การศึกษาแหล่งทำประมงปลาทูในอ่าวไทย และความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งทำประมงกับปัจจัยทางสมุทรศาสตร์จากข้อมูลระบบติดตามเรือโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

The Investigation of Mackerel (*Rastrelliger spp.*) Fishing Grounds in the Gulf of Thailand and the Relationship between Fishing Grounds with Oceanographic Parameters Based on Data from Vessel Monitoring System (VMS) Using Geo-Informatics Technology

สุภัทรา เทพรส[1], อนุกูล บูรณประทีปรัตน์[1*] และ ดุษฎี หลีนวรัตน์[2]

Supattra Tepparos[1], Anukul Buranapratheprat[1*] and Dudsadee Leenawarat[2]

[1] *ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*

[1] *Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University*

[2] *Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Japan*

Received : 24 November 2021

Revised : 26 December 2021

Accepted : 7 January 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาแหล่งทำประมงปลาทูในอ่าวไทยโดยใช้ข้อมูลจากระบบติดตามเรือและสมุดบันทึกการทำการประมงจากเรือประมงพาณิชย์อวนล้อมจับที่ออกทำการประมงพื้นที่อ่าวไทยในปี 2562 และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งทำประมงปลาทูกับคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS-Aqua โดยใช้แบบจำลอง Generalized Additive Model (GAM) ผลการศึกษาพบว่าแหล่งทำประมงปลาทูเปลี่ยนแปลงไปตามลมมรสุม ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) แหล่งทำประมงจะอยู่ในบริเวณตั้งแต่จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร และประจวบคีรีขันธ์จนถึงบริเวณอ่าวไทยตอนบน ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) แหล่งทำประมงจะอยู่ในบริเวณอ่าวไทยตอนบน เรื่อยลงไปยังจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี ในช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) พบการทำประมงมากบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง GAM พบว่าคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับการทำประมงปลาทู ($p < 0.001$) ในช่วงคลอโรฟิลล์-เอที่ 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 29.5-31.0 องศาเซลเซียส และพบว่าพื้นที่ทำการประมงในช่วงเวลาต่างๆ มีความสอดคล้องกับลักษณะการไหลเวียนกระแสน้ำตามฤดูกาลในอ่าวไทย

คำสำคัญ : แหล่งทำประมงปลาทู ; อ่าวไทย ; ภูมิสารสนเทศ ; การสำรวจระยะไกล ; Generalized Additive Model (GAM)

Abstract

The objectives of this study were to investigate mackerel (*Rastrelliger spp.*) fishing grounds in the Gulf of Thailand based on data from vessel monitoring system (VMS) and fishing logbook from surrounding net fisheries in the Gulf of Thailand in 2019. The relationships between mackerel fishing grounds with satellite data of chlorophyll-a (Chl-a) and sea surface temperature (SST) from MODIS-Aqua Sensor were investigated using the Generalized Additive Model (GAM). The results showed that mackerel fishing grounds change according to the monsoons. In the southwest monsoon (rains), fishing grounds were located from Surat Thani, Chumphon and Prachuap Khiri Khan provinces to the upper Gulf of Thailand. In the northeast monsoon (winter), fishing grounds were found the move from the upper Gulf of Thailand to Prachuap Khiri Khan, Chumphon and Surat Thani provinces. During inter-monsoon (summer), most fishing grounds were in Prachuap Khiri Khan Province. Fishing grounds were significantly related ($p < 0.001$) to Chl-a ranging between 0.2 – 0.5 milligram per cubic meter and SST between 29.5 - 31.5 degree Celsius. Temporal variations in fishing areas were in line with seasonal circulations in the Gulf of Thailand.

Keywords : mackerel fishing grounds, Gulf of Thailand, geoinformatics, remote sensing, Generalized Additive Model (GAM)

***Corresponding author. E-mail** : anukul@go.buu.ac.th

บทนำ

การประมงทางทะเลของประเทศไทยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจเป็นอย่างมากทั้งในระดับประเทศและระดับโลก ไทยเป็นประเทศที่มีผลผลิตจากการประมงอยู่อันดับที่สิบห้าของโลก (FAO, 2020) ผลผลิตรวมในปี 2561 ของการประมงปลาผิวน้ำอยู่ที่ 38.62% ของผลผลิตประมงโดยรวม และกว่า 75.44% มาจากอ่าวไทย (Department of Fisheries, 2018) ปลาทูอินโด - แปซิฟิก (*Rastrelliger brachysoma)* เป็นปลาผิวน้ำที่มีความสำคัญมากที่สุดชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าและมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นิยมนำมาบริโภคภายในประเทศ อีกทั้งยังเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศ มีการส่งออกสร้างรายได้ให้กับประเทศปีละหลายล้านบาท จากสถิติกรมประมง ปี 2554 ประเทศไทยจับปลาทูได้มากกว่า 140,000 ตัน แต่ล่าสุดในปี 2561 ปริมาณการจับลดลงเหลือเพียง 17,000 ตัน หรือลดลงเกือบ 10 เท่าในระยะเวลาไม่ถึง 10 ปี (Department of Fisheries, 2018)

การศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อความเหมาะสมของที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ มีความสำคัญต่อความยั่งยืนของการประมง ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีส่วนสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในทะเลโดยเฉพาะปลาทะเลขนาดเล็ก เนื่องจากปลามีการว่ายน้ำตลอดเวลาส่งผลให้ปลามีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทางกายภาพได้ทันที การกระจายตัวของปลาทะเลขนาดเล็กสามารถคาดการณ์ได้จากตัวชี้วัดทางกายภาพและทางชีววิทยาของสภาพแวดล้อมผิวน้ำทะเล อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล (SST) และคลอโรฟิลล์-เอ (Chl-a) เป็นปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ที่สำคัญที่สุด มักใช้เพื่อทำนายแหล่งทำการประมงที่อาจเกิดขึ้น (Solanki et al., 2005) คลอโรฟิลล์-เอเป็นดัชนีชีวมวลของแพลงก์ตอนพืช เป็นตัวบ่งชี้ถึงแหล่งอาหาร (Solanlki et al., 2001) อุณหภูมิพื้นผิวทะเลเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช และเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพโดยรวมในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (Solanki et al., 2008) เนื่องจากปลาเป็นสัตว์เลือดเย็นอุณหภูมิของน้ำจะส่งผลต่อสรีรวิทยา กระบวนการเมตาบอลิซึม อีกทั้งยังเป็นตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัว และความอุดมสมบูรณ์ของสัตว์น้ำ (Pitchaikani & Lipton, 2012)

การวิเคราะห์ปัจจัยทางสมุทรศาสตร์กับข้อมูลการทำประมง โดยแบบจำลองทางสถิติสามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสมุทรศาสตร์กับแหล่งทำประมง ช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างทรัพยากรการประมงกับปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ (Zagaglia et al., 2004) นำมาใช้ในการทำนายแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ การประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลสำหรับการวิจัยการประมง การระบุพื้นที่การจัดการทางทะเล และการอธิบายการเปลี่ยนแปลงแหล่งที่อยู่อาศัยสัตว์น้ำ ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการจัดการและควบคุมการแสวงหาผลประโยชน์จากทรัพยากรทางทะเล (Santos, 2000) การสำรวจระยะไกลได้รับความสำคัญเพิ่มขึ้นในการศึกษาทางทะเลแทนวิธีการศึกษาจากการสุ่มตัวอย่างจากมหาสมุทรโดยใช้เรือวิจัย ซึ่งถูกจำกัดทั้งในด้านเวลาและความครอบคลุมของพื้นที่ ทำให้ยากต่อการศึกษาระบบนิเวศทั้งหมด ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลสามารถช่วยประเมินแหล่งทำการประมงที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำ รวดเร็วและครอบคลุมพื้นที่กว้างมากขึ้น เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับมหาสมุทร ช่วยให้เข้าใจคุณลักษณะของระบบนิเวศและเข้าใจการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความผันแปรของสิ่งแวดล้อมในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งอาจส่งผลต่อการทดแทนประชากร การอยู่รอด รูปแบบการกระจายและการย้ายถิ่นของปลา (Chassot *et al.,* 2011) อีกทั้งได้มีการนำระบบติดตามเรือ (Vessel Monitoring System: VMS) นำมาใช้ในการตรวจสอบกิจกรรมการทำประมงเชิงพื้นที่ด้วย

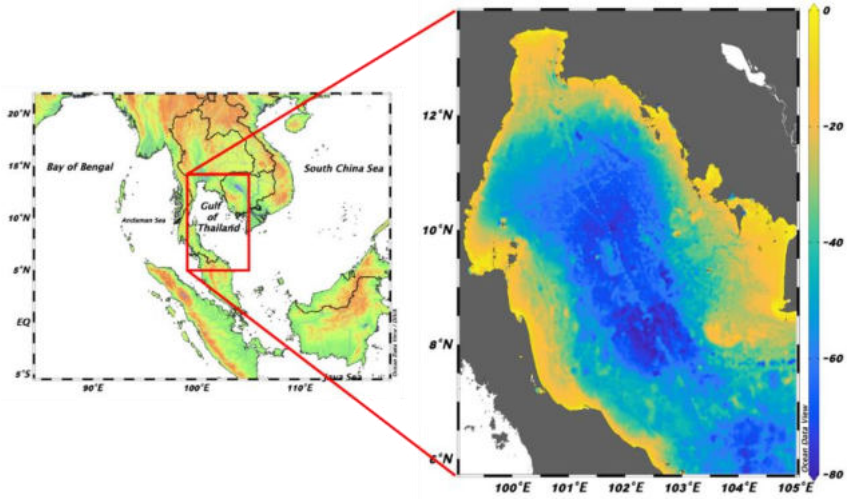
ความละเอียดเชิงเวลาที่สูงขึ้น สามารถส่งข้อมูลจากเรือประมงไปยังหน่วยงานตรวจสอบได้แบบเรียลไทม์ ข้อมูลการลงแรงทำประมงและปริมาณการจับสัตว์น้ำเป็นแหล่งข้อมูลหลักที่เกี่ยวข้องกับสถานะของการประมง (FAO, 1998)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสถานภาพของทรัพยากรปลาทูในบริเวณอ่าวไทย จากข้อมูลปลาทูโตเต็มวัยที่จับได้จากเรือประมงพาณิชย์ เป็นตัวแทนของประชากรปลาทูในอ่าวไทย ทำการศึกษาแหล่งทำประมงของปลาทู โดยใช้ข้อมูลพิกัดเส้นทางการเดินเรือจากระบบติดตามเรือ (VMS) ซึ่งกรมประมงได้มีประกาศให้เรือประมงพาณิชย์ที่มีขนาดตั้งแต่ 30 ตันกรอสขึ้นไปติดตั้งบนเรือประมง นำข้อมูลพิกัดทำประมงมาบูรณาการเข้ากับข้อมูลการจับสัตว์น้ำจากสมุดบันทึกการทำการประมง (Fishing logbook) เพื่อหาแหล่งทำประมงปลาทูและปริมาณการจับสัตว์น้ำ และนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์กับปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล ซึ่งตรวจวัดโดยข้อมูลดาวเทียม ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงแหล่งทำการประมงปลาทูในอ่าวไทย ตลอดจนปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อแหล่งทำประมงปลาทู ข้อมูลที่ได้นำไปสู่การกำหนดมาตรการเพื่อให้สามารถบริหารจัดการทรัพยากรปลาทูในอ่าวไทยให้ยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ทำการศึกษา

ทะเลอ่าวไทย (ภาพที่ 1) เป็นอ่าวกึ่งปิด ตั้งอยู่ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ของทะเลจีนใต้ มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ละติจูด 6 ถึง 14 องศาเหนือ และลองจิจูด 99 ถึง 105 องศาตะวันออก อ่าวไทยเป็นพื้นที่อยู่ระหว่างทะเลจีนใต้กับฝั่งทะเลอันดามัน ซึ่งทำให้พื้นที่อ่าวไทยเป็นแหล่งรับลมมรสุมทั้ง 2 ด้าน คือ มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) ฤดูกาลของอ่าวไทยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน (ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้) ระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ฤดูฝน (มรสุมตะวันตกเฉียงใต้) ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม และฤดูหนาว (มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) ระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ (Meteorological Department, 2021)



ภาพที่ 1 พื้นที่ทำการศึกษา

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

2.1) ข้อมูลทุติยภูมิพิกัดเส้นทางทำประมงของเรือประมงพาณิชย์เครื่องมืออวนล้อมจับจำนวน 166 ลำ ที่ออกทำประมงในปีพ.ศ. 2562 จากระบบติดตามเรือประมง (VMS) ข้อมูลประกอบด้วยวันที่และเวลา ละติจูดลองจิจูด (อัพเดตพิกัดทุก 1 ชั่วโมง ตามประกาศกรมประมง) และความเร็ว ทิศทางในการเดินเรือของเรือประมง ข้อมูลได้รับความอนุเคราะห์จากกรมประมง โดยโหลดข้อมูลพิกัด CSV File จาก https://vms.fisheries.go.th

2.2) ข้อมูลทุติยภูมิปริมาณการจับปลาทูจาก Logbook บันทึกโดยผู้ควบคุมเรือ ข้อมูลประกอบด้วยวันที่และเวลาทำประมง พิกัดทำประมง และชนิดน้ำหนักสัตว์น้ำที่จับได้ ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมประมง

2.3) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม คลอโรฟิลล์-เอ (Chl-a) และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล (SST) ในปี 2562 ผลิตภัณฑ์ Level 2 รายวัน และLevel 3 รายวัน รายละเอียดเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) หรือขนาดพิกเซลล์เท่ากับ 1,000 และ 4,000 เมตร ตามลำดับ ตัดขอบเขตของภาพในบริเวณอ่าวไทยที่เป็นพื้นที่ศึกษา (6-14°N 99-103°E) ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจวัดโดยเซ็นเซอร์ MODIS ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Aqua จากเว็บไซต์ (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov)

3. การศึกษาแหล่งทำประมง และปริมาณการจับปลาทูบริเวณอ่าวไทย

นำข้อมูลพิกัดทำประมงจาก VMS มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการจับปลาทูจาก Logbook คัดแยกเฉพาะจุดที่จับได้ปลาทูเป็นสัตว์น้ำหลัก บันทึกพิกัดทำประมง และปริมาณปลาทูที่จับได้ในแต่ละครั้งลงในตารางโปรแกรม Microsoft Excel บันทึกนามสกุลไฟล์เป็น .csv จัดทำแผนที่แสดงเขตทำประมง และปริมาณการจับปลาทูบริเวณอ่าวไทยเชิงพื้นที่-เวลา โดยโปรแกรม RStudio (Version 1.4.1106) (RStudio Team, 2021)

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการจับปลาทูกับคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลในพื้นที่อ่าวไทย

นำจุดพิกัดทำการประมงปลาทูที่ออกทำการประมงในช่วงเวลาเดียวกับภาพถ่ายดาวเทียม มาสกัดข้อมูลคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลในแต่ละจุดทำการประมงจากภาพถ่ายดาวเทียม ผลิตภัณฑ์ Level 2 รายวัน โดยโปรแกรม SeaWiFS Data Analysis System (Version 7.5.3) (SeaDAS Development Group, 2019)

เนื่องจากการกระจายตัวของปลาและปัจจัยสมุทรศาสตร์มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง จากคุณลักษณะของข้อมูลนี้การวิเคราะห์ Generalized Additive Model (GAM) จึงมีความเหมาะสมในการนำมาวิเคราะห์และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของปลากับปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ ซึ่ง GAM เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพด้านการวิเคราะห์ความถดถอยแบบนอนพาราเมตริก สามารถปรับให้เข้ากับโมเดลที่ซับซ้อนมีความสัมพันธ์แบบไม่เชิงเส้น มีความยืดหยุ่นในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม (Yee & Mitchell, 1991)

นำข้อมูลน้ำหนักที่จับได้ ความเข้มข้นของ คลอโรฟิลล์-เอ และ อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล ในแต่ละจุดทำการประมง นำมาวิเคราะห์ GAM ในโปรแกรม RStudio (Version 1.4.1106) (RStudio Team ,2021) ดังสมการ (1) (Hastie & Tibshirani, 1990) :

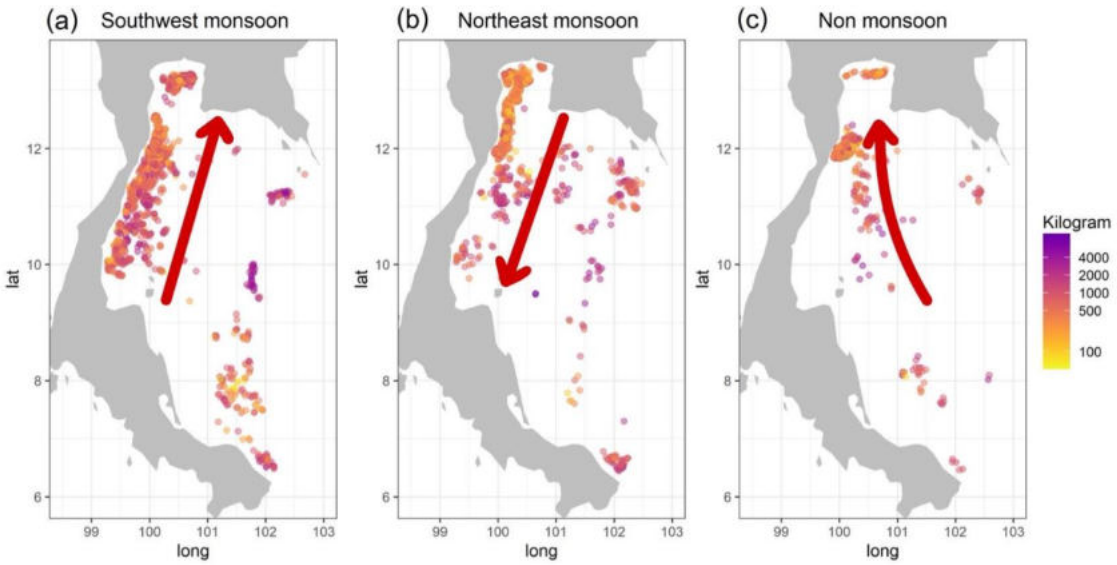
$$\log(y+1) = a + s(\text{Chl-a}) + s(\text{SST}) + e \qquad (1)$$

โดยที่ y คือน้ำหนักที่จับได้ (กิโลกรัม) a เป็นค่าคงที่ s คือฟังก์ชัน spline smoothing ของตัวแปร (Chl-a และ SST) และ e เป็นความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

ผลการวิจัย

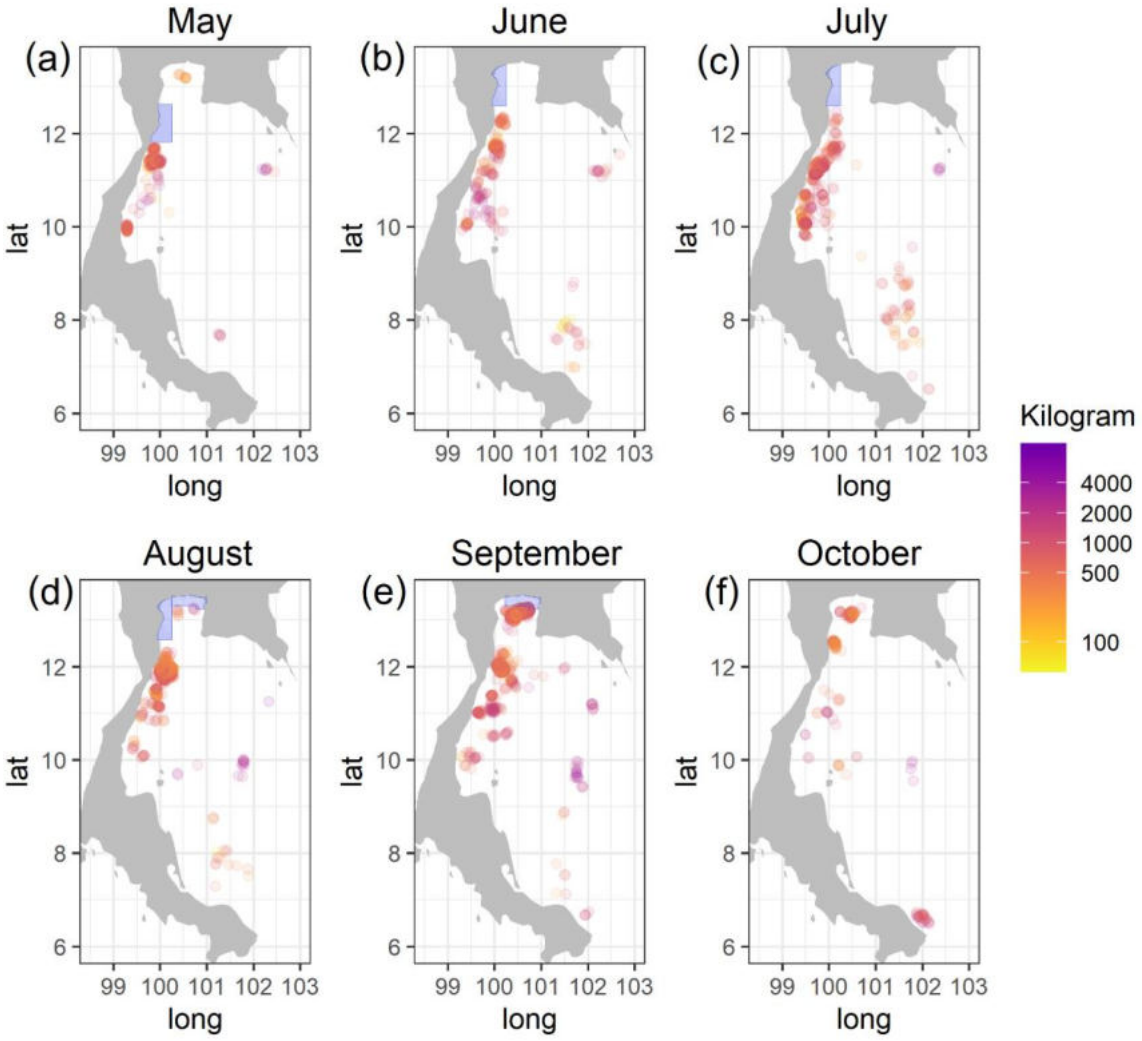
1. แหล่งทำประมง และปริมาณการจับปลาทูบริเวณอ่าวไทย

แหล่งทำประมงปลาทูมีการเปลี่ยนแปลงไปตามลมมรสุมในอ่าวไทย (ภาพที่ 2) จุดในแผนที่แสดงพิกัดแหล่งทำการประมงปลาทูจากระบบติดตามเรือ และปริมาณการจับปลาทูจากสมุดบันทึกการทำการประมง



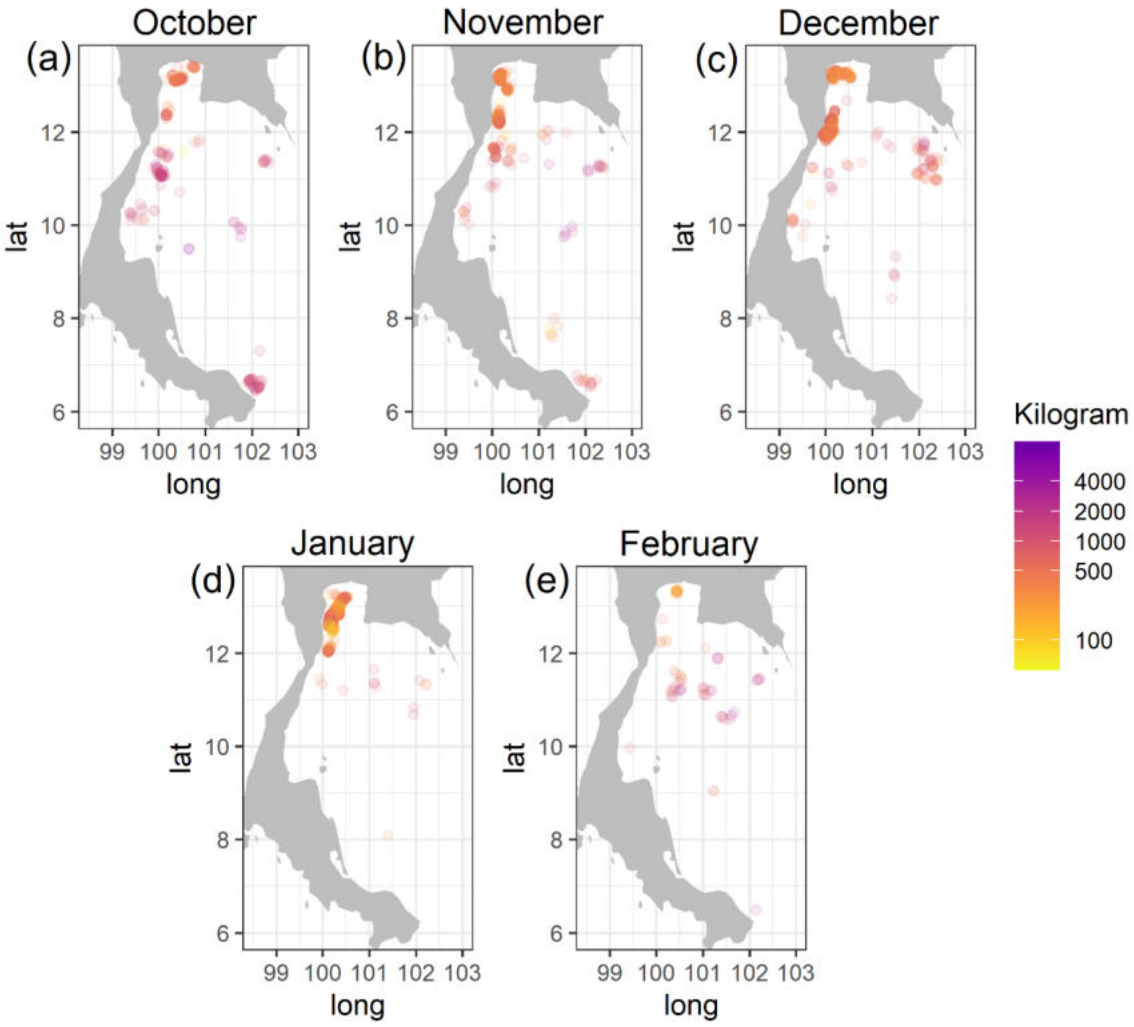
ภาพที่ 2 แหล่งทำประมงปลาทูในอ่าวไทยตามฤดูลมมรสุม (a) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) (b) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) (c) ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) ลูกศรสีแดงแสดงทิศทางลมมรสุม

1) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม แหล่งทำการประมงปลาทูในฤดูมรสุมนี้พบการทำประมงมากในระหว่างละติจูดที่ 10-13 องศาเหนือ โดยตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม (ภาพที่ 3(a)) แหล่งทำการประมงปลาทูเคลื่อนที่จากละติจูดที่ 10 องศาเหนือ ขึ้นไปทางเหนือผ่านจังหวัดประจวบคีรีขันธ์และจังหวัดเพชรบุรี เข้าสู่อ่าวไทยตอนใน ละติจูดที่ 13 องศาเหนือ ในช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม (ภาพที่ 3 (d-f))



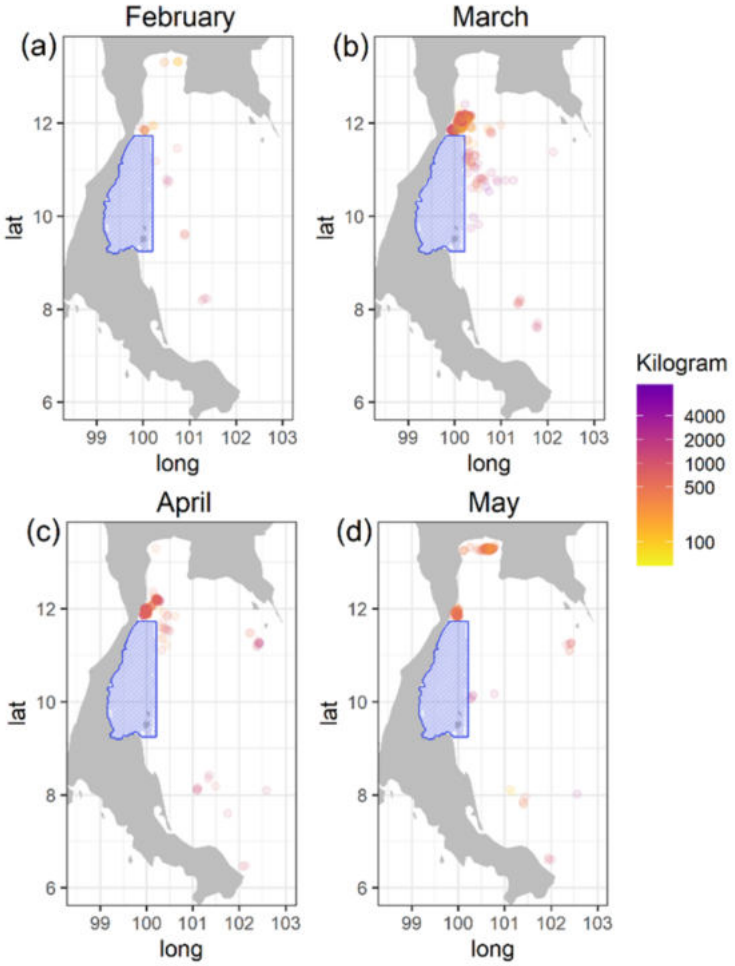
ภาพที่ 3 แหล่งทำประมงปลาทูในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูฝน) (a) กลางเดือนพฤษภาคม (b) เดือนมิถุนายน (c) เดือนกรกฎาคม (d) เดือนสิงหาคม (e) เดือนกันยายน (f) กลางเดือนตุลาคม กรอบสีน้ำเงินแสดงพื้นที่ปิดอ่าว

2) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ แหล่งทำการประมงปลาทูในฤดูมรสุมนี้พบการทำประมงมากในระหว่างละติจูดที่ 11-13 องศาเหนือ แต่พบน้อยกว่าช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยตั้งแต่กลางเดือนตุลาคม (ภาพที่ 4(a)) พบการเคลื่อนที่จากอ่าวไทยตอนบนด้านตะวันออกมาทางด้านตะวันตกของอ่าว (ภาพที่ 4(b)) และเคลื่อนที่ลงใต้จากพื้นที่อ่าวไทยตอนบนลงไปยังกลางอ่าว โดยพบมากบริเวณหน้าจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ตุลาคม-ธันวาคม) ในเดือนมกราคม แหล่งทำประมงปลาทูกระจุกตัวมากบริเวณอ่าวไทยตอนบนด้านตะวันตก และพบการกระจายไปยังกลางอ่าวไทยในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แหล่งทำประมงปลาทูในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ฤดูหนาว) (a) กลางเดือนตุลาคม (b) เดือนพฤศจิกายน (c) เดือนธันวาคม (d) เดือนมกราคม (e) กลางเดือนกุมภาพันธ์

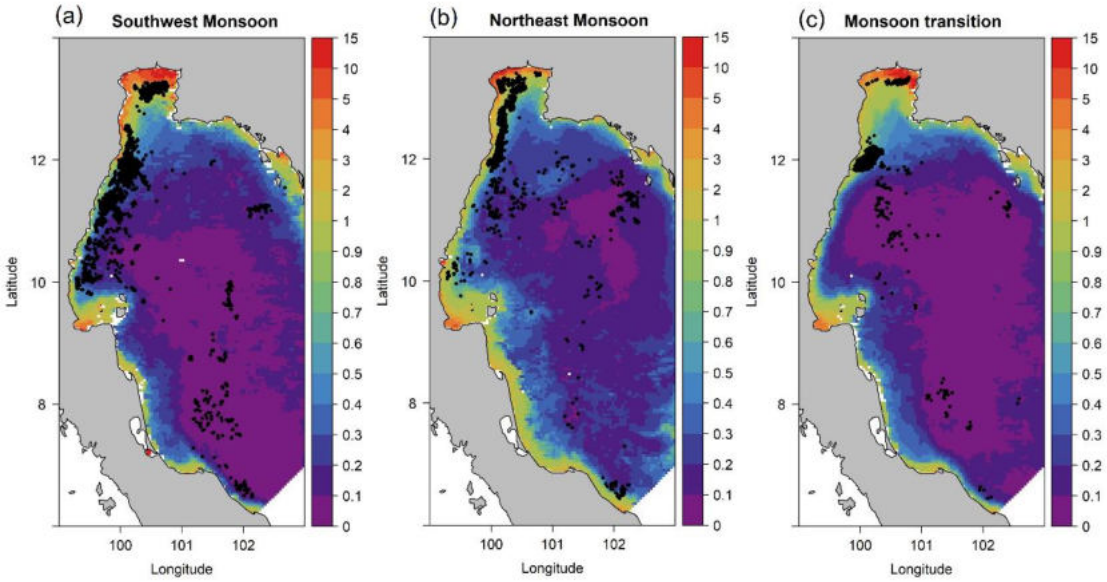
3) ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม พบการทำประมงมากบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ละติจูดที่ 12 องศาเหนือ) (ภาพที่ 5)



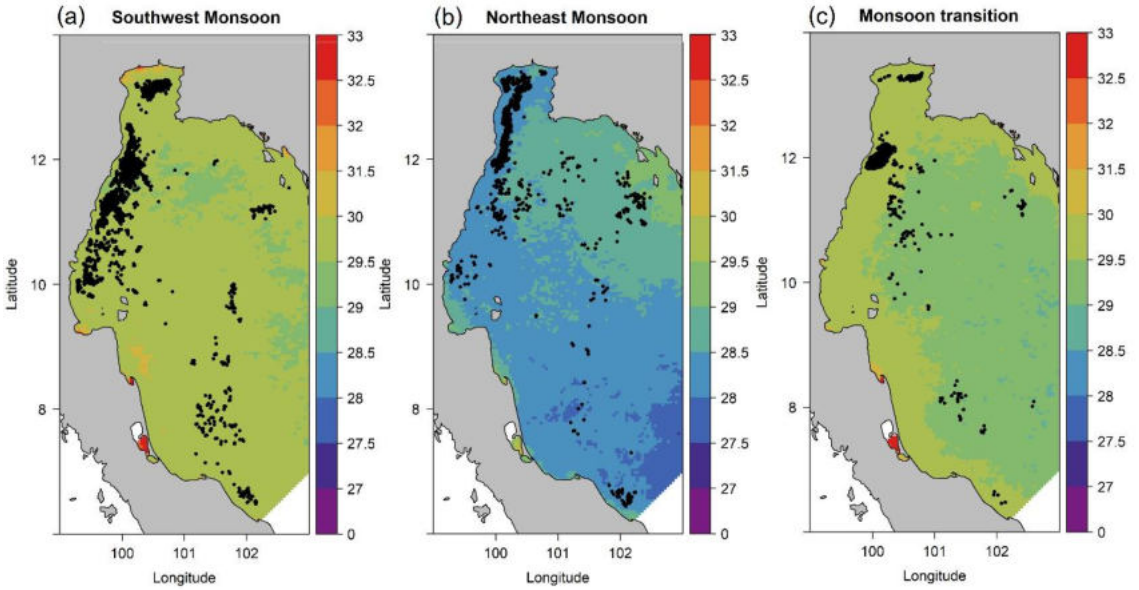
ภาพที่ 5 แหล่งทำประมงปลาทูในช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (ฤดูร้อน) (a) กลางเดือนกุมภาพันธ์ (b) เดือนมีนาคม (c) เดือนเมษายน (d) กลางเดือนพฤษภาคม กรอบสีน้ำเงินแสดงพื้นที่ปิดอ่าว

2. ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งทำประมงปลาทูกับคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลในพื้นที่อ่าวไทย

คลอโรฟิลล์-เอในอ่าวไทย ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีค่าสูงบริเวณอ่าวไทยตอนบน และสูงมากในบริเวณใกล้ชายฝั่ง (ภาพที่ 6(a)) ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลอโรฟิลล์-เอมีค่าสูงมากบริเวณอ่าวไทยตอนบนใกล้บริเวณปากแม่น้ำฝั่งตะวันตก และพบสูงบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทย (ภาพที่ 6(b)) และในช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ พบคลอโรฟิลล์-เอสูงบริเวณอ่าวไทยตอนบนถึงบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยตอนกลางหน้าจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และสูงมากบริเวณอ่าวไทยตอนบนฝั่งตะวันออกใกล้ปากแม่น้ำ (ภาพที่ 6(c))

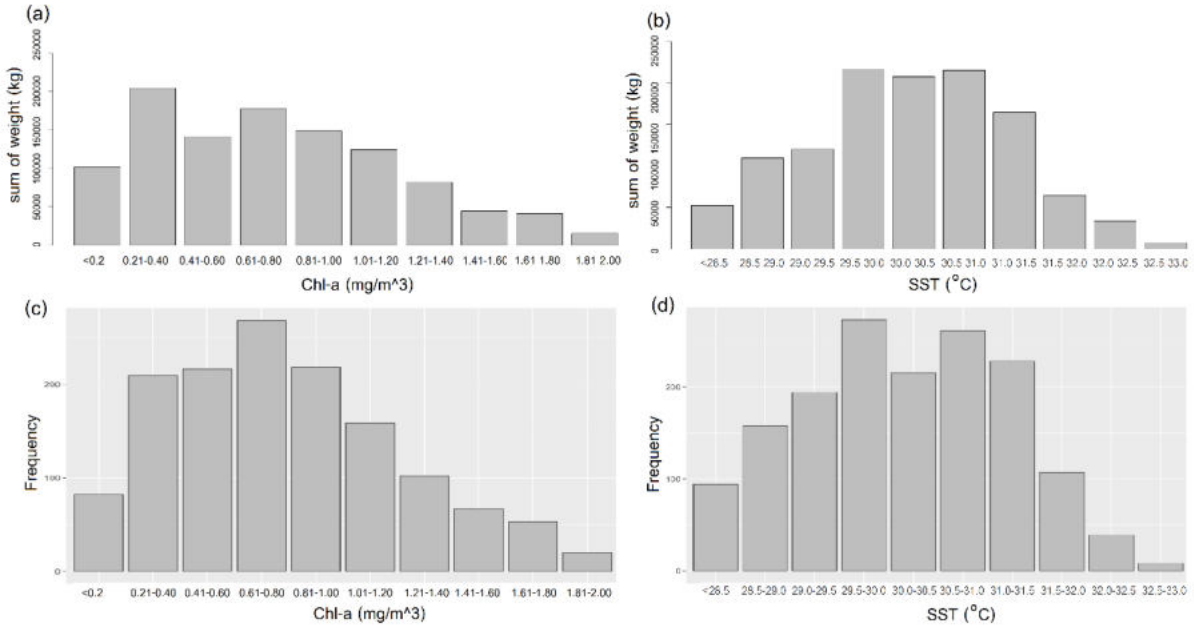


ภาพที่ 6 แหล่งทำประมงปลาทู (จุดสีดำ) ซ้อนทับกับแผนที่ค่าเฉลี่ยคลอโรฟิลล์-เอ (a) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (b) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (c) ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้



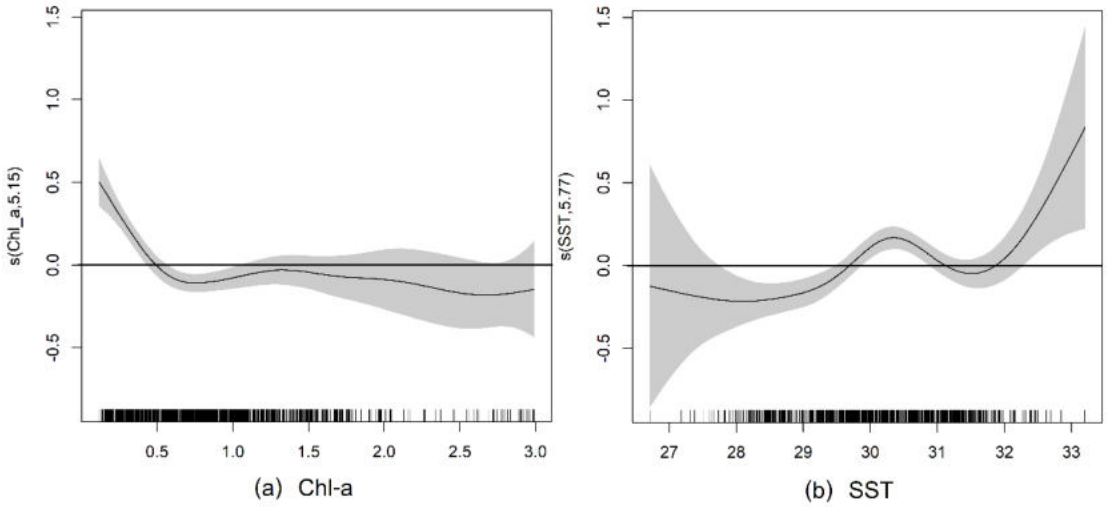
ภาพที่ 7 แหล่งทำประมงปลาทู (จุดสีดำ) ซ้อนทับกับแผนที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล ในฤดู (a) มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (b) มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (c) ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้

อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลในอ่าวไทย ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าต่ำกว่าในทุกฤดู (ภาพที่ 7(b)) อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลตามแนวชายฝั่งทั่วทั้งอ่าวไทยพบค่าสูงกว่าในบริเวณอื่นในทุกฤดูกาล ความถี่ที่พบปลาทูมากที่สุด พบในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอที่ 0.6-0.8 มก./ลบ.ม. (ภาพที่ 8(c)) และ อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 30.5-31.0 °C (ภาพที่ 8(d)) ซึ่งพบว่าปริมาณการจับปลาทูสูงสุดพบในพื้นที่ที่มีความเข้มข้น คลอโรฟิลล์-เอที่ 0.2-0.4 มก./ลบ.ม. (ภาพที่ 8(a)) และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 29.5-31.0 °C (ภาพที่ 6(b))



ภาพที่ 8 กราฟผลรวมของปริมาณปลาทูที่จับได้ (กิโลกรัม) ในแต่ละช่วง (a) ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ และ (b) อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล และกราฟความถี่ที่พบปลาทูในแต่ละช่วง (c) ความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ และ (d) อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล

จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง GAM พบว่าคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลมีความสัมพันธ์กับแหล่งทำประมงปลาทู ($p < 0.001$) จากเส้นแสดงอิทธิพลของตัวแปรทำนาย (ภาพที่ 9) พบช่วงกราฟที่มีผลบวกต่อการกระจายของปลาทู (ค่ามากกว่า 0 ในแกน y) ในช่วงคลอโรฟิลล์-เอที่ 0.2-0.5 มก./ลบ.ม. และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 29.5-31.0 °C ผลลัพธ์สอดคล้องกับกราฟของผลรวมของปริมาณปลาทูที่จับได้และความถี่ที่พบปลาทูที่แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 9 อิทธิพลของตัวแปรทำนาย (a) คลอโรฟิลล์-เอ และ (b) อุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเล จากการวิเคราะห์ GAM แกน x แสดงจุดข้อมูลความถี่ของการจับปลาทูที่พบ และเส้นแรเงาระบุช่วงความเชื่อมั่น 95%

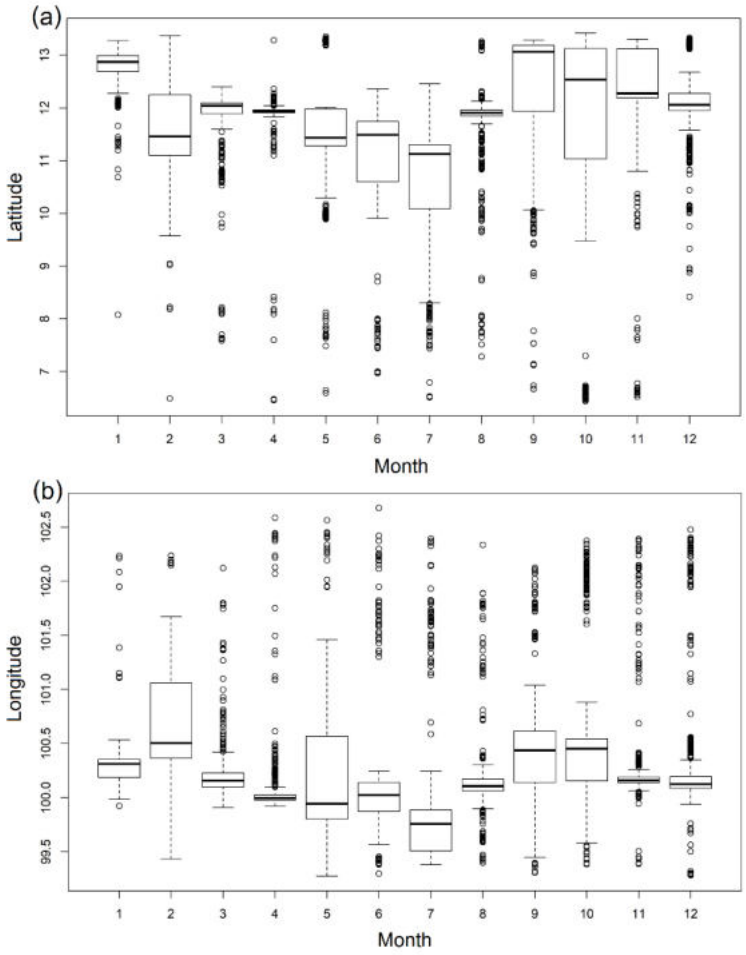
วิจารณ์ผลการวิจัย

การศึกษาแหล่งทำประมงปลาทู ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำที่สอดคล้องกับทิศทางของลมมรสุม

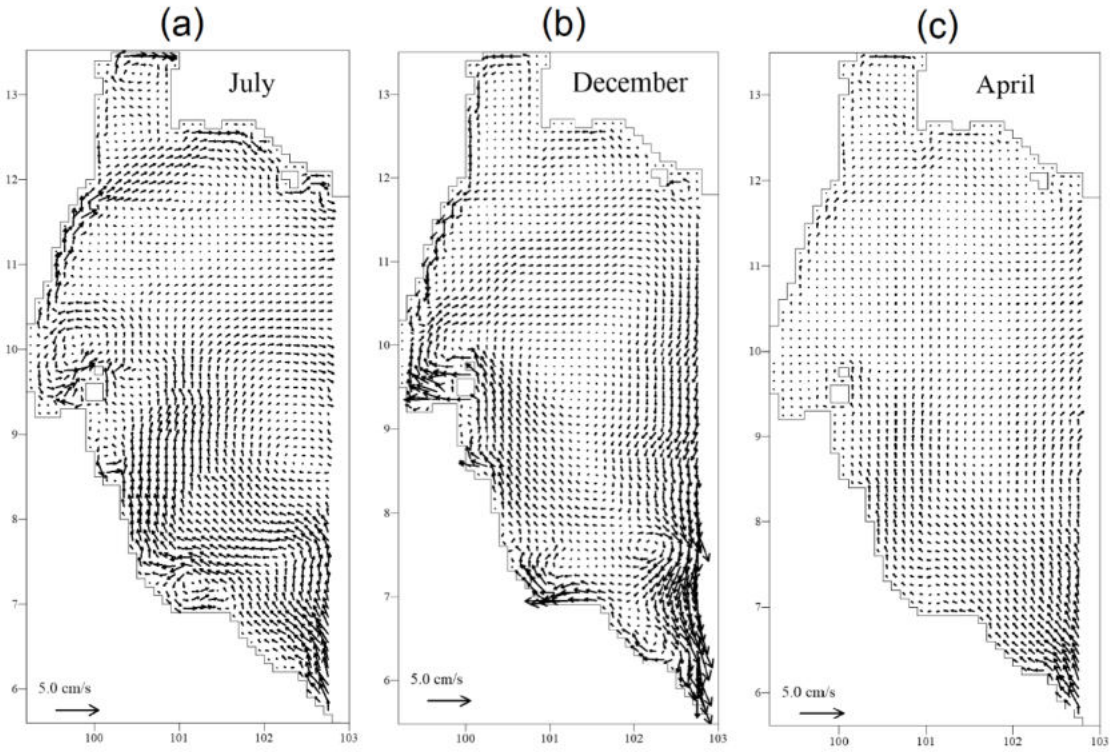
ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แหล่งทำประมงปลาทูพบการกระจายตั้งแต่บริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยถึงอ่าวไทยตอนบน การกระจายตามแนวบน-ล่าง พบการเคลื่อนที่ขึ้นเหนือจากบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตก (ค่าเฉลี่ยละติจูดที่ 11 องศาเหนือ) เข้าสู่อ่าวไทยตอนบน (ค่าเฉลี่ยละติจูดที่ 13 องศาเหนือ) และบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง (ละติจูดที่ 6-8 องศาเหนือ) (ภาพที่ 10(a)) การกระจายตามแนวซ้าย-ขวา พบการกระจายสูงในช่วงค่าเฉลี่ยลองจิจูดที่ 100.0-100.5 องศาตะวันออก และพบประปรายในช่วงค่าเฉลี่ยลองจิจูดที่ 101-102.5 องศาตะวันออก (ภาพที่ 10(b)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากรูปแบบลมและกระแสน้ำที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้ โดยในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้กระแสน้ำมีทิศทางการไหลเข้าทางด้านใต้ ไหลเลียบขึ้นไปตามแนวชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าว และไหลเบนทางขวาออกด้านตะวันออกของอ่าว ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนกระแสน้ำมีลักษณะการไหลเบนไปทางขวาจากฝั่งตะวันตกไปยังตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน ในรูปแบบตามเข็มนาฬิกา (ภาพที่ 11(a)) (Buranapratheprat & Bunpapong, 1998) จากรูปแบบการไหลของกระแสน้ำนี้ ทำให้ฤดูนี้พบแหล่งทำประมงมากบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตก และพบการเคลื่อนที่ขึ้นเหนือเข้าสู่บริเวณอ่าวไทยตอนบน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อกระแสน้ำไหลเข้าสู่กลางอ่าว บางส่วนได้มีการไหลแยกไปทางทิศตะวันออก ไหลออกทางด้านตะวันออกของอ่าวไทย และพบกระแสน้ำไหลวนทวนเข็มนาฬิกาในบริเวณเหนือเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดปัตตานี และบริเวณตอนล่างของอ่าวไทยตอนบน ซึ่งทำให้พบแหล่งทำประมงปลาทูตามจุดดังกล่าวด้วย

ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แหล่งทำประมงปลาทูพบการกระจายตั้งแต่อ่าวไทยตอนบนถึงบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย การกระจายตามแนวบน-ล่าง พบการเคลื่อนที่ลงใต้จากบริเวณอ่าวไทยตอนบน (ค่าเฉลี่ยละติจูดที่ 13 องศาเหนือ) ลงสู่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก (ค่าเฉลี่ยละติจูดที่ 12 องศาเหนือ) (ภาพที่ 10(a)) การกระจายตามแนวซ้าย-ขวา พบการกระจายสูงในช่วงค่าเฉลี่ยลองจิจูดที่ 100.0-100.5 องศาตะวันออก และพบประปรายในช่วงค่าเฉลี่ยลองจิจูดที่ 101-102.5 องศาตะวันออก (ภาพที่ 10(b)) เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากรูปแบบลมและกระแสน้ำที่มีรูปแบบการไหลเข้าทางด้านใต้ และไหลเบนไปทางขวาออกทางด้านตะวันออกของอ่าวไทย ในบริเวณอ่าวไทยตอนบนมีลักษณะการไหลเบนไปทางซ้ายจากฝั่งตะวันออกไหลออกไปยังตะวันตกของอ่าว และไหลลงไปตามแนวชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทย (ภาพที่ 11(b)) (Buranapratheprat & Bunpapong, 1998)

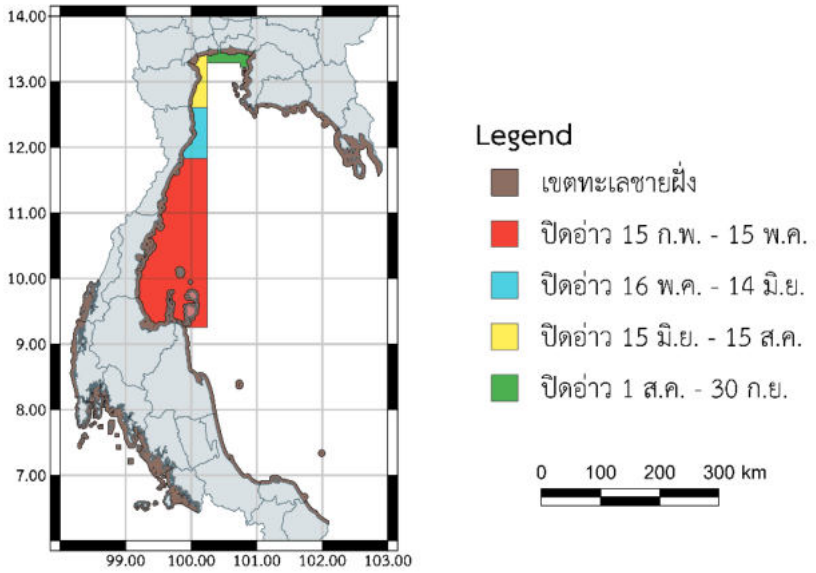
ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ กระแสน้ำไหลเข้าทางตอนใต้ของอ่าวไทย และมีรูปแบบการไหลที่ไม่ชัดเจนเท่ากับในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ กระแสน้ำบริเวณกลางอ่าวไทยมีทิศทางการไหลวนออกไปทางตะวันออกของอ่าวเห็นได้ชัดในเดือนมีนาคม และในบริเวณอ่าวไทยตอนบนกระแสน้ำมีรูปแบบการไหลที่ไม่แน่นอนเช่นกัน เนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุม (ภาพที่ 11(c)) (Buranapratheprat & Bunpapong, 1998) แหล่งทำประมงปลาทูในฤดูมรสุมนี้พบการทำประมงมากบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (ละติจูดที่ 11-12 องศาเหนือ) (ภาพที่ 10(a)) สาเหตุที่พบแหล่งทำประมงสูงถึงแค่บริเวณ ละติจูดที่ 12 องศาเหนือ อาจเป็นเพราะมีมาตรการปิดอ่าวในช่วงระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 15 กุมภาพันธ์ ถึง 15 พฤษภาคม ในเขตท้องที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี (ภาพที่ 12) ทำให้เรือประมงไม่สามารถเข้าไปทำประมงในเขตปิดอ่าวได้



ภาพที่ 10 Boxplots ของค่าเฉลี่ยรายเดือน (a) ละติจูดแหล่งทำประมงปลาทู และ (b) ลองจิจูดแหล่งทำประมงปลาทู



ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ยรายเดือนรูปแบบการไหลของกระแสน้ำในอ่าวไทย (a) ฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กรกฎาคม) (b) ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (ธันวาคม) และ (c) ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ (เมษายน) (Buranaprathepprat & Bunpapong, 1998)



ภาพที่ 12 พื้นที่และระยะเวลาการปิดอ่าวตามประกาศกรมประมง

แหล่งทำประมงปลาทูในช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พบสูงบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย อาจเป็นเพราะในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นทิศออกจากชายฝั่งตะวันตก บริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยจึงเป็นบริเวณต้นลม ทำให้คลื่นมีขนาดเล็กกว่าในบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันออกที่เป็นบริเวณท้ายลม ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมโดยตรง ส่งผลให้พบแหล่งทำประมงมากบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทยในฤดูมรสุมนี้ เช่นเดียวกับแหล่งทำประมงปลาทูในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พบสูงบริเวณอ่าวไทยตอนบน เป็นเพราะในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลมพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นทิศออกจากชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน บริเวณอ่าวไทยตอนบนจึงเป็นบริเวณต้นลม ทำให้คลื่นมีขนาดเล็กกว่าในบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตกที่เป็นบริเวณท้ายลม (Buranaprattheprat *et al.,* 2015)

จากการศึกษาพบว่าบริเวณที่มีคลอโรฟิลล์-เอสูง ไม่ได้ส่งผลต่อการจับปลาทูที่สูงเสมอไป ผลการวิเคราะห์ GAM พบว่าคลอโรฟิลล์-เอที่ส่งผลบวกต่อการจับปลาทูอยู่ในช่วง 0.2-0.5 มก./ลบ.ม. คลอโรฟิลล์-เอที่สูงกว่า 0.5 มก./ลบ.ม.จะส่งผลลบต่อการจับปลาทู บริเวณอ่าวไทยตอนบน พบคลอโรฟิลล์-เอสูงโดยเฉพาะในบริเวณปากแม่น้ำ เนื่องจากเป็นพื้นที่รับน้ำท่าจากแม่น้ำหลัก 4 สาย แพลงก์ตอนพืชเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วจากปริมาณสารอาหารจำนวนมากจากการระบายของแม่น้ำ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงจากการย่อยสลายซากพงก์ตอนที่ตาย ส่งผลกระทบต่อการอยู่รอดของสัตว์น้ำ แม้ว่าคลอโรฟิลล์-เอจะสูงกว่าในพื้นที่อื่น แต่ไม่พบแหล่งทำประมงปลาทูในบริเวณดังกล่าว สอดคล้องกับการศึกษาของ Nurdina *et al*. (2017) พบว่าพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงในการทำประมง *Rastrelliger kanagurta* พบได้ในช่วงคลอโรฟิลล์-เอที่ 0.35 ± 0.05 มก./ลบ.ม พื้นที่ที่มีศักยภาพน้อยส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเล ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีคลอโรฟิลล์-เอสูง (มากกว่า 0.60 มก./ลบ.ม.) เนื่องจากการปล่อยน้ำจากแม่น้ำนำพาสารอาหารจากแผ่นดินลงสู่พื้นที่ชายฝั่งทะเล ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง ไม่เหมาะต่อการอยู่อาศัยของปลา

ปลาทูเป็นปลาที่มีการอพยพย้ายถิ่นเพื่อหาอาหารและสืบพันธุ์ (Department of Fisheries, 1965) ผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่า ในช่วงเดือนมีนาคม-กันยายน แหล่งทำประมงปลาทูพบมากบริเวณอ่าวไทยฝั่งตะวันตก สอดคล้องกับการศึกษาของกรมประมงที่ได้ทำการศึกษาวงจรชีวิตปลาทู พบว่าปลาทูมีการวางไข่เกือบทั้งปี แต่ช่วงเวลาวางไข่ที่สำคัญคือระหว่างเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคมของทุกปี พ่อแม่พันธุ์ปลาทูจะมีการอพยพเพื่อผสมพันธุ์วางไข่ในพื้นที่นอกชายฝั่งอ่าวไทยตะวันตกตั้งแต่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร จนถึง สุราษฎร์ธานี ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม หลังจากเจริญเติบโตในพื้นที่ช่วงระยะเวลาหนึ่งจะเคลื่อนย้ายไปอยู่บริเวณอ่าวไทยตอนในและเจริญเติบโตในพื้นที่ดังกล่าว จนกระทั่งถึงใกล้ช่วงปีใหม่ของปีถัดไปจึงเคลื่อนย้ายกลับสู่แหล่งวางไข่อีกครั้ง (Department of Fisheries, 1965) และสอดคล้องกับการศึกษาของ Krajangdara *et al*. (2007) ที่ได้ทำการศึกษาฤดูสืบพันธุ์วางไข่บริเวณอ่าวไทยตอนกลาง ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม และกรกฎาคม-ตุลาคม พบการวางไข่สูง โดยแหล่งวางไข่ปลาทูพบตั้งแต่บริเวณน่านน้ำของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร จนถึงสุราษฎร์ธานี

จากผลการศึกษาพบแหล่งทำประมงปลาทูมากบริเวณอ่าวไทยตอนบนในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาฤดูสืบพันธุ์วางไข่บริเวณอ่าวไทยตอนบนของ Maila-iad et al. (2006) พบว่าฤดูสืบพันธุ์วางไข่มากใน 2 ช่วง ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม และเดือนสิงหาคม-กันยายน และมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่างเดือนสิงหาคม-กันยายน และเดือนพฤศจิกายน โดยมีแหล่งวางไข่อยู่ในเขตจังหวัดชลบุรี และ อำเภอบ้านแหลม อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี (Upper Gulf

Fisheries Research and Development Center (Samut Prakan), 2008) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการอพยพเพื่อผสมพันธุ์และวางไข่ของพ่อแม่พันธุ์ปลาทูในอ่าวไทย

สรุปผลการวิจัย

แหล่งทำประมงปลาทูแปรผันตามฤดูลมมรสุม ในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แหล่งทำประมงปลาทูพบการกระจายตั้งแต่อ่าวไทยตอนบนถึงบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย ในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบแหล่งทำประมงปลาทูบริเวณเดียวกับในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่พบการเคลื่อนที่ตรงกันข้าม โดยมีการเคลื่อนที่ลงใต้จากบริเวณอ่าวไทยตอนบนสู่อ่าวไทยฝั่งตะวันตก ในช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ พบการทำประมงมากบริเวณจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ความถี่ของปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ที่พบแหล่งทำประมงปลาทูมากที่สุด พบในช่วงของคลอโรฟิลล์-เอ ที่ 0.6-0.8 มก./ลบ.ม. และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 30.5-31.0 °C และปริมาณการจับปลาทูสูงสุดพบในพื้นที่ที่มีความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ ที่ 0.2-+0.4 มก./ลบ.ม. และช่วงอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 29.5-31.0°C จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งทำประมงปลาทูกับปัจจัยทางสมุทรศาสตร์ด้วยแบบจำลอง GAM พบว่าคลอโรฟิลล์-เอ และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลความสัมพันธ์กับการทำประมงปลาทู ($p < 0.001$) ในช่วงคลอโรฟิลล์-เอที่ 0.2-0.5 มก./ลบ.ม. และอุณหภูมิที่ผิวน้ำทะเลที่ 29.5-31.0 °C

การกระจายของแหล่งทำประมงปลาทูสอดคล้องกับรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำในแต่ละฤดูกาล ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กระแสน้ำมีทิศทางการไหลเลียบขึ้นไปตามแนวชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าว สอดคล้องกับแหล่งทำประมงที่พบมากบริเวณชายฝั่งด้านตะวันตกที่มีแนวโน้มของการเคลื่อนตัวขึ้นเหนือเข้าสู่บริเวณอ่าวไทยตอนบน ในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ กระแสน้ำมีลักษณะการไหลจากฝั่งตะวันออกไปยังฝั่งตะวันตกของอ่าว และไหลลงไปตามแนวชายฝั่งด้านตะวันตกของอ่าวไทยตอนกลาง ส่งผลให้พบแหล่งทำประมงปลาทูกระจายตั้งแต่บริเวณอ่าวไทยตอนบนถึงบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอ่าวไทย ช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ กระแสน้ำมีรูปแบบการไหลเวียนที่ไม่ชัดเจน พบแหล่งทำประมงปลาทูมากบริเวณเหนือเขตปิดอ่าวที่ครอบคลุมเขตพื้นที่บางส่วนของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร และสุราษฎร์ธานี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมประมงสำหรับข้อมูลแหล่งทำประมงปลาทูจากระบบติดตามเรือและสมุดบันทึกการทำการประมง ขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้ให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

Buranapratheprat, A., & Bunpapong, M. (1998). A Two-Dimensional Hydrodynamic Model for the Gulf of Thailand. *The IOC/WESTPAC Fourth International Scientific Symposium*, (pp. 469-478). Okinawa, Japan.

Buranapratheprat, A., Sojisuporn, P., Suwannarach, T., & Jintasaeranee, P. (2015). Wave Analysis at Bangsaen Beach, Chonburi Province. *Burapha Science Journal, 20*(2), 131-139. (in Thai)

Chassot, E., Bonhommeau, S., Reygondeau, G., Nieto, K., Polovina, J. J., Huret, M., Dulvy N. K., & Demarcq, H. (2011). Satellite remote sensing for an ecosystem approach to fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, 651–666.

Department of Fisheries. (1965). *Report on Mackerels Investigations.* Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)

Department of Fisheries. (2018). *FISHERIES STATISTICS OF THAILAND 2018.* Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)

FAO. (1998). *Fishing operations. 1. Vessel monitoring systems. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2020). *FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics*. Rome, Italy: FAO.

Hastie, T., & Tibshirani, R. (1990). *Generalized additive models Monographs on Statistics and Applied Probability 43*. London: Chapman&Hall/CRC.

Krajangdara, T., Puntuleng, P., Chalee, P., & Hussadee, P. (2007). *Reproductive Biology of Short Mackerel Rastrelliger brachysoma (Bleeker, 1851) and Indian Mackerel R. kanagurta (Cuvier, 1816) in Thai Waters.* Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)

Maila-iad , P., Pinputtasin , C., & Sereeruk, K. (2006). *Reproductive biology of Chub Mackerel and Indian Mackerel in the upper gulf of thailand*. Bangkok: Department of Fisheries. (in Thai)

Meteorological Department. (2021, 11 15). *Thailand's climate.* Retrieved from https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=22

Nurdina, S., Mustapha, M. A., Lihan, T., & Zainuddin, M. (2017). Applicability of remote sensing oceanographic data in the detection of potential fishing grounds of Rastrelliger kanagurta in the archipelagic waters of Spermonde, Indonesia. *Fisheries Research*, 1-12.

Pitchaikani, J. S., & Lipton, A. (2012). Impact of environment variables on pelagic fish landings: Special emphasis on Indian oil sardine off Tiruchendur coast, Gulf of Mannar. *Journal of Oceanography and Marine Science*, 56-67.

RStudio Team (2021). RStudio: Integrated Development for R (Version 1.4.1106) [Computer software]. RStudio, Inc., Boston, MA URL http://www.rstudio.com/.

SeaDAS Development Group (2019). SeaDAS (Version 7.5.3) [Computer software]. NASA GSFC, Greenbelt, Maryland URL https://seadas.gsfc.nasa.gov

Santos, A. M. (2000). Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: A review. *Fisheries Research* , 1-20.

Solanki, H. U., Mankodi, P., Dwivedi, R. M., & Nayak, S. (2008). Satellite observations of main oceanographic processes to identify ecological associations in the Northern Arabian Sea for fishery resources exploration. *Hydrobiologia*, 269-279.

Solanki, H. U., Mankodi, P., Nayak, S., & Somvanshi, V. S. (2005). Evaluation of remote-sensing-based potential fishing zones (PFZs) forecast methodology. *Continental Shelf Research* , 2163-2173.

Solanlki, H. U., Dwivedi, R. M., Nayak, S., Jadeja, J. V., Thakar, D. B., Dave, H. B., & Patel, M. I. (2001). Application of Ocean Colour Monitor chlorophyll and AVHRR SST for fishery forecast: Preliminary validation results off Gujarat coast, northwest coast of India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences, 30*, 132-138.

Upper Gulf Fisheries Research and Development Center (Samut Prakan). (2008). *Annual Report 2008.* Samut Prakan: Upper Gulf Fisheries Research and Development Center (Samut Prakan). (in Thai)

Yee, T. W., & Mitchell, N. D. (1991). Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science 2*, 587-602.

Zagaglia, C. R., Lorenzzetti, J. A., & Stech, J. L. (2004). Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (Thunnus albacares) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of Environment*, 267–281.