



รายงานการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษารูปแบบการขนส่ง การกระจายตัว
และการลงเกาะของลูกปูม้าที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าในพื้นที่จังหวัดตรัง

Development of Numerical Modeling to Study the Transport Pattern,
Distribution and Settlement of Crab Larvae from the Blue Crab Bank,
Trang Province

กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์

Kattinat Sagulsawasdipan

ชาญยุทธ สุตทองคง

Chanyut Sudtongkong

วิกิจ ผินรُب

Wikit Phinrub

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

ประจำปี พ.ศ. 2565

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี 2565 เป็นงานวิจัย การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับการทดลองในห้องปฏิบัติการและการออก ภาคนาม เพื่อพัฒนารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการจำลอง การขนส่งตัวอ่อนของลูกปูในระยะซูเอีย (Zoea) และระยะเมกาโลปา (Megalopa) ก่อนการลงเกาะ คาดว่าการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายรูปแบบการเคลื่อนที่ การกระจาย และทำนายพื้นที่ลงเกาะของปูม้าวัยอ่อนที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าชุมชนชายฝั่ง เพื่อหาแนวทางในการ เพิ่มอัตราการทดแทนของทรัพยากรปูม้าในธรรมชาติ ให้เกิดความยั่งยืนในพื้นที่จังหวัดตรังต่อไป

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ทั้งความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการศึกษา ตลอดจนสถานที่ทำการศึกษา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยันธ์ สารมุล ที่ปรึกษาโครงการ และนายนิคม อ่อนสี นิสิตรระดับปริญญาเอก ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความร่วมมือในการทำวิจัย การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เครื่องมืออุปกรณ์ รวมทั้งข้อเสนอแนะ ในการจัดทำเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์ และงานวิจัยในครั้งนี้นี้ยังเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนากำลังคน ระดับปริญญาเอก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณธนาคารปูม้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ศูนย์เรียนรู้ธนาคารปูม้าบ้าน หาดทรายทอง 1 (เกาะสุกร) นายธนีสร หุ่นเที่ยง สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการศึกษาและอำนวยความสะดวกด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณธนาคารปูม้าและเกษตรกรชุมชนชายฝั่งจังหวัดตรัง สำหรับการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษา

ขอขอบคุณผู้ร่วมวิจัย นายณฤทธิ์ กล่อมพงษ์ และนายชนะ จันทรฉำ ที่อุทิศกำลังกาย และกำลังใจช่วยในการวิจัยครั้งนี้ลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนครอบครัวและผองเพื่อนที่ให้ความห่วงใย เป็นกำลังใจให้เสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่าน และหน่วยงาน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาส นี้

กัตตินาฏ สกุสสวัสดิพันธ์ และคณะ

กุมภาพันธ์ 2566

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษารูปแบบการขนส่ง การกระจายตัว และการลงเกาะของลูกปูม้าที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าในพื้นที่จังหวัดตรัง

กัตตินาฏ สกกุลสวัสดิพันธ์¹ ชาญยุทธ สุตทองคง¹ วิกิจ ผินรับ²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาอธิบายพฤติกรรมเคลื่อนที่ในมวลน้ำ การกระจายตัวของลูกปู *P. pelagicus* ในช่วงระยะซุเอีย (Zoea) และขอบเขตการลงเกาะของปูม้าวัยอ่อนในระยะเมกาโลปา (Megalopa) ที่ปล่อยจากธนาคารปูม้า เพื่อจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อนที่เหมาะสมทำให้มีอัตราการรอดตายเพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขของความสัมพันธ์กับระบบนิเวศที่สำคัญต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อน เช่น แนวหญ้าทะเล แนวปะการังน้ำตื้น รวมถึงระบบนิเวศอื่น ๆ ที่ลูกปูม้าสามารถใช้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งหลบศัตรูหรือผู้ล่า จากตำแหน่งที่ปล่อยของลูกปูม้าที่มีความเป็นไปได้ในทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มอัตราการทดแทนของทรัพยากรปูม้าในธรรมชาติให้สูงขึ้นและมีความอย่างยั่งยืนในพื้นที่จังหวัดตรัง อีกทั้งมีการศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน ในห้องปฏิบัติการเพื่อพัฒนาแบบจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของลูกปูม้า การศึกษาข้างต้นสามารถบูรณาการเข้าด้วยกันเพื่อการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ การกระจาย พื้นที่ลงเกาะของปูม้าวัยอ่อนที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าชุมชนชายฝั่ง ผลการศึกษาเบื้องต้น คาดว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปล่อย คือช่วงน้ำลงในขณะน้ำเกิด ความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร เนื่องจากกระแสน้ำและอิทธิพลของลมจะสามารถพัดพาลูกปูกลับมาลงเกาะในบริเวณระบบนิเวศที่มีผลต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อน เช่น แนวหญ้าทะเล เขตปะการังน้ำตื้น และป่าชายเลนได้ตลอดเกือบทั้งปี อีกทั้งยังแสดงแนวโน้มให้เห็นว่าลูกปูมีโอกาสกลับมาในแนวหญ้าทะเลมากที่สุดในช่วงเว้นว่างจากลมมรสุม ขณะเดียวกันคาดว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลูกปูถูกพัดพาไปทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาและคาดว่าบริเวณนี้จะพบลูกปูหนาแน่น และมีการกระจายตัวในบริเวณแนวหญ้าทะเลเกาะมุขและเกาะลิบง เป็นต้น ส่วนช่วงลมมรสุมตะวันตกอิทธิพลของลมและคลื่นส่งผลให้ลูกปูถูกพัดพาเข้าหาบริเวณชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และคาดว่าลูกปูที่ลงเกาะในพื้นที่แนวหญ้าทะเลมีปริมาณน้อยในช่วงนี้

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ปูม้า ธนาคารปูม้า

¹ อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

² อาจารย์ สาขาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและผลิตภัณฑ์ประมง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Development of Numerical Modeling to Study the Transport Pattern, Distribution and Settlement of Crab Larvae from the Blue Crab Bank, Trang Province

Kattinat Sagulsawasdipan¹ Chanyut Sudtongkong¹ Wikit Phinrub²

Abstract

The numerical modeling in this study was applied to describe the transport pattern and larvae dispersal of *P. pelagicus* in Zoea stage and also to scope the settlement of blue swimming crab *Megalopa* from blue crab bank site in Trang province. Researchers applied the mathematical model to simulate appropriating positioning area and golden time of blue crab larvae reintroduction to natural habitats. The habitats in the study were seagrass area, shallowed-coral reef, other area with safety shield zone. Those were potential to increase the blue crab larvae survival rate with blue crab sustainability recruitment for Trang province. Moreover, this study investigated the variance of swimming motion of the blue crab larvae in the laboratory and this aimed to develop the mathematical model relating to blue crab swimming motion detect. Those can be integrated the study of transport pattern, dispersal, and settlement of the blue crab from the blue crab bank community in Trang. The model predicted that the suitable time with high survival rate to dispersal the larvae for the natural ecosystem was during ebb tide with over 1 meter depth. Since, water current and monsoon wind can drive the larvae to the seagrass area, shallowed-coral reef, and mangrove forest. In addition, the model showed that the blue crab larvae highly tended to be back to the seagrass area during off-monsoon season. Meanwhile, the larvae were transferred to the south of study area by east monsoon and this area tended to have the greatest blue crab larvae population especially at seagrass zone in Mook and Libong island. On the other hands, the wind and tide from the west monsoon effected to the blue crab larvae transported to the coast. Therefore, the model also predicted that there was little blue swimming crab settlement at the seagrass area in those islands.

Keyword: Numerical Modeling , Blue Swimming Crab, Blue Crab Bank

¹ Department of Marine Science and Environment, Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of technology Srivijaya, Trang.

² Department of Aquaculture and Fishery Products Branch. Faculty of Science and Fisheries Technology, Rajamangala University of technology Srivijaya, Trang.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
2. ทฤษฎี และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	16
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	17
1. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	17
2. การศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน <i>P. Pelagicus</i> ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าใน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	18
3. การจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์.....	23
4. การจำลองการกระจายตัวของปูวัยอ่อน <i>P. Pelagicus</i>	28
บทที่ 3 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....	30
1. พื้นที่ศึกษา.....	30
2. ผลการศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน <i>P. Pelagicus</i> ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของลูกปูม้า ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	31
3. ผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์.....	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ จากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และลมมรสุม.....	67
5. ผลการจำลองการกระจายตัวของปูวัยอ่อน <i>P. pelagicus</i>	80
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย.....	89
1. สรุปผลการศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า วัยอ่อน <i>P. Palagicus</i> ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้า ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	89
2. สรุปผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์.....	91
ข้อเสนอแนะ.....	94
บรรณานุกรม.....	95



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 : ช่วงเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตของปูม้า.....	29
ตารางที่ 2 : ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 1.....	32
ตารางที่ 3 : ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 2.....	35
ตารางที่ 4 : ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 3.....	38
ตารางที่ 5 : ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 4.....	41
ตารางที่ 6 : ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea Megalopa.....	44
ตารางที่ 7 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 1 กรณีที่ 1.....	46
ตารางที่ 8 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 2 กรณีที่ 1.....	48
ตารางที่ 9 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 3 กรณีที่ 1.....	49
ตารางที่ 10 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 4 กรณีที่ 1.....	50
ตารางที่ 11 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 1 กรณีที่ 2.....	52
ตารางที่ 12 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 2 กรณีที่ 2.....	53
ตารางที่ 13 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 3 กรณีที่ 2.....	54
ตารางที่ 14 : พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 4 กรณีที่ 2.....	55
ตารางที่ 15 : การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปูระยะ Zoea 1 - 4 และ ระยะ Megalopa.....	56
ตารางที่ 16 : ค่าฮาร์โมนิค (Harmonic constants) ของน้ำขึ้นน้ำลง.....	62
ตารางที่ 17 : ช่วงระยะเวลาในการจำลองการกระจายอนุภาคด้วยแบบจำลอง Delf - Part (particle tracking).....	80

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 : วงจรชีวิตของปูม้า.....	8
ภาพที่ 2 : การกระจายของตัวอ่อนในทะเลและการตั้งถิ่นฐาน.....	10
ภาพที่ 3 : การกระจายการศึกษาตามแบบจำลอง (A) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และ (B) แบบจำลองที่ใช้ติดตามอนุภาค.....	11
ภาพที่ 4 : กระแสน้ำผิวน้ำที่เกิดจากกระแสน้ำ ลม และกระแสความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะยาว (พ.ศ.2528 - 2546) (a) เดือนธันวาคมถึงเฉลี่ยเดือนกุมภาพันธ์ (NE Monsoon) และ(b) เดือนมิถุนายนถึงกันยายน (SW Monsoon) จากผลการจำลอง HAMSOM ความเร็วหน่วยเป็น cm/s.....	13
ภาพที่ 5 : รูปแบบการหมุนเวียนของพื้นผิวน้ำอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามันในช่วง (ก) ลมมรสุม NE และ (ข) ลมมรสุม SW ทำซ้ำหลังจาก Varkey et al. (1996).....	13
ภาพที่ 6 : SST จากแบบจำลอง HAMSOM ระหว่าง (a) ลมมรสุม NE (b) ลมมรสุม SW...	14
ภาพที่ 7 : SST ตาม HAMSOM ใน (a) กุมภาพันธ์ (b) สิงหาคม 1996.....	15
ภาพที่ 8 : ภาพตัดขวางความเค็มในเดือนเมษายน พ.ศ. 2504 ในช่องแคบมะละกา ที่ระดับความลึก 0-120 เมตร จากผลแบบจำลอง HAMSOM.....	15
ภาพที่ 9 : รูปตัดขวางของอุณหภูมิในเดือนเมษายน พ.ศ. 2504 ในช่องแคบมะละกา ที่ระดับความลึก 0 ถึง 120 เมตร จากผลแบบจำลอง HAMSOM.....	16
ภาพที่ 10 : พื้นที่ศึกษาจังหวัดตรัง.....	17
ภาพที่ 11 : แผนที่ตำแหน่งธนาคารปูม้าในพื้นที่จังหวัดตรัง.....	18
ภาพที่ 12 : แม่ปูม้าไข่ที่จับได้จากแหล่งอาศัยตามธรรมชาติ สำหรับการเพาะตัวอ่อนระยะ Zoea 1 - 4 และ Magalopa เพื่อศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อนในห้องปฏิบัติการ.....	19
ภาพที่ 13 : อ่างเพาะเลี้ยงลูกปูม้าให้เข้าสู่ระยะตัวอ่อนต่าง ๆ ซึ่งเชื่อมต่อบริเวณออกซิเจนเพื่อสร้างเงื่อนไขในการเจริญเติบโตของลูกปูม้า.....	20
ภาพที่ 14 : แผนผังของการตั้งค้ำระบบบันทึกวิดีโอในตู้ปลา.....	20
ภาพที่ 15 : การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูในกลางคืน โดยมีเงื่อนไขควบคุมที่ต่างกัน 2 เงื่อนไข.....	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 16 : การว่ายน้ำในแนวตั้งของตัวอ่อนปูม้า (ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง 10 - 15 นาที และต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง หลังจากนั้นทำการเปิดไฟเป็นระยะเวลา 5-10 นาที ทำการสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาที ทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว).....	22
ภาพที่ 17 : การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปู โดยมีเงื่อนไขควบคุมความเร็วของกระแสน้ำที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ ความเร็วกระแสน้ำ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที.....	23
ภาพที่ 18 : เส้นแนวชายฝั่งเตรียมด้วยโปรแกรม GEODAS-NG.....	23
ภาพที่ 19 : จำลองการสร้างกริดแบบ Regular Grid in Cartesian Coordinate.....	24
ภาพที่ 20 : แผนที่แสดงระดับความสูง ทั่วโลก จากแหล่งข้อมูล GEBCO.....	25
ภาพที่ 21 : แผนที่เดินเรือจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ จัดเรียงและวางแผนที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา.....	25
ภาพที่ 22 : ความลึกน้ำทะเลแบบควบคุมแผนที่ GEBCO กับ แผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยนำเข้าแผนที่ความลึก GEBCO และ แผนที่เดินเรือ จากกรมอุทกศาสตร์ทัพเรือแสดงผลด้วยโปรแกรม QUICKIN.....	27
ภาพที่ 23 : การจำลองการสร้างเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เพื่อหาค่าฮาร์โมนิก (Harmonic Constants) ของน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณขอบเขตเปิดในแบบจำลอง.....	28
ภาพที่ 24 : พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (upward) ของลูกปูม้า <i>P. Pelagicus</i> ระยะ Zoea 1.....	33
ภาพที่ 25 : พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (downward) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะ Zoea 1.....	33
ภาพที่ 26 : พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (sideway) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะ Zoea 1.....	33
ภาพที่ 27 : พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (upward) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะ Zoea 2.....	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 28 : พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (downward) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 2.....	36
ภาพที่ 29 : พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (sideway) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 2.....	36
ภาพที่ 30 : พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (upward) ของลูกปูม้า <i>P. Pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 3.....	39
ภาพที่ 31 : พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (downward) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 3.....	39
ภาพที่ 32 : พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (sideway) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 3.....	39
ภาพที่ 33 : พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (upward) ของลูกปูม้า <i>P. Pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 4.....	42
ภาพที่ 34 : พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (downward) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 4.....	42
ภาพที่ 35 : พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (sideway) ของลูกปูม้า <i>P. pelagicus</i> ระยะเวลา Zoea 4.....	42
ภาพที่ 36 : พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (upward) ของลูกปูม้า <i>P. Pelagicus</i> ระยะเวลา Megalopa.....	45
ภาพที่ 37 : พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (downward) ของลูกปูม้า <i>P. Pelagicus</i> ระยะเวลา Megalopa.....	45
ภาพที่ 38 : พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (sideway) ของลูกปูม้า <i>P. Pelagicus</i> ระยะเวลา Megalopa.....	45
ภาพที่ 39 : แผนที่ระดับความลึกน้ำทะเลจากแบบจำลอง GEBCO15 arc-sec.....	59
ภาพที่ 40 : แผนที่ระดับความลึกน้ำทะเลแบบควบคู่แผนที่ GEBCO กับ แผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ.....	59
ภาพที่ 41 : การเตรียมกริดสำหรับพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง โดยเตรียมกริดเป็นแบบสี่เหลี่ยม	61

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 42 : การเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานี เกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	63
ภาพที่ 43 : ค่า R^2 ของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	63
ภาพที่ 44 : ค่าแอมพลิจูด และเฟสของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัด ตรวจวัด สถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	63
ภาพที่ 45 : การเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานี หาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	64
ภาพที่ 46 : ค่า R^2 ของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีหาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	64
ภาพที่ 47 : ค่าเฟสและแอมพลิจูดของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัด ตรวจวัด สถานีหาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	65
ภาพที่ 48 : การเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีหาด ราชมงคลในช่วงเดือน เมษายน 2565.....	65
ภาพที่ 49 : ค่า R^2 ของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	66
ภาพที่ 50 : ค่าเฟสและแอมพลิจูดของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัด ตรวจวัด สถานีหาดราชมงคลในช่วงเดือนเมษายน 2565.....	66
ภาพที่ 51 : กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วและทิศทางการกระแสน้ำ 25 ชั่วโมง สถานี เกาะไหงทางทิศตะวันออก.....	67
ภาพที่ 52 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำขึ้น ช่วงน้ำเกิด 15 ค่า ในเดือน เมษายน 2565 เวลา 8.00 น. ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	68
ภาพที่ 53 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง ช่วงน้ำเกิด 15 ค่า ในเดือน เมษายน 2565 เวลา 14.00 น. ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	69

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 54 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 9 เดือนเมษายน 2565 เวลา 8.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	70
ภาพที่ 55 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 9 เดือนเมษายน 2565 เวลา 14.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	71
ภาพที่ 56 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 7 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 8.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	72
ภาพที่ 57 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 7 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 13.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	73
ภาพที่ 58 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 14 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 8.00 น. ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	74
ภาพที่ 59 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 14 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 13.00 น. ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	75
ภาพที่ 60 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 07.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	76
ภาพที่ 61 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำขึ้น วันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 14.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	77
ภาพที่ 62 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำขึ้น วันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 09.00 น. ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	78

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 63 : ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 16.00 น. ช่วงน้ำเกิด 15 ค่า ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง).....	79
ภาพที่ 64 : ข้อมูลลมและทิศทางลมในช่วงวันที่ 1 - 14 เดือนเมษายน 2565.....	81
ภาพที่ 65 : รูปแบบการกระจายตัวอ่อนปูม้าจำนวน 10000 ตัว จากตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 สถานี ระหว่างวันที่ 1 - 14 เดือนเมษายน 2565 ในช่วงน้ำเกิด(15 ค่า) ขณะน้ำลงเวลา 12.00 น. แสดงการกระจายในช่วงวันที่ 1,3,5,7,9 และ14 วัน.....	82
ภาพที่ 66 : ข้อมูลลมและทิศทางลมในช่วงวันที่ 1 - 14 เดือนมิถุนายน 2565.....	83
ภาพที่ 67 : รูปแบบการกระจายตัวอ่อนปูม้าจำนวน 10000 ตัว จากตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 สถานี ระหว่างวันที่ 1 - 14 เดือนมิถุนายน 2565 ในช่วงน้ำเกิด (2 ค่า) ขณะน้ำลงเวลา 13.00 น. แสดงการกระจายในช่วงวันที่ 1,3,5,7,9 และ14 วัน.....	84
ภาพที่ 68 : ข้อมูลลมและทิศทางลมในช่วงวันที่ 8 - 21 เดือนพฤศจิกายน 2565.....	85
ภาพที่ 69 : รูปแบบการกระจายตัวอ่อนปูม้า 10000 ตัว จากตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 สถานี ระหว่างวันที่ 8 - 21 เดือนพฤศจิกายน 2565 ในช่วงน้ำเกิด (2 ค่า) ขณะน้ำลงเวลา 13.00 น. แสดงการกระจายในช่วงวันที่ 8, 10, 12, 14, 16 และ 21 วัน.....	86
ภาพที่ 70 : ผลการจำลองพื้นที่ลงเกาะของลูกปูหลังจากปล่อยจากธนาคารปูม้าเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศ ต่อการอยู่รอดของลูกปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติ โดยการจำลองการลงเกาะของลูกปูบริเวณพื้นที่แนวหญ้าทะเล จังหวัดตรังกรอบเส้นสีเขียว.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

ปูม้า (Blue Swimming Crab) เป็นสัตว์น้ำเศรษฐกิจที่สำคัญ แหล่งที่อยู่อาศัยแพร่กระจายอยู่ทั่วไปในทะเลเขตร้อน โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำและชายฝั่ง สำหรับประเทศไทยปูม้าอาศัยอยู่ทั้งชายฝั่งอันดามันและอ่าวไทย ปูม้าเป็นสัตว์น้ำที่นิยมบริโภคโดยทั่วไปทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ในรูปของผลิตภัณฑ์บรรจุกระป๋อง บริโภคสด และแปรรูปแช่เย็นและแช่แข็งเพื่อการส่งออก คิดเป็นร้อยละ 57.4 28.0 และ 14.6 ของปริมาณการจับตามลำดับ (กรมประมง, 2549) ในอดีตคนนิยมบริโภคปูม้าสด ตลาดจึงต้องการปูม้าขนาดใหญ่ ต่อมาได้มีการนำปูม้ามาต้มและแกะเนื้อจำหน่ายเพื่อส่งเข้าโรงงานแปรรูปซึ่งส่วนใหญ่ใช้ปูที่มีขนาดเล็ก มีการพัฒนาเครื่องมือประมงที่มีประสิทธิภาพในการจับปูม้าคือ “ลอบปูพับได้” มาใช้ในการทำประมง เรือประมงพานิชทำการประมงปูม้าแต่ละเที่ยวเรือสามารถบรรทุกลอบปูพับได้ ได้ไม่ต่ำกว่า 2,000 ลูก จับปูม้าได้ทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กในปริมาณมาก ทำให้มีการนำทรัพยากรปูม้าขนาดเล็กขึ้นมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ประกอบกับการที่ชาวประมงทั่วไปมีการจับปูม้าที่มีไข่นอกกระดองในปริมาณมากด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ประชากรปูม้าในทะเลลดลงอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งพบว่าการจับปูม้าขนาดเล็กก่อนถึงขนาดเจริญพันธุ์ขึ้นมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ทำให้ปูม้าที่จะเติบโตเป็นพ่อแม่พันธุ์มีจำนวนที่ลดลงเป็นอันมาก

ภายใต้สถานการณ์ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรปูม้าในท้องทะเลไทย กลับมีอีกหนึ่งความพยายามของชุมชนประมงชายฝั่งในหลาย ๆ พื้นที่ทั่วประเทศ ได้ก่อตั้งและดำเนินกิจกรรม “ธนาคารปูม้าชุมชน” เพื่อฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าให้กับท้องทะเลไทย ด้วยวิธีการง่าย ๆ แต่ก่อประโยชน์ให้กับธรรมชาติ และเศรษฐกิจประมงปูม้า อย่างมหาศาล รูปแบบการดำเนินกิจกรรม “ธนาคารปูชุมชน” จะมีรายละเอียดแตกต่างกันไปตามข้อตกลงของสมาชิกชุมชนแต่ละพื้นที่ แต่มีวิธีการหลัก ๆ คือ คณะกรรมการชุมชนจะรับบริจาคปูม้าไข่นอกกระดอง (ซึ่งเป็นไข่ที่เกาะติดบริเวณส่วนท้อง และสามารถมองเห็นได้ชัดเจน) ที่ติดมากับบอวนหรือเครื่องมือประมงอื่น ๆ ของสมาชิกชุมชน และนำมาปล่อยในกระชังที่สร้างไว้ในบริเวณชายฝั่ง หรือในถังหรือบ่อพักที่สร้างไว้บริเวณชายหาดหน้าหมู่บ้าน เพื่อให้แม่ปูม้าได้วางไข่ก่อนถูกนำไปขายหรือบริโภค ไข่นอกกระดองจะมีสีเหลืองอ่อนแล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลืองออกส้ม สีเหลืองออกน้ำตาล และสีเทาอมดำตามลำดับ ปูม้าที่มีไข่สีเทาอมดำจะปล่อยตัวอ่อนภายใน 1-2 วัน แม่ปูไข่นอกกระดอง 1 ตัว จะปล่อยตัวอ่อนประมาณ 250,000 ถึง 2,000,000 ล้านตัวต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของไข่ที่แม่ปูแต่ละตัวมีอยู่ จากการศึกษาของ

วารินทร์และคณะ (2547) พบว่า ไข่ปูม้า 1 กรัม มีปริมาณไข่ประมาณ 22,030 ฟอง ซึ่งในปัจจุบัน อัตราการรอดตายของลูกปูวัยอ่อนที่ปล่อยยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัดว่ามากน้อยเพียงใด ถ้าอัตราการรอดของลูกปูที่ถูกปล่อยลงทะเลอยู่ที่ร้อยละ 1 เราก็จะได้ปริมาณปูในทะเลเพิ่มขึ้นอีก ประมาณ 2,500 - 10,000 ตัวต่อแม่ปู 1 ตัว ถ้าธนาคารปู 1 แห่งมีแม่ปูไข่นอกกระดอง 30 ตัว ต่อเดือน หรือ 360 ตัว ต่อปีจะพบว่าธนาคารปูนั้น ๆ สามารถเพิ่มประชากรปูให้กับท้องทะเลได้ปีละ 900,000 - 7,200,200 ตัว และถ้าชาวประมงจับปูม้าเพื่อขาย อยู่ที่ 6 ตัว ต่อ 1 กิโลกรัม และกิโลกรัม ละ 200 บาท ชาวประมงจะมีรายได้จากปูม้าที่เพิ่มขึ้นนี้ ประมาณ 30 - 240 ล้านบาท ต่อปี การคำนวณที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการคำนวณจากฐานตัวเลขขั้นต่ำ แต่ยังสามารถเห็นผลประโยชน์จากธนาคารปูหนึ่งแห่งได้อย่างมากมายมหาศาล (กรีนเนท, 2562) โดยทั่วไปพบว่าวงจรชีวิตของปูม้า เริ่มจากระยะที่ยังเป็นไข่และใช้เวลาในช่วง พัฒนาไข่ 10 - 15 วัน เข้าสู่ช่วงระยะซุเอีย (Zoea) ประมาณ 11 - 15 วัน (บรรจง, 2550) พบว่าระยะนี้ส่วนใหญ่ตัวอ่อนจะถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ ที่ผิวเป็นส่วนใหญ่ (Epifanio, 1995; Provenzano, 1983) และมีการเคลื่อนตัวในแนวตั้งได้เล็กน้อย (Anger, 2001; Anger *et al.*, 2015) มีการกระจายตัวตลอดมวลน้ำ และพบมากบริเวณผิวน้ำ ที่ระดับความลึกประมาณ 1 เมตร (บรรจง, 2550) และพัฒนาเป็นระยะเมกาโลปา (Megalopa) 4 - 5 วัน โดยพบว่าระยะนี้ตัวอ่อนปูม้าอาศัยอยู่ ตามพื้นท้องน้ำเป็นส่วนใหญ่และสามารถว่ายน้ำได้ (Anger, 2001; Anger, 2006) จึงจะพัฒนาเป็นระยะตัวปูครั้งแรกใช้เวลาประมาณ 15 - 21 วัน (บรรจง, 2550) หลังจากนั้นพัฒนาเข้าสู่ระยะปูม้าวัยอ่อน (Young Crab) และเจริญเติบโตเข้าสู่ ตัวเต็มวัยต่อไป ในอดีตถึงปัจจุบันยังพบว่าการติดตามลูกปูม้าที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าในประเทศไทย มีข้อมูลที่น้อยมาก ยังขาดข้อมูลที่ช่วยในการตัดสินใจและไม่สามารถอธิบายได้ว่าหลังจากปล่อย กลับคืนสู่ธรรมชาติไปแล้วเกิดเหตุการณ์อะไรขึ้นบ้าง ทำให้ไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดว่าในปัจจุบันอัตราการรอดตายของลูกปูเป็นอย่างไร รวมถึงพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน การกระจาย และขอบเขต การลงเกาะของปูม้าวัยอ่อนในมวลน้ำหลังจากที่ทำการปล่อยจากธนาคารปูม้า ทำให้เกิดแนวคิดที่จะ ทำการศึกษาถึงปัจจัยและพฤติกรรมเหล่านี้ โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาอธิบาย พฤติกรรมเคลื่อนที่ในมวลน้ำ การกระจายตัวในช่วงระยะซุเอีย (Zoea) และขอบเขตการลงเกาะ ของปูม้าวัยอ่อนในระยะเมกาโลปา (Megalopa) ที่ปล่อยจากธนาคารปูม้า เพื่อจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อนที่เหมาะสม ทำให้มีอัตราการรอดตาย เพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขของความสัมพันธ์กับระบบนิเวศที่สำคัญต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อน เช่น แนวหญ้าทะเล แนวปะการังน้ำตื้น รวมถึงระบบนิเวศอื่น ๆ ที่ลูกปูม้าสามารถใช้เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งหลบศัตรูหรือผู้ล่า จากตำแหน่งที่ปล่อยของลูกปูม้าที่มีความเป็นไปได้ในทางวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มอัตราการทดแทนของทรัพยากรปูม้าในธรรมชาติให้สูงขึ้นและมีความอย่างยั่งยืนในพื้นที่ จังหวัดตรังต่อไป

การพัฒนางานวิจัยเพื่อการบริหารและจัดการทรัพยากรประมงที่สำคัญของประเทศ และการพัฒนาศักยภาพของชาวประมงพื้นบ้าน ที่สอดคล้องกับนโยบายของชาติในการแก้ไขปัญหาการทำประมงปูม้าให้ยั่งยืนในประเทศไทย งานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการชี้เป้าหรือนำไปสู่การใช้ประโยชน์เชิงนโยบายของประเทศ ในการเสนอแนะเพื่อประกาศพื้นที่แหล่งหลบภัยสัตว์น้ำสำหรับเป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน และแนวทางการจัดทำธนาคารปูม้า และสร้างการจำลองจุดปล่อยปูม้าที่เหมาะสมเพิ่มอัตราการรอดของปูม้าในแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากปัจจุบันการส่งเสริมการทำประมงปูม้าเป็นระยะเวลาอันยาวนานนับสิบปี แต่ยังคงขาดการชี้วัดประสบความสำเร็จตามหลักวิชาการอย่างเป็นระบบมากน้อยอย่างไร งานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับปูม้าที่มีอยู่แล้ว อาทิ เรื่องของระบบนิเวศ อัตราการรอดลูกปูในแหล่งที่อยู่อาศัยที่เหมาะสม ปัจจัยแวดล้อม รวมถึงชีววิทยา วงจรชีวิตของปู เป็นต้น จะเห็นได้ว่ายังไม่มียานวิจัยหรือองค์ความรู้ที่สามารถบ่งบอกหรืออธิบายว่า ความเป็นได้ที่ลูกปูจะมีอัตราการรอดหรือไม่ ถ้ามีจะพบลูกปูได้บริเวณใดบ้าง ยังคงเป็นประเด็นที่ต้องศึกษาอยู่ในปัจจุบัน

เพื่ออธิบายถึงความเป็นไปได้ประเด็นดังกล่าวข้างต้น โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาอธิบายตามหลักวิทยาศาสตร์หาเพื่อหาคำตอบของสมมติฐานนี้ โดยใช้เงื่อนไขหรือข้อมูลที่มีสร้างแบบจำลองโมเดล 2 กรณีศึกษา ได้แก่ การจำลองการขนส่ง การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของลูกปูม้า โดยใช้ข้อมูลการนำเข้าของตำแหน่งที่กักจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า และจำนวนลูกปูที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa หลังการปล่อย และจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อนภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติอย่างยั่งยืน

2. ทฤษฎี และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิด ทฤษฎี และสมมติฐานงานวิจัย

ธนาคารปูม้าในประเทศไทยในปัจจุบันเกิดการกระแสนี้ขึ้นเนื่องจากในอดีตจำนวนปูในท้องทะเลไทยลดปริมาณลงอย่างรวดเร็วจากการทำประมงเชิงพาณิชย์อย่างขาดจิตสำนึกเนื่องจากการนำทรัพยากรปูขนาดเล็กมาใช้มากเกินไป อีกทั้งแม่ปูม้าที่มีไข่นอกกระดองก็ยังถูกจับมาใช้ประโยชน์ ทำให้ปริมาณปูม้าลดลงจนใกล้วิกฤติ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชนิดนี้จำเป็นต้องเข้ามา มีบทบาทในการเพิ่มผลผลิตเพื่อทดแทนผลผลิตจากทะเลที่ลดน้อยลง การศึกษาชีววิทยาของปูม้าเพื่อนำไปสู่การเพาะเลี้ยงได้ดำเนินการมานานแล้ว (เชียน, 2520; บุญศรีและเจต, 2527; สุขุมธ, 2527) แต่การเพาะเลี้ยงปูม้าตั้งแต่ระยะ Zoea ถึงระยะ Young Crab มีอัตราการรอดตายที่ต่ำมาก ทำให้การเพาะเลี้ยงปูม้าในเชิงพาณิชย์ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร การดำเนินกิจกรรมส่วนใหญ่เป็นการเพาะอนุบาลลูกปูม้าจนได้ระยะ Zoea และนำไปปล่อยเพื่อเพิ่มปริมาณในแหล่งน้ำธรรมชาติ

เป็นทางเลือกที่ใช้ในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลไทยอย่างจริงจังในปัจจุบัน มีรายงานว่าการทำธนาคารปูม้าส่งผลให้ปริมาณการจับ ปูม้ามีจำนวนเพิ่มขึ้นในบางพื้นที่ (กรมประมง, 2560; Vutthichai and Wasana, 2013) ทำให้ในปัจจุบันหน่วยงานของรัฐและเอกชนผลักดันส่งเสริมให้ธนาคารปูม้าและขยายผลธนาคารปูม้า เพื่อคืนปูม้าสู่ทะเลไทย ในแต่ละท้องถิ่นให้มีการจัดการเพื่อแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ทั้งการรณรงค์ให้ความรู้ และทำหน้าที่อาสาในการขยายพันธุ์ปูม้า โดยให้ชาวประมงนำไปไขนอกกระดองที่จับได้มาอนุบาลที่ธนาคารจนแม่ปูสลัดไขออกจากตัว เพื่อนำไขปูม้าไปปล่อยลงทะเล

อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่า ในประเทศไทยยังไม่มีงานวิจัยหรือองค์ความรู้ที่สามารถบ่งบอกหรืออธิบายว่า มีอัตราการรอดเป็นอย่างไร และจะพบลูกปูได้บริเวณใดบ้าง ประเด็นดังกล่าวยังคงเป็นประเด็นคำถามจนถึงปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายความเป็นไปได้ในการหาคำตอบให้กับประเด็นเหล่านี้ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาอธิบายตามหลักวิทยาศาสตร์ เพื่อหาคำตอบของสมมติฐานนี้ โดยใช้เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น สร้างแบบจำลองโมเดล 2 กรณีศึกษา ได้แก่ การจำลองการขนส่ง การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของลูกปูม้า โดยใช้ข้อมูลการนำเข้าของตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้าในตำแหน่งตัวแทนต้นแบบ และจำนวนลูกปูที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรังเป็นโมเดลต้นแบบ เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย และจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อนภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติ และเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลไทยอย่างยั่งยืน

2.2 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษารูปแบบการขนส่ง การกระจายตัว และการลงเกาะของลูกปูม้า และการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีทั้งการประยุกต์ใช้แบบจำลองมหาสมุทรเชิงพื้นที่ และจำลองการไหลวนของกระแสน้ำในมหาสมุทร โดยใช้แนวคิดของ Xinyan *et al.* (2019) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองและการขนส่งของตัวอ่อนและการตั้งถิ่นฐาน และการอยู่รอดของลูกปูหิมะในทะเลญี่ปุ่นด้วยแบบจำลอง 3 มิติ (Parada *et al.*, 2010; Okuno *et al.*, 2010) ในระยะ Zoea I, Zoea II และระยะ Megalopa มีความสำคัญในการจัดการปูหิมะในประเทศญี่ปุ่น ในรายงานระบุว่าไขปูจะฟักออกมาในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายนบริเวณพื้นที่ท้องทะเลที่ระดับน้ำลึก 225 - 275 เมตร (Kon, 1980) ไข่ของปูหิมะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมงและพัฒนาไปสู่ขั้นระยะ Zoea I ก่อนถึงผิวน้ำ (Kon, 1979) ตัวอ่อนส่วนใหญ่กระจายอยู่ในชั้น 0 - 50 เมตร บริเวณผิวน้ำใช้เวลา 20 - 30 วันในการพัฒนาเป็นระยะ Zoea II ช่วงเวลาดังกล่าว ตัวอ่อนปูจะเคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ

ในแนวราบและการจมตัวลงสู่ความลึกที่มากกว่าระดับความลึก 150 เมตร ระยะ Zoea II ใช้เวลาอีก 30 วัน จากนั้นตัวอ่อนปูจะกลายเป็น Megalopa และจมลงไปทีระดับความลึก 150 - 200 เมตร เริ่มในต้นเดือนเมษายน Megalopa ค่อย ๆ รวมตัวกันในชั้นที่ลึกกว่า 200 เมตร โดยที่อุณหภูมิของน้ำต่ำกว่า 6 - 7 องศาเซลเซียส และโดยทั่วไปการหลุดตัวจะเกิดขึ้นในเดือนมิถุนายน เมื่อ Megalopa ลงเกาะบริเวณปูหน้าดินระยะแรก (Kon, 1980; Kon *et al.*, 2003) คาดว่าระยะเวลารวมของระยะตัวอ่อนปูอาศัยในมวลน้ำประมาณ 100 - 130 วัน และมีผลการศึกษาของ Kon *et al.* (2003) กล่าวถึงการเคลื่อนที่ในแนวแนวนอนรายวัน (DVM) บางส่วนสำหรับระยะ Zoea II และระยะ Megalopa Zoea II ส่วนใหญ่กระจายที่ 0 - 50 เมตร ในตอนกลางคืน และที่ 100 - 150 เมตร ในตอนเที่ยงอพยพประมาณ 100 เมตร ต่อวัน (ไม่ได้ศึกษาช่วง DVM ทั้งหมดของ Megalopa เนื่องจากข้อจำกัดของความลึกของน้ำที่สถานีในการศึกษา) หลังจากที่ถูกปูในระยะ Megalopa ลงเกาะที่พื้นท้องทะเลจะไม่อพยพในทะเลญี่ปุ่น (Yamamoto *et al.*, 2014) จนถึงระยะ Juvenile ลูกปูจะมีพฤติกรรมรวมตัวกันบนก้นทะเลที่ระดับความลึกมากกว่า 250 เมตร ก่อนที่จะเติบโตเป็น Instar 7 จากนั้นย้ายไปที่ก้นทะเลที่ตื้นกว่า 250 เมตร ปูเจริญเติบโตขึ้นตามการลอกคราบ และยังไม่สามารถระบุเพศได้จนกว่าจะลอกคราบตัวที่สิบเอ็ด ในชั้นตอนที่ 9 และ 10 พวกมันจะรวมตัวกันที่ก้นทะเลที่ระดับความลึกประมาณ 225 เมตรโดยที่ปูตัวเมียจะผ่านการลอกคราบจนโตเต็มที่และตัวผู้จะมีชีวิตอยู่จนกระทั่งลอกคราบจนถึงระยะ 11 หลังจากนั้นตัวผู้จะเริ่มเคลื่อนที่ไปที่ระดับความลึก 275 - 400 เมตร และจะอยู่ที่นั่นบนก้นทะเลนานถึง 6 ปี (Kon, 1980) โดยการจำลองครั้งนี้แบ่งชั้นความลึกของน้ำเป็น 38 ระดับ (4 เมตร 10 เมตร 15 เมตร 22 เมตร 30 เมตร 39 เมตร 50 เมตร 64 เมตร 81 เมตร 100 เมตร 120 เมตร ... 5674 เมตร ตามลำดับ) มีการจำลองเหตุการณ์ปล่อยจำนวน 9 เหตุการณ์ทุกปีจาก 2542 ถึง 2556 ในช่วง 10 วันเริ่มในวันที่ 1 กุมภาพันธ์ แต่ละเหตุการณ์กินเวลา 120 วัน ระยะเวลาของระยะ Zoea I, Zoea II และ Megalopa ถูกตั้งสมมติฐานไว้ที่ 30 30 และ 60 วันตามลำดับ (Yamamoto *et al.*, 2014) อนุภาคที่เป็นตัวแทนของ Zoea I ถูกปล่อยออกมาที่ผิวน้ำทะเลระหว่างไอโซบาที่ 200 เมตร และ 500 เมตร เมื่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเล (SST) อยู่ในช่วง 5 องศาเซลเซียส ถึง 16 องศาเซลเซียส (Yamamoto *et al.*, 2014) เมื่อปล่อยตัวอ่อนลูกปูออกมาแล้วกระแสน้ำในมหาสมุทรจะเป็นตัวพัดพา ในระหว่างการขนส่งตัวอ่อนมีการกำหนดอุณหภูมิของน้ำต่อสถานะการอยู่รอดในช่วง 5 - 16 องศาเซลเซียส สำหรับการพัฒนา Zoea (60 วัน) และ 5 - 14 องศาเซลเซียส สำหรับระยะ Megalopa (60 วัน) การรอดชีวิตสูงสุดที่ความเค็มระหว่าง 20 - 38 PSU

สำหรับการลงเกาะที่พื้นท้องทะเลมีสองเงื่อนไขสำหรับตัวอ่อนของปู ประการแรกคือการเคลื่อนย้ายตัวอ่อนเป็นเวลานานกว่า 90 วัน (Kon *et al.*, 2003) หรือตัวอ่อนปูอยู่ในระยะ Megalopa ตอนปลาย และเตรียมพร้อมที่จะลงสู่พื้นทะเล ประการที่สองคือตัวอ่อนปูจะต้องอยู่ที่

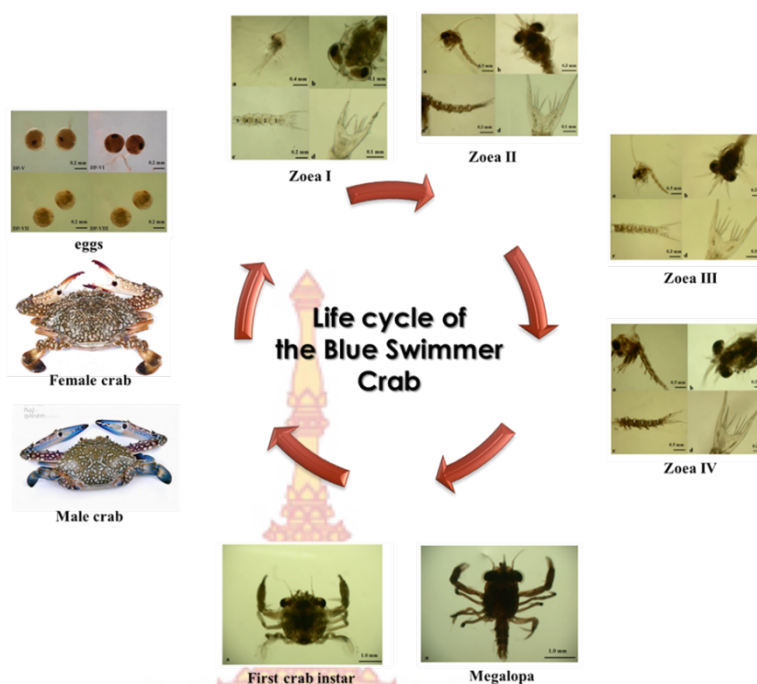
ระดับความลึกระหว่าง 200 เมตร ถึง 500 เมตร โดยข้อจำกัดของการศึกษารังนี้ เช่น จำนวนตัวอ่อนปูเริ่มที่ปล่อยยังไม่แน่นอน ระยะ Zoea I, Zoea II และ Megalopa มีเงื่อนไขแปรผันตามอุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นสาเหตุของการตายของตัวอ่อนอย่างเฉียบพลัน แต่การมีอาหารและการล่าตัวอ่อนปูก็ส่งผลต่อการอยู่รอดของประชากรลูกปูเช่นกัน อย่างไรก็ตามยังขาดข้อมูลภาคสนามเพื่อยืนยันความถูกต้องของโมเดล

ดังนั้นในปัจจุบันมีข้อมูลเรื่องของระบบนิเวศปูม้า แหล่งที่อยู่อาศัยที่เหมาะสมของปูม้า ปัจจัยแวดล้อม ชีววิทยาและวงจรชีวิตของปูม้า การเพาะเลี้ยงปูม้า การปล่อยลูกปูม้า และจุดปล่อยที่แน่ชัด รวมทั้งบริบทของพื้นที่ชายฝั่งในประเทศไทยเป็นน้ำตื้น สามารถพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 มิติ เพื่อจำลองการขนส่งตัวอ่อนของลูกปูในระยะซูเอีย (Zoea) และระยะเมกาโลปา (Megalopa) ช่วงประมาณ 15 - 21 วันที่ลอยอยู่ในมวลน้ำก่อนลงเกาะดำเนินการโดยใช้ Delft3D - PART (Delft, 2008) ซึ่งเป็นการเป็นการแก้ปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อประกอบการตัดสินใจและวางแผนการจัดการทรัพยากรปูม้าได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ปูม้าเป็นสัตว์ทะเลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ปัจจุบันได้พบว่าผลผลิตของปูม้าในธรรมชาติมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จนเข้าขั้นวิกฤต (กรมประมง, 2560) ดังนั้นประเทศไทยเกิด ความตระหนักและต้องการแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน หนึ่งในแนวทางแก้ไขคือจุดเริ่มต้นของโครงการธนาคารปูม้าโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าให้กับท้องทะเลไทยแต่ก่อประโยชน์ให้กับธรรมชาติและเศรษฐกิจประมงปูม้าอย่างมหาศาล และอาจนำไปสู่อาชีพและรายได้ที่ยั่งยืนของสมาชิกกลุ่มประมงพื้นบ้าน (กรีนเนท, 2562) ผลผลิตของปูม้าในธรรมชาติที่ลดลงเป็นผลทำให้ประเทศไทยต้องเดินหน้าส่งเสริมการทำโครงการดังกล่าวตลอดแนวชายฝั่งร่วม 20 จังหวัดของประเทศไทยเพื่อแก้ไขวิกฤตการณ์ในครั้งนี้ ในปัจจุบันโครงการธนาคารปูม้าเกิดขึ้นแล้วประมาณ 531 แห่ง มีการดำเนินกิจกรรมธนาคารปูม้าด้วยวิธีการที่เรียบง่าย อาศัยความร่วมมือของชุมชนชาวประมงชายฝั่งในการนำแม่ปูม้าที่มีไข่แก่ติดหน้าท้องมาฝากไว้ในกระชังที่อยู่ในทะเลหรือถังน้ำในโรงเรือน เมื่อแม่ปูม้าไข่ไข่ออกจากหน้าท้องแล้วจึงนำแม่ปูไปขาย ไข่ที่ถูกเขี่ยออกจากตัวแม่ก็จะฟักเป็นตัวอ่อนระยะซูเอีย (Zoea) หลังจากนั้นจะถูกปล่อยลงสู่ธรรมชาติ และกินอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติจนเติบโตเป็นปูม้าขนาดใหญ่ต่อไป อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลความรู้ ที่สามารถบ่งบอกหรืออธิบายความเป็นได้ที่ลูกปูจะมีอัตราการรอดจริงหรือไม่ ถ้ามีจะพบลูกปูได้บริเวณใดบ้าง ยังคงเป็นเครื่องหมายคำถามอยู่ในปัจจุบัน หากมีผลการติดตามปูม้าวัยอ่อนหลังการปล่อยไปแล้วจนถึงการตั้งถิ่นฐานของปู วัยอ่อน จะทำให้โครงการนี้บรรลุผลสำเร็จที่คาดหวังและเกิดประโยชน์สูงสุดก็เป็นได้ และนำมาสู่แนวทางการฟื้นฟูทรัพยากรประมงที่ยั่งยืนในอนาคต ดังนั้นผู้วิจัยมีคาดหวังและสนใจประเด็นปัญหานี้ จึงเกิดแนวคิดที่จะศึกษา การกระจายของปูวัยอ่อน

และตรวจสอบความเชื่อมโยงระหว่างตำแหน่งที่ปล่อยลูกปูวัยอ่อนกับพื้นที่ลงเกาะตามแนวชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรังเพื่อหาคำตอบและอธิบายเหตุการณ์เหล่านี้ อีกทั้งยังมีข้อมูลจำนวนลูกปูม้าและจุดปล่อยที่แน่ชัด รวมทั้งบริบทของพื้นที่ชายฝั่งในประเทศไทยเป็นน้ำตื้น สามารถพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองการขนส่งตัวอ่อนของลูกปูในระยะซูเอีย (Zoea) ช่วงค่าเฉลี่ยประมาณ 10 วันที่ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำก่อนลงเกาะ ดำเนินการโดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และชีวฟิสิกส์ (Hydrodynamic and Biophysical Model) เพื่ออธิบายการกระจายตัวและพลวัตประชากรของปูม้าวัยอ่อนในพื้นที่ศึกษา เพื่อประกอบการตัดสินใจและวางแผนการจัดการทรัพยากรปูม้าได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วงจรชีวิตของปูม้า (ภาพที่ 1) เริ่มจากระยะที่ยังเป็นไข่และใช้เวลาในช่วงพัฒนาไข่ 10 - 15 วัน เข้าสู่ช่วงระยะซูเอีย (Zoea) ประมาณ 10 วัน (บรรจง, 2547) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปูม้าในช่วงอายุนี้อยู่มีค่าอยู่ระหว่าง 28 - 30 องศาเซลเซียส และความเค็มที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 27 - 28 PSU ระยะนี้ส่วนใหญ่ปูวัยอ่อนมีการกระจายตัวตลอดมวลน้ำ และจะถูกพัดพาไปด้วยอิทธิพลของกระแสน้ำเป็นหลัก จะพบปูวัยอ่อนแขวนลอยอยู่บริเวณใกล้ผิวน้ำเป็นส่วนใหญ่ (Epifanio, 1995; Provenzano, 1983) โดยพบที่ระดับความลึกประมาณ 1 เมตร (บรรจง, 2547) และมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้เล็กน้อย (Anger, 2001; Anger et al., 2015) หลังระยะซูเอียลูกปูจะพัฒนาเป็นระยะเมกาโลปา (Megalopa) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 4 - 5 วัน ปูระยะเมกาโลปาสามารถอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 28-30 องศาเซลเซียส และความเค็มในช่วง 27 - 28 PSU ระยะนี้ตัวอ่อนปูม้าอาศัยอยู่ตามพื้นท้องน้ำเป็นส่วนใหญ่และสามารถว่ายน้ำได้ (Anger, 2001; Anger, 2006) จึงจะพัฒนาเป็นระยะตัวปูครั้งแรกใช้เวลาประมาณ 15 - 21 วัน (บรรจง, 2547) หลังจากนั้นพัฒนาเข้าสู่ระยะปูม้าวัยอ่อน (Young Crab) และเจริญเติบโตเข้าสู่ตัวเต็มวัยต่อไป



ภาพที่ 1 วงจรชีวิตของปูม้า

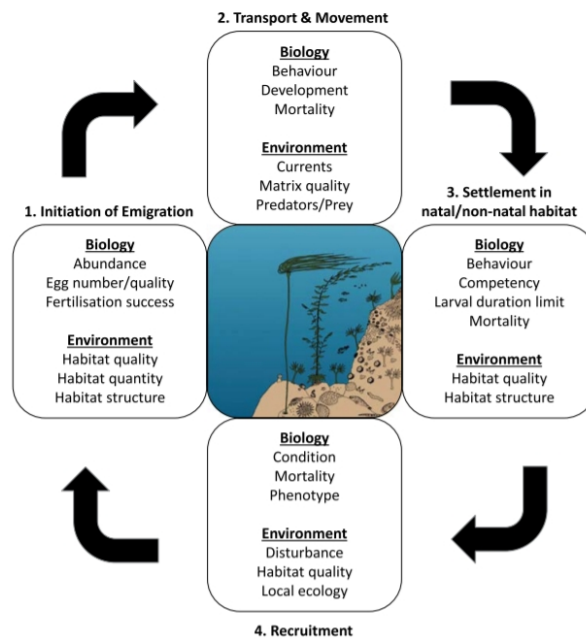
ที่มา : กุศล เรืองประเทืองสุข (2552)

ในประเทศไทยมีผลการศึกษาของ กุศล (2552) ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพลวัตประชากรปูม้า *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) ในระยะที่เป็นแพลงก์ตอน ลูกปูระยะหลังการลงเกาะ และตัวเต็มวัยในแหล่งหญ้าทะเล อ่าวคุ้งกระเบนจังหวัดจันทบุรี พบว่าการกระจายตัว และความหนาแน่นของประชากรปูม้าในแหล่งหญ้าทะเล หลังจากช่วงที่มีการปล่อยไข่ ในเดือนธันวาคม 2551 ถึงกลางเดือนมกราคม 2552 และช่วงต้นเดือนเมษายน 2552 ถึงกลางเดือนพฤษภาคม 2552 สามารถพบปูม้าในระยะที่เป็นแพลงก์ตอนระยะหลังการลงเกาะ (Megalopae) จนถึงระยะปูม้าวัยอ่อน ในแนวหญ้าทะเล ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่าระบบนิเวศในแนวหญ้าทะเลทำหน้าที่เป็นแหล่งอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน มีบทบาทสำคัญที่เป็นแหล่งอาศัยและเป็นแหล่งอาหารของสัตว์ทะเลนานาชนิดซึ่งในอ่าว Chesapeake ประเทศสหรัฐอเมริกา มีแนวพื้นที่ที่มีแหล่งหญ้าทะเล หลักๆ 2 ชนิด คือหญ้าอีลกราส (*Zosteramarina*) และหญ้าวิดิเจียน (*Ruppia maritima* L. Sensu Lato) เป็นถิ่นที่ปูม้า (*Callinectes Sapidus*) ชอบอาศัยอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีการตั้งถิ่นฐานและช่วงระยะของปูม้าวัยอ่อน (Orth and van Montfrans, 1987) ลูกปูระยะ Megalopae ซึ่งเป็นระยะสุดท้ายก่อนมีการตั้งถิ่นฐาน ชอบอาศัยอยู่ในแหล่งหญ้าอีลาส มากกว่าพื้นที่ทะเลที่เป็นโคลนหรือเป็นพื้นทรายโล่ง ๆ (Van Montfrans et al., 2003) และการตั้งถิ่นฐานในแหล่งที่อยู่อาศัยในแหล่งหญ้าทะเลซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณอาหารจำพวกแพลงก์ตอน (Lipcius et al., 1990)

แสดงให้เห็นว่ามีการเติบโตที่เร็วขึ้น และสามารถลดความเสี่ยงในการถูกล่าในช่วงระยะนี้จนถึงระยะ ปูม้าวัยอ่อน เมื่อเทียบกับพื้นที่ท้องทะเลที่โล่ง ๆ (Olmi and Lipcius, 1991; Perkins Visser et al., 1996; Pile et al., 1996; Moksnes et al., 1997) เมื่อปูม้ามีการเจริญเติบโตในช่วงระยะหนึ่ง ที่สามารถป้องกันตัวเองได้จะมีการอพยพออกจากพื้นที่แหล่งหญ้าทะเล เพื่อหาอาหารและอาศัยที่เขต พื้นที่น้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวและยังมีรายงานว่าลูกปูที่มีความกว้างกระดองน้อยกว่า 25 มิลลิเมตร จะอาศัยอยู่บริเวณแนวหญ้าทะเลในช่วงฤดูหนาว (Orth and van Montfrans, 1987; Montane et al., 1995) ในขณะเดียวกันยังพบว่าที่ปูม้าขนาดใหญ่อาศัยแนวหญ้าทะเลใช้ในการหลบหลีกผู้ล่า ในช่วงระยะลอกคราบและช่วงมีการผสมพันธุ์อีกด้วย (Ryer et al., 1990)

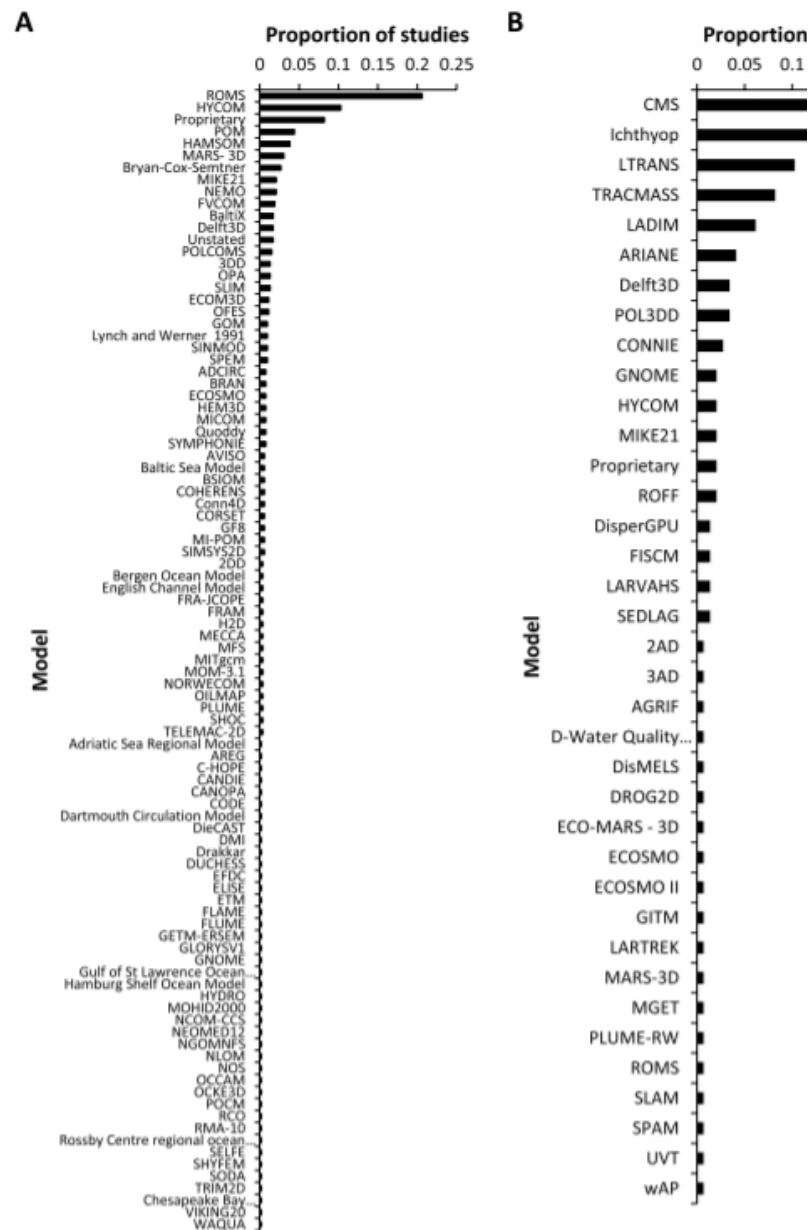
สำหรับการศึกษาการกระจายของตัวอ่อนในทะเลและการตั้งถิ่นฐานของ Treml *et al.* (2015) สามารถอธิบายในภาพรวมได้ 4 ระยะ ดังภาพที่ 2 ดังนี้ ระยะที่ 1 เป็นการเริ่มต้นของการย้ายถิ่นของพ่อแม่พันธุ์เพื่อทำการสืบพันธุ์ พารามิเตอร์ที่สำคัญในขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับ ผลผลิตของระบบสืบพันธุ์ (เช่น ความสมบูรณ์ของตัวเต็มวัย ความตกของไข่ คุณภาพไข่ และการปฏิสนธิ) ระยะที่ 2 คือการขนส่งและการเคลื่อนที่ โดยที่วิถีของตัวอ่อนที่กระจายจะถูกกำหนดการเคลื่อนที่ด้วยอิทธิพลของกระแสน้ำ และพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของตัวอ่อน รวมทั้งการพัฒนาการของตัวอ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถทางประสาทสัมผัสและการเคลื่อนไหวที่กำหนด พฤติกรรม และบทบาทภายนอก เช่น จากอิทธิพลของกระแสน้ำและโครงสร้างเชิงพื้นที่ของสภาพแวดล้อมในทะเล เช่น คุณภาพน้ำในมหาสมุทร น้ำกล้ำ และอาหาร ระยะที่ 3 คือ การตั้งถิ่นฐาน ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดของระยะเวลาในการกระจายตัวอ่อนในมวลน้ำ และมีการตั้งถิ่นฐานในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ระยะนี้ยังมีความซับซ้อนทางชีวฟิสิกส์ และขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวของตัวอ่อนในระยะนี้ ชีวฟิสิกส์ที่สลับซับซ้อนได้แก่ ระยะเวลาของตัวอ่อน พฤติกรรม การเคลื่อนไหวและการรับรู้ และยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยภายนอก ได้แก่คุณภาพและโครงสร้างที่อยู่อาศัยมีอิทธิพลต่อโอกาสในการอยู่รอดในช่วงการเปลี่ยนแปลงนี้ ระยะที่ 4 คือการการตั้งถิ่นฐาน ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีตัวอ่อนรอดชีวิตและเติบโตเต็มที่พร้อมที่จะมีการสืบพันธุ์ เพื่อการทดแทนประชากรที่มีอยู่ในธรรมชาติ การเข้าสู่ช่วงวัยผู้ใหญ่ถูกกำหนดโดยการเติบโตและการอยู่รอดของแต่ละคน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ ดังนั้นจะเห็นได้กระบวนการทั้ง 4 ขั้นตอนนี้ร่วมกันเกิดเป็นความซับซ้อนทางชีวฟิสิกส์ของกระบวนการที่กำหนดการเชื่อมโยงของประชากรในธรรมชาติ

สำหรับงานวิจัยที่จะดำเนินการมีการปรับเปลี่ยนไปจากกระบวนการที่ทบทวนมาก่อนหน้านี้ โดยผู้วิจัยดำเนินการศึกษาวิจัยการติดตามตัวอ่อนปูม้าที่ปล่อยจากธนาคารปูเท่านั้นไม่ได้ เริ่มต้นจากแหล่งปล่อยของพ่อแม่พันธุ์ในธรรมชาติ กระบวนการวิจัยจึงเริ่มดำเนินการในระยะที่ 2 และสิ้นสุดการทดลองในระยะที่ 3 ตามแผนภาพที่ 2 เท่านั้น



ภาพที่ 2 การกระจายของตัวอ่อนในทะเลและการตั้งถิ่นฐาน
ที่มา : Treml et al. (2015a)

แบบจำลองทางชีวฟิสิกส์ของการแพร่กระจายของตัวอ่อนในทะเลของ Stephen et al. (2019) สรุปได้ว่าการใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และแบบจำลองการติดตามอนุภาค ใช้สำหรับอธิบายการศึกษาการกระจายตัวของตัวอ่อนในทะเลในปัจจุบัน แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3 สำหรับการศึกษาคั้งนี้ผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานว่าการใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Delft3D แบบจำลองการติดตามอนุภาคใน Delft3D - PART และแบบจำลอง Ichthyop (Lett et al., 2008) สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนปูมาได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาการประยุกต์แบบจำลองเพื่อศึกษาติดตามอนุภาคในทะเลแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Delft3D เป็นที่นิยมในการประยุกต์ใช้ Stephen et al. (2019) ประมวลผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ต่าง แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 3

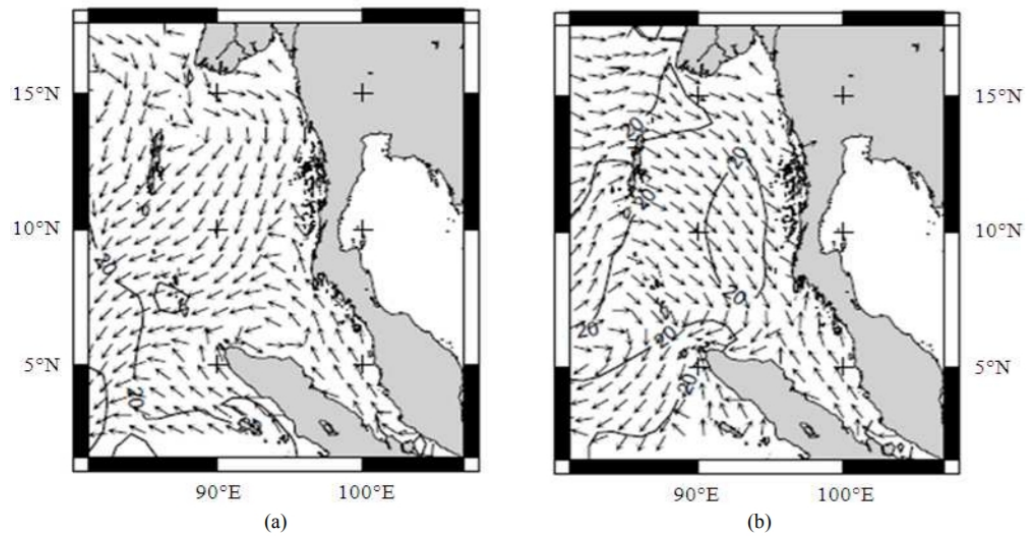


ภาพที่ 3 การกระจายการศึกษาตามแบบจำลอง (A) แบบจำลองอุทกพลศาสตร์และ (B) แบบจำลองที่ใช้ติดตามอนุภาค

ที่มา : Stephen et al. (2019)

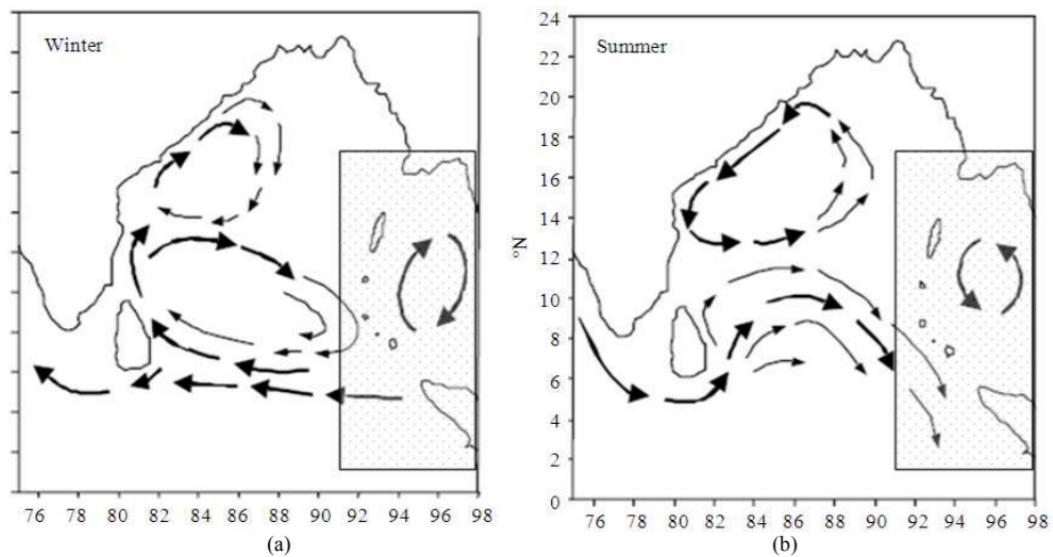
สำหรับการศึกษาของ Rizal et al. (2012) แสดงให้เห็นว่ากระแสที่ผิวเกิดจากอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง ลม และกระแสความร้อน แสดงไว้ในภาพที่ 4 ภาพที่ 4a หมายถึงค่าเฉลี่ยระยะยาวในปี พ.ศ. 2528 - 2546 ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (NE monsoon)

เดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ และภาพที่ 4b ค่าเฉลี่ยระยะยาวในปี พ.ศ. 2528 - 2546 ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW monsoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายนจนถึงเดือนกันยายน ในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ NE กระแสน้ำที่ผิวจากทางเหนือของอาณาเขตจะเข้าสู่ทะเลอันดามัน มวลน้ำเหล่านี้เคลื่อนตัวไปทางทิศใต้และไหลออกจากทะเลอันดามันฝั่งทะเลเปิดทางทิศตะวันตก และระหว่างหมู่เกาะอันดามันและสุมาตราถึงมหาสมุทรอินเดีย กระแสน้ำที่ผิวแห่งที่สองเข้าสู่ทะเลอันดามันจากด้านตะวันออกเฉียงเหนือของช่องแคบมะละกา แผ่ขยายไปสู่พรมแดนระหว่างไทยกับเมียนมาร์ กระแสน้ำมีการไหลเป็นวงวนเข็มนาฬิกาตั้งอยู่ทางเหนือของสุมาตราในช่องแคบมะละกา กระแสน้ำที่ไหลเป็นวงนี้ปิดกั้นการไหลออกในส่วนตอนบนของช่องแคบมะละกาทั้งหมด ในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (SW monsoon) กระแสน้ำที่ผิวทางตอนเหนือเข้าสู่ทะเลอันดามันเป็นช่วงยาวจากแหลมเนกราส์ไปทางเหนือของหมู่เกาะนิโคบาร์ กระแสน้ำที่ผิวในทะเลอันดามันไหลออกกระจุกตัวระหว่างทางตอนใต้ของหมู่เกาะนิโคบาร์และสุมาตรา กระแสน้ำที่ไหลเป็นวงวนเข็มนาฬิกาในพื้นที่ทางเหนือของสุมาตราหายไป ระบบหมุนเวียนน้ำถูกสร้างขึ้นโดยมวลน้ำที่มาจากทะเลอันดามันหมุนเวียนไปตามชายฝั่งทางเหนือของเกาะสุมาตราถึงมหาสมุทรอินเดีย กระแสน้ำที่ผิวที่ไหลลงสู่ทะเลอันดามันจากแห่งที่สองยังคงเกิดขึ้นแต่ใกล้กับชายฝั่งของคาบสมุทรมลายูและไหลไปทางเกาะภูเก็ต ในช่องแคบมะละกาการไหลของพื้นผิวจะมุ่งไปทางตะวันตกเฉียงเหนือสู่ทะเลอันดามันเสมอ สำหรับสถานการณ์มรสุม SW และ NE เนื่องจากระดับความสูงของผิวน้ำทะเลในพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ (ทะเลจีนใต้) จะสูงกว่าในฝั่งอันดามันเสมอ ทะเลในช่วงมรสุม SW และ NE (Wyrтки, 1961) สำหรับมรสุม NE มวลน้ำที่มีความเค็มสูงจากทะเลจีนใต้ไหลลงสู่ช่องแคบมะละกา มรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพามวลน้ำที่มีความเค็มต่ำจากทะเลชวาเข้าสู่ช่องแคบมะละกา โดยทั่วไป รูปแบบการหมุนเวียนที่แสดงในภาพที่ 5 นั้นแตกต่างจากรูปแบบการหมุนเวียนของ Varkey et al. (1996) พบว่ามีกระแสน้ำที่ไหลเป็นวงหลักสำหรับแต่ละฤดูกาลในใจกลางทะเลอันดามัน นั่นคือ กระแสน้ำที่ไหลเป็นวงตามเข็มนาฬิกาในช่วงมรสุม NE และกระแสน้ำที่ไหลเป็นวงวนเข็มนาฬิกาในช่วงมรสุม SW ภาพที่ 5 อย่างไรก็ตาม การศึกษาของ Varkey et al. (1996) เน้นไปที่อ่าวเบงกอลเป็นหลัก



ภาพที่ 4 กระแสน้ำผิวน้ำที่เกิดจากกระแสลม และกระแสความร้อนที่เกิดขึ้นในระยะยาว (พ.ศ.2528 - 2546) (a) เดือนธันวาคมถึงเฉลี่ยเดือนกุมภาพันธ์ (NE Monsoon) และ (b) เดือนมิถุนายนถึงกันยายน (SW Monsoon) จากผลการจำลอง HAMSOB ความเร็วหน่วยเป็น cm/s

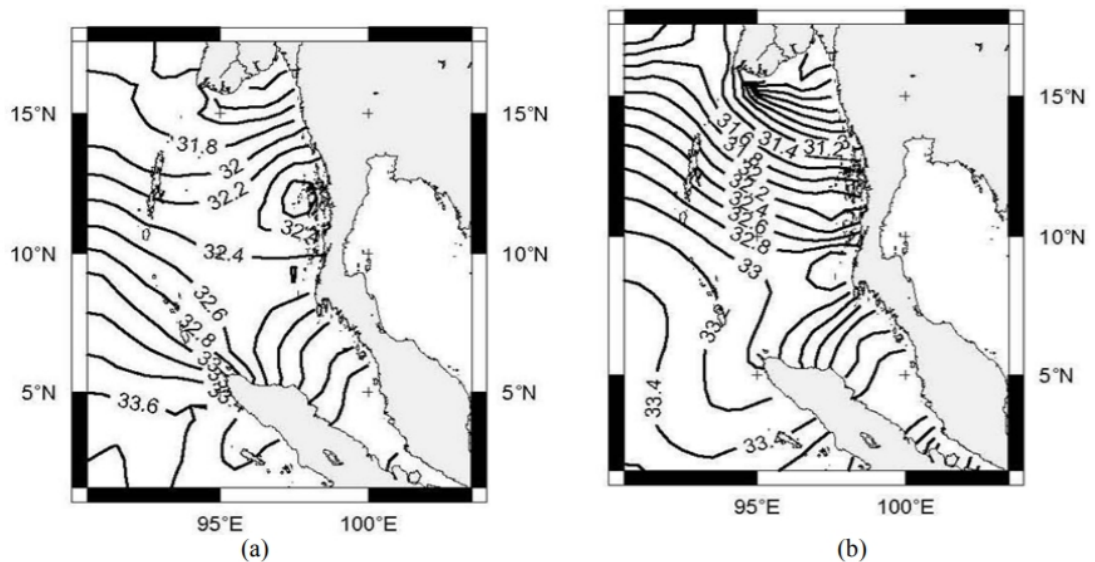
ที่มา : Rizal et al. (2012)



ภาพที่ 5 รูปแบบการหมุนเวียนของพื้นผิวน้ำอ่าวเบงกอลและทะเลอันดามันในช่วง (ก) ลมมรสุม NE และ (ข) ลมมรสุม SW ทำซ้ำหลังจาก Varkey et al. (1996)

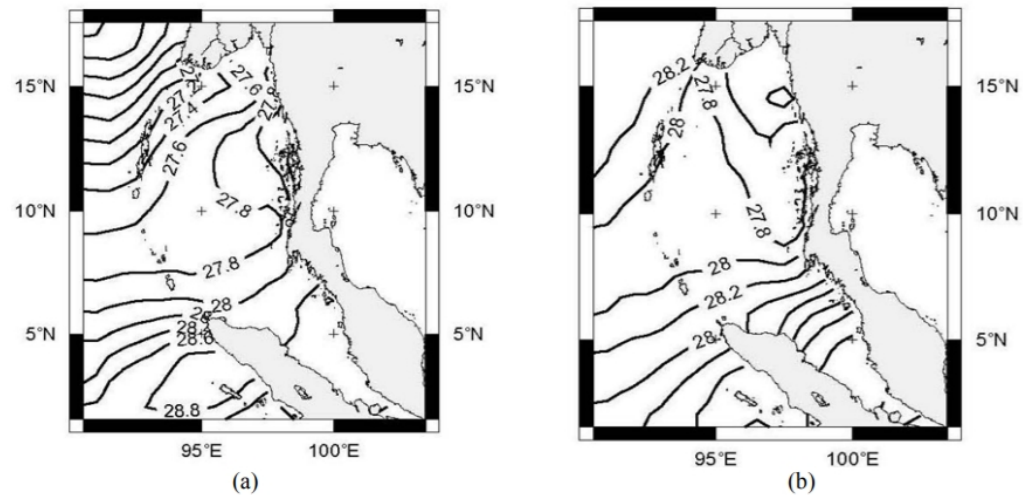
ที่มา : Wyrski (1961)

ความเค็มของผิวน้ำทะเลสำหรับมรสุม NE และ SW ที่ได้จากค่าเฉลี่ยในช่วงปี 2528 - 2546 สำหรับเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์และมิถุนายนถึงกันยายนตามลำดับแสดงในภาพที่ 6 ในอ่าว Martaban และทางตะวันตกเฉียงใต้ของช่องแคบมะละกา ความเค็มของผิวน้ำทะเลจะต่ำมากในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามที่ระบุไว้ข้างต้น ลมแรงจากตะวันตกเฉียงใต้ทำให้เกิดปริมาณน้ำฝนสูงสุดในพื้นที่ส่วนใหญ่ของอนุทวีปอินเดียตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงกันยายน โดยมีการไหลบ่าของแม่น้ำสูงสุดที่สอดคล้องกันไปยังอ่าวมาร์ตาบัน ในขณะที่ลมมรสุม NE ในช่วงเดือนธันวาคม - กุมภาพันธ์ ทำให้เกิดฝนตกหนักเพียง ทางตะวันออกเฉียงใต้ของอินเดีย (Ramage, 1971; Unger et al., 2003) ความเค็มต่ำในส่วนตะวันตกเฉียงใต้ของช่องแคบมะละกาเกิดจากการไหลเข้าของมวลน้ำจืดจากทะเลชวาซึ่งถูกลมมรสุมพัดพา



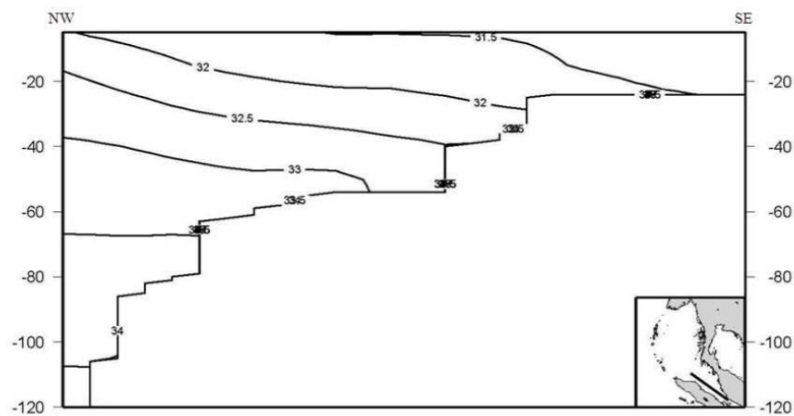
ภาพที่ 6 SSS จากแบบจำลอง HAMSOM ระหว่าง (a) ลมมรสุม NE (b) ลมมรสุม SW

ภาพที่ 7 แสดงการกระจายอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature, SST) จำลอง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539 และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2539 ซึ่งเป็นตัวแทนของมรสุม NE และ SW ตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดสำหรับทั้งสองกรณีเกิดขึ้นในช่องแคบมะละกาและมหาสมุทรอินเดียใกล้เกาะสุมาตรา ซึ่งแสดงการกระจายของ SST ตามสำนักงานอุตุนิยมวิทยาแห่งสหราชอาณาจักร (UKMO)



ภาพที่ 7 SST ตาม HAMSOM ใน (a) กุมภาพันธ์ (b) สิงหาคม 1996

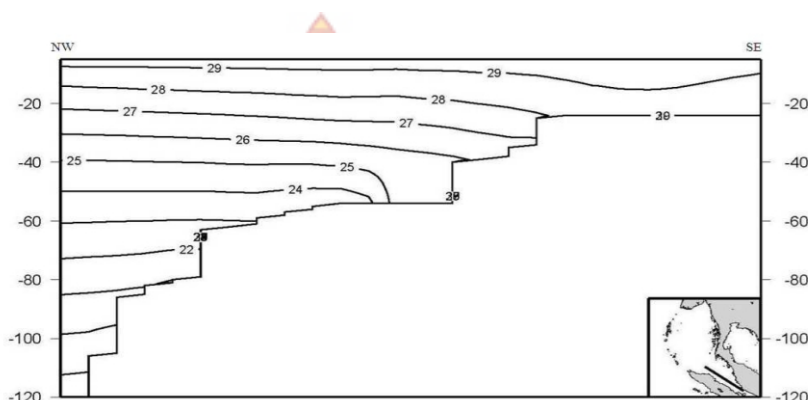
การตรวจสอบอีกรูปแบบหนึ่งมาจากการเปรียบเทียบกับข้อสังเกตในเดือนเมษายน พ.ศ. 2504 ที่ทำโดย Keller and Richards (1967) ภาพที่ 8 และ 9 จะเห็นได้ว่าเฉพาะทางตะวันออกเฉียงใต้ของช่องแคบมะละกาที่มีความเค็มผสมกันเป็นอย่างดี ในพื้นที่อื่นๆ ความเค็มอยู่ระหว่าง 31.5 ที่พื้นผิวและ 34.5 ที่ด้านล่าง



ภาพที่ 8 ภาพตัดขวางความเค็มในเดือนเมษายน พ.ศ. 2504 ในช่องแคบมะละกาที่ระดับความลึก 0 - 120 เมตร จากผลแบบจำลอง HAMSOM

ที่มา : Rizal et. al. (2012)

ภาพที่ 9 แสดงภาพตัดขวางของผลลัพธ์แบบจำลองการกระจายอุณหภูมิในแนวตั้งของเดือนเมษายน 1961 รูปแบบอุณหภูมิยังแสดงการไล่ระดับสีในแนวตั้งด้วยค่า 29 องศาเซลเซียสที่พื้นผิวและ 19 องศาเซลเซียส ที่ด้านล่างรูปแบบนี้คล้ายกันมากกับการสังเกตในเดือนเมษายน 2504 ซึ่งดำเนินการโดย Keller and Richards (1967)



ภาพที่ 9 รูปตัดขวางของอุณหภูมิในในเดือนเมษายน พ.ศ. 2504 ในช่องแคบมะละกาที่ระดับความลึก 0 ถึง 120 เมตร จากผลแบบจำลอง HAMSOM
ที่มา : Rizal et. al. (2012)

3. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของปูม้าวัยอ่อนที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าชุมชนชายฝั่งในพื้นที่จังหวัดตรัง

3.2 จำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของลูกปูม้าวัยอ่อนภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อน เพื่อเพิ่มอัตราการรอดตายของทรัพยากรปูม้าในธรรมชาติอย่างยั่งยืนในพื้นที่จังหวัดตรัง

3.3 ศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมกรรมกรว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อนในห้องปฏิบัติการ เพื่อพัฒนารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

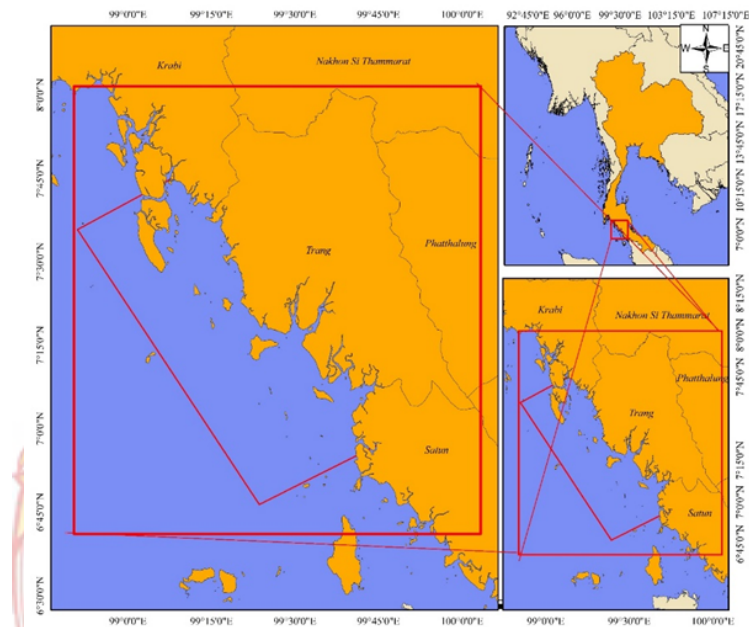
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ฐานข้อมูลและแบบจำลองวิจัยเป็นต้นแบบในการบริหารจัดการการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในประเทศไทยอย่างยั่งยืน

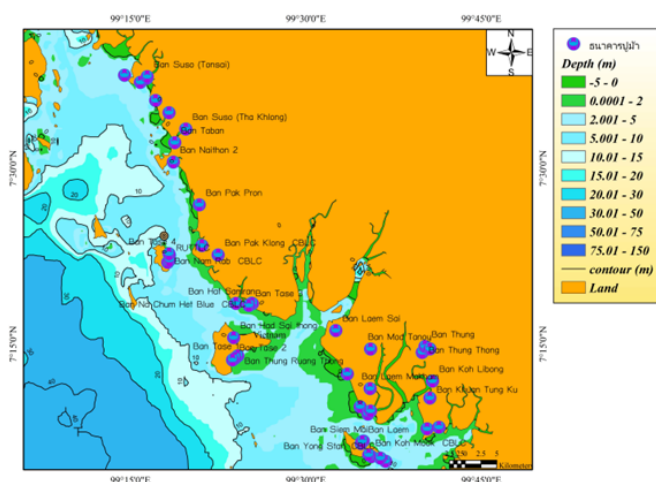
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการศึกษารูปแบบการขนส่ง การกระจายตัว และการลงเกาะของลูกปูม้า *P. pelagicus* ที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าในพื้นที่จังหวัดตรัง พื้นที่ศึกษาแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 10 และแผนที่ตำแหน่งธนาคารปูม้าในพื้นที่จังหวัดตรัง จำนวน 47 จุด ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 10 พื้นที่ศึกษาจังหวัดตรัง



ภาพที่ 11 แผนที่ตำแหน่งธนาคารปูม้าในพื้นที่จังหวัดตรัง

2. การศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน *P. Pelagicus* ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้า ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 การศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อนในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำการรวบรวมแม่พันธุ์ปูม้าที่มีไข่นอกกระดองจากชุมชนชายฝั่งในพื้นที่จังหวัดตรัง จำนวน 20 ตัว ตัวอย่างแม่ปูแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 12 การอนุบาลภายในถังพลาสติกขนาด 30 ลิตร บรรจุน้ำ ที่ความเค็ม 30 PSU และพื้นผิวเป็นพื้นทรายทะเลความหนา 2 เซนติเมตร จำนวน 20 ถึง เปลี่ยนน้ำทุกวัน และให้อาหารสัปดาห์ละ 3 ครั้ง จนกระทั่งไข่นอกกระดองของแม่ปูจะพัฒนาไข่ถึงระยะสุดท้ายและฟักเป็นตัวอ่อนระยะ Zoea 1 จึงทำการย้ายตัวอ่อนระยะ Zoea 1 ไปอนุบาลในถังอนุบาล ขนาด 500 ลิตร จำนวน 9 ถัง อุปกรณ์สำหรับอนุบาลลูกปูแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 13 โดยน้ำทะเลที่ใช้ออนุบาลตัวอ่อนต้องผ่านการกรองและฆ่าเชื้อ และมีความเค็ม 30 PSU ระหว่างการอนุบาลมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำและให้อาหารตัวอ่อน ได้แก่ โรติเฟอร์ อาร์ทีเมีย จนกระทั่งตัวอ่อนปูม้ามีการเจริญเติบโตพัฒนาเข้าสู่ระยะ First Crab Instar ซึ่งตัวอ่อนของปูม้าสามารถแบ่งเป็น 5 ระยะ (บรรจง, 2545) ได้แก่ ระยะ Zoea 1 เป็นตัวอ่อนหลังจากฟักจากไข่ 24 ชั่วโมง ระยะ Zoea 2 เป็นตัวอ่อนที่มีอายุ 2 - 3 วัน ระยะ Zoea 3 เป็นตัวอ่อนที่ใช้เวลา 4 - 5 วัน ในการพัฒนาจากรยะ Zoea 2 ระยะ Zoea 4 เป็นตัวอ่อนที่ใช้เวลา 3 - 4 วันในการพัฒนาจากรยะ Zoea 3 ระยะ Megalopa ใช้เวลา 5 - 7 วัน ในการพัฒนาจากรยะ Zoea 4 ซึ่งตัวอ่อนของปูม้าแต่ละระยะจะถูกนำมาศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำโดยใช้วิธีการของ Joseph *et al.* (2019) เพื่อบันทึกพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้าจากรยะชูเอีย (Zoea) จนถึงระยะเมกาโลปา (Megalopa) โดยทำการศึกษาในตู้กระจก

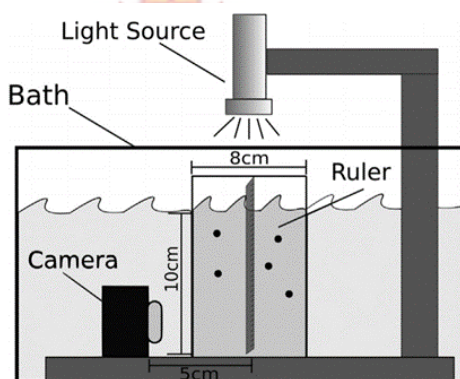
ขนาด (ความกว้าง 8 เซนติเมตร x ความยาว 24 เซนติเมตร x ความลึก 10 เซนติเมตร) จ่ายแหล่งกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่เหนือพื้นที่สังเกตการณ์ 6 เซนติเมตร ในการทดลองต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ ในระหว่างการสังเกตการณ์และต้องเป็นพื้นราบ พื้นผิวเป็นสีดำใต้หน่วยทดลอง เพื่อช่วยลดค่าการสะท้อนของแสงด้านล่าง ภายในตู้ต้องมีสเกลวัดขนาดหน่วยเป็นมิลลิเมตร ถูกยึดไว้ตรงกลางตู้ ภายในกรอบของกล้องและอุปกรณ์กล้องจมอยู่ในตู้ปลา (ความยาว 55 เซนติเมตร x ความกว้าง 38 เซนติเมตร x ความลึก 30 เซนติเมตร) ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และลดการหักเหของแสงระหว่างการบันทึกวิดีโอด้วยกล้องดิจิทัลกันน้ำ (Olympus Tough TG-5) กล้องโฟกัสเลนส์ความกว้าง 4.5 มิลลิเมตร ความสูง 18 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 14 และตู้สำหรับศึกษาพฤติกรรมของลูกปูดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16 แสดงการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea



ภาพที่ 12 แม่ปูม้าไข่ที่จับได้จากแหล่งอาศัยตามธรรมชาติ สำหรับการเพาะตัวอ่อนระยะ Zoea 1 - 4 และ Magalopa เพื่อศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้าวัยอ่อนในห้องปฏิบัติการ



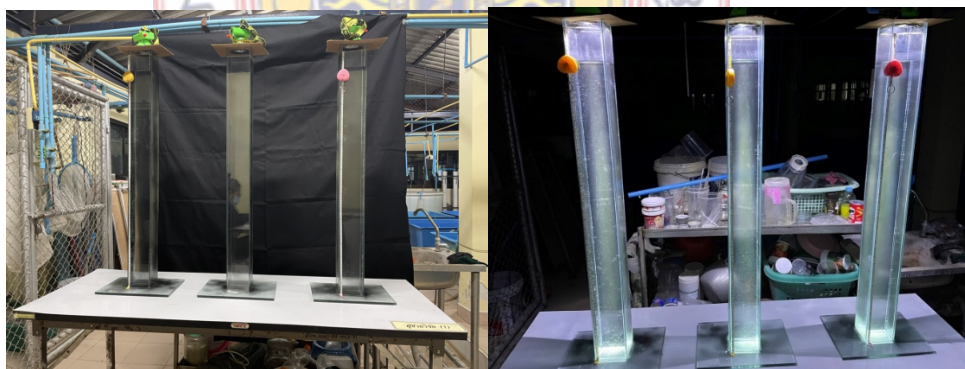
ภาพที่ 13 อ่างเพาะเลี้ยงลูกปูม้าให้เข้าสู่ระยะตัวอ่อนต่าง ๆ ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบเติมออกซิเจนเพื่อสร้างเงื่อนไขในการเจริญเติบโตของลูกปูม้า



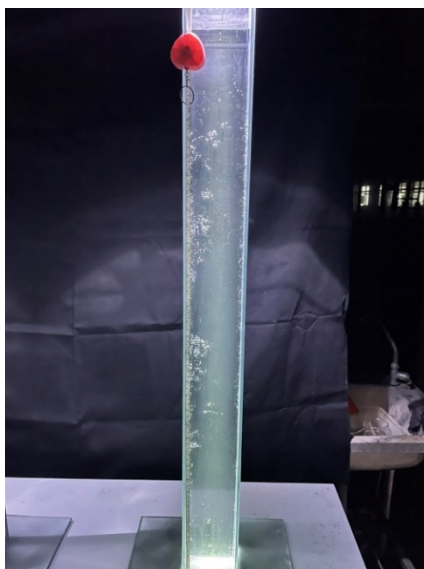
ภาพที่ 14 แผนผังของการตั้งคาระบบบันทึกวิดีโอในตู้ปลา
ที่มา : Joseph *et al.* (2019)

โดยทำการสุ่มลูกปูแต่ละระยะ โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาดเล็กแล้วค่อย ๆ เทลงในตู้กระจก และต้องให้ตัวอ่อนปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมภายในตู้ทดลองเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการบันทึกวิดีโอ (ความละเอียด 1080p, 60fps) ภายใต้การตั้งค่า "ซูเปอร์มาโคร" ทำการบันทึกวิดีโอเป็นระยะเวลา 17 นาที แต่ไม่นับรวม 2 นาทีแรกเนื่องจากอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้จากการเคลื่อนไหวที่เกิดจากการเริ่มการบันทึกวิดีโอ สำหรับวิดีโอแต่ละรายการจะมีการสุ่ม 10 ช่วง ช่วงละ 5 วินาที จากการบันทึกการทดลองเป็นระยะเวลา 15 นาที ภายใต้ภาพถ่ายวิดีโอจะมีการวัดทิศทางการว่ายน้ำของลูกปู ด้วยโปรแกรม Kinovea

2.2 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปู *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1 - 4 และระยะ Megalopa. จำนวนลูกปูที่ใช้ 10 ตัวต่อชุดการทดลองจำนวน 1 ชุด ชุดละ 3 ชั่วโมงในการทำการทดลองในช่วงกลางคืน 20.00 - 22.00 น. โดยทำการศึกษาในตู้กระจกขนาด (ความกว้าง 8 เซนติเมตร x ความยาว 10 เซนติเมตร x ความสูง 100 เซนติเมตร) ความลึกน้ำในชุดทดลอง 90 เซนติเมตร ในการทดลองต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสงอื่น ๆ ในระหว่างการสังเกตการณ์ และต้องเป็นพื้นราบ พื้นผิวเป็นสีดำใต้หน่วยทดลอง เพื่อช่วยลดค่าการสะท้อนของแสงด้านล่าง มีสเกลวัดขนาดหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขควบคุมที่ต่างกัน 2 เงื่อนไข คือ การเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยการล่องไฟด้านบน จ่ายแหล่งกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่เหนือพื้นที่สังเกตการณ์ 10 เซนติเมตร ในการทดลองแต่ละการทดลองทำการพักลูกปู 10 นาทีทุกครั้งและต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง เริ่มต้นลูกปูอยู่ที่ความลึกประมาณ 90 เซนติเมตร (ใช้วิธีล่องไฟด้านล่างจนกระทั่งลูกปูครบจำนวน 10 ตัว) แล้วปิดไฟด้านล่าง หลังจากนั้นเริ่มการทดลองโดยการเปิดไฟล่องด้านบน และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาทีทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว ดังภาพที่ 14 และการเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยการล่องไฟด้านล่าง จ่ายแหล่งกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่แนวตั้งฉากกับพื้นที่สังเกตการณ์ ลูกปูอยู่ที่ความลึก 0 เซนติเมตร ในการทดลองแต่ละการทดลองทำการพักลูกปู 10 นาทีทุกครั้งและต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง เริ่มต้นลูกปูอยู่ที่ความลึกประมาณ 0 เซนติเมตร (ใช้วิธีล่องไฟด้านบนจนกระทั่งลูกปูครบจำนวน 10 ตัว) แล้วปิดไฟด้านบน หลังจากนั้นเริ่มการทดลองโดยการเปิดไฟล่องด้านบน และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาที ทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว



ภาพที่ 15 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูในกลางคืน โดยมีเงื่อนไขควบคุมที่ต่างกัน 2 เงื่อนไข



ภาพที่ 16 การว่ายน้ำในแนวตั้งของตัวอ่อนปูม้า (ก่อนทำการทดลองทุกครั้ง 10 - 15 นาที และต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง หลังจากนั้นทำการเปิดไฟเป็นระยะเวลา 5-10 นาที ทำการสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาที ทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว)

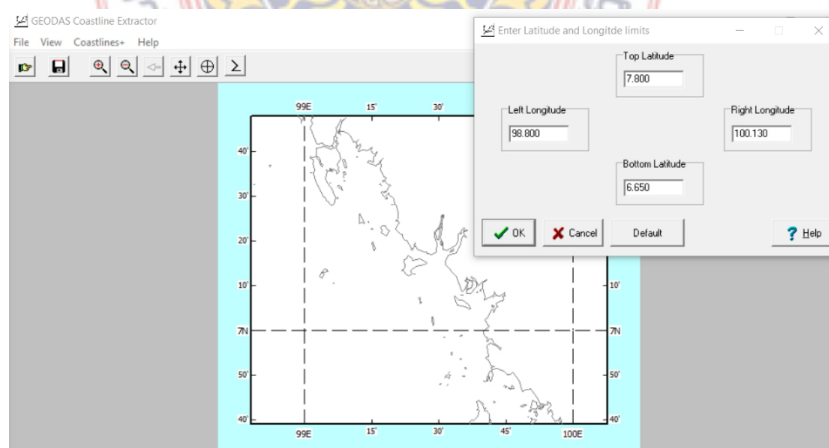
2.3 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปู *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1 - 4 และระยะ Megalopa จำนวนลูกปูที่ใช้ 10 ตัวต่อชุดการทดลองจำนวน 3 ชุด เวลาในการทำการทดลองในช่วงกลางวัน 9.00 - 12.00 นาที โดยทำการศึกษาในตู้ที่อะคริลิกใส ขนาด (เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว x ความยาว 120 เซนติเมตร) ความลึกน้ำในชุดทดลอง 10 เซนติเมตร มีสเกลวัดขนาดหน่วยเป็นเซนติเมตร โดยมีเงื่อนไขควบคุมความเร็วกระแสน้ำที่ต่างกัน 5 เงื่อนไข คือ ความเร็วกระแสน้ำ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที แต่ละการทดลองเตรียมลูกปูจำนวน 10 ตัว ปล่อยครั้งละ 1 ตัว เป็นระยะทาง 100 เซนติเมตร สังเกตพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูและบันทึกผล ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปู โดยมีเงื่อนไขควบคุมความเร็วของกระแสน้ำที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ ความเร็วกระแสน้ำ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาที

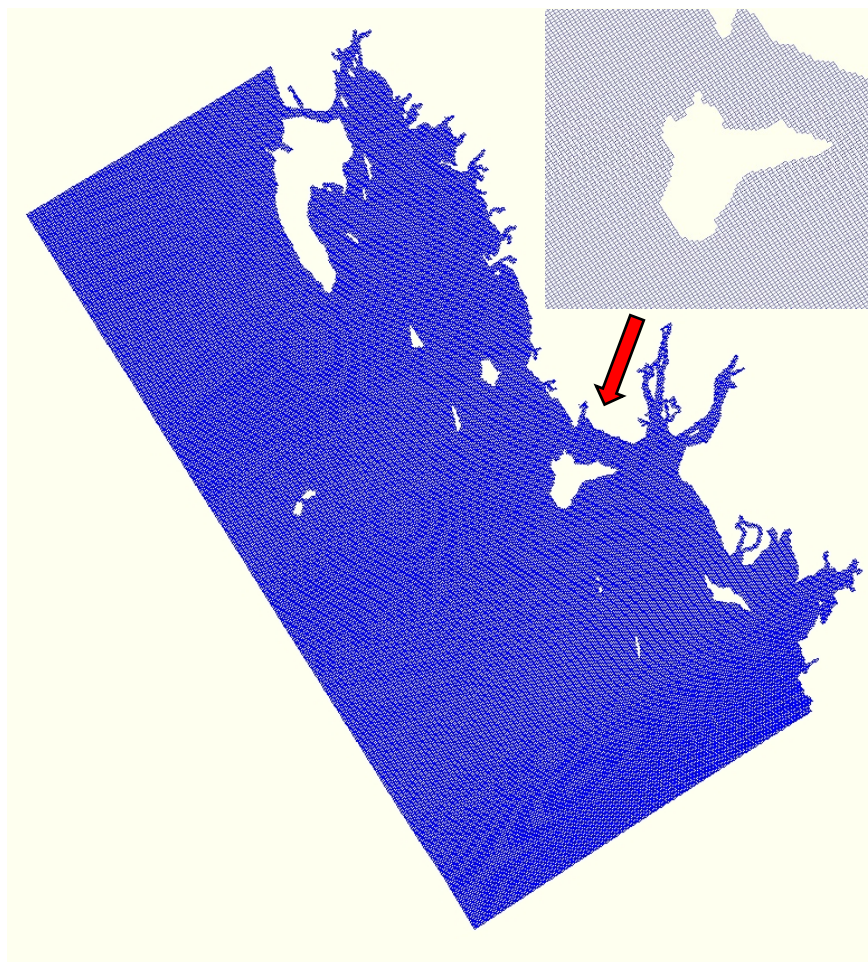
3. การจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

3.1 เส้นแนวชายฝั่งเตรียมด้วยโปรแกรม GEODAS-NG บันทึกเป็นไฟล์ .dat สำหรับนำเข้าในแบบจำลอง (ภาพที่ 18)



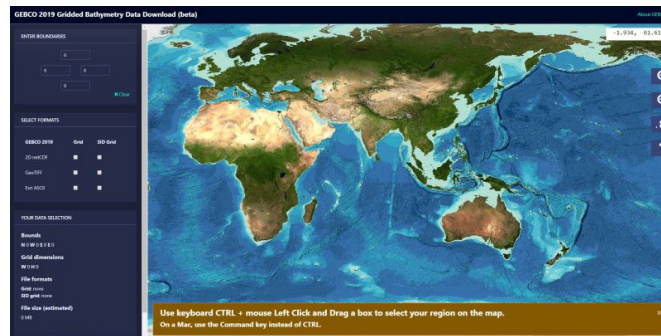
ภาพที่ 18 เส้นแนวชายฝั่งเตรียมด้วยโปรแกรม GEODAS-NG

3.2 การเตรียมกริดในโปรแกรม Delft3D 4.04.01 สร้างกริดใน RGFGRID และจำลองกริดเป็นแบบ Regular Grid in Spherical Coordinate บันทึกเป็นไฟล์ .grd และ .enc เพื่อเตรียมข้อมูลนำเข้าในโปรแกรมย่อย Delft3D - FLOW (ภาพที่ 19)



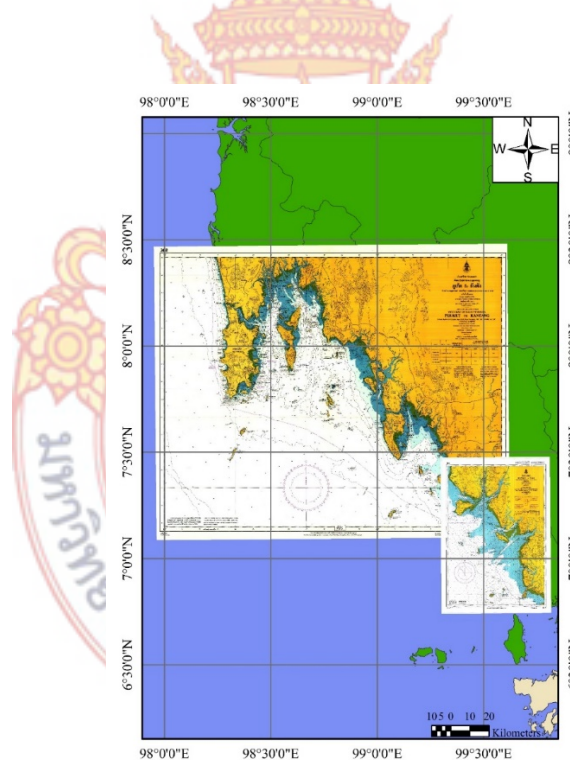
ภาพที่ 19 จำลองการสร้างกริดแบบ Regular Grid in Cartesian Coordinate

3.3 การเตรียมความลึกน้ำ และการแก้ระดับความลึกน้ำทะเลแบบควบคู่แผนที่ GEBCO กับแผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ แผนที่ความลึก GEBCO เป็นแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศของโลก ใช้สำหรับมหาสมุทรและพื้นดิน ซึ่งแสดงระดับความสูงในหน่วยเมตร โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ของกริด 15 Arc - Sec หรือ ประมาณ 450 เมตร GEBCO ข้อมูลมาพร้อมกับการแยกแยะชนิดของข้อมูลบนพื้นฐานของ GEBCO (2021) แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แผนที่แสดงระดับความสูง ทั่วโลก จากแหล่งข้อมูล GEBCO
ที่มา : Gebco (2021)

แผนที่เดินเรือ จากกรมอุทกศาสตร์ทัพเรือ ระยะเวลาที่ 308, 309, 336, 354 และ 502 มาตรา
ส่วน 1: 25,000 รายละเอียดการซ้อนทับระวางแผนที่ แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 แผนที่เดินเรือจากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ จัดเรียงและวางแผนที่ครอบคลุมพื้นที่
ศึกษา

การแก้ไขระดับความลึกน้ำทะเลขั้นตอนการแก้ไขระดับความลึกน้ำทะเล มีรายละเอียด 5 ขั้นตอนดังนี้

3.3.1 วางแผนการประยุกต์ใช้เครื่องมือภูมิศาสตร์สารสนเทศ ซึ่งประกอบด้วยการนำเข้าข้อมูล การคัดเลือกข้อมูล ในตารางข้อมูล การอ้างอิงระบบพิกัดให้กับแผนที่ และการคำนวณค่าระหว่างช่วงเชิงพื้นที่

3.3.2 เข้าข้อมูลระดับความลึกน้ำทะเล GEBCO ในรูปไฟล์นามสกุล .xyz และปรับแต่งการแบ่งชั้นข้อมูลเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตขณะแก้ไขค่าระดับความลึกน้ำทะเล ซึ่งจะเรียกข้อมูลนำเข้าชุดนี้ว่า ชั้นข้อมูล GEBCO ในลำดับต่อไป

3.3.3 นำเข้าแผนที่ เดินเรือ ซ้อนทับแผนที่ระดับความลึกน้ำทะเล GEBCO

3.3.4 กำหนดจุดอ้างอิงระบบพิกัด โดยการนำเข้าจุดอ้างอิงที่ระบุบนขอบแผนที่ ทั้ง 4 จุด จากนั้นจึงสร้างการเชื่อมโยงจุดพิกัดอ้างอิงกับจุดมุมทั้ง จุดทำการอัปเดตระบบพิกัด และตรวจสอบความถูกต้อง เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนนี้แล้ว โปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศสร้างไฟล์สำหรับอ้างอิงตำแหน่งบนระบบแผนที่ ซึ่งเป็นการกำหนดเพียงครั้งเดียว หากนำเข้าข้อมูลครั้งต่อไปโปรแกรมจะเรียกใช้งานอัตโนมัติ

3.3.5 เพิ่มฟิลด์ข้อมูลในตารางข้อมูล (Attribute Table) ของชั้นข้อมูล GEBCO กำหนดเป็นจำนวนจุดลอยตัว (Float) เพื่อรับค่าจากการอ่านแผนที่เดินเรือ

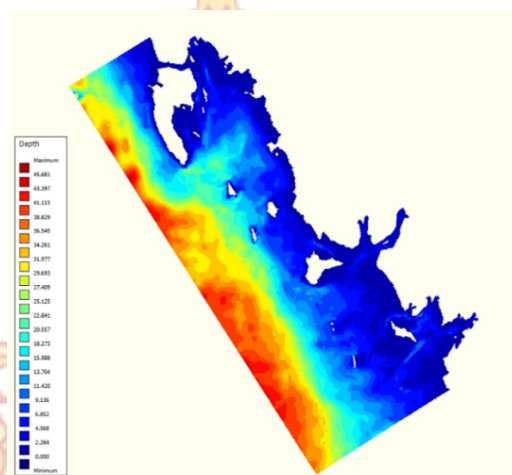
3.3.6 ดิจิไทซ์ เส้นแนวชายฝั่ง เส้นคอนทัวร์ระดับความลึกน้ำทะเล ที่ระดับ 2 5 10 15 20 30 และ 50 เมตร ซึ่งเป็นการทำงานในแผนที่ สัดส่วน 1:25,000 เมตร โดยทำการป้อนค่าความลึกระดับน้ำทะเล แต่ละความลึก ด้วยฟังก์ชันคำนวณฟิลด์ข้อมูล ซึ่งเป็นกาป้อนค่าเพียงครั้งเดียวให้กับจุดข้อมูลที่ระดับความลึกที่อ่านจากแผนที่เดินเรือ

3.3.7 ตรวจสอบค่าผิดปกติ ที่อยู่ระหว่างเส้นคอนทัวร์ โดยอาศัยเงื่อนไขคัดเลือกข้อมูลในตารางข้อมูลด้วย การใช้ $<$ $>$ $<=$ $>=$ และเชื่อมนิพจน์ด้วย And คัดเลือกข้อมูลจากชั้นข้อมูล GEBCO ที่ถูกปรับปรุงด้วยการดิจิไทซ์แล้ว จากนั้นจึงทำการแก้ไขค่าที่ไม่อยู่ในเงื่อนไข โดยการอ่านจากแผนที่เดินเรือ ซึ่งค่าผิดปกติ มักเป็นข้อมูลแบบจุดที่อยู่ระหว่างเส้นคอนทัวร์ ตัวอย่างนิพจน์เงื่อนไข เช่น "Depth" $>=$ 2 AND "Depth" $>=$ 5 แสดงการเลือก ค่าฟิลด์ข้อมูล Depth ระหว่างช่วง 2 - 5 ซึ่งฟิลด์ข้อมูล Depth คือ ตัวแปรค่าระดับความลึกน้ำทะเลนั่นเอง โดยการตรวจสอบค่าผิดปกติดำเนินการโดยการไล่ระหว่างเส้นชั้นคอนทัวร์จากน้อยไปหามากตามลำดับจนครบทุกระดับความลึกที่ปรากฏในพื้นที่ศึกษา

3.3.8 คำนวณค่าระหว่างจุดด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (Inverse Distance Weighting : IDW) เพื่อสังเกตพื้นที่ที่มีค่าผิดปกติ เช่นบริเวณใกล้ชายฝั่ง หากพบค่าผิดปกติ จึงดำเนินการตามข้อที่ 7 ข้าง และทำซ้ำข้อที่ 8 ไม่สามารถสังเกตความผิดปกติได้

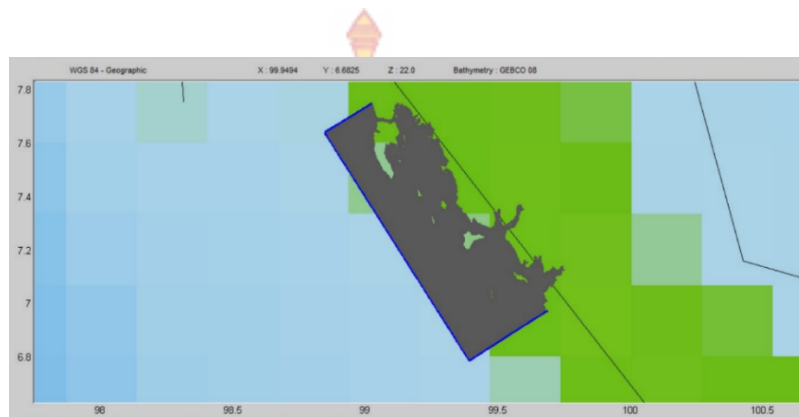
3.3.9 ส่งออกค่าจากชั้นข้อมูล GEBCO ที่ปรับค่าแล้ว ออกให้จัดเก็บในรูปแบบ .txt เพื่อสะดวกในการแปลงค่าเป็นรูปแบบ .xyz ด้วย Microsoft Excel ต่อไป

3.3.10 โหลดไฟล์ .txt ในข้อที่ 9 กำหนดการแบ่งคอลัมน์ข้อมูลด้วย แทบ (Tab Delimited) ปรับแต่งข้อมูล โดยคงข้อมูลคอลัมน์ x y และ Depth (z) ไว้ เพื่อให้อยู่ในรูปแบบของ .xyz จากนั้นจึงลบข้อมูลหัวตาราง และทำการบันทึกข้อมูล โดยใช้เครื่องหมาย (“”) เช่นไฟล์ชื่อ Filename ต้องการบันทึกเป็น Filename.xyz ระบุเป็นชื่อไฟล์ ดังนี้ “Filename.xyz” เป็นต้น หากมีปัญหาในการนำไปใช้ อาจนำข้อมูลไปปฏิบัติติดการบน Notepad ได้เช่นกัน ความลึกน้ำทะเลแบบควบคู่แผนที่ GEBCO กับ แผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยนำเข้าแผนที่ความลึก GEBCO และ แผนที่เดินเรือ จากกรมอุทกศาสตร์ทัพเรือแสดงผลด้วยโปรแกรม QUICKIN แสดงรายละเอียด ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ความลึกน้ำทะเลแบบควบคู่แผนที่ GEBCO กับ แผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ โดยนำเข้าแผนที่ความลึก GEBCO และ แผนที่เดินเรือ จากกรมอุทกศาสตร์ทัพเรือแสดงผลด้วยโปรแกรม QUICKIN

3.4 นำเข้าค่าฮาร์โมนิก (Harmonic Constants) ของน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณขอบเขตเปิดเปิดในแบบจำลองด้วยโปรแกรม Delft Dash Board โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้ 1. เปิดโปรแกรม 2. เลือก Work Directory 3. เซ็ต Domain โดยการใส่ไฟล์กริด .grd และ .enc และความลึก .dep 4. เซ็ต Boundaries 5. กลับไปหน้า Toolbox 6. เลือกเป็น TPXO 8.0 กด Make Boundary Condition ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 การจำลองการสร้างเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) เพื่อหาค่าฮาร์โมนิก (Harmonic Constants) ของน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณขอบเขตเปิดในแบบจำลอง

3.5 การเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยระดับน้ำรายชั่วโมงระหว่างค่าระดับน้ำตรวจวัดจำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานีท่าเรือหาดยาวของกรมเจ้าท่า สถานีตรวจวัดหาดราชมงคลและ สถานีตรวจวัดท่าเรือเกาะสุกร กับระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม Excel และทำการวิเคราะห์ ค่า R-squared และข้อมูลการเปรียบเทียบความเร็วและทิศทางกระแสน้ำจากจุดตรวจวัดภาคสนามด้วยเครื่องวัด ADCP กับข้อมูลกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลอง อย่างน้อย 1 สถานี

3.6 รูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำ 2 มิติในแบบจำลองย่อย Delft3D - FLOW การจำลองการไหลเวียนของกระแสน้ำ 2 มิติ ในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง เป็นระยะเวลา 1 ปี เริ่มตั้งแต่ มกราคม - ธันวาคม 2565 แสดงผลการไหลเวียนของกระแสน้ำด้วยภาพและภาคบรรยายประกอบ

4. การจำลองการกระจายตัวของปูวัยอ่อน *P. pelagicus*

ศึกษาการกระจายตัวของปูวัยอ่อนแบบ Passive ด้วยแบบจำลอง Delft3D - PART (สมมติให้ลูกปูวัยอ่อนเคลื่อนที่ไปกับกระแสน้ำและไม่มีการเคลื่อนในแนวตั้ง) ด้วยแบบจำลอง Delft3D - PART ผลการจำลองของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ Delft3D ในหัวข้อที่ 3 เช่น ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำ อุณหภูมิ และความเค็ม เป็นต้น จะนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการศึกษาการจำลองการขนส่งตัวอ่อนของลูกปูในระยะซู่เอีย (Zoea) ช่วงประมาณ 14 วันที่ล่องลอยอยู่

ในมวณน้ำก่อนลงเกาะด้วยแบบจำลอง Delft3D - PART กรณีศึกษานี้การกระจายตัวของลูกปูวัยอ่อนแบบ Passive (สมมติให้ลูกปูวัยอ่อนเคลื่อนที่ไปกับกระแสน้ำและไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง) ในการศึกษานี้จะจำลองตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า (ลองจิจูด และละติจูด) จำนวนลูกปูที่ปล่อยแต่ละสถานี และข้อมูลความลึกน้ำ ของแต่ละสถานี จำนวน 47 สถานี (ดูช่วงเวลาการพัฒนาของลูกปูม้าและปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตในตารางที่ 1 ผลการศึกษาจะแสดงด้วยภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคช่วงประมาณ 14 วันที่ปล่อยอยู่ในมวณน้ำก่อนลงเกาะ

ตารางที่ 1 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตของปูม้า

ระยะของ ปูวัยอ่อน	¹ ระยะเวลาที่ ใช้ในการ เจริญเติบโต (วัน)	² ระยะเวลาที่ ใช้ในการ เจริญเติบโต (วัน)	³ ระยะเวลาที่ ใช้ในการ เจริญเติบโต (วัน)	อุณหภูมิที่ เหมาะสม (องศาเซลเซียส)	ความเค็มที่ เหมาะสม (PSU)
Zoea 1 - Zoea 2	2-3	3-4	2-3	28-30	27-28
Zoea 2 - Zoea 3	4-5	3-4	4-5	28-30	27-28
Zoea 3 - Zoea 4	3-4	2-3	3-5	28-30	27-28
Zoea 4- Megalopa	2-3	2-3	2-3	28-30	27-28

ที่มา: ¹บรรจง (2547), ²Arshad *et al.* (2006) และ ³วารินทร์ (2548)

บทที่ 3

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. พื้นที่ศึกษา

1.1 อาณาเขตและที่ตั้ง

ตั้งเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางภาคใต้ฝั่งทะเลตะวันตกของประเทศไทย ตั้งอยู่ภาคใต้ฝั่งตะวันตกติดกับทะเลอันดามันแห่งมหาสมุทรอินเดีย มีเนื้อที่ทั้งสิ้น 4,917.519 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 3,088,399.375ไร่ มีขนาดพื้นที่ใหญ่เป็นลำดับที่ 4 ของภาคใต้ และลำดับที่ 33 ของประเทศ อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานคร ตามเส้นทางสายเพชรเกษม 828 กิโลเมตร มีพื้นที่ฝั่งทะเลตลอดแนวเขตจังหวัดยาว 119 กิโลเมตร ประกอบไปด้วยเกาะน้อยใหญ่จำนวน 46 เกาะ โดยมีเกาะที่สำคัญ เช่น เกาะลิบง ซึ่งเป็นเกาะที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เกาะมุก เกาะกระดาน เป็นต้น โดยมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดต่าง ๆ ดังนี้

1.1.1 ทิศเหนือ ติดกับ อำเภอกงหรา จังหวัดนครศรีธรรมราช และอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่

1.1.2 ทิศใต้ ติดกับ อำเภอกงหรา จังหวัดสตูล และทะเลอันดามัน มหาสมุทรอินเดีย

1.1.3 ทิศตะวันออก ติดกับ อำเภอกวนขัน อำเภอกงหรา อำเภอตะโหมดจังหวัดพัทลุง (มีเทือกเขาบรรทัดกั้นอาณาเขต)

ทิศตะวันตก ติดกับ อำเภอคลองท่อม เกาะลันตา จังหวัดกระบี่ และทะเลอันดามันมหาสมุทรอินเดีย

1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพพื้นที่ส่วนใหญ่โดยทั่วไปจะเป็นเนินสูง ๆ ต่ำ ๆ สลับด้วยภูเขาใหญ่เล็กกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป พื้นที่ราบเรียบมีจำนวนน้อยซึ่งใช้เพาะปลูกข้าว ทางทิศตะวันออกมีเทือกเขาบรรทัดยาวจากเหนือจรดใต้ และเป็นเส้นแบ่งเขตแดนระหว่างจังหวัดตรงกับจังหวัดพัทลุง มีพื้นที่ป่าประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่จังหวัด สภาพป่าเป็นป่าดิบชื้น สำหรับพื้นที่ที่อยู่ติดกับทะเลมีป่าชายเลนที่ยังคงมีความอุดมสมบูรณ์มีพื้นที่เป็นเกาะจำนวน 46 เกาะอยู่ในพื้นที่อำเภอกันตัง 12 เกาะ อำเภอปะเหลียน 13 เกาะ และอำเภอสิเกา 21 เกาะ

1.3 ลักษณะภูมิอากาศ

ฤดูกาลแบ่งตามลักษณะอากาศของประเทศไทยออกเป็น 2 ฤดูคือฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคมและฤดูฝนเริ่มตั้งเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ลักษณะอากาศทั่วไป จังหวัดตั้งอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมที่พัดประจำเป็นฤดูกาล 2 ชนิดคือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เดือนพฤศจิกายนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) ช่วงเว้นว่างระหว่างมรสุม (เดือนมีนาคมถึงเมษายน)

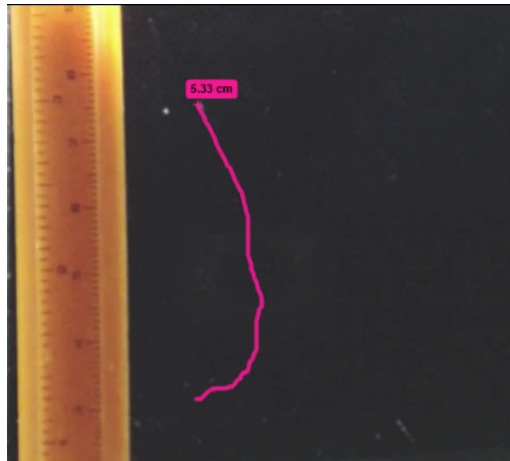
2. ผลการศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน *P. Pelagicus* ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 การศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน *P. pelagicus* ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

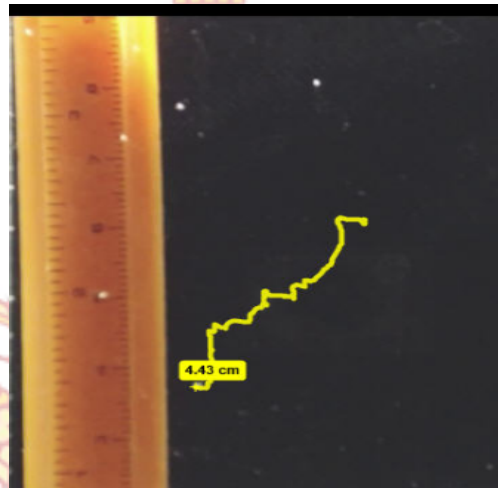
2.1.1 พฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1 จากการศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1 จำนวน 20 ตัว ที่บันทึกด้วยวิดีโอเพื่อติดตาม (Track) รูปแบบทิศทาง และพฤติกรรมการว่ายน้ำ พบการว่ายน้ำลูกปูม้าระยะ Zoea 1 แต่ละตัว (Individual Swimming Track) มีความแตกต่างกันในแง่ของทิศทาง (Tirection) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) โดยพบลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1 มีการว่ายน้ำหลากหลายรูปแบบ เช่น การว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือ ว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ดังแสดงในภาพที่ 24 25 และ 26 ตามลำดับ ซึ่งมีพฤติกรรมรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่นิ่งแทบไม่ขยับ โดยพบว่า ระยะ Zoea 1 มีอัตราเร็ว (Speed) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) เฉลี่ยเท่ากับ 6.55 mm./s อัตราเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 2.51 mm./s และความเร็วในการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) เฉลี่ยเท่ากับ 3.48 mm./s นอกจากนี้ ความเร็ว (Velocity) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน เฉลี่ยเท่ากับ 5.12 mm./s ความเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 1.81 mm./s และความเร็วในการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) เฉลี่ยเท่ากับ 2.42 mm./s ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 1

Zoea	Speed (mm./s)			Velocity (mm./s)			Remark
	Upward	Downward	Sideway	Upward	Downward	Sideway	
1							
1	3.526			2.432			Upward
2			2.018			0.27	Float - Sideway
3		2.175			0.6		Down - up
4			3.909			4.7	Sideway
5	10.996			6.77			Upward
6			3.076			2.261	Downward - Sideway
7	7.078			6.168			Upward - Sideway
8			4.919		3.753		Sideway
9	4.61					2.454	Upward - Sideway
10		2.844			1.067		Up - Downward
Mean	6.55	2.51	3.48	5.12	1.81	2.42	
Sd	3.31	0.47	1.23	2.35	1.70	1.81	



ภาพที่ 24 พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) ของลูกปูม้า *P. Pelagicus* ระยะ Zoea 1



ภาพที่ 25 พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1



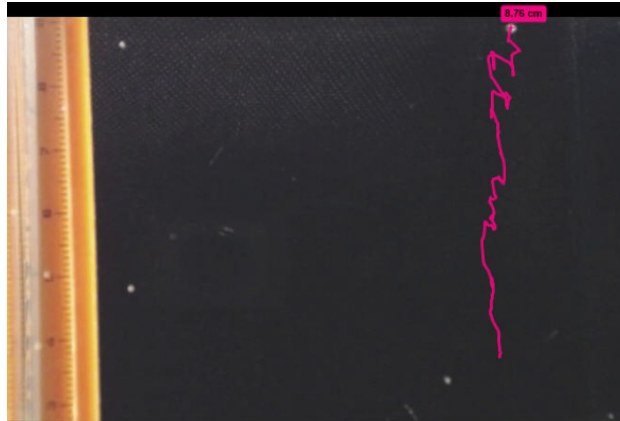
ภาพที่ 26 พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1

2.1.2 พฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 2 จากการบันทึกด้วยวิดีโอเพื่อศึกษาติดตาม (Track) รูปแบบทิศทาง และพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 2 จำนวน 31 ตัว พบลูกปูม้าระยะ Zoea 2 แต่ละตัวมีความแตกต่างของการว่ายน้ำกันในแง่ของทิศทาง (Direction) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) โดยพบลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 2 มีรูปแบบการว่ายน้ำที่หลากหลาย เช่น การว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ดังแสดงในภาพที่ 27 28 และ 29 ตามลำดับ ซึ่งพบพฤติกรรมรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่นิ่งแทบไม่ขยับ คล้ายกับพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea ต่าง ๆ โดยพบว่า ระยะ Zoea 2 มีอัตราเร็ว (Speed) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) เฉลี่ยเท่ากับ 8.03 mm./s อัตราเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 6.01 mm./s และความเร็วในการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) เฉลี่ยเท่ากับ 3.48 mm./s นอกจากนี้ ความเร็ว (Velocity) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน เฉลี่ยเท่ากับ 7.46 mm./s ความเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 2.44 mm./s และความเร็วในการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) เฉลี่ยเท่ากับ 2.69 mm./s ดังตารางที่ 3

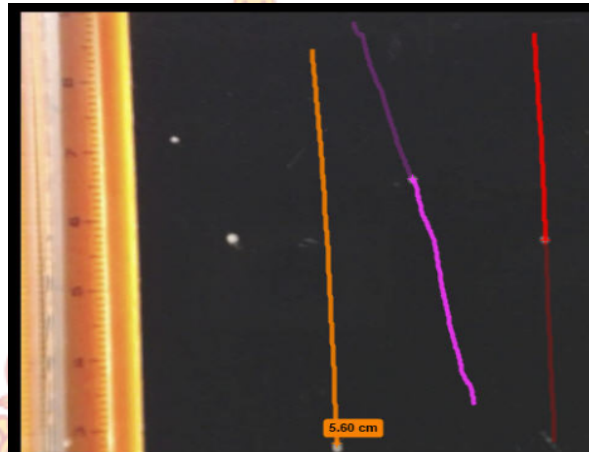


ตารางที่ 3 ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 2

Zoea 2	Speed (mm./s)			Velocity (mm./s)			Remark
	Upward	Downward	Sideway	Upward	Downward	Sideway	
1			3.22			2.65	Sideway - Up
2		3.71			1.98		Slow - Down
3		3.98			4.00		Down
4		1.84			1.10		Sideway
5	4.65			2.73			Up-Step
6			2.68			1.70	Sideway
7			4.07			2.28	Sideway
8			3.42			2.41	Sideway - Up
9	4.01			2.30			Up
10			4.91			3.33	Sideway
Mean	4.33	3.17	3.66	2.52	2.36	2.47	
Sd	0.45	1.17	0.86	0.31	1.49	0.59	



ภาพที่ 27 พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 2



ภาพที่ 28 พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 2



ภาพที่ 29 พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 2

2.1.3 พฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 3 จากการติดตาม (Track) รูปแบบทิศทาง และพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 3 จำนวน 25 ตัว พบมีความแตกต่างของการว่ายน้ำลูกปูม้าระยะ Zoea 3 แต่ละตัวกันเกี่ยวกับทิศทาง (Direction) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) โดยพบรูปแบบการว่ายน้ำที่หลากหลายของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 3 เช่น การว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ดังแสดงในภาพที่ 30 31 และ 32 ตามลำดับ นอกจากนี้พบพฤติกรรมรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่นิ่งแทบไม่ขยับ คล้ายกับพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea ต่าง ๆ โดยพบว่า ระยะ Zoea 3 อัตราเร็ว (Speed) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) เฉลี่ยเท่ากับ 15.00 mm./s อัตราเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 7.85 mm./s และความเร็วในการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) เฉลี่ยเท่ากับ 9.26 mm./s นอกจากนี้ ความเร็ว (Velocity) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน เฉลี่ยเท่ากับ 10.87 mm./s ความเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 3.73 mm./s และความเร็วในการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) เฉลี่ยเท่ากับ 1.49 mm./s ดังตารางที่ 4

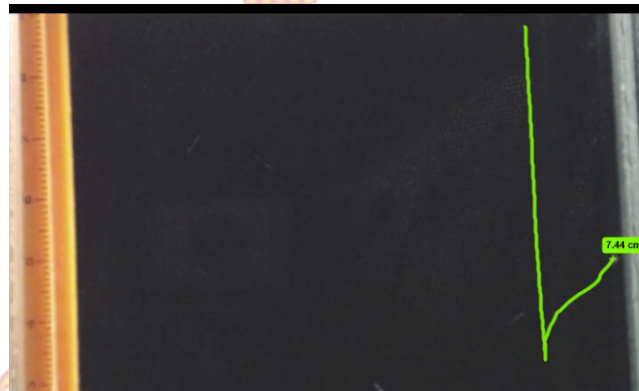


ตารางที่ 4 ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 3

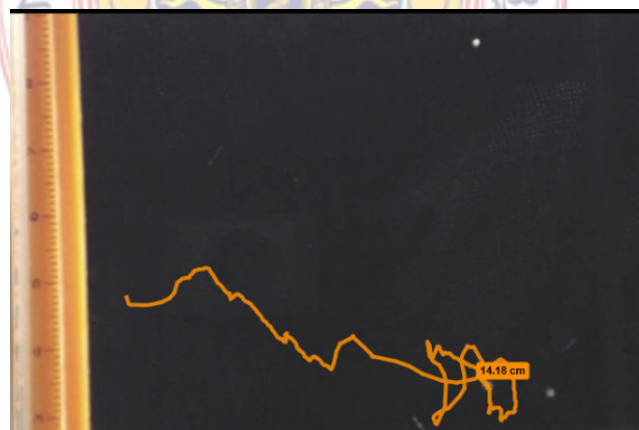
Zoea 3	Speed (mm./s)			Velocity (mm./s)			Remark
	Upward	Downward	Sideway	Upward	Downward	Sideway	
1	37.551			24.563			Upward
2	27.581			17.631			Upward
3			7.595			2.819	Sideway
4			3.657			1.12	Sideway
5	14.064			14.089			Upward
6	9.3			5.211			Sinking and Upward
7			21.21			0.685	Sideway
8		9.623			9.09		Sink
9	10.624			10.73			Upward
10	11.651			6.426			Upward
11		7.02			1.745		Downward
12			4.589			1.316	Step - Upward
13		2.509			2.143		Sink
14		6.821			3.162		Sinking - Upward
15	5.752			4.846			Upward
16	3.497			3.447			Upward
17		13.301			2.508		Sinking - Downward
Mean	15.00	7.85	9.26	10.87	3.73	1.49	
Sd	11.64	3.97	8.14	7.43	3.04	0.93	



ภาพที่ 30 พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 3



ภาพที่ 31 พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 3



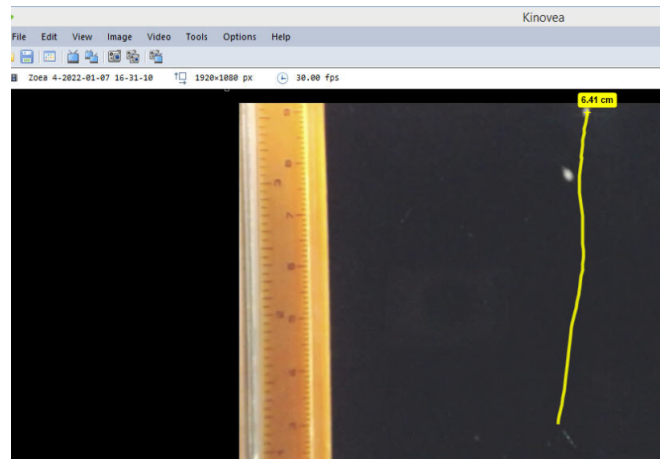
ภาพที่ 32 พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 3

2.1.4 พฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4 พฤติกรรมและรูปแบบทิศทางของการว่ายน้ำลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4 จำนวน 32 ตัว ที่บันทึกด้วยวิดีโอ และศึกษาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Kinovea พบลูกปูม้าระยะ Zoea 4 แต่ละตัว (Individual Swimming Track) มีการว่ายน้ำที่แตกต่างกันในแง่ของทิศทาง (Direction) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) โดยพบรูปแบบการว่ายน้ำหลากหลายของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4 เช่นการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือ ว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ดังแสดงในภาพที่ 33 34 และ 35 ตามลำดับ แต่ทิศทางของการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4 มักเป็นแนวตั้ง (Vertical Movement) เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีพฤติกรรมรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่นิ่งแทบไม่ขยับ เช่นเดียวกับที่พบในลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea อื่น ๆ โดยพบว่า ระยะ Zoea 4 มีอัตราเร็ว (Speed) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) เฉลี่ยเท่ากับ 34.45 mm./s อัตราเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking-Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 8.97 mm./s นอกจากนี้ ความเร็ว (Velocity) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน เฉลี่ยเท่ากับ 33.98 mm./s ความเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 9.17 mm./s ดังตารางที่ 5

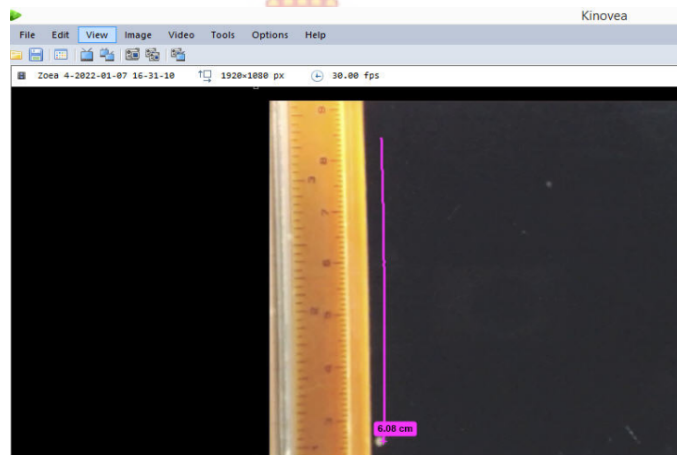


ตารางที่ 5 ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Zoea 4

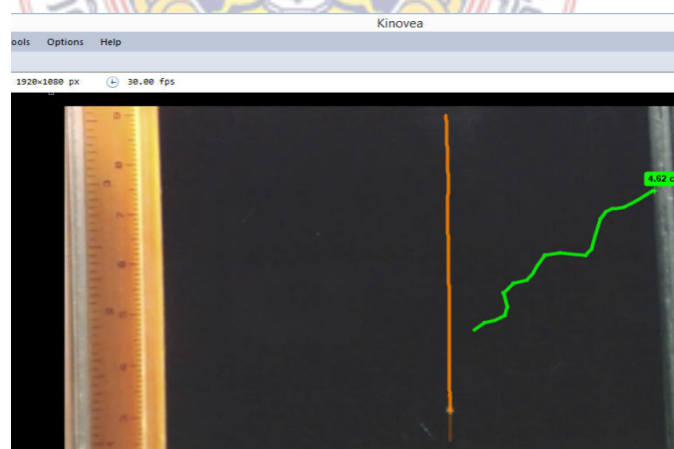
Zoea 4	Speed (mm./s)			Velocity (mm./s)			Remark
	Upward	Downward	Sideway	Upward	Downward	Sideway	
1	47.6			51.94			Upward
2		9.106			9.263		Sinking
3	32.02			31.528			Upward
4	27.358			22.3			Upward
5		8.737			9		Sinking
6	30.824			30.159			Upward
7		9.058			9.306		Sinking
8		8.976			9.1		Sinking
9							
10							
Mean	34.45	8.97		33.98	9.17		
Sd	8.99	0.16		12.64	0.14		



ภาพที่ 33 พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4



ภาพที่ 34 พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4



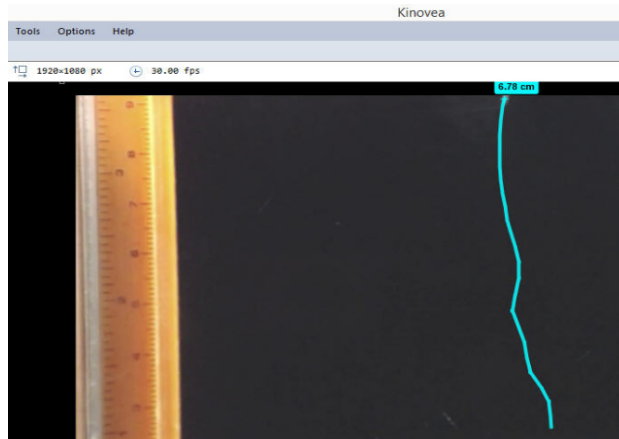
ภาพที่ 35 พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 4

2.1.5 พฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *Portunus pelagicus* ระยะ Megalopa จากการบันทึกด้วยวิดีโอเพื่อศึกษาติดตาม (Track) รูปแบบทิศทาง และพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Megalopa จำนวน 16 ตัว พบการว่ายน้ำลูกปูม้าระยะ Megalopa แต่ละตัว (Individual Swimming Track) มีทิศทาง (Direction) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) ที่แตกต่างกัน โดยพบการว่ายน้ำหลากหลายรูปแบบ เช่น การว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือ ว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ดังแสดงในภาพที่ 36 37 และ 38 ตามลำดับ แต่ทิศทางการว่ายน้ำมักเป็นแนวตั้ง (Vertical Movement) คล้ายกับการว่ายน้ำของลูกปูม้าระยะ Zoea 4 นอกจากนี้ พฤติกรรมการว่ายน้ำลูกปูม้าระยะ Megalopa มักมีรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่นิ่งแทบไม่ขยับ โดยพบว่า ระยะ Megalopa มีอัตราเร็ว (Speed) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) เฉลี่ยเท่ากับ 28.01 mm./s อัตราเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 9.22 mm./s นอกจากนี้ ความเร็ว (Velocity) ในการว่ายน้ำขึ้นด้านบน เฉลี่ยเท่ากับ 26.63 mm./s ความเร็วในการจมตัวหรือว่ายน้ำลงด้านล่าง (Sinking - Downward) เฉลี่ยเท่ากับ 9.03 mm./s ดังตารางที่ 6

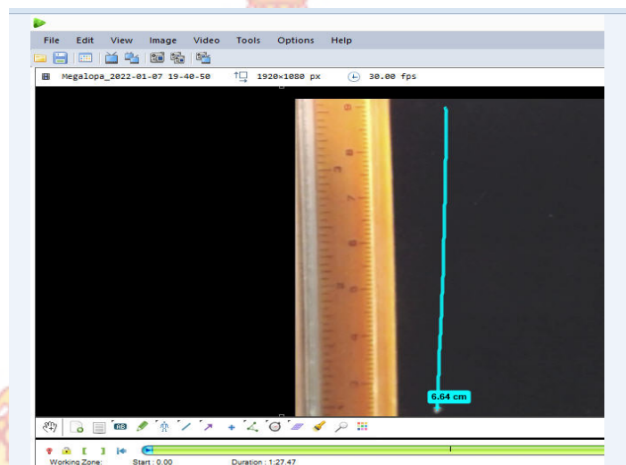


ตารางที่ 6 ความเร็วในการว่ายน้ำของลูกปูระยะ Megalopa

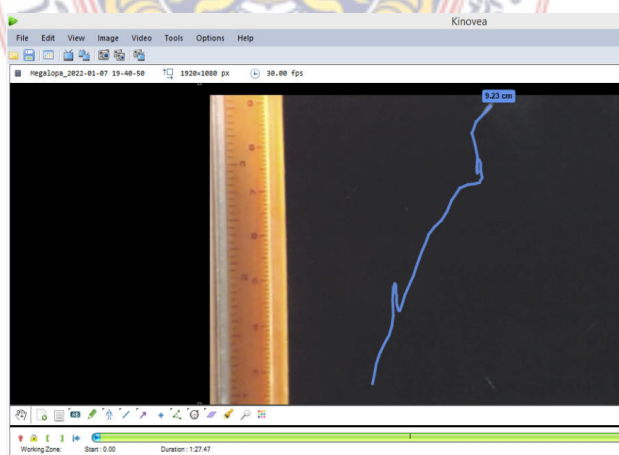
Megalopa	Speed (mm./s)			Velocity (mm./s)			Remark
	Upward	Downward	Sideway	Upward	Downward	Sideway	
1	19.07			14.58			Upward
2	32.048			31.122			Upward
3	25.414			25.274			Upward
4	36.178			34.412			Upward
5	42.375			42.793			Upward
6		11.796			9.57		Sinking - Downward
7	20.359			20.029			Upward
8	24.6			21.619			Upward
9	24.06			23.19			Upward
10		9.41			9.61		Sinking - Downward
11		8.74			8.88		Sinking- Downward
12		8.72			8.9		Sinking - Downward
13		7.2			7.22		Sinking - Downward
14		8.53			8.67		Sinking- Downward
15		10.11			10.37		Sinking - Downward
Mean	28.01	9.22		26.63	9.03		
Sd	8.12	1.44		9.02	0.99		



ภาพที่ 36 พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Megalopa



ภาพที่ 37 พฤติกรรมการว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Megalopa



ภาพที่ 38 พฤติกรรมการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Megalopa

2.2 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปู (Vertical Movement)

P. pelagicus ระยะ Zoea 1 - 4 และระยะ Megalopa

กรณีที่ 1 การเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยการล่องไฟด้านบน (Upward) จำหน่ายกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่เหนือพื้นที่สังเกตการณ์ 10 เซนติเมตร ในการทดลองแต่ละการทดลองทำการพักลูกปู 10 นาทีทุกครั้ง และต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง เริ่มต้นลูกปูอยู่ที่ความลึกประมาณ 90 เซนติเมตร (ใช้วิธีล่องไฟด้านล่างจนกระทั่งลูกปูครบจำนวน 10 ตัว) แล้วปิดไฟด้านล่าง หลังจากนั้นเริ่มการทดลองโดยการเปิดไฟล่องด้านบน และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาที ทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูกรณีที่ 1 ระยะ Zoea 1 2 3 และ 4 ดังตารางที่ 7 8 9 และ 10

จากข้อมูลในตารางที่ 7 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปู Zoea 1 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนที่ตัวขึ้นเข้าหาแสงในแนวตั้งด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.44 เซนติเมตร/วินาที อยู่บริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 8.8 เซนติเมตร

ตารางที่ 7 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 1 กรณีที่ 1

ชุดการทดลอง Zoea (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	96	0	64	0	146	0	
2	116	0	65	0	146	0	
3	125	0	85	0	154	0	
4	189	0	85	0	189	0	
5	275	0	189	0	196	0	
6	240	21	192	0	240	15	
7	240	23	197	0	240	17	
8	240	24	219	0	240	19	
9	240	30	240	10	240	25	
10	240	32	240	12	240	35	

ตารางที่ 7 (ต่อ)

ชุดการทดลอง	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	200.1				157.6		
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)			13				2.2
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	0.94		1.40		0.61		0.98
ความเร็ว Min (ชม./วินาที)	0.24		0.33		0.23		0.27
ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)	0.38		0.56		0.39		0.44



จากข้อมูลในตารางที่ 8 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปูระยะ Zoea 2 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวขึ้นเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.90 เซนติเมตร/วินาที อยู่บริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0 เซนติเมตร

ตารางที่ 8 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 2 กรณีที่ 1

ชุดการทดลอง Zoea (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	39	0	50	0	41	0	
2	45	0	96	0	45	0	
3	72	0	96	0	87	0	
4	86	0	96	0	87	0	
5	90	0	96	0	42	0	
6	97	0	96	0	105	0	
7	105	0	126	0	105	0	
8	113	0	124	0	141	0	
9	135	0	145	0	162	0	
10	156	0	184	0	162	0	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	93.8		110.9		97.7		
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)		0		0		0	0
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	2.31		1.80		2.20		2.10
ความเร็ว Min (ชม./วินาที)	0.58		0.49		0.56		0.54
ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)	0.96		0.81		0.92		0.90

จากข้อมูลในตารางที่ 9 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปุระยะ Zoa 3 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปุมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวขึ้นเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.72 เซนติเมตร/วินาที อยู่บริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 0 เซนติเมตร

ตารางที่ 9 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปุระยะ Zoa 3 กรณีที่ 1

ชุดการทดลอง Zoa (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	55	0	42	0	35	0	
2	60	0	43	0	67	0	
3	67	0	60	0	79	0	
4	103	0	120	0	87	0	
5	103	0	121	0	96	0	
6	124	0	143	0	128	0	
7	138	0	157	0	132	0	
8	138	0	159	0	189	0	
9	240	0	163	0	219	0	
10	240	0	227	0	223	0	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	126.8	0	123.5	0	125.5	0	
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)		0		0		0	0
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	1.64		2.14		2.57		2.12
ความเร็ว Min (ชม./วินาที)	0.38		0.40		0.40		0.39
ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)	0.71		0.73		0.72		0.72

จากข้อมูลในตารางที่ 10 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปูระยะ Zoea 3 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวขึ้นเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.65 เซนติเมตร/วินาที อยู่บริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 2.3 เซนติเมตร

ตารางที่ 10 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 4 กรณีที่ 1

ชุดการทดลอง Zoea (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ซม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ซม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ซม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ซม.)	
1	35	0	56	0	48	0	
2	55	0	74	0	52	0	
3	60	0	79	0	72	0	
4	75	0	120	0	83	0	
5	75	0	135	0	83	0	
6	149	0	135	0	127	0	
7	180	0	135	0	179	0	
8	240	0	172	0	179	0	
9	240	0	240	0	227	0	
10	240	24	240	22	240	23	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	134.9	2.4	138.6	2.2	129	2.3	
ระดับความลึก เฉลี่ย (ซม.)		2.4		2.2		2.3	2.3
ความเร็ว Max (ซม./วินาที)		2.57		1.61		1.88	2.02
ความเร็ว Min (ซม./วินาที)		0.28		0.28		0.28	0.28
ความเร็วเฉลี่ย (ซม./วินาที)		0.65		0.63		0.68	0.65

กรณีที่ 2 การเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยการล่อไฟด้านล่าง (Sinking - Downward) จำหน่ายแหล่งกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่แนวตั้งฉากกับพื้นที่สังเกตการณ์ ลูกปูอยู่ที่ความลึก 0 เซนติเมตร ในการทดลองแต่ละการทดลอง ทำการพักลูกปู 10 นาทีทุกครั้ง และต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง เริ่มต้นลูกปูอยู่ที่ความลึกประมาณ 0 เซนติเมตร (ใช้วิธีล่อไฟด้านบนจนกระทั่งลูกปูครบจำนวน 10 ตัว) แล้วปิดไฟด้านบน หลังจากนั้นเริ่มการทดลองโดยการเปิดไฟล่อด้านล่าง และสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาที ทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูกรณีที่ 2 ระยะ Zoea 1 2 3 และ 4 ดังตารางที่ 11 12 13 และ 14

จากข้อมูลในตารางที่ 11 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปูระยะ Zoea 1 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวลงเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.67 เซนติเมตร/วินาที และอยู่บริเวณพื้นที่ท้องน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 90 เซนติเมตร



ตารางที่ 11 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 1 กรณีที่ 2

ชุดการทดลอง Zoea (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	32	90	50	90	32	90	
2	45	90	53	90	48	90	
3	58	90	58	90	56	90	
4	98	90	105	90	85	90	
5	98	90	113	90	99	90	
6	180	90	181	90	165	90	
7	180	90	202	90	179	90	
8	180	90	208	90	182	90	
9	220	90	227	90	201	90	
10	230	90	234	90	228	90	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	132.1		143.1		127.5		
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)		90		90		90	90
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	2.81		1.80		2.81		2.48
ความเร็ว Min (ชม./วินาที)	0.39		0.38		0.39		0.39
ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)	0.68		0.63		0.71		0.67

จากข้อมูลในตารางที่ 12 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปุระยะ Zoa 2 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปุมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวลงเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.70 เซนติเมตร/วินาที และอยู่บริเวณพื้นที่องน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 90 เซนติเมตร

ตารางที่ 12 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปุระยะ Zoa 2 กรณีที่ 2

ชุดการทดลอง Zoa (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	86	90	75	90	88	90	
2	96	90	92	90	92	90	
3	109	90	101	90	101	90	
4	121	90	121	90	121	90	
5	135	90	133	90	139	90	
6	135	90	135	90	143	90	
7	145	90	144	90	145	90	
8	145	90	149	90	145	90	
9	150	90	154	90	150	90	
10	160	90	167	90	180	90	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	128.2		127.1		130.4		
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)		90		90		90	90
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	1.05		1.20		1.02		1.09
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	0.56		0.54		0.50		0.53
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	0.70		0.71		0.69		0.70

จากข้อมูลในตารางที่ 13 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปูระยะ Zoea 3 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวลงเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.93 เซนติเมตร/วินาที และอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 90 เซนติเมตร

ตารางที่ 13 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 3 กรณีที่ 2

ชุดการทดลอง Zoea (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	47	90	49	90	53	90	
2	51	90	51	90	59	90	
3	69	90	70	90	74	90	
4	85	90	76	90	78	90	
5	99	90	104	90	104	90	
6	99	90	106	90	109	90	
7	100	90	110	90	115	90	
8	107	90	121	90	131	90	
9	113	90	144	90	145	90	
10	119	90	170	90	173	90	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	88.9		100.1		104.1		
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)		90		90		90	90
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	1.91		1.84		1.70		1.82
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	0.76		0.53		0.52		0.60
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)	1.01		0.90		0.86		0.93

จากข้อมูลในตารางที่ 14 ชุดการทดลองนี้ ใช้ตัวอย่างลูกปูระยะ Zoea 3 จำนวน 10 ตัว แสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนตัวลงเข้าหาแสงในแนวตั้ง ด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.78 เซนติเมตร/วินาที และอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำที่ระดับความลึกเฉลี่ย 90 เซนติเมตร

ตารางที่ 14 พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปูระยะ Zoea 4 กรณีที่ 2

ชุดการทดลอง Zoea (จำนวนตัว)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)
	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	เวลา (วินาที)	ระดับ ความลึก (ชม.)	
1	42	90	60	90	56	90	
2	52	90	78	90	60	90	
3	72	90	92	90	83	90	
4	80	90	100	90	95	90	
5	87	90	110	90	106	90	
6	104	90	119	90	119	90	
7	121	90	2.2	90	143	90	
8	180	90	140	90	148	90	
9	224	90	200	90	182	90	
10	233	90	210	90	183	90	
เวลาเฉลี่ย (วินาที)	119.5		111.12		117.5		
ระดับความลึก เฉลี่ย (ชม.)		90		90		90	90
ความเร็ว Max (ชม./วินาที)		2.14		1.50		1.61	1.75
ความเร็ว Min (ชม./วินาที)		0.39		0.43		0.49	0.44
ความเร็วเฉลี่ย (ชม./วินาที)		0.75		0.81		0.77	0.78

2.3 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปู *P. Pelagicus*

โดยมีเงื่อนไขควบคุมความเร็วของกระแสน้ำที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ ความเร็วกระแสน้ำ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาทีของลูกปูขณะมีพัฒนาการของระยะ Zoea 1 - 4 ดังตารางที่ 15 พบว่าความเร็วของกระแสน้ำมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการว่ายน้ำตามแนวราบของลูกปูในระยะ Zoea 1 - 4 สามารถว่ายทวนกระแสน้ำได้ในแนวราบขณะความเร็วไม่เกิน 1 เซนติเมตร/วินาที และขณะที่ความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 1 เซนติเมตร/วินาที ลูกปูไม่สามารถว่ายทวนกระแสน้ำได้ ส่วนใหญ่ลูกปูจะไหลไปตามกระแสน้ำ แต่พบส่วนน้อยที่แสดงพฤติกรรมที่พยายามทวนกระแสน้ำโดยการลงเกาะบริเวณพื้นท้องน้ำ และค่อยๆ ไกลไปตามกระแสน้ำในเวลาต่อมา

ตารางที่ 15 การศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปูระยะ Zoea 1 - 4 และระยะ Megalopa

ระยะลูกปู	จำนวนปู (จำนวนตัว)	ความเร็วกระแสน้ำ (เซนติเมตร/วินาที)				
		1	2	3	4	5
Zoea 1	1	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	2	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	3	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	4	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	5	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	6	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	7	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	8	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	9	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	10	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ

ตารางที่ 15 (ต่อ)

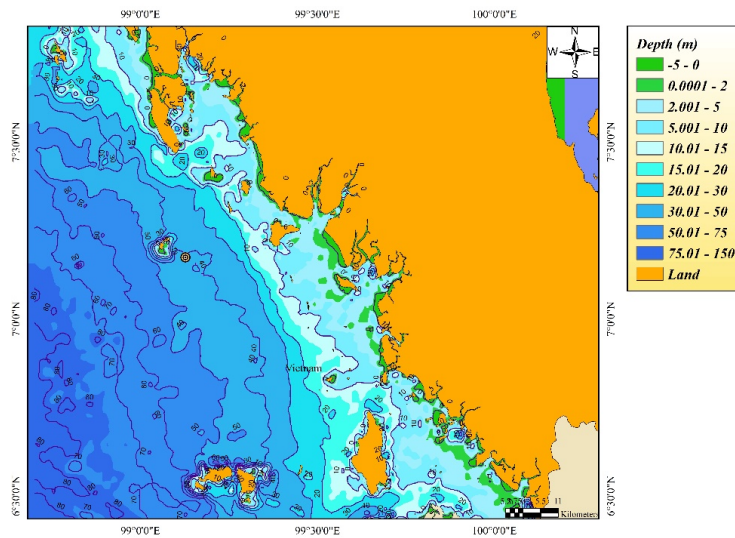
ระยะลูกปู	จำนวนปู (จำนวนตัว)	ความเร็วกระแสน้ำ (เซนติเมตร/วินาที)				
		1	2	3	4	5
Zoea 2	1	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	2	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	3	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	4	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	5	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	6	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	7	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	8	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	9	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	10	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
Zoea 3	1	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	2	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	3	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	4	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	5	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	6	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	7	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	8	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ

ตารางที่ 15 (ต่อ)

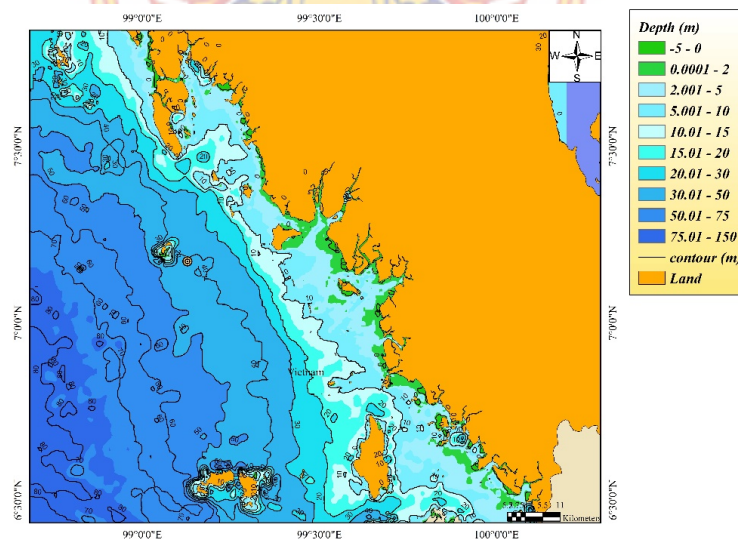
ระยะลูกปู	จำนวนปู (จำนวนตัว)	ความเร็วกระแสน้ำ (เซนติเมตร/วินาที)				
		1	2	3	4	5
	9	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	10	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	10	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	2	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	3	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	4	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	5	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
Zoea 4	6	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	7	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	8	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	9	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ
	10	ว่ายทวนน้ำได้	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ	ตามน้ำ

3. ผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์

3.1 การเตรียมความลึกน้ำและการปรับแก้ความลึกน้ำ ดังภาพที่ 39 และ 40



ภาพที่ 39 แผนที่ระดับความลึกน้ำทะเลจากแบบจำลอง GEBCO15 Arc-Sec



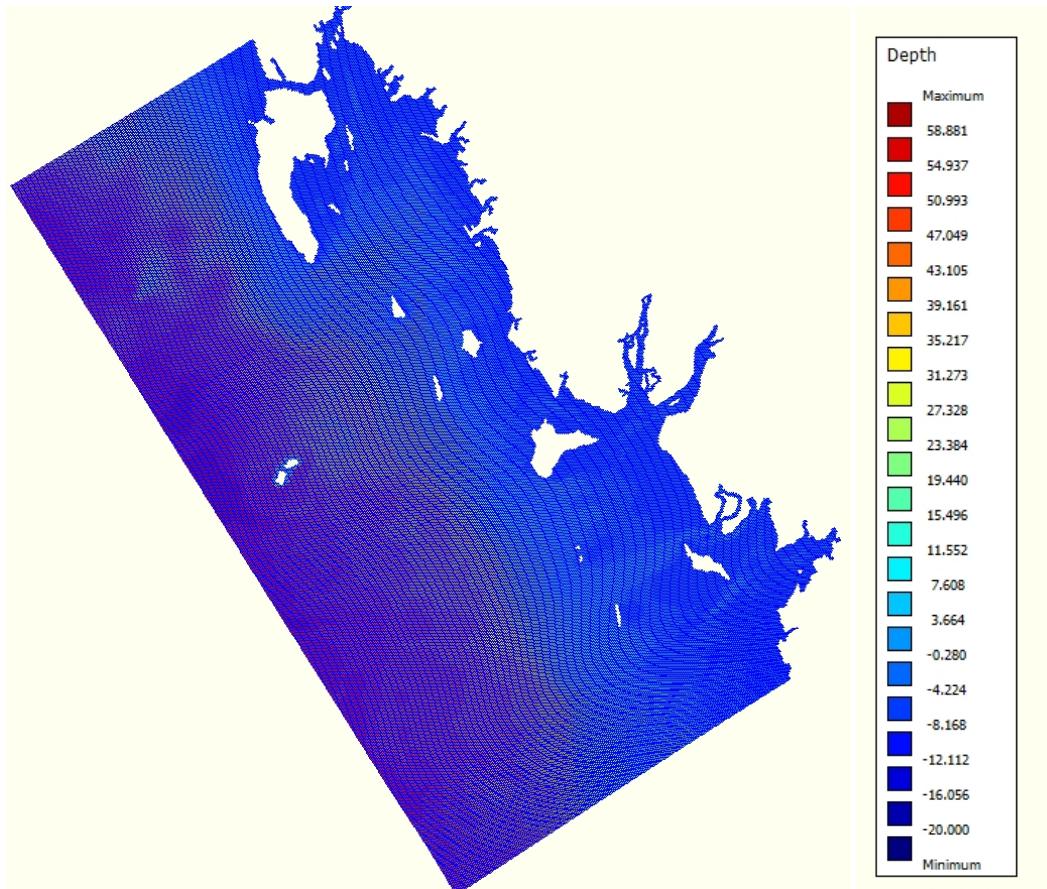
ภาพที่ 40 แผนที่ระดับความลึกน้ำทะเลแบบควบคุมแผนที่ GEBCO กับ แผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ

จากภาพที่ 39 แสดงระดับความลึกน้ำทะเลจากข้อมูล Gebco เมื่อพิจารณาเชิงปริมาณพบว่า หลังจากการปรับแก้จำนวนจุดข้อมูลเพิ่มขึ้น จาก 73,557 จุด เป็น 112,737 จุด หรือเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 53.2 ซึ่งเป็นการเพิ่มความละเอียดให้กับแบบจำลองระดับน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษา

เมื่อทำการปรับแก้ระดับความลึกน้ำทะเลครบทุกขั้นตอน ผลการแก้ระดับความลึกน้ำทะเลแบบควบคุมแผนที่ GEBCO กับแผนที่เดินเรือกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 40 การประยุกต์ใช้แบบจำลองความลึกระดับน้ำทะเลควบคุมระหว่าง ข้อมูลจาก Gebco ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง ร่วมกับแผนที่เดินเรือจากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมภูมิศาสตร์สารสนเทศปรับแก้ระดับความลึกของน้ำทะเลในพื้นที่จังหวัดกระบี่ และตรัง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจาก GEBCO พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างชัดเจน

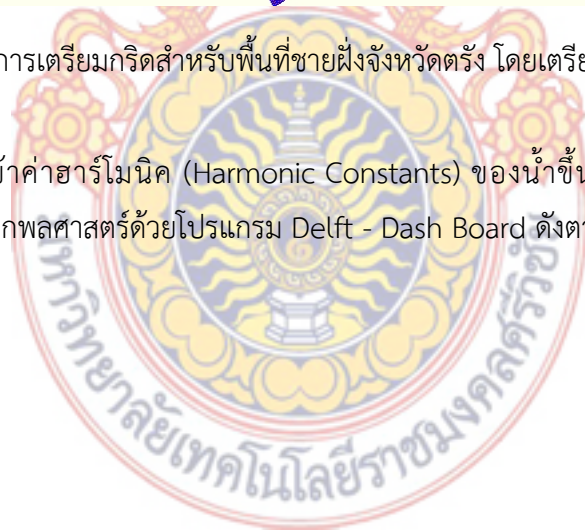
พิจารณาระดับความลึกในพื้นที่ศึกษา มีค่าในช่วง -100 - 96 เมตร ทั้งนี้ จากการประยุกต์ใช้ GEBCO30 บริเวณอ่าวไทย และการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก ซึ่งพบว่ามีข้อมูลที่ปรับปรุงความละเอียดเป็น 50 เมตร มีความลึกช่วง (- 97.99) - (2.51) เมตร โดยข้อมูลที่ถูกรับปรุงความละเอียดนี้ร้อยละ 99.07 อยู่ในช่วง THU 95 เปอร์เซ็นต์ CL ระหว่าง ± 10 เมตร ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วง TVU 95%CL ระหว่าง ± 1.3685 เมตร และมีค่า SD เป็น 0.1945 (Jintasaeranee and Piyapong, 2021) ดังนั้น การปรับปรุงระดับน้ำทะเลในการศึกษานี้จึงควรประยุกต์การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนและปรับแก้ความถูกต้องข้อมูลความลึก เพื่อประโยชน์ในการนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับจำลองแบบทางด้านสมุทรศาสตร์ในลำดับต่อไป

3.2 การเตรียมกริดสำหรับพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 การเตรียมกริดสำหรับพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง โดยเตรียมกริดเป็นแบบสี่เหลี่ยม

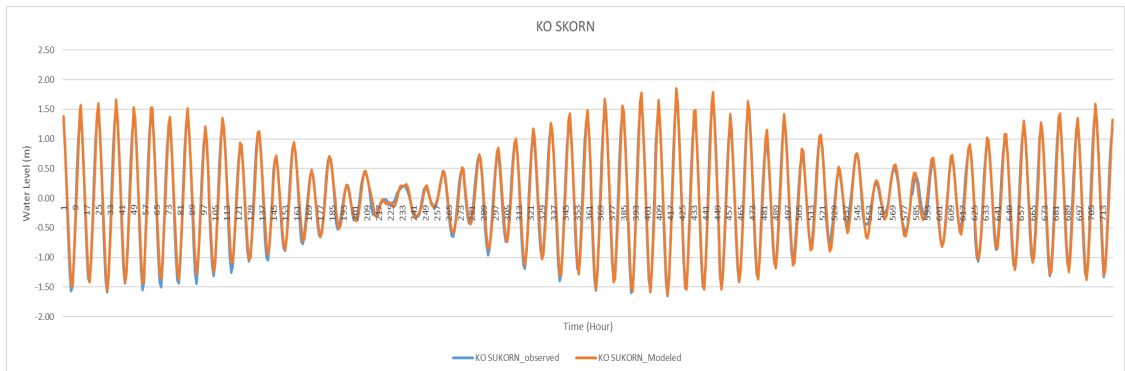
3.3 นำเข้าค่าฮาร์โมนิก (Harmonic Constants) ของน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณขอบเขตเปิดของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ด้วยโปรแกรม Delft - Dash Board ดังตารางที่ 16



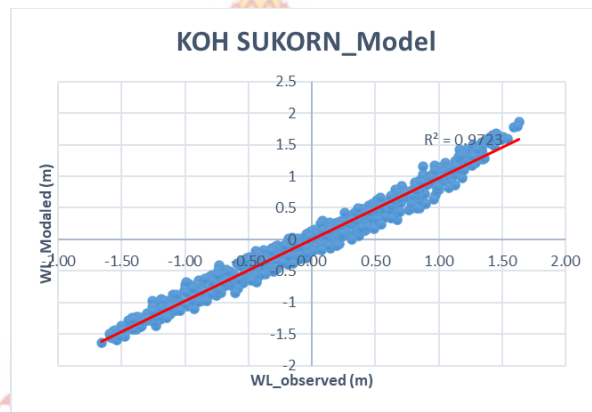
ตารางที่ 16 ค่าฮาร์โมนิก (Harmonic Constants) ของน้ำขึ้นน้ำลง

Harmonic	SOUTH A		SOUTH B		WEST A		WEST B		NORTH A		NORTH B	
	Amplitude (m)	Phase (degree)	Amplitude (m)	Phase (degree)	Amplitude (m)	Phase (degree)	Amplitude (m)	Phase (degree)	Amplitude (m)	Phase (degree)	Amplitude (m)	Phase (degree)
A0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M2	0.75	109.56	0.83	121.14	0.75	109.54	0.79	103.76	0.79	103.76	0.86	109.62
S2	0.39	146.92	0.44	159.01	0.39	146.91	0.40	139.86	0.40	139.86	0.44	146.08
N2	0.15	107.79	0.16	119.51	0.15	107.76	0.15	99.80	0.15	99.80	0.17	105.77
K2	0.11	139.49	0.12	151.47	0.11	139.47	0.12	134.24	0.12	134.24	0.13	140.05
K1	0.15	228.21	0.16	233.91	0.15	228.21	0.14	227.01	0.14	227.01	0.14	229.72
O1	0.05	189.96	0.05	195.60	0.05	189.98	0.05	192.65	0.05	192.65	0.05	195.53
P1	0.05	230.04	0.05	236.32	0.05	230.04	0.04	226.91	0.04	226.91	0.04	229.26
Q1	0.01	129.81	0.01	140.19	0.01	129.81	0.01	128.66	0.01	128.66	0.01	135.00
MF	0.02	11.31	0.02	14.95	0.02	11.31	0.02	12.70	0.02	12.70	0.02	14.97
MM	0.01	7.13	0.01	7.13	0.01	7.13	0.01	7.13	0.01	7.13	0.01	7.13
M4	0.00	234.25	0.01	182.23	0.00	233.51	0.00	333.43	0.00	333.43	0.00	266.88
MS4	0.01	188.08	0.03	215.82	0.01	188.07	0.01	192.01	0.01	192.01	0.02	209.27
MN4	0.00	116.33	0.01	163.63	0.00	116.25	0.00	90.79	0.00	90.79	0.01	153.85

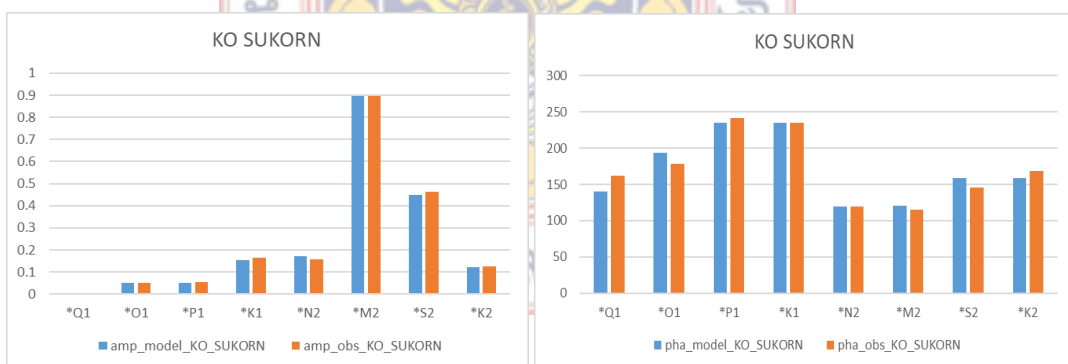
3.4 การเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ทำการเปรียบเทียบความสูงของระดับน้ำจากแบบจำลองกับการตรวจวัด สถานีเกาะสุกรในเดือนเมษายน 2565 ภาพที่ 42 - 44 พบว่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565 ให้ผลการเปรียบเทียบมีความแม่นยำและถูกต้อง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9723 แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และค่าแอมพลิจูดและเฟสของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก



ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565

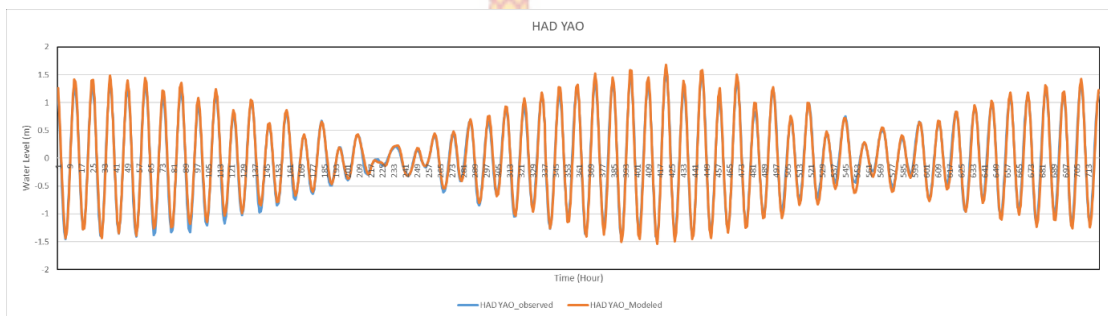


ภาพที่ 43 ค่า R² ของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565

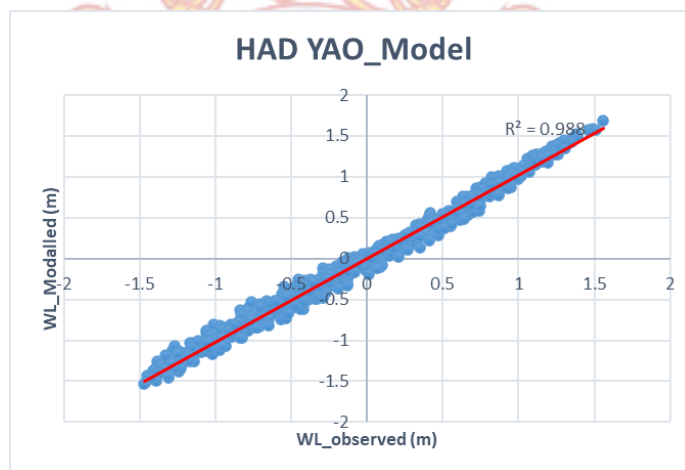


ภาพที่ 44 ค่าแอมพลิจูด และเฟสของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565

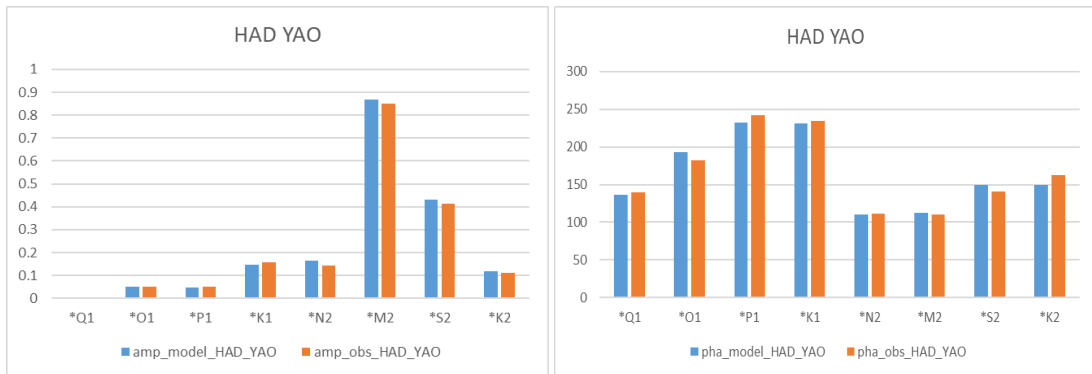
ทำการเปรียบเทียบความสูงของระดับน้ำจากแบบจำลองกับการตรวจวัด สถานีเกาะท่าเรือหาดยาว ในเดือนเมษายน 2565 ภาพที่ 45 - 47 พบว่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดสถานีท่าเรือหาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565 ให้ผลการการเปรียบเทียบมีความแม่นยำและถูกต้อง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.988 แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และค่าแอมพลิจูดและเฟสของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก



ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีหาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565

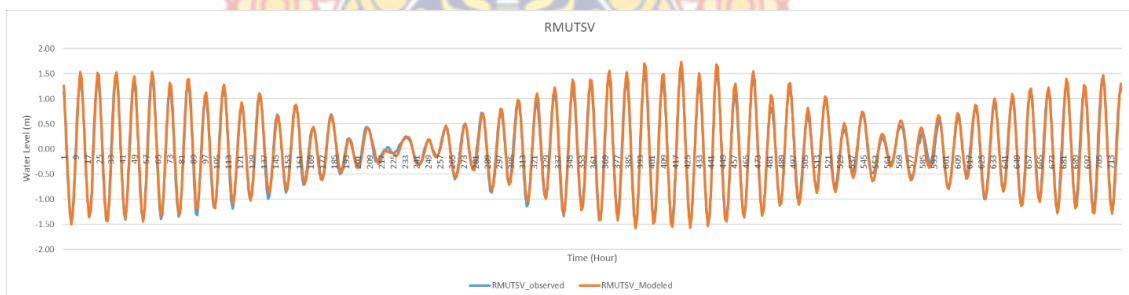


ภาพที่ 46 ค่า R^2 ของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีหาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565

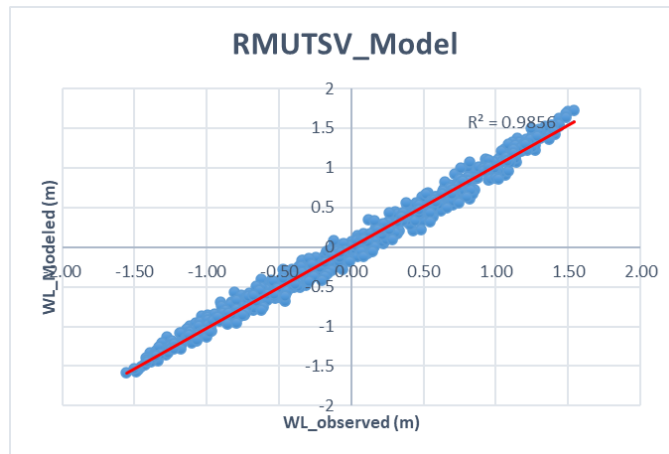


ภาพที่ 47 ค่าเฟสและแอมพลิจูดของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดตรวจวัด สถานีหาดยาวในช่วงเดือนเมษายน 2565

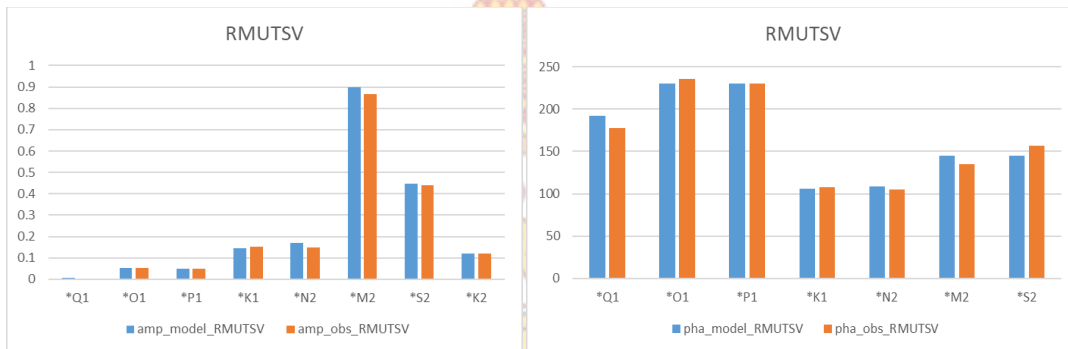
การเปรียบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีหาดราชมงคลในเดือนเมษายน 2565 ทำการเปรียบเทียบความสูงของระดับน้ำจากแบบจำลองกับการตรวจวัด สถานีหาดราชมงคลในเดือนเมษายน 2565 ภาพที่ 48 - 50 พบว่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัด สถานีหาดราชมงคลในช่วงเดือนเมษายน 2565 ให้ผลการการเปรียบเทียบมีความแม่นยำและถูกต้อง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9856 แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ และค่าแอมพลิจูดและเฟสของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก



ภาพที่ 48 การเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีหาดราชมงคล ในช่วงเดือน เมษายน 2565

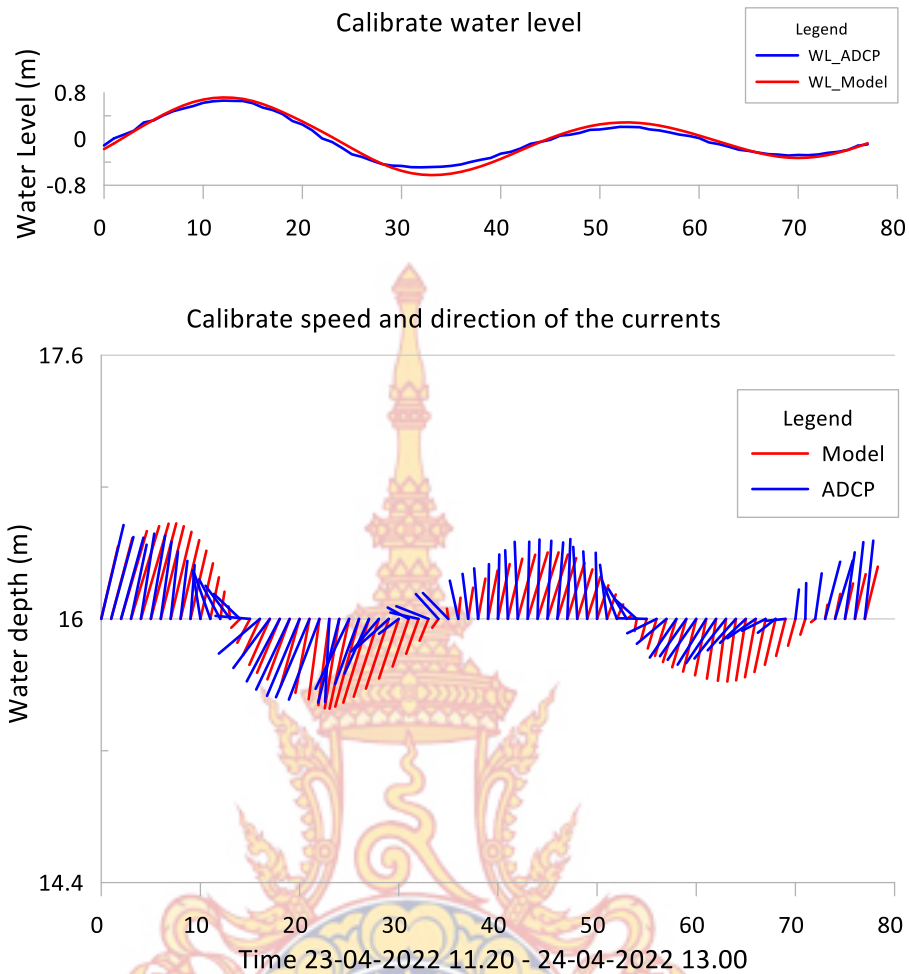


ภาพที่ 49 ค่า R^2 ของแบบจำลองกับการตรวจวัดสถานีเกาะสุกรในช่วงเดือนเมษายน 2565



ภาพที่ 50 ค่าเฟสและแอมพิจูดของระดับน้ำรายชั่วโมงของแบบจำลองกับการตรวจวัดตรวจวัด สถานีหาดราชมงคลในช่วงเดือนเมษายน 2565

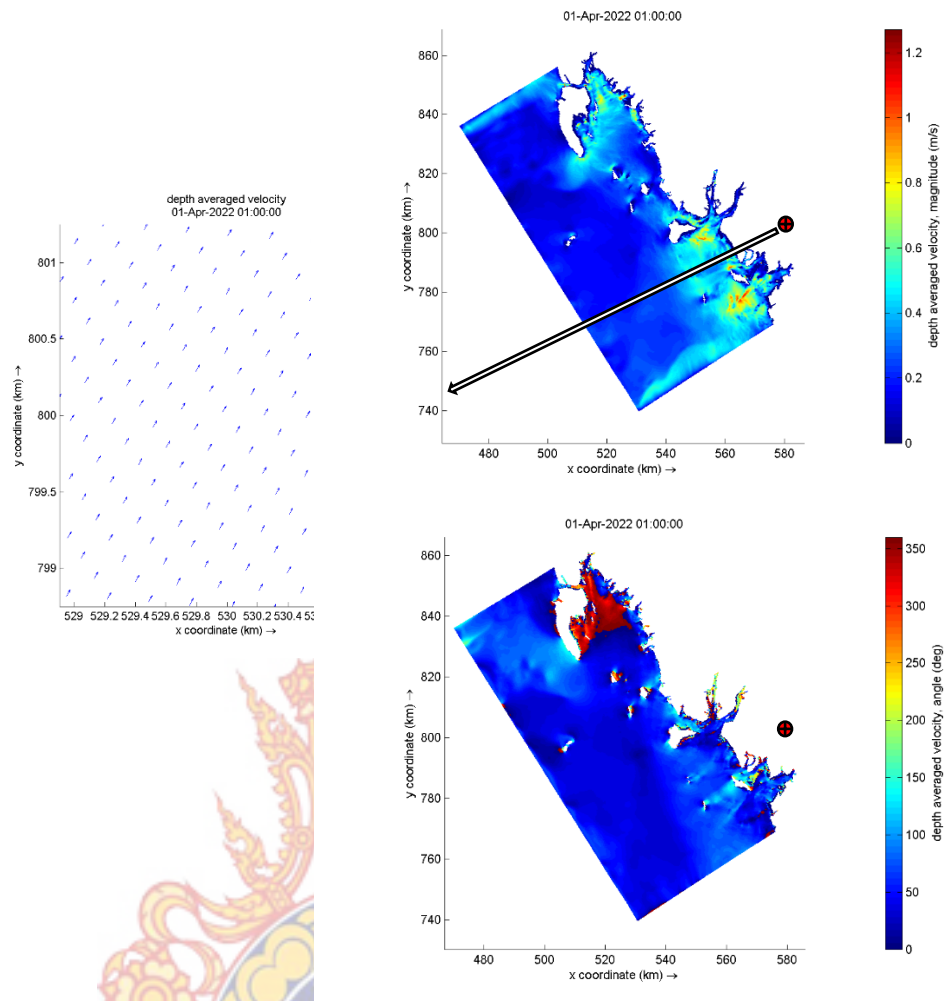
การเปรียบเทียบกระแสน้ำและระดับน้ำจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัด สถานีเกาะไหงทางทิศตะวันออก ในช่วงวันที่ 23 เดือน เมษายน 2565 เวลา 11.00 น. ถึงวันที่ 24 เดือนเมษายน 2565 เวลา 12.00 น. ดังภาพที่ 51 พบว่าระดับน้ำจากแบบจำลองกับผลการตรวจวัด มีผลการการเปรียบเทียบมีความแม่นยำและถูกต้อง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กันในทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ผลการเปรียบเทียบความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ทิศทางกระแสน้ำความคลาดเคลื่อน (Error) ไปบ้างเล็กน้อย



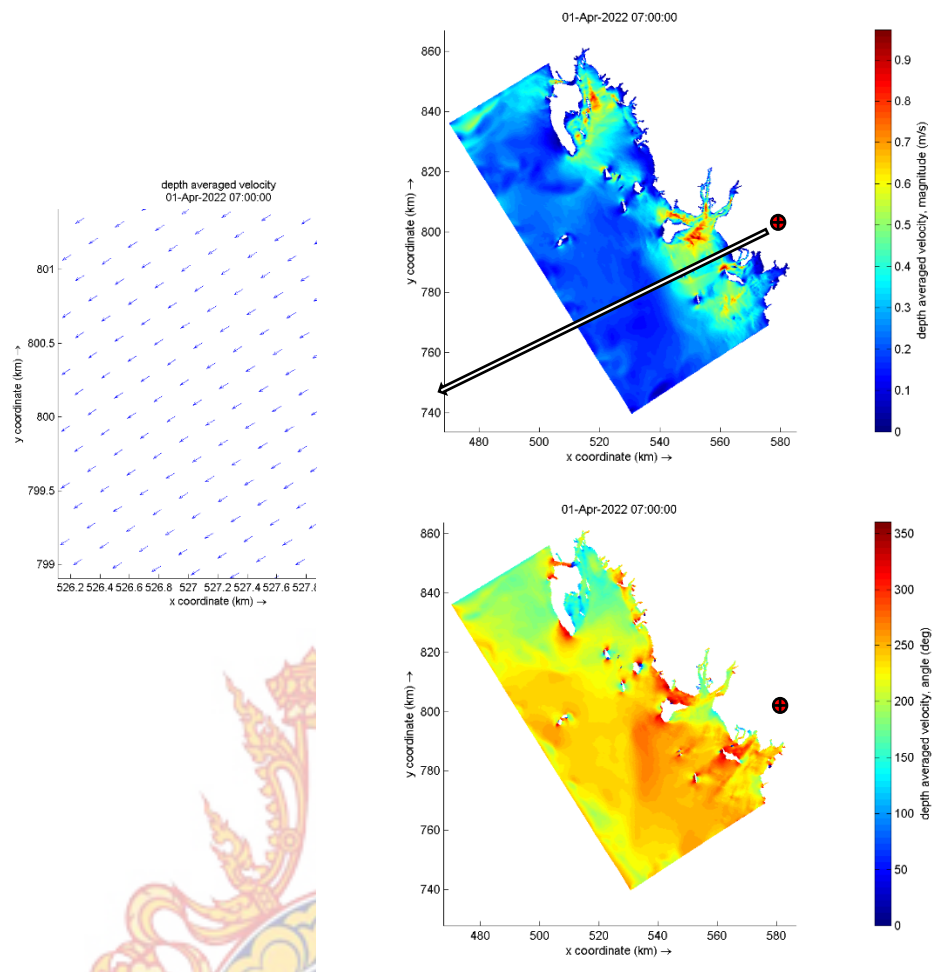
ภาพที่ 51 กราฟแสดงการปรับเทียบความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ 25 ชั่วโมง สถานีเกาะโพธิ์ทางทิศ ตะวันออก

4. ผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ จากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และลมมรสุม

การจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง ในภาพรวมจะเห็นได้ว่า ขณะน้ำขึ้นกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษามีการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษา ขณะน้ำลงไปออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา โดยความเร็วและทิศทางกระแสน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับน้ำในแต่ละช่วงเวลารวมถึงอิทธิพลของลมมรสุมในรอบปี เช่น วันที่ 1 เดือนเมษายน 2565 เวลา 8.00 น ช่วงน้ำเกิด 15 ค่าขณะน้ำขึ้นพบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 1.2 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0 - 100 องศา (ภาพที่ 52) และวันที่ 1 เดือนเมษายน 2565 เวลา 14.00 น ช่วงเกิด 15 ค่า ขณะน้ำลง พบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.9 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 200-270 องศา (ภาพที่ 53)

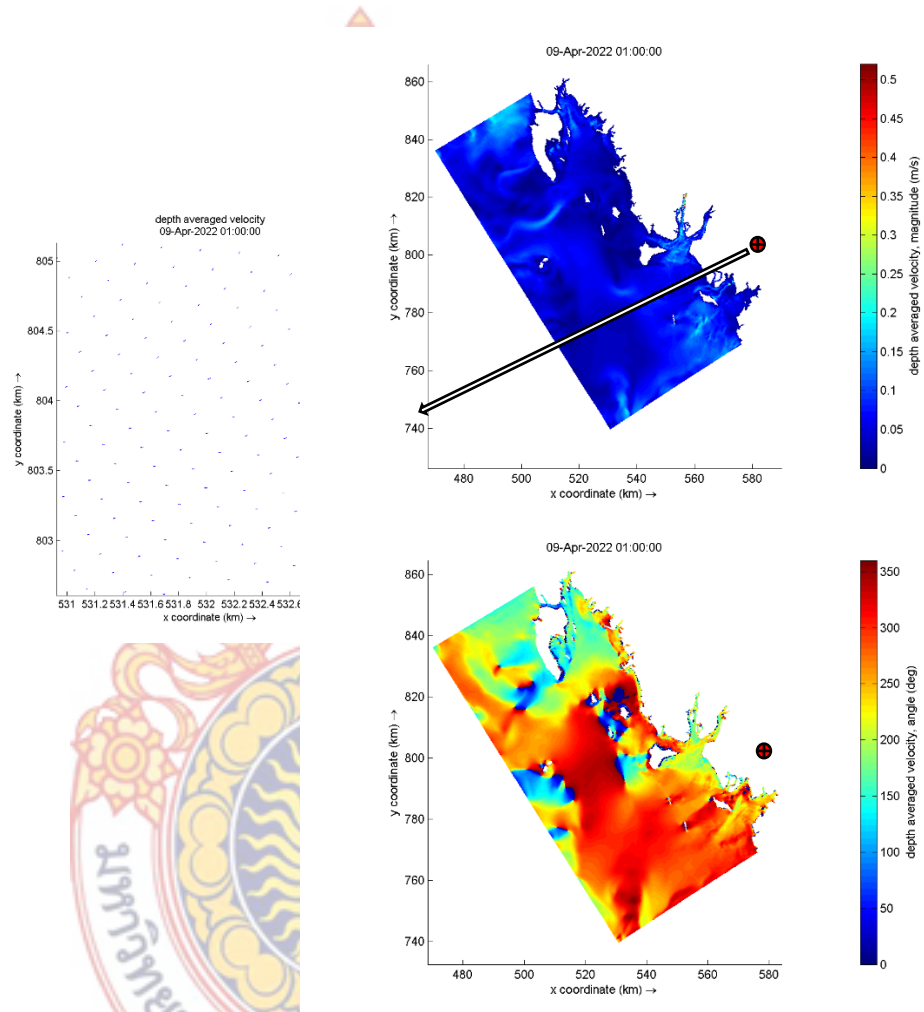


ภาพที่ 52 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำขึ้น ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ในเดือนเมษายน 2565 เวลา 8.00 น. ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

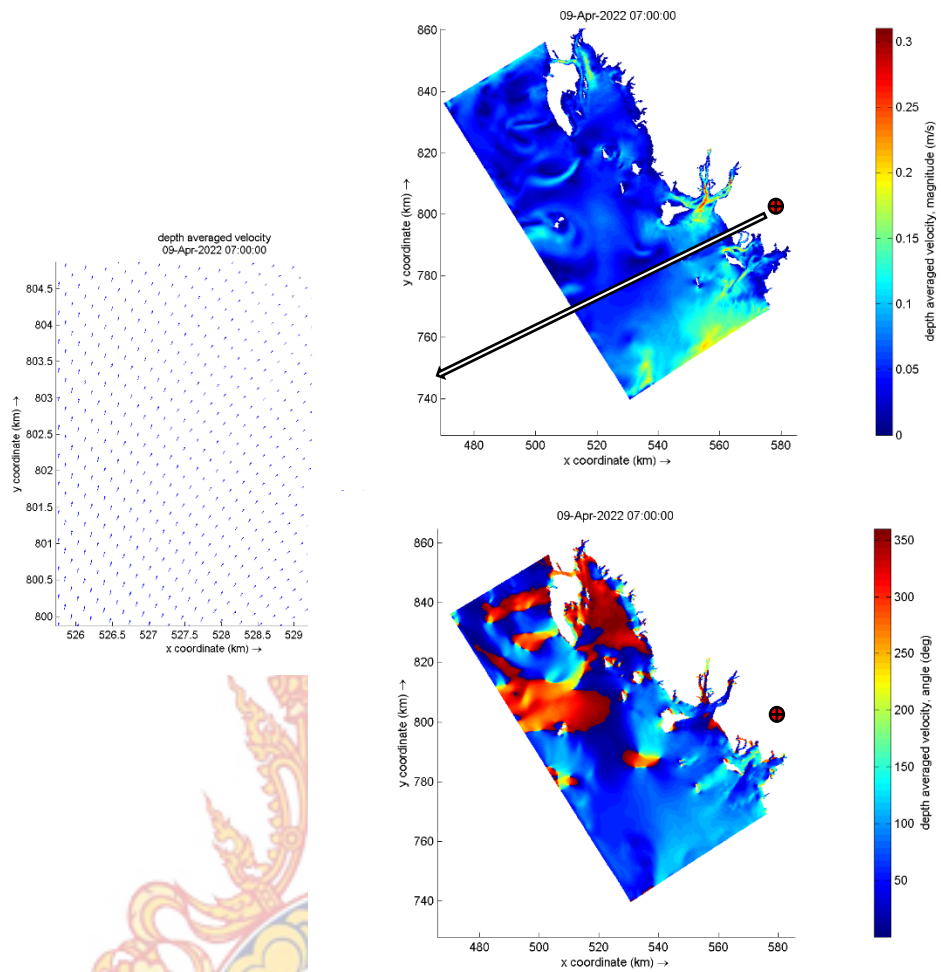


ภาพที่ 53 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ในเดือนเมษายน 2565 เวลา 14.00 น. ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

วันที่ 9 เดือนเมษายน 2565 เวลา 8.00 น ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลงพบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.25 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0 - 100 องศา (ภาพที่ 54) และวันที่ 9 เดือนเมษายน 2565 เวลา 14.00 น ช่วงน้ำขึ้น 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น พบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.3 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0 - 100 องศา (ภาพที่ 55)

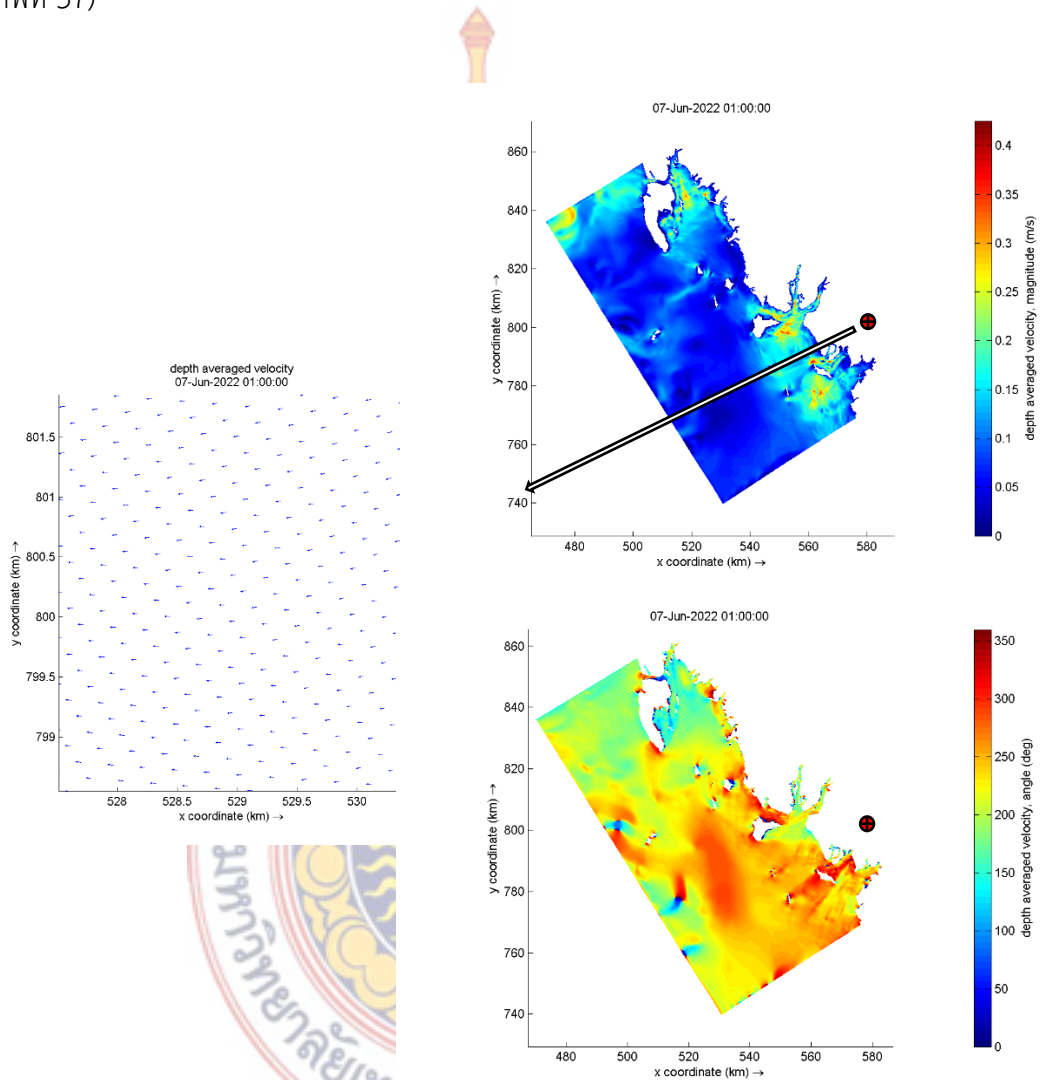


ภาพที่ 54 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 9 เดือนเมษายน 2565 เวลา 8.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

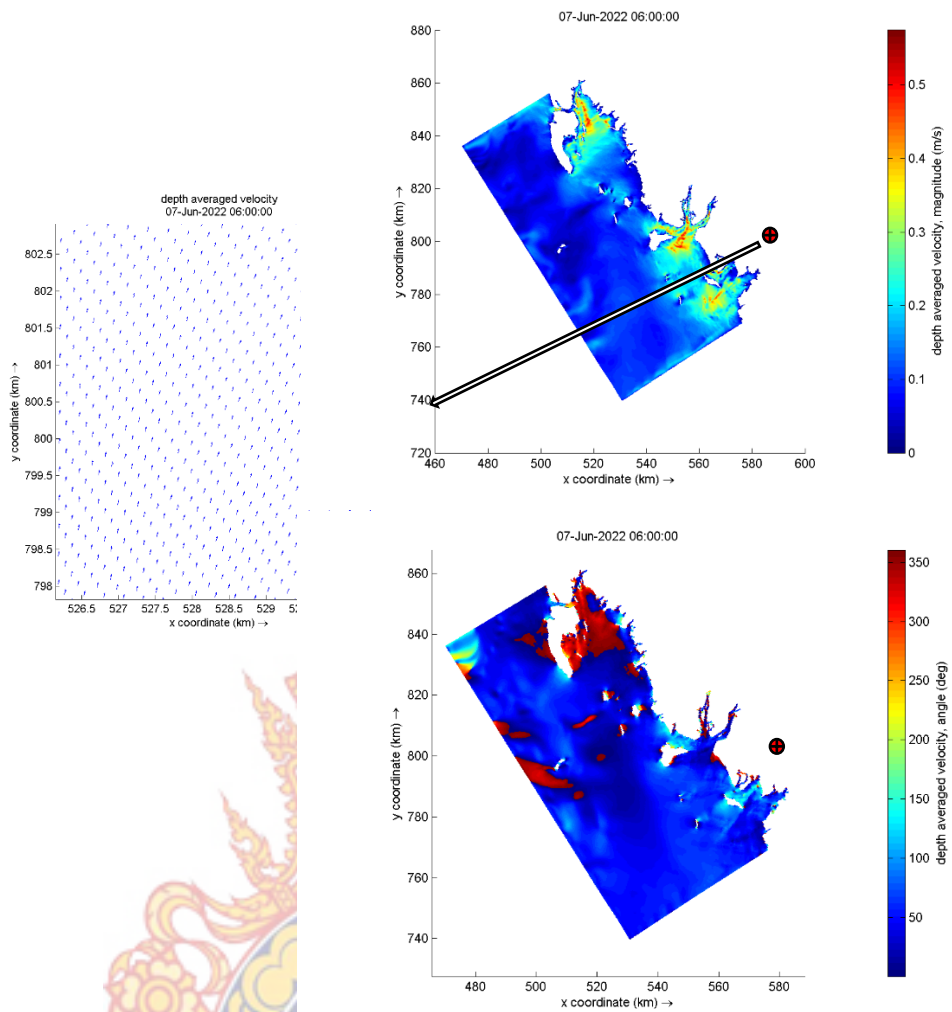


ภาพที่ 55 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 9 เดือนเมษายน 2565 เวลา 14.00 น.
ช่วงต่าย 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

วันที่ 7 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 8.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลงพบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.50 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 200 - 350 องศา (ภาพที่ 56) และวันที่ 7 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 13.00 น. ช่วงตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น พบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.50 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0 - 100 องศา (ภาพที่ 57)

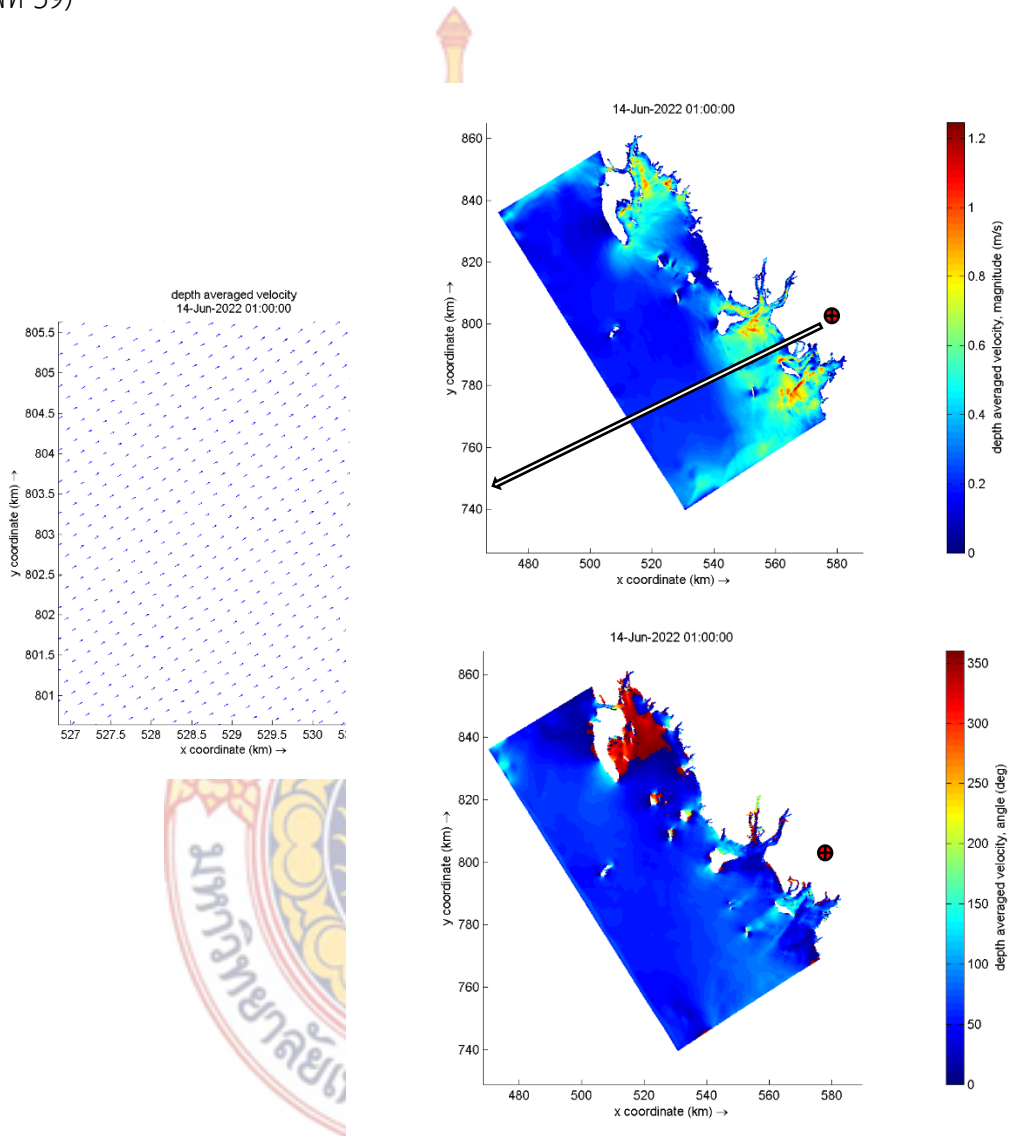


ภาพที่ 56 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 7 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 8.00 น.
ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

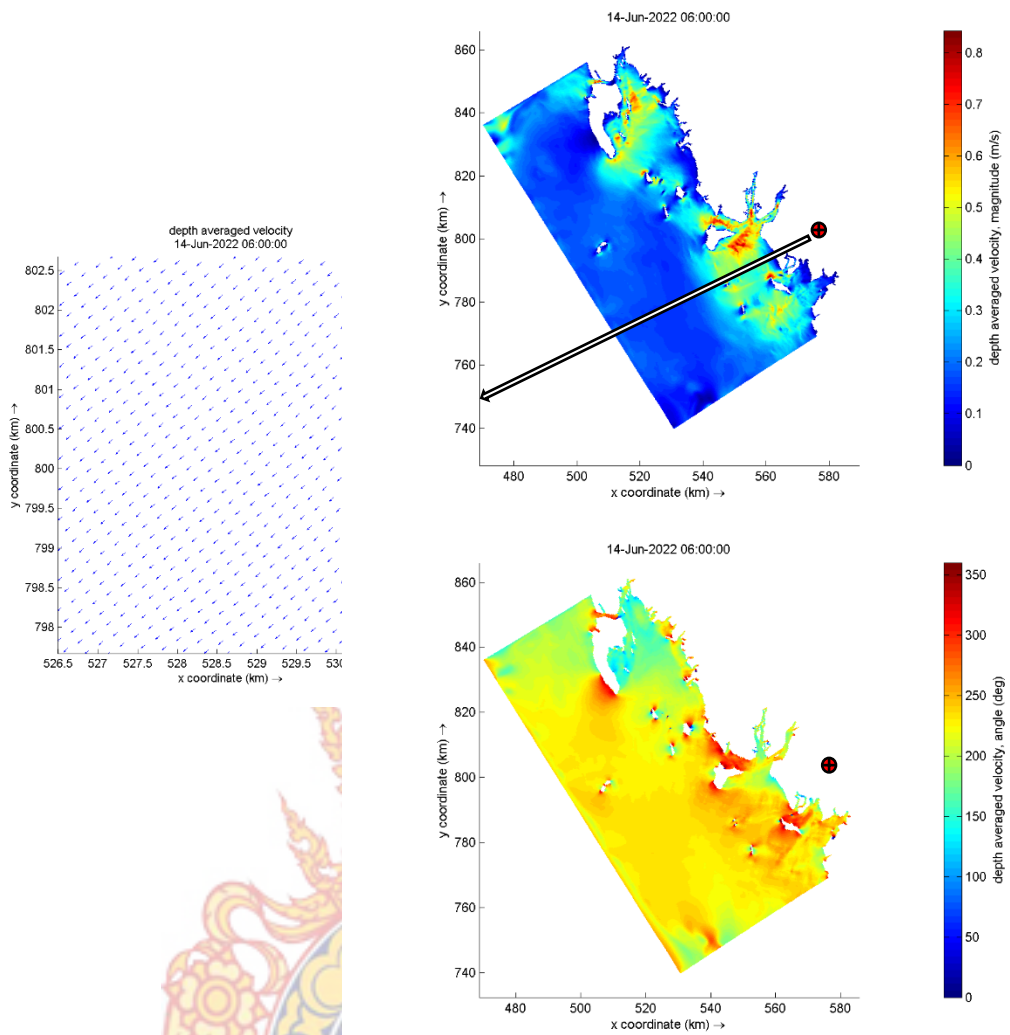


ภาพที่ 57 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 7 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 13.00 น.
ช่วงตายเป็น 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

วันที่ 14 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 8.00 น ช่วงน้ำขึ้นเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น พบว่า ความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 1.20 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0 - 150 องศา (ภาพที่ 58) และวันที่ 14 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 13.00 น ช่วงเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำลง พบว่า ความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 0.80 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 150 - 300 องศา (ภาพที่ 59)

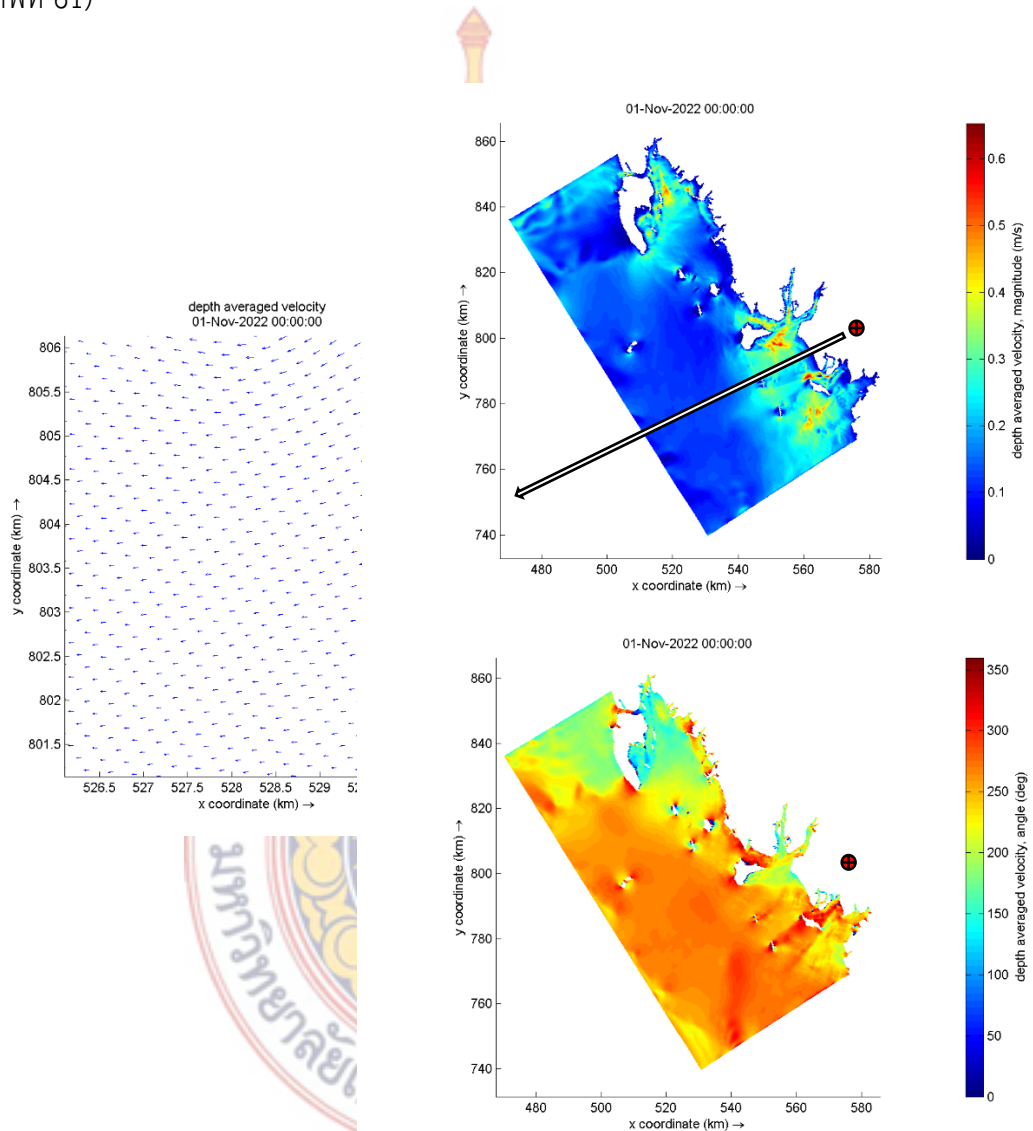


ภาพที่ 58 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 14 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 8.00 น. ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

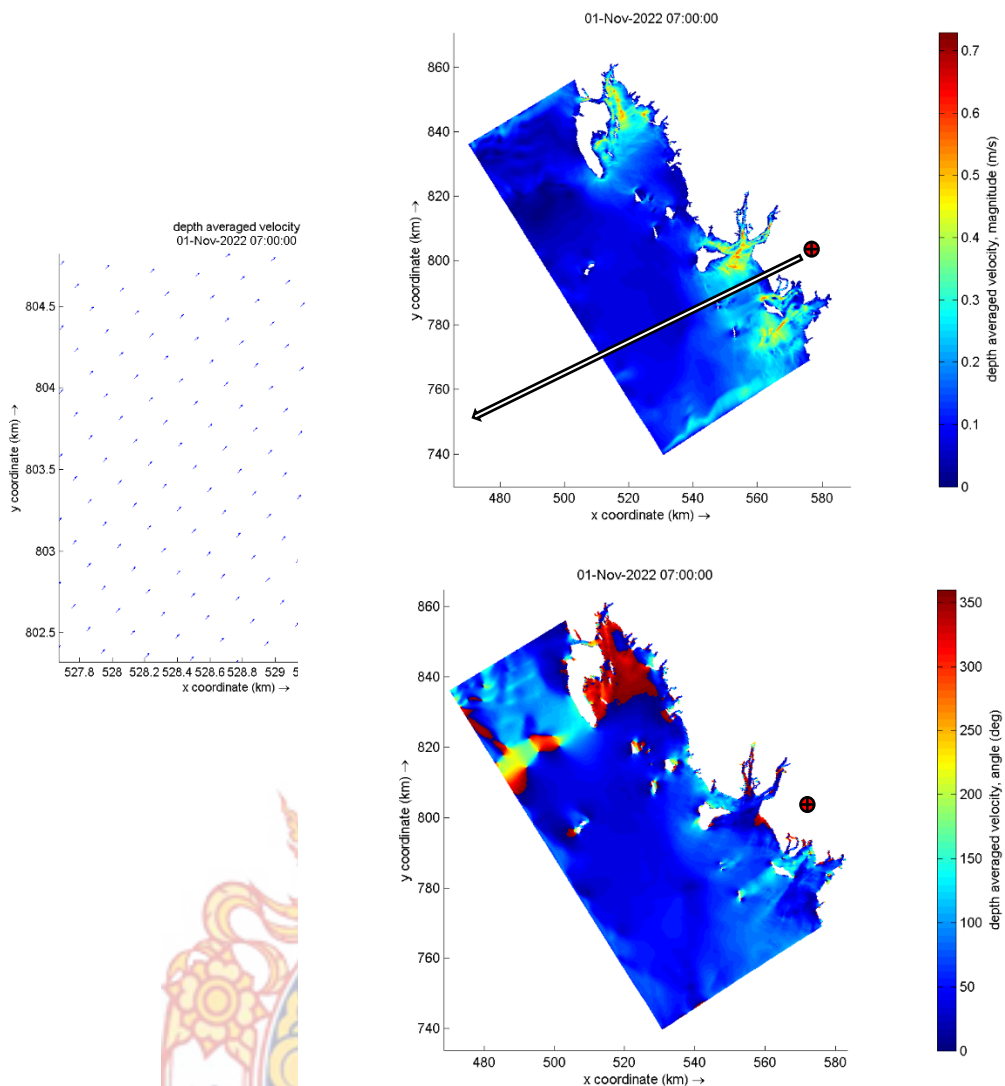


ภาพที่ 59 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 14 เดือนมิถุนายน 2565 เวลา 13.00 น.
ช่วงเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

วันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 07.00 น ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลงพบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01-0.40 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 200-350 องศา (ภาพที่ 60) และวันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 14.00 น ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น พบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01-0.50 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0-120 องศา (ภาพที่ 61)

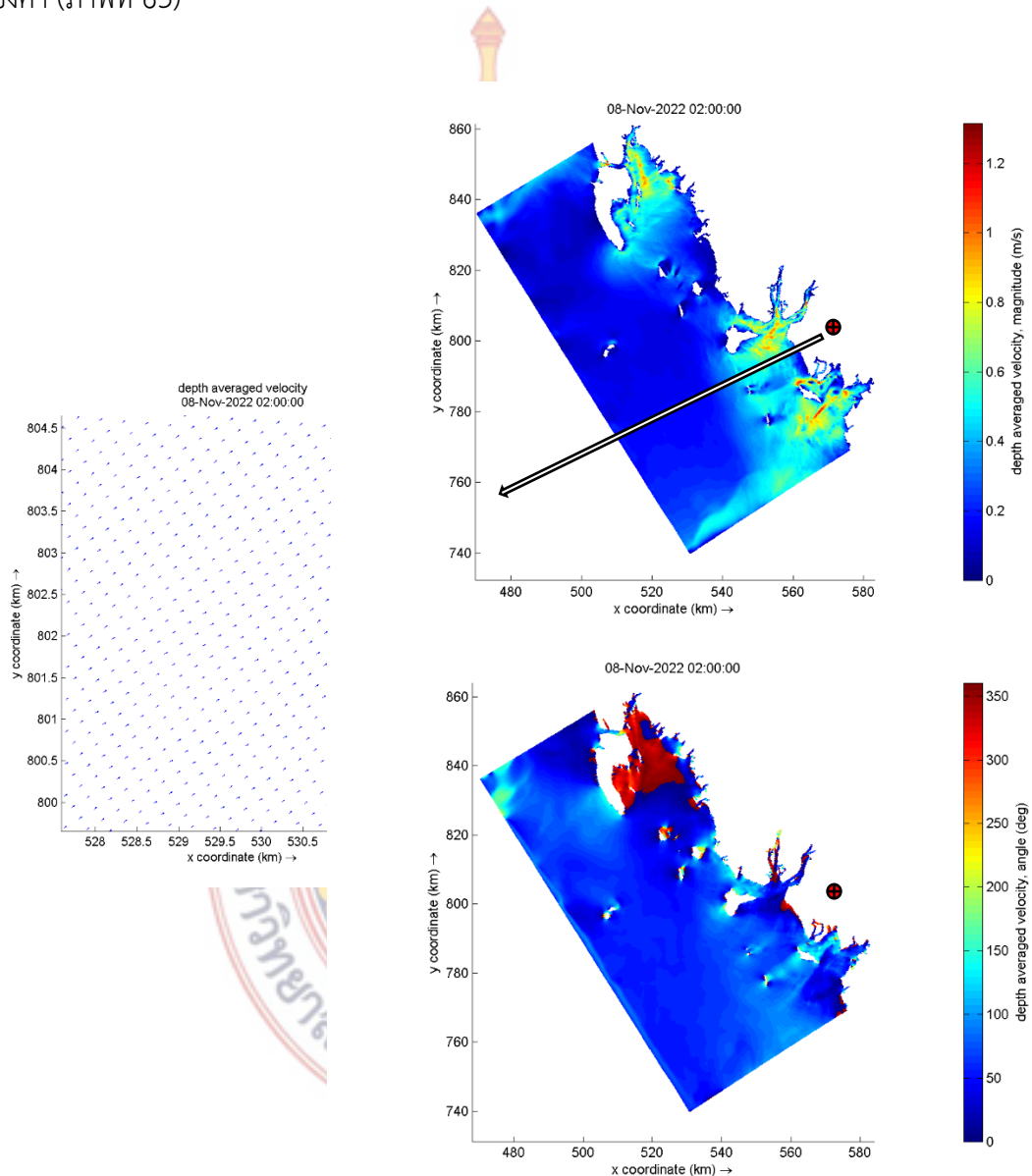


ภาพที่ 60 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 07.00 น. ช่วงน้ำตาย 8 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

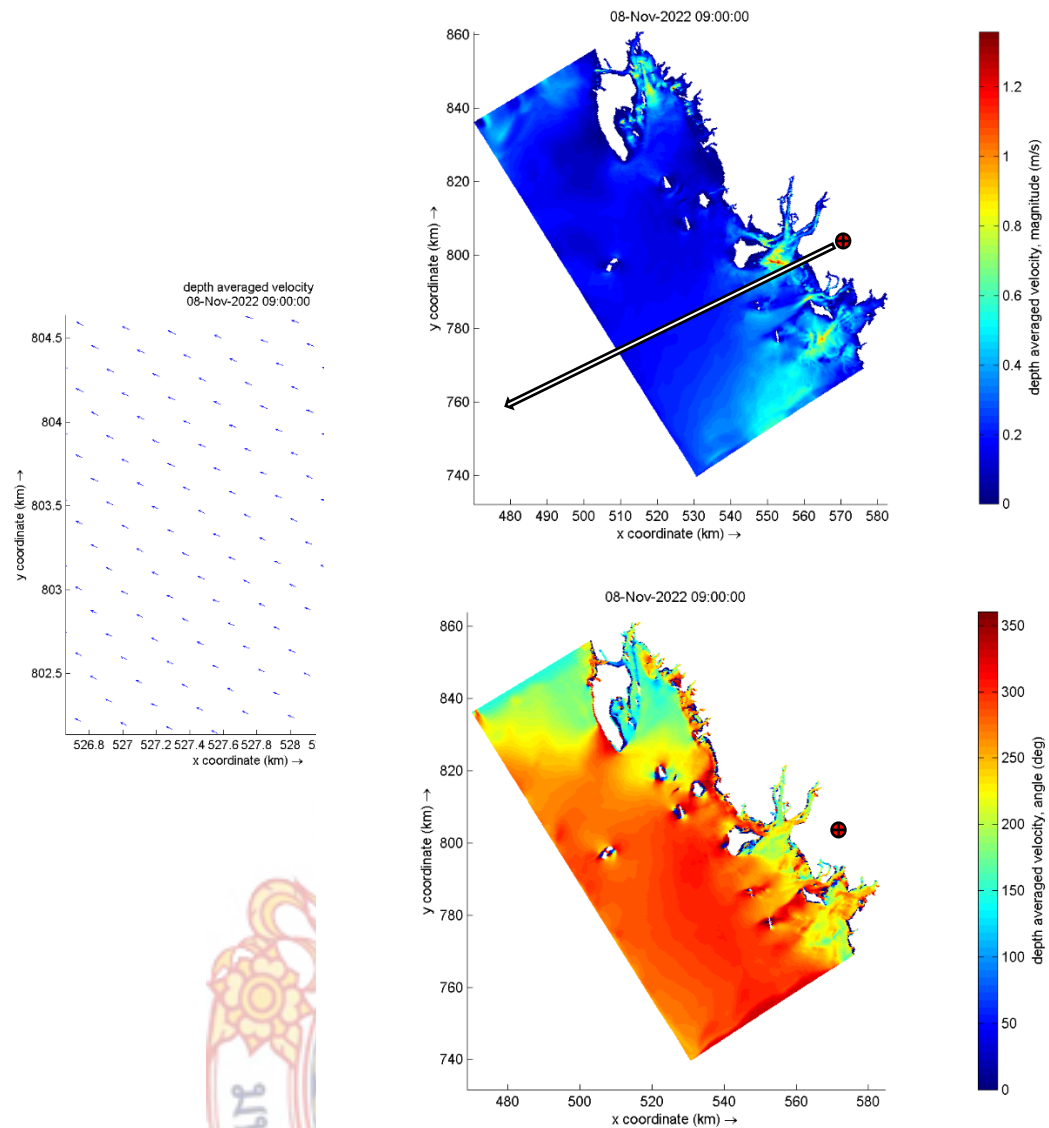


ภาพที่ 61 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำขึ้น วันที่ 1 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 14.00 น.
 ช่วงน้ำตาย 8 คำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

วันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 09.00 น ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น พบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01 - 1.20 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 0 - 120 องศา (ภาพที่ 62) และ วันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 16.00 น ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำลง พบว่าความเร็วของกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 0.01-1.20 เมตรต่อวินาที ทิศทาง 200-350 องศา (ภาพที่ 63)



ภาพที่ 62 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำขึ้น วันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 09.00 น. ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำขึ้น ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)



ภาพที่ 63 ความเร็วและทิศทางของกระแสน้ำขณะน้ำลง วันที่ 8 เดือนพฤศจิกายน 2565 เวลา 16.00 น.
ช่วงน้ำเกิด 15 ค่ำ ขณะน้ำลง ความเร็วกระแสน้ำ (บน) ทิศทางของกระแสน้ำ (ล่าง)

5. ผลการจำลองการกระจายตัวของปูวัยอ่อน *P. Pelagicus*

โดยใช้เงื่อนไขหรือข้อมูลที่มีสร้างแบบจำลองโมเดล 2 กรณีศึกษา ได้แก่ การจำลองการขนส่ง การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของลูกปูม้า โดยใช้ข้อมูลการนำเข้าของตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้า จากธนาคารปูม้าจำนวน 47 จุดและจำนวนลูกปูที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรัง เป็นโมเดลต้นแบบเพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย และจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อนภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของลูกปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติและจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลไทยอย่างยั่งยืน

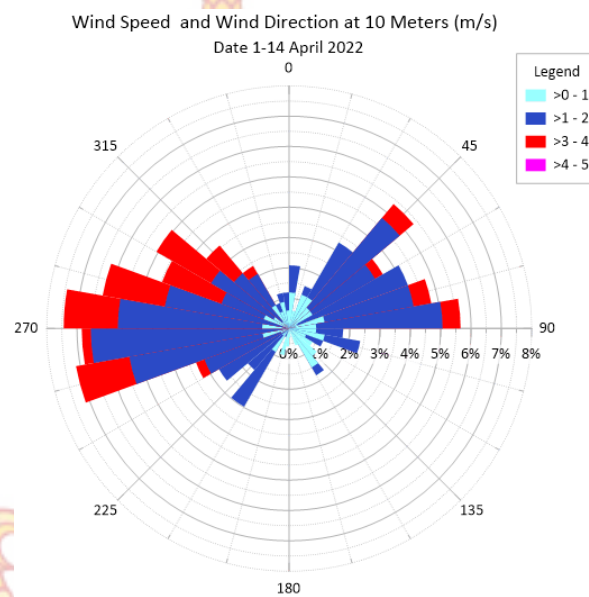
5.1 กรณีศึกษาที่ 1 การจำลองการขนส่ง การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของลูกปูม้า *P. pelagicus* โดยใช้ข้อมูลการนำเข้าของตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 จุด และจำนวนลูกปูที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรังเป็นโมเดลต้นแบบ เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย ภายใต้เงื่อนไขของอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงในช่วงน้ำเกิด ขณะน้ำลงในช่วงกลางวัน และลมมรสุมที่แตกต่างในพื้นที่ศึกษา 3 ช่วงเวลา ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเว้นว่างระหว่างมรสุม ดังตารางที่ 17 และภาพที่ 64 65 66 67 68 และ 69

การจำลองการกระจายอนุภาคด้วยแบบจำลอง Delf - Part (Particle Tracking) ประกอบด้วย Advection และ Diffusion มีส่วน Random Walk ในการคำนวณการกระจายแบบไร้ทิศทางของอนุภาคด้วย โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ $A = 1$ และ $B = 0.01$ ในสูตรคำนวณ Dispersion Coefficient ($D = at^b$) ซึ่งเป็นรูปแบบเริ่มต้นเพื่อจำลองการกระจายอนุภาคจำนวน 10,000 อนุภาค

ตารางที่ 17 ช่วงระยะเวลาในการจำลองการกระจายอนุภาคด้วยแบบจำลอง Delf - Part (Particle Tracking)

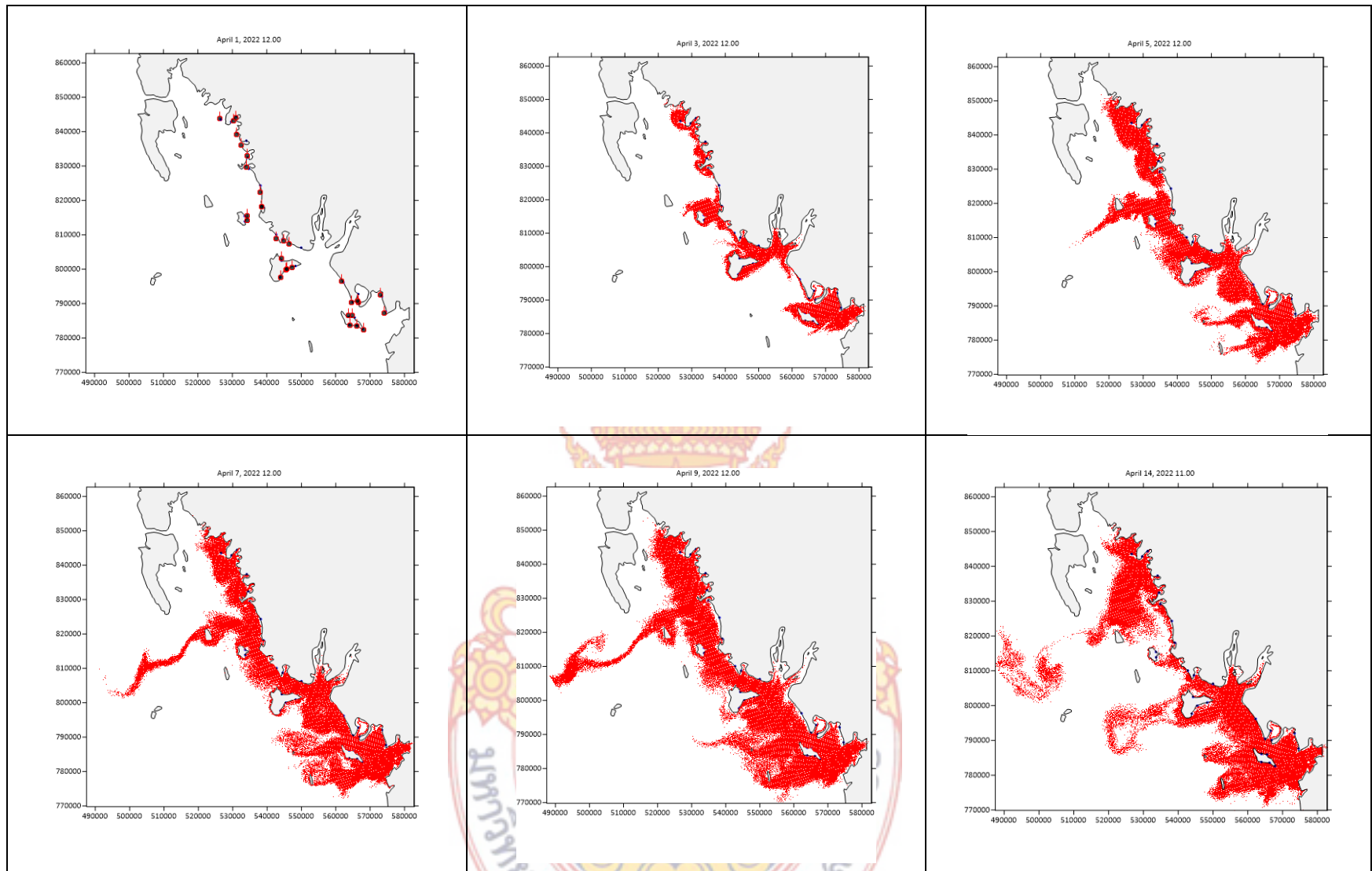
ช่วงลมมรสุม	ช่วงเวลาที่เป็นตัวแทนในการปล่อยลูกปูจากธนาคารปูม้า วัน/เดือน/ปี/เวลา	วันสิ้นสุดการจำลอง วัน/เดือน/ปี/เวลา	เวลาในการจำลอง (วัน)
ตะวันตกเฉียงใต้	1 /06/ 2022 13.00 (2 คำ)	14 /06/ 2022 12.00	14
ตะวันออกเฉียงเหนือ	8 /11/ 2022 15.00 (15 คำ)	21 /06/ 2022 14.00	14
ช่วงเว้นว่างระหว่างมรสุม	1 /04/ 2022 12.00 (15 คำ)	14 /06/ 2022 11.00	14

ภาพที่ 64 และภาพที่ 65 แสดงการกระจายตัวของลูกปูที่ปล่อยจากธนาคารปูม้า เป็นระยะเวลา 14 วัน ในช่วงเดือน เมษายน 2565 อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมส่งผลให้ตัวอ่อนปู มีการแพร่กระจายอยู่ในบริเวณแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ รูปแบบการกระจายตัวในช่วงเวลาดังกล่าว ระหว่างลมมรสุมลูกปู มีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสน้ำเป็นหลัก คาดว่าลูกปูในช่วงเวลาดังกล่าวมีการ ลงเกาะตามแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และคาดว่าจะพบลูกปูทั่วไปในบริเวณเขตพื้นที่ชายฝั่งน้ำตื้น เช่น แนวปะการังน้ำตื้น แนวหญ้าทะเลและพื้นที่ป่าชายเลน เป็นต้น



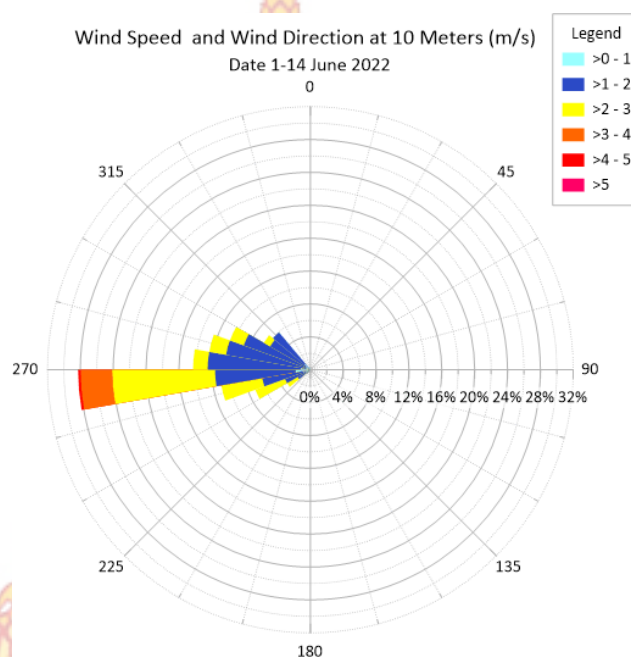
ภาพที่ 64 ข้อมูลลมและทิศทางลมในช่วงวันที่ 1 - 14 เดือนเมษายน 2565



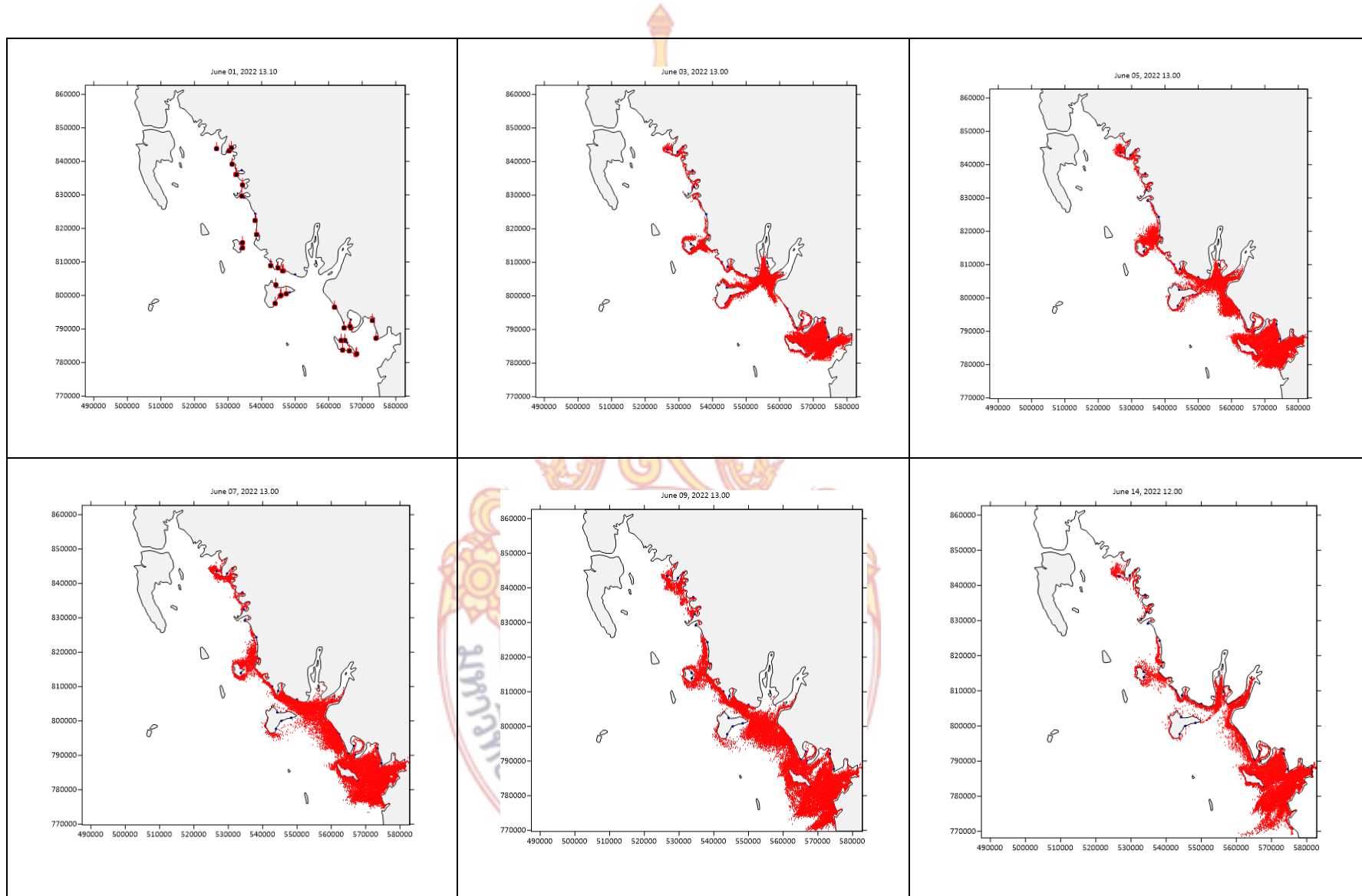


ภาพที่ 65 รูปแบบการกระจายตัวอ่อนปูม้าจำนวน 10000 ตัว จากตำแหน่งฟักจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 สถานี ระหว่างวันที่ 1 - 14 เดือนเมษายน 2565 ในช่วงน้ำเกิด(15 ค่ำ) ขณะน้ำลงเวลา 12.00 น. แสดงการกระจายในช่วงวันที่ 1,3,5,7,9 และ14 วัน

ภาพที่ 66 และภาพที่ 67 แสดงการกระจายตัวของลูกปู *P. pelagicus* ที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าเป็นระยะเวลา 14 วัน ในช่วงเดือน มิถุนายน 2565 อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมมรสุมส่งผลให้ตัวอ่อนปูถูกพัดพาเข้าฝั่งและมีการแพร่กระจายตัวอยู่ในบริเวณชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ รูปแบบการกระจายตัวในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลูกปูมีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสน้ำและลมเป็นหลัก คาดว่าลูกปูในช่วงเวลาดังกล่าวมีการลงเกาะตามแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และคาดว่าจะพบลูกปูได้หนาแน่นในเขตพื้นที่ป่าชายเลน รองลงมาเป็นแนวหญ้าทะเล เป็นต้น

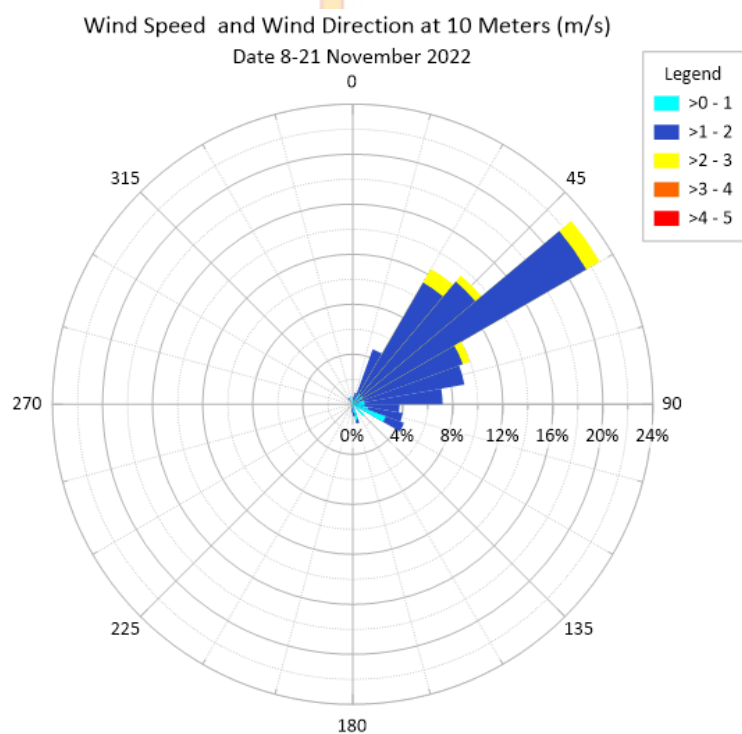


ภาพที่ 66 ข้อมูลลมและทิศทางลมในช่วงวันที่ 1 - 14 เดือนมิถุนายน 2565

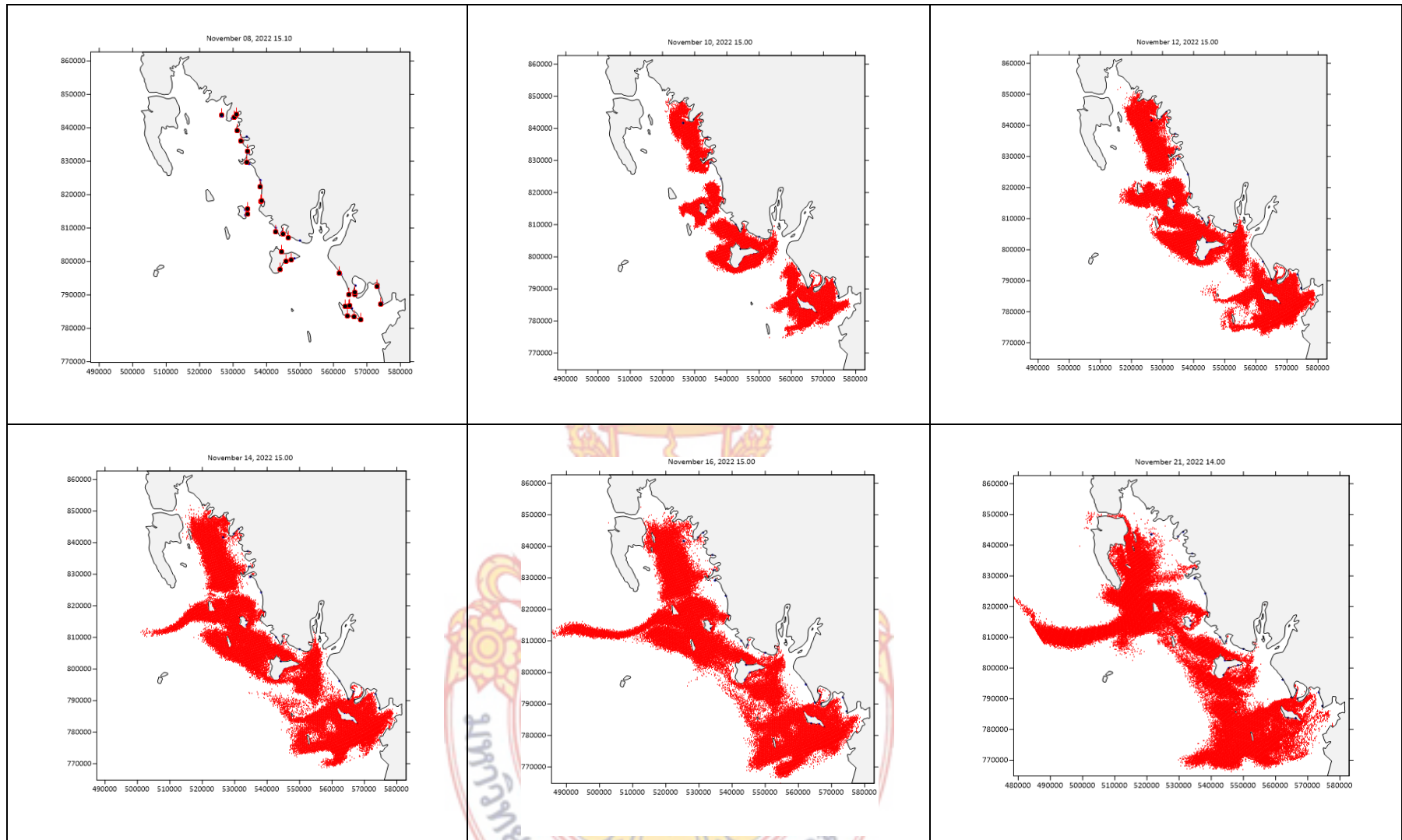


ภาพที่ 67 รูปแบบการกระจายตัวอ่อนปูม้า 10000 ตัว จากตำแหน่งฟักจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 สถานี ระหว่างวันที่ 1-14 เดือน มิถุนายน 2565 ในช่วงน้ำเกิด(2 คำ) ขณะน้ำลงเวลา 13.00 น. แสดงการกระจายในช่วงวันที่ 1,3,5,7,9 และ14 วัน

ภาพที่ 68 และภาพที่ 69 แสดงการกระจายตัวของลูกปู *P. pelagicus* ที่ปล่อยจากธนาคารปูม้าเป็นระยะเวลา 14 วัน ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2565 อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมมรสุมส่งผลให้ตัวอ่อนปูถูกพัดพาออกนอกชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และมีการแพร่กระจายตัวอยู่ในบริเวณชายฝั่งเล็กน้อย รูปแบบการกระจายตัวในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลูกปูมีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสน้ำและอิทธิพลของลมมรสุมเป็นหลัก คาดว่าลูกปูในช่วงเวลาดังกล่าวมีการลงเกาะนอกแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และคาดว่าจะพบลูกปูได้ในเขตพื้นที่บริเวณนอกชายฝั่งน้ำตื้น เช่น แนวปะการังและแนวหญ้าทะเลบริเวณเกาะห่างฝั่งเป็นต้น



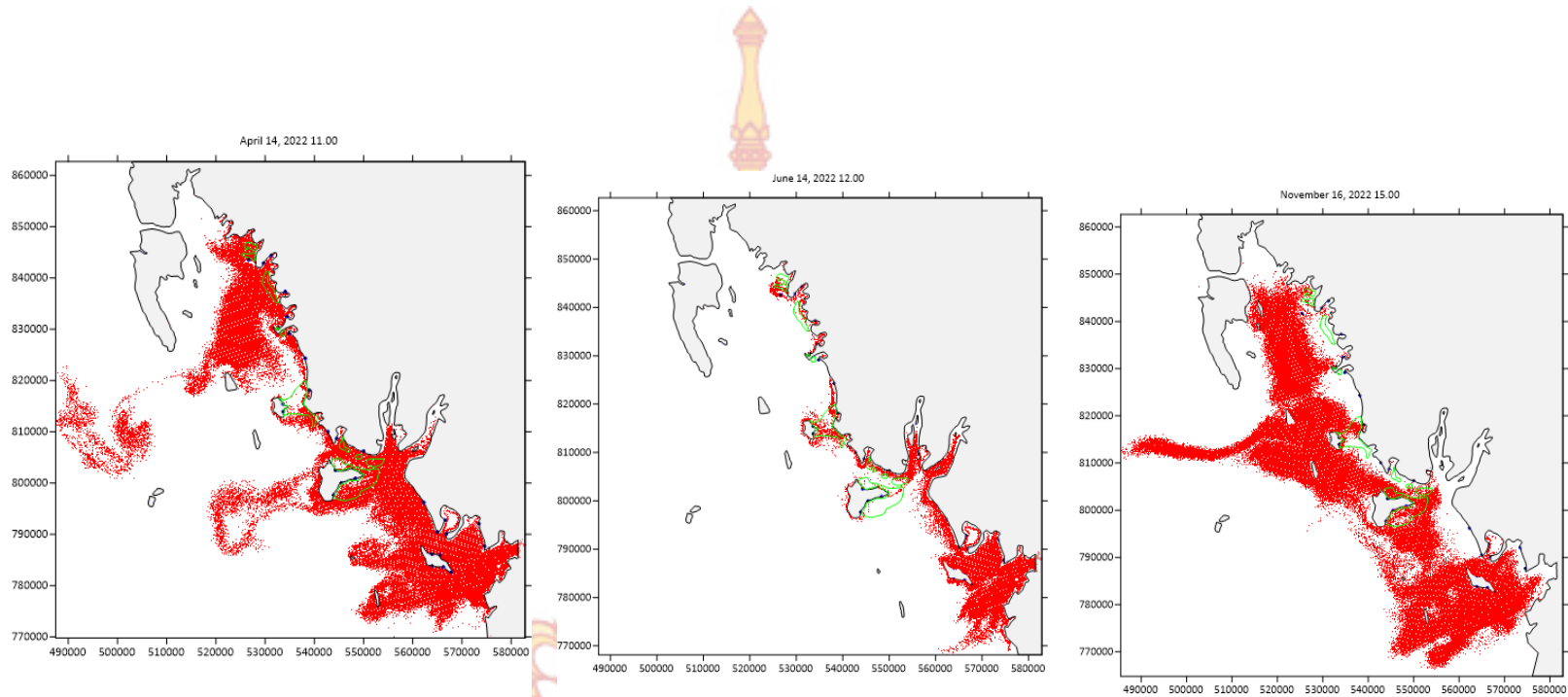
ภาพที่ 68 ข้อมูลลมและทิศทางลมในช่วงวันที่ 8 - 21 เดือนพฤศจิกายน 2565



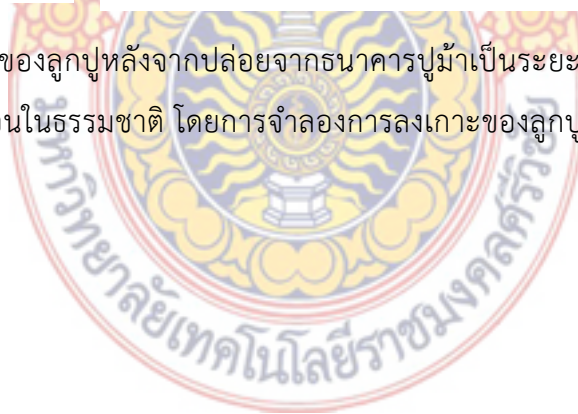
ภาพที่ 69 รูปแบบการกระจายตัวอ่อนปูม้า 10000 ตัว จากตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 สถานี ระหว่างวันที่ 8 - 21 เดือนพฤศจิกายน 2565 ในช่วงน้ำเกิด(2 คำ) ขณะน้ำลงเวลา 13.00 น. แสดงการกระจายในช่วงวันที่ 8, 10, 12, 14, 16 และ 21 วัน

5.2 กรณีศึกษาที่ 2 จำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อน *P. pelagicus* ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติและจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลไทยอย่างยั่งยืน เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย ภายใต้เงื่อนไขของอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงในช่่วงน้ำเกิด ขณะน้ำลงในช่่วงกลางวัน และลมมรสุมที่แตกต่างในพื้นที่ศึกษา 3 ช่วงเวลา ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่่วงเว้นว่างระหว่างลมมรสุม ภาพที่ 70 ผลการจำลองพื้นที่ลงเกาะของลูกปูหลังจากปล่อยจากธนาคารปูม้าเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติและจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลบริเวณรอบพื้นที่สีเขียวเป็นแนวหญ้าทะเล จังหวัดตรัง คาดว่าช่่วงเวลาที่เหมาะสมในการปล่อย คือช่่วงน้ำลงในช่่วงน้ำเกิด เนื่องจากกระแสน้ำและอิทธิพลของลมจะพัดพาลูกปูเข้ากลับมาในบริเวณแนวหญ้าทะเลได้ตลอดเกือบทั้งปี อีกทั้งยังแสดงแนวโน้มให้เห็นว่าลูกปูมีโอกาสกลับมาในแนวหญ้าทะเลมากที่สุดในช่วงเว้นว่างจากลมมรสุม ส่วนแนวโน้มในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพบว่าลูกปูถูกพัดพาทำให้มีการกระจายตัวลงทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา และมีการกระจายตัวบริเวณแนวหญ้าทะเลเกาะมุขและเกาะลิบง และลมมรสุมตะวันตกอิทธิพลของลมส่งผลให้ลูกปูถูกพัดพาเข้าหาชายบริเวณชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ คาดว่าจะพบลูกปูหนาแน่นในเขตพื้นที่ป่าชายเลน และมีการกระจายน้อยในพื้นที่แนวหญ้าทะเล





ภาพที่ 70 ผลการจำลองพื้นที่ลงเกาะของลูกปูหลังจากปล่อยจากธนาคารปูม้าเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติ โดยการจำลองการลงเกาะของลูกปูบริเวณพื้นที่แนวหญ้าทะเล จังหวัดตรังกรอบเส้นสีเขียว



บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

1. สรุปผลการศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน *P. Pelagicus* ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.1 สรุปผลการศึกษาความแปรปรวนของพฤติกรรมการว่ายน้ำของปูม้าวัยอ่อน *P. Pelagicus* ในห้องปฏิบัติการเพื่อการพัฒนาารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกปูม้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

พฤติกรรมการว่ายน้ำลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1 - 4 ที่บันทึกด้วยวิดีโอ เพื่อติดตาม (Track) รูปแบบทิศทาง และพฤติกรรมการว่ายน้ำ พบการว่ายน้ำลูกปูม้าแต่ละตัว (Individual Swimming Track) มีความแตกต่างกันในแง่ของทิศทาง (Direction) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) โดยพบลูกปูม้ามีการว่ายน้ำหลากหลายรูปแบบ เช่น การว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือ ว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) ซึ่งมีพฤติกรรมรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่นิ่งแทบไม่ขยับ ซึ่งพอสรุปได้ว่าลูกปูในระยะเวลา Zoea 1-4 มีความอิสระในการว่ายน้ำขึ้นอยู่ กับปัจจัยเร็วในการเคลื่อนที่ คาดว่าปัจจัยที่ผล เช่น แสง อาหาร เป็นต้น

อัตราเร็ว (Speed) และความเร็ว (Velocity) ของลูกปูในระยะ Zoea 1 - 4 พฤติกรรมการว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือลงด้านล่าง (Sinking - Downward) จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อลูกปูมีอายุมากขึ้นตามระยะการเจริญเติบโตส่งผลในเรื่องของพฤติกรรมในการว่ายน้ำ โดยอัตราเร็วและความเร็วเพิ่มขึ้นไปด้วยตามระยะของลูกปู และเพิ่มความสามารถในการบังคับทิศทางได้แม่นยำขึ้น สังเกตพฤติกรรมได้ขณะตอนลูกปูเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงจากการทดลองจะอยู่ในแนวเส้นตรงมากขึ้นเป็นต้น

พฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปูม้า *P. pelagicus* ระยะ Megalopa พบการว่ายน้ำลูกปูม้าระยะ Megalopa แต่ละตัว (Individual Swimming Track) มีทิศทาง (Direction) และรูปแบบการเคลื่อนไหว (Pattern of Motion) ที่แตกต่างกัน โดยพบการว่ายน้ำหลากหลายรูปแบบ เช่น การว่ายน้ำขึ้นด้านบน (Upward) หรือ ว่ายน้ำลงด้านล่าง (Downward) หรือการว่ายน้ำไปทางด้านข้าง (Sideway) แต่ทิศทางการว่ายน้ำมักเป็นแนวตั้ง (Vertical Movement) คล้ายกับการว่ายน้ำของลูกปูม้าระยะ Zoea 4 นอกจากนี้ พฤติกรรมการว่ายน้ำลูกปูม้าระยะ Megalopa มักมีรูปแบบการว่ายน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งการว่ายน้ำในวิถีที่ค่อนข้างตรง (Straight) การเคลื่อนที่ว่ายน้ำ

แบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน (Erratic) และบางครั้งพบมีการลอยตัว (Float) อยู่หนึ่งแทบไม่ขยับ โดยอัตราเร็ว (Speed) และความเร็ว (Velocity) ของว่ายน้ำของลูกปูในระยะ Megalopa มีความสามารถในการบังคับทิศทางได้แม่นยำกว่าลูกปูระยะ Zoea สังเกตจากพฤติกรรมของว่ายน้ำขึ้นและลงจากการทดลอง

1.2 สรุปผลการศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปู *P. pelagicus* ระยะ Zoea 1-4 และระยะ Megalopa

กรณีที่ 1 การเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยการล่องไฟด้านบน (Upward) จำหน่ายแหล่งกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่เหนือและใต้พื้นที่สังเกตการณ์ 10 เซนติเมตร ในการทดลองแต่ละการทดลองทำการพักลูกปู 10 นาทีทุกครั้ง และต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง เริ่มต้นลูกปูอยู่ที่ความลึกประมาณ 90 เซนติเมตรใน (ใช้วิธีล่องไฟด้านล่างจนกระทั่งลูกปูครบจำนวน 10 ตัว) แล้วปิดไฟด้านล่าง และกรณีที่ 2 การเคลื่อนที่เข้าหาแสงโดยการล่องไฟด้านล่าง (Downward) จำหน่ายแหล่งกำเนิดแสง LED (อุณหภูมิสี 7000 ± 1000 K และความเข้มของ 2250 ± 250 mcd) อยู่แนวตั้งฉากกับพื้นที่สังเกตการณ์ ลูกปูอยู่ที่ความลึก 0 เซนติเมตร (บริเวณผิวน้ำ) ในการทดลองแต่ละการทดลองทำการพักลูกปู 10 นาทีทุกครั้งและต้องไม่มีแหล่งกำเนิดแสง เริ่มต้นลูกปูอยู่ที่ความลึกประมาณ 0 เซนติเมตร (ใช้วิธีล่องไฟด้านบนจนกระทั่งลูกปูครบจำนวน 10 ตัว) แล้วปิดไฟด้านบน หลังจากนั้นเริ่มการทดลองโดยการเปิดไฟล่องด้านบนและสังเกตการเคลื่อนที่ของลูกปูในช่วงระยะเวลา 4 นาที ทำการบันทึกเวลาและตำแหน่งความลึกของลูกปูจำนวน 10 ตัว พฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวตั้งของลูกปู ระยะ Zoea 1 2 3 และ 4 พบว่าลูกปูแต่ละระยะแสดงให้เห็นว่าลูกปูมีพฤติกรรมตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยการเคลื่อนที่ตัวขึ้นและลงเข้าหาแสงในแนวตั้งแบบโฟโตแทกซิส (Phototaxis) เป็นพฤติกรรมตอบสนองโดยมีแสงเป็นสิ่งเร้า (Forward and Buswell, 1989) มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่แตกต่างกันเล็กน้อยในลูกปูแต่ละระยะ และอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำในขณะนั้น ดังนั้นคาดได้ว่าลูกปูในธรรมชาติมีพฤติกรรมเป็นแบบเดียวกัน โดยลูกปูในระยะนี้จะอาศัยอยู่บริเวณที่มีความเข้มแสงส่องถึง และคาดว่าจะพบลูกปูอาศัยอยู่บริเวณผิวน้ำจนถึงความลึกที่มีความเข้มแสงส่องถึง (Epifanio and Cohen, 2016)

1.3 สรุปผลการศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปู

โดยมีเงื่อนไขควบคุมความเร็วของกระแสที่ต่างกัน 5 ระดับ คือ ความเร็วกระแสน้ำ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตรต่อวินาทีของลูกปูขณะมีพัฒนาการของระยะ Zoea 1 - 4 พบว่าความเร็วของกระแสน้ำมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการว่ายน้ำตามแนวราบของลูกปูในระยะ Zoea 1 - 4 สามารถว่ายน้ำทวนกระแสน้ำได้บ้างในแนวราบขณะความเร็วไม่เกิน 0.01 เซนติเมตร/วินาที ดังนั้นในธรรมชาติความเร็วกระแสน้ำส่วนใหญ่มักมีความเร็วอยู่ในช่วง 0.01 - 0.8 เมตร

ต่อวินาที คาดการณ์ได้ว่าพฤติกรรมในการว่ายน้ำในแนวราบของลูกปูในระยะนี้ล่องลอยไปตาม กระแสน้ำเป็นหลัก

2. สรุปผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้แบบจำลอง อุทกพลศาสตร์

2.1 สรุปผลการเปรียบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง

การเปรียบเทียบความถูกต้องของระดับน้ำจากแบบจำลองกับการตรวจวัด สถานีเกาะสุกร สถานีตรวจวัดราชมงคล และสถานีตรวจวัดท่าเรือหาดยาวในเดือนเมษายน 2565 เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าแบบจำลองสามารถจำลองเลียนแบบธรรมชาติได้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมที่เป็นจริง โดยพิจารณาจากผลการเปรียบเทียบระดับน้ำรายชั่วโมงโดยการทดสอบทางสถิติ และผลการเปรียบเทียบ ค่าฮาโมนิคของระดับน้ำ โดยมีค่าแอมพลิจูดและเฟสของระดับน้ำรายชั่วโมงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน รวมทั้งผลการเปรียบเทียบกระแสน้ำ ทิศทางของกระแสน้ำ และระดับน้ำจากแบบจำลองกับผลการ ตรวจวัด สถานีเกาะไหงทางทิศตะวันออก ในช่วงวันที่ 23 เดือน เมษายน 2565 เวลา 11.00 น. ถึงวันที่ 24 เดือน เมษายน 2565 เวลา 12.00 น. เป็นระยะเวลา 25 ชั่วโมง พบว่าระดับน้ำ จากแบบจำลองกับผลการตรวจวัดมีผลการการเปรียบเทียบมีความแม่นยำและถูกต้อง ดังนั้นสามารถ นำผลการจำลองนำเข้าไปเป็นผลเริ่มต้นในโมเดลจำลอง Delft3D Part เพื่อจำลองการแพร่กระจายตัว ของอ่อนลูกปูในระยะ Zoea เป็นระยะเวลา 14 วัน ก่อนลงเกาะ

2.2 สรุปผลการจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง โดยใช้ แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ จากอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และลมมรสุม

การจำลองการไหลเวียนของน้ำบริเวณชายฝั่งอันดามัน จังหวัดตรัง ในภาพรวม จะเห็นได้ว่า ขณะน้ำขึ้นกระแสน้ำในพื้นที่ศึกษามีการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ ศึกษา ขณะน้ำลงไปออกไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ศึกษา โดยความเร็วและทิศทางกระแสน้ำ จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามระดับน้ำในแต่ละช่วงเวลารวมถึงอิทธิพลของลมมรสุมในรอบปี ซึ่งอิทธิพลของลมมรสุมจะทำให้ระดับน้ำตามแนวชายฝั่งมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของกระแสน้ำ ในช่วงนี้ ส่งผลต่อการแพร่กระจายของลูกปูม้าในพื้นที่ศึกษาอย่างเด่นชัด คาดว่าในช่วงลมมรสุม ตะวันตกเฉียงใต้จะทำให้ระดับสูงขึ้นบริเวณชายฝั่งของพื้นที่ศึกษา และกระแสน้ำจะพัดพาลูกปูม้า ในระยะ Zoea เข้าหาชายฝั่ง และคาดว่าจะพบลูกปูม้าลงเกาะบริเวณใกล้แนวชายฝั่งน้ำตื้น เป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าชายเลนเป็นต้น ขณะในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระดับ น้ำแนวชายฝั่งจะกลับมาปกติ ส่งผลให้แรงเฉือนจากลมทำให้กระแสน้ำเคลื่อนที่ออกจากแนวชายฝั่ง คาดว่าส่งผลให้ลูกปูในช่วงเวลานี้เคลื่อนตัวออกจากแนวชายฝั่งน้ำตื้น อาจพบลูกปูวัยอ่อนในเขตพื้นที่ ห่างจากแนวชายฝั่ง เช่น แนวหญ้าทะเลบริเวณเกาะมุก และเกาะลิบง เป็นต้น

2.3 สรุปผลการจำลองการกระจายตัวของปูวัยอ่อน *P. Pelagicus*

โดยใช้เงื่อนไขหรือข้อมูลที่มีสร้างแบบจำลองโมเดล 2 กรณีศึกษา ได้แก่ การจำลองการขนส่ง การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของลูกปูม้า โดยใช้ข้อมูลการนำเข้าของตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 จุด และจำนวนลูกปูที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรังเป็นโมเดลต้นแบบ เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย และจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อนภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติและจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลไทยอย่างยั่งยืน

กรณีศึกษาที่ 1 การจำลองการขนส่ง การกระจาย และพื้นที่ลงเกาะของลูกปูม้า *P. pelagicus* โดยใช้ข้อมูลการนำเข้าของตำแหน่งพิกัดจุดปล่อยลูกปูม้าจากธนาคารปูม้า จำนวน 47 จุด และจำนวนลูกปูที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติในพื้นที่ชายฝั่งจังหวัดตรังเป็นโมเดลต้นแบบ เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย ภายใต้เงื่อนไขของอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงในช่วงน้ำเกิด ขณะน้ำลงในช่วงกลางวัน และลมมรสุมที่แตกต่างในพื้นที่ศึกษา 3 ช่วงเวลา ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเว้นว่างระหว่างมรสุม พบว่าในช่วงเดือน เมษายน 2565 เป็นตัวแทนของช่วงเว้นว่างระหว่างมรสุมอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมส่งผลให้ตัวอ่อนปูมีการแพร่กระจายอยู่ในบริเวณชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ รูปแบบการกระจายตัวในช่วงเว้นว่างระหว่างลมมรสุมลูกปูมีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสหลัก คาดว่าลูกปูในช่วงเวลาดังกล่าวมีการลงเกาะและตามแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และคาดว่าจะพบลูกปูทั่วไปในบริเวณเขตพื้นที่ชายฝั่งน้ำตื้น เช่น แนวปะการังน้ำตื้น แนวหญ้าทะเลและพื้นที่ป่าชายเลน เป็นต้น ในช่วงเดือน มิถุนายน 2565 เป็นตัวแทนของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมมรสุมส่งผลให้ตัวอ่อนปูถูกพัดพาเข้าฝั่งและมีการแพร่กระจายตัวอยู่ในบริเวณชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ รูปแบบการกระจายตัวในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ลูกปูมีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสหลัก และอิทธิพลของลมมรสุมเป็นหลัก คาดว่าลูกปูในช่วงเวลาดังกล่าวมีการลงเกาะตามแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ ลูกปูพัดพาเข้าหาฝั่งอย่างชัดเจนในช่วงฤดูดังกล่าว และคาดว่าจะพบลูกปูได้ในเขตพื้นที่บริเวณชายฝั่งน้ำตื้น เช่น แนว ปะการังน้ำตื้น แนวหญ้าทะเลและพื้นที่ป่าชายเลน เป็นต้น ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2565 เป็นตัวแทนของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงและลมมรสุมส่งผลให้ตัวอ่อนปูถูกพัดพาออกนอกชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และมีการแพร่กระจายตัวอยู่ในบริเวณชายฝั่งเล็กน้อย รูปแบบการกระจายตัวในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลูกปูมีการเคลื่อนตัวไปตามกระแสหลักเนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมมรสุม คาดว่าลูกปูในช่วงเวลาดังกล่าว

มีการลงเกาะนอกแนวชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ และคาดว่าจะพบลูกปูได้ในเขตพื้นที่บริเวณนอกชายฝั่งน้ำตื้น เช่นแนวปะการัง และแนวหญ้าทะเลบริเวณเกาะห่างชายฝั่งเป็นต้น

กรณีศึกษาที่ 2 จากผลการจำลองหาพิกัดตำแหน่ง ช่วงเวลา และขอบเขตจุดที่ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติของปูม้าวัยอ่อน *P. pelagicus* ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติและจะเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จในการฟื้นฟูทรัพยากรปูม้าในทะเลไทยอย่างยั่งยืน เพื่อติดตามตัวอ่อนของลูกปูในระยะ Zoea และระยะ Megalopa ทุก ๆ ชั่วโมงจนถึง 14 วันหลังการปล่อย ภายใต้เงื่อนไขของอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงในช่วงน้ำเกิด ขณะน้ำลงในช่วงกลางวัน และลมมรสุมที่แตกต่างในพื้นที่ศึกษา 3 ช่วงเวลา ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และช่วงเว้นว่างระหว่างลมมรสุม ผลการจำลองพื้นที่ลงเกาะของลูกปูหลังจากปล่อยจากธนาคารปูม้าเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้เงื่อนไขความสัมพันธ์กับระบบนิเวศต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อนในธรรมชาติ คาดว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปล่อย คือช่วงน้ำลงในช่วงน้ำเกิด จุดปล่อยควรมีความลึกไม่น้อยกว่า 1 เมตร เนื่องจากกระแสน้ำและอิทธิพลของลมจะสามารถพัดพา ลูกปูเข้ากลับมาลงเกาะในบริเวณระบบนิเวศที่มีผลต่อการอยู่รอดของปูม้าวัยอ่อน เช่น แนวหญ้าทะเล เขตปะการังน้ำตื้น และป่าชายเลน ได้ตลอดเกือบทั้งปี อีกทั้งยังแสดงแนวโน้มให้เห็นว่าลูกปูมีโอกาสกลับมาในแนวหญ้าทะเลมากสุดในช่วงเว้นว่างจากลมมรสุม ขณะเดียวกันคาดว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือลูกปูถูกพัดพาเข้ามาหาชายบริเวณชายฝั่งเป็นส่วนใหญ่ คาดว่าจะพบลูกปูหนาแน่นในบริเวณป่าชายเลนโดยเฉพาะบริเวณที่เป็นปากคลองหรือปากแม่น้ำเป็นต้น และมีการกระจายน้อยในพื้นที่แนวหญ้าทะเล



ข้อเสนอแนะ

1. การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้กับทรัพยากรประมงชนิดอื่นและพื้นที่อื่น ควรพิจารณาเงื่อนไขขอบเขตที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาและพิจารณาลักษณะจำเพาะของสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ
2. นอกจากการส่งเสริมทางหลักวิชาการเพื่อเพิ่มความสำเร็จเป้าหมายความยั่งยืน การประยุกต์ใช้เงื่อนไขทางสังคมให้กับชาวประมงโดยเฉพาการตระหนักถึงการมีส่วนร่วมเพื่อบรรลุเป้าหมายการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้มีส่วนร่วมในทรัพยากรนั้น ๆ
3. ควรมีการประยุกต์ผลการศึกษาเข้ากับผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคม เพื่อประเมินผลกระทบที่นวัตกรรมเข้าไปเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับทุกภาคส่วน



บรรณานุกรม

- กุศล เรืองประเทืองสุข. 2552. ความสัมพันธ์ระหว่างปลั้วัดประชากรปูม้า *Portunus pelagicus* กับปัจจัยทางกายภาพของแหล่งหญ้าทะเล อ่าวคุ้งกระเบน จังหวัดจันทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมประมง. 2549. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2547. ใน เอกสารฉบับที่ 4/2549. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, ศูนย์สารสนเทศการประมง, กรมประมง, กรุงเทพฯ.
- กรมประมง. 2560. สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2558. ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 5/2560. กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง, กองนโยบายและยุทธศาสตร์พัฒนาการประมง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรีนเนท. 2562. ธนาคารปูม้าชุมชน. นวัตกรรมและภูมิปัญญาในการฟื้นฟูทะเลไทยของชาวประมงพื้นบ้าน. แหล่งที่มา <https://www.greenet.or.th>, 1 กันยายน 2563.
- เจียน สิทธิอนุวงศ์. 2520. การศึกษาชีวประวัติของปูม้า *Portunus pelagicus* Linnaeus ในอ่าวไทย. ใน รายงานประจำปี 2520. กองประมงทะเล, กรมประมง.
- บุญศรี วงศ์จิตต์ชื่อ และเจต พิมลจินดา. 2527. การเจริญเติบโตของลูกปูม้า *Portunus pelagicus* Linn. แบบหมวมวล (mass culture). รายงานวิชาการฉบับที่ 20 งานปลาผิวน้ำ. กรมประมงทะเล, กรมประมง.
- สุเมธ ตันติกุล. 2527. ชีววิทยาการประมงของปูม้าในอ่าวไทย. ฝ่ายสัตว์น้ำอื่น ๆ, กองประมงทะเล, กรมประมง.
- บรรจง เทียนสงรัสมิ. 2545. การเพาะเลี้ยงปูม้าทางเลือกใหม่ของเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งและชาวประมงพื้นบ้าน. เทคโนโลยีชาวบ้าน 14(294): 102-104.
- บรรจง เทียนสงรัสมิ. 2547. เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงปูม้า. สตาร์ทีม แมนเนจ กรุ๊ป, กรุงเทพฯ.
- บรรจง เทียนสงรัสมิ. 2550. การเพาะเลี้ยงปูม้าในทะเลชายฝั่งแบบชุมชนมีส่วนร่วม. 919 เทคนิคพรินต์ติ้ง, กรุงเทพฯ.
- วารินทร์ ธนาสมหวัง, พรทิพย์ ทองบ่อ, ฉลอง ทองบ่อ และ วุฒิชัย ทองล้ำ. 2547. การอนุบาลลูกปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) ในที่กักขังโดยให้ที่หลบซ่อนต่างชนิด. ใน เอกสารวิชาการฉบับที่ 35/2547. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, สำนักวิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- วารินทร์ ธนาสมหวัง. 2548. การเพาะเลี้ยงปูม้าเชิงพาณิชย์. เอกสารเผยแพร่โครงการการผลิตพันธุ์และการเลี้ยงปูม้า (*Portunus pelagicus* Linnaeus, 1758) เชิงพาณิชย์. ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่งสมุทรสาคร, กรมประมง.

- Anger, K. 2001. **The biology of decapod crustacean larvae**. Volume 14, Lisse: AA Balkema Publishers.
- Anger, K. 2006. Contributions of larval biology to crustacean research: a review. **Invertebrate Reprod Dev** 49: 175–205.
- Anger, K., Queiroga, H. and Calado, R. 2015. Larval development and behavior strategies in Brachyuran. In: Castro P, Davie PJF, Guinot D, Schram FR, von Vaupel Klein JC, editors. **Treatise on Zoology-Anatomy, Taxonomy, Biology-The Crustacea, complementary to the volumes translated from the French of the Traite de Zoologie**. Vol.9, Part C-I, Decapoda: Brachyura (Part 1). Brill: Boston: 317–373.
- Arshad, A., Efrizal, K.M. and Saad, C.R. 2006. Study on fecundity, embryology and larval development of blue swimming crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus, 1758) under laboratory conditions. **Research Journal of Fisheries and Hydrobiology** 1(1): 35-44.
- Delft Hydraulics. 2008. **Delft3D-FLOW User Manual**. WL/Delft Hydraulics.
- Epifanio, C.E. 1995. Transport of blue crab (*Callinectes sapidus*) larvae in the waters off Mid-Atlantic states. **Bulletin of Marine Science** 57(3): 713-725.
- Gebco. 2021. **แบบจำลองความสูงของภูมิประเทศของโลก**. GEBCO 2021 Grid. แหล่งที่มา: https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco, 20 มีนาคม 2564.
- Jintasaeranee, P. and Piyapong, C. 2021. Bathymetric Resolution Analysis of the Gulf of Thailand. **ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports** 24(2).
- Joseph, C. Caracappa and Daphne, M. Munroe. 2019. Variability in swimming behavior among broods of blue crab (*Callinectes sapidus*) zoeae. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 518: 1–9.
- Keller, G.H. and Richards, A.F. 1967. Sediments of the Malacca Strait, Southeast Asia. **Journal of Sedimentary Research**.
- Kon, T. 1979. Ecological studies on larvae of the crabs belonging to the genus *Chionoecetes*. 1. The influence of starvation on the survival and growth of the zuwai crab. **Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries** 45(1): 7-9.

- Kon, T. 1980. Studies on the life history of the zuwai crab. *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius) 2: 1–64.
- Kon, T., Adachi, T. And Suzuki, Y. 2003. Distribution of snow crab, *Chionoecetes* spp., larvae off Wakasa Bay in the Sea of Japan. *Fish. Sci* 69: 1109–1115.
- Lett, C., Verley, P., Mullon, C., Parada, C., Brochier, T., Penven, P. and Blanke, B. 2008. A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. *Environmental Modelling & Software* 23(9): 1210-1214.
- Linnaeus, C. 1758. *Systema Naturae per Regna Tria Naturae, Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, Locis*. Edition 10.
- Lipcius, R.N., Olmi III, E.J. and van Montfrans, J. 1990. Planktonic availability, molt stage and settlement of blue crab postlarvae. *Marine Ecology Progress Series* 58(3): 235-242.
- Moksnes, P.O., Lipcius, R.N., Pihl, L. and van Montfrans, J. 1997. Cannibal–prey dynamics in young juveniles and postlarvae of the blue crab. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215(2): 157-187.
- Montane, M.M., Lipcius, R.N., Haner, J.L., Seebo, M.S., Pile, A.J., Montfrans, J.V. and Pihl, L. 1995. A field study of the population dynamics of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, in the Chesapeake Bay. Final Report.
- Okuno, A., Watanabe, T., Takayama, K., Honda, N., Kakinoki, K. And Katoh, O., 2010. **Numerical simulation of the larval transport of snow crab *Chionoecetes opilio* in the Japan Sea**. Available Source: <https://meetings.pices.int/publications/presentations/PICES-2010/2010-FIS/FIS-day2/FIS-P-1000-Okuno.pdf>, February 4, 2020.
- Olmi III, E.J. and Lipcius, R.N. 1991. Predation on postlarvae of the blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun by sand shrimp *Crangon septemspinosa* Say and grass shrimp *Palaemonetes pugio* Holthuis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 151(2): 169-183.

- Orth, R.J. and Van Montfrans, J. 1987. Utilization of a seagrass meadow and tidal marsh creek by blue crabs *Callinectes sapidus*. 1. Seasonal and annual variations in abundance with emphasis on post-settlement juveniles. **Marine Ecology Progress Series** 41: 283-294.
- Parada, C., Armstrong, D.A., Ernst, B., Hinckley, S. and Orensanz, J.M. 2010. Spatial dynamics of snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the eastern Bering Sea-putting together the pieces of the puzzle. **Bulletin of Marine Science** 86(2): 413-437.
- Perkins-Visser, E., Wolcott, T.G. and Wolcott, D.L. 1996. Nursery role of seagrass beds: enhanced growth of juvenile blue crabs (*Callinectes sapidus* Rathbun). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 198(2): 155-173.
- Pile, A.J., Lipcius, R.N., Van Montfrans, J. and Orth, R.J. 1996. Density-dependent settler-recruit-juvenile relationships in blue crabs. **Ecological Monographs** 66(3): 277-300.
- Provenzano Jr, A.J., McConaughy, J.R., Philips, K.B., Johnson, D.F. and Clark, J. 1983. Vertical distribution of first stage larvae of the blue crab, *Callinectes sapidus*, at the mouth of Chesapeake Bay. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 16(5): 489-499.
- Ramage, C.S. 1971. **Monsoon Meteorology** (1sted). Academic Press, New York.
- Rizal, S., Damm, P., Wahid, M.A., Sundermann, J., Ilhamsyah, Y. and Iskandar, T. 2012. General circulation in the Malacca Strait and Andaman Sea: A numerical model study. **American Journal of Environmental Sciences** 8(5): 479.
- Ryer, C.H., van Montfrans, J. and Orth, R.J. 1990. Utilization of a seagrass meadow and tidal marsh creek by blue crabs *Callinectes sapidus*. 2. Spatial and temporal patterns of molting. **Bulletin of Marine Science** 46(1): 95-104.
- Stephen, E.S., Eric, A.T. and Jeffrey, S.S. 2019. A Review of Biophysical Models of Marine Larval Dispersal. **Oceanography and Marine Biology** 57: 325-356
- Treml, E.A., Ford, J.R., Black, K.P. and Swearer, S.E. 2015. Identifying the key biophysical drivers, connectivity outcomes, and metapopulation consequences of larval dispersal in the sea. **Movement ecology** 3(1): 1-16.

- Unger, D., Ittekkot, V., Schafer, P., Tiemann, J. and Reschke, K. 2003. Seasonality and interannual variability of particle fluxes to the deep Bay of Bengal: Influence of riverine input and oceanographic processes. **Deep Sea Research Part 2: Topical Studies in Oceanography** 50: 879-923.
- Van Montfrans, J., Ryer, C.H. and Orth, R..J. 2003. Substrate selection by blue crab *Callinectes sapidus* megalopae and first juvenile instars. **Marine Ecology Progress Series** 260: 209-217.
- Varkey, M.J., Murty, V.S.N. and Suryanarayana, A.. 1996. Physical oceanography of the Bay of Bengal and Andaman Sea. **Oceanography and Marine Biology** 34: 1-70.
- Vutthichai Oniam and Wasana Arkronrat. (2013). Development of crab farming: The complete cycle of blue swimming crab culture program (CBSC program) in Thailand. **Kasetsart University Fisheries Research Bulletin (Thailand)** 37(2): 31-43.
- Wyrki, K. 1961. **Physical oceanography of the Southeast Asian waters** (1sted). University of California, California.
- Xinyan, Mao., Xinyu, Guob., Taishi, Kubota. and Yucheng, Wang. 2019. Numerical studies on snow crab (*Chionoecetes opilio*) larval survival and transport in the Sea of Japan. **Progress in Oceanography** 179: 1-13
- Yamamoto, T., Yamada, T., Fujimoto, H. And Hamasaki, K. 2014. Effects of temperature on snow crab (*Chionoecetes opilio*) larval survival and development under laboratory conditions. **J. Shell. Res.** 33(1): 19-24.