id=539644324&Ntype=15>

-
- [6] การอ่านแผ่น TLC ภายใต้แสง UV. [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: ; 2560. [สืบค้นเมื่อ 10 เม.ย. 2563]. จาก: <https://elife-news.blogspot.com/2017/11/tlc-uv.html>
- [7] กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารกองทัพเรือเอกสารวิจัย. โครงการวิจัยและพัฒนาเรื่องเครื่องต้นแบบตรวจติดตามความบริสุทธิ์ของการผลิตไบโอดีเซล. กรุงเทพฯ: กรม; 2555.
- [8] ธิติมา รุกขไชยศิริกุล. ปฏิบัติการอินทรีย์เคมี 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง; 2529.

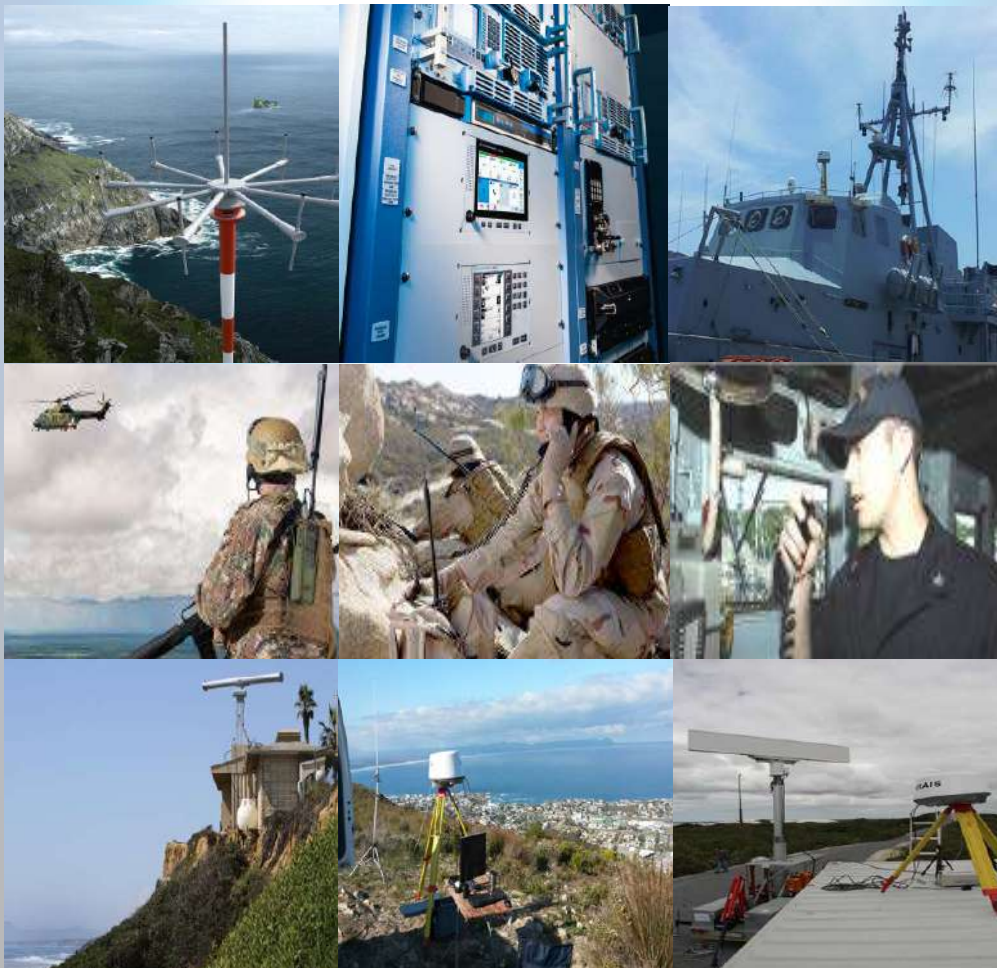
คำขอบคุณ



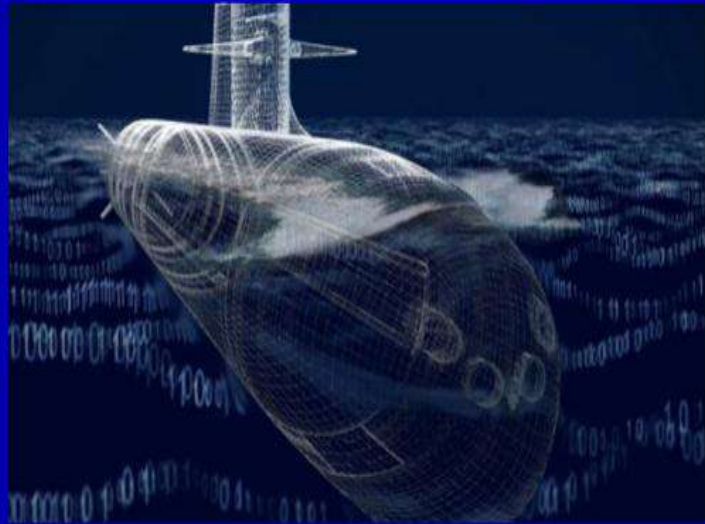
43 ซอยวังเดิม 3 ถนนวังเดิม แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร 10600 โทร.0-2891-2628,0-2891-1410 โทรสาร.0-2891-2021
43 Soi.Vongdorm 3 Vongdorm road,A.Bangkokyai Bangkok 10600 Tel. 662-891-2628,662-891-1410 Fax.662-891-2021

We are expert in military radio communication system and security system

- RF Communication VHF/HF/UHF.
- Radio Direction Finding.
- ICS (Integrated communication system).
- Secure Voice and Data System for RF.
- Secure Mobile Phone and Network System.
- Air and Surveillance Radar.



คำขอบคุณ



“นำสิ่งที่ดีสู่กองทัพไทย ด้วยระบบและเทคโนโลยีที่ทันสมัย ระดับโลก”

ด้วยความปรารถนาดี

บริษัท ส.พร้อมไพบูลย์แอสโซซิเอท (2528) จำกัด

534 อาคารพร้อมไพบูลย์ ถนนรัชดาภิเษก 26 ห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310

โทร.02-5415115-9 แฟกซ์ 02-5415121

E-mail : email@prompaiboon.com



คำขอบคุณ

THALES

www.thalesgroup.com/ns50



NS50

Short to medium range
AESA air & surface surveillance radar



NS50 features:

- Simultaneous air and surface target detection and tracking
- Fire control
- IFF data handling (IFF plot-track data correlation)
- Jammer detection and tracking
- Provision of surveillance video
- High availability and graceful degradation
- Maintenance support

VIRIYAKIT

Tel: 02 670 0894

E-Mail: contact@viriyakit.com

คำขอบคุณ



SINGHA
COMMUNICATION

**TELECOMMUNICATION
COMES ABOVE AND BEYOND**

โทรคมนาคมที่ก้าวล้ำ นำสู่ยุคสมัยแห่งนวัตกรรมด้านการสื่อสาร

BRIDGING THE GAPS

เชื่อมต่อทุกเส้นทางสู่ความสมบูรณ์แบบแห่งการสื่อสาร

THE EFFICIENCY OF MANAGEMENT

หัวใจของการบริหารที่ดีเพื่อคุณภาพของการบริการ

OUR PARTNERS

CERTES NETWORKS

CERAGON

SILVUS TECHNOLOGIES

DELL EMC

RADWIN

AXIS COMMUNICATIONS

NUTANIX

AVIGILON
by Avigilon Systems Company

ERICSSON | **LG**

milestone

NOKIA

SAMSUNG

ECI NETWORKS

RAD

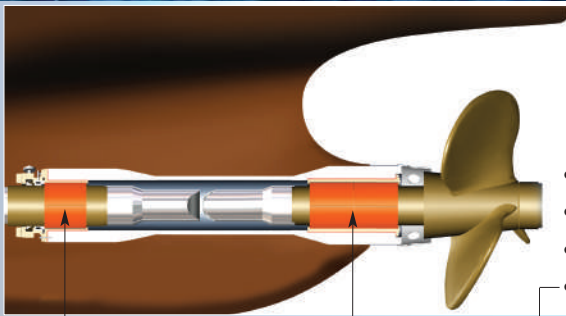
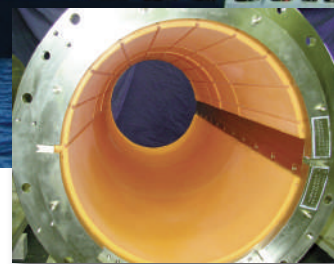
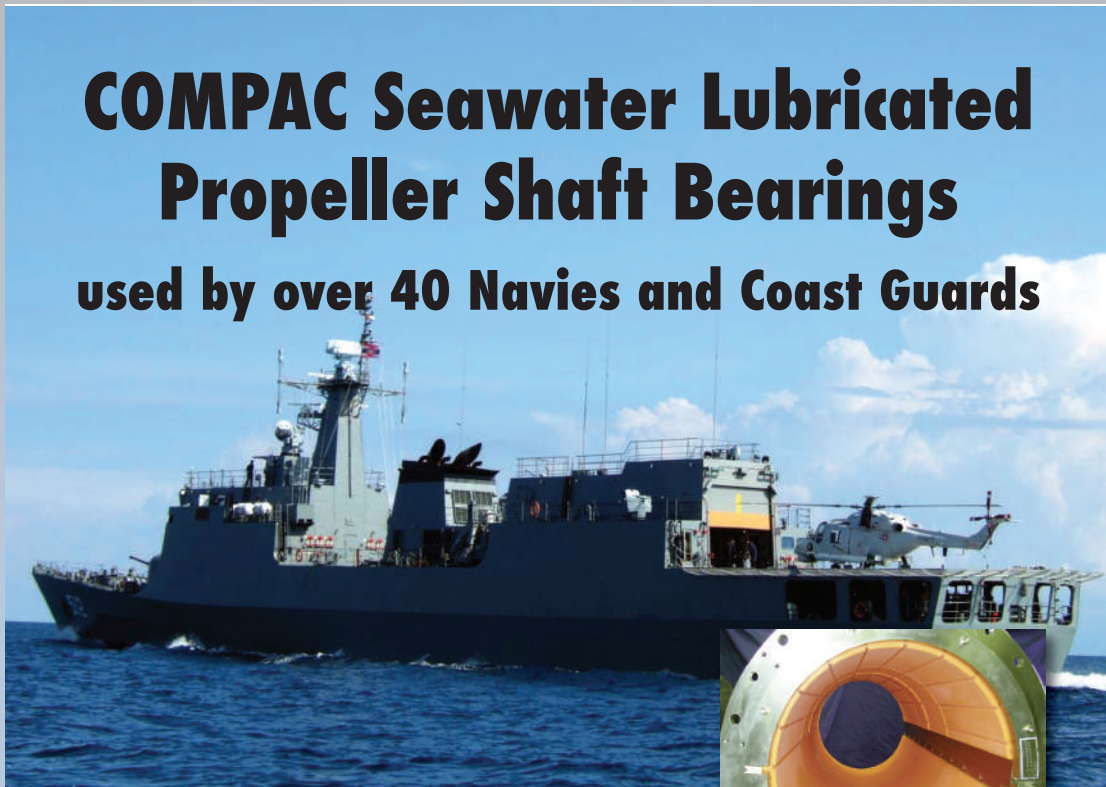
Kumwell

SINGHA COMMUNICATION CO.,LTD.
99/4 Moo.4 MAHASAWAT BANGKRUAI NONTRABURI 11130
Telephone +66 (0) 2489 4988 Fax +66 (0) 2489 4987
E-mail singha@singhacomm.com www.singhacomm.com

คำขอบคุณ

COMPAC Seawater Lubricated Propeller Shaft Bearings

used by over 40 Navies and Coast Guards



- Proven Performance
- No Catastrophic Failure
- Low Accoustic Signature
- COMPAC Seawater Lubricated Propeller Shaft Bearing System

With over 35 years of bearing experience using the proven principles of seawater lubrication, Thordon's propeller shaft bearing systems are simple, reliable and oil-free for newbuilds and conversions

THORDON
THORDON BEARINGS INC.
www.ThordonBearings.com



บริษัท เสรีสรรพกิจ จำกัด

305/15,17 ถนนพิชัย แขวงถนนนครไชยศรี

เขตคูสิต กรุงเทพฯ 10300

โทรศัพท์ 02-241-5269, 02-241-5305


โทรสาร 02-243-2362

อีเมล : seri_ent@truemail.co.th

คำขอบคุณ



Our Solutions

				
2-way radio	Security/Video Analytic	PBX/PA/Conference	Railway Signaling	Application software
<ul style="list-style-type: none">· Radio over IP (ROIP)· IDAS Digital radio· TETRA Digital radio	<ul style="list-style-type: none">· CCTV· Face recognition Analyze & Alert ITS	<ul style="list-style-type: none">· IPBX system· Public Address· Voice Recorder· Mobile Video Conference	<ul style="list-style-type: none">· Signaling installation· Local content supply· Locomotive Air Conditioner	<ul style="list-style-type: none">· TouchEnTalk· Thai Speech to Text· Radio Location Display

Address
4/26 Klonglumcheik Rd., Nuanchan,
Buengkum, Bangkok Thailand 10230
Tel : 02-5091983-84
www.Intelligent.co.th



ปณิธาน โรงเรียนนายเรือ

“ให้การศึกษาและฝึกอบรมนักเรียนนายเรือ
เพื่อให้เป็นนายทหารสัญญาบัตรที่มีความรู้ความสามารถ
ความคิดริเริ่ม มีความเป็นผู้นำ เพียบพร้อมด้วยคุณธรรม
จริยธรรม สำหรับปฏิบัติราชการในกองทัพเรือ
รวมทั้งมีความจงรักภักดีต่อชาติ ศาสนา
และพระมหากษัตริย์ ”

