

ผลของความเค็มและไนเตรตต่อระดับสุขภาพในปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*) ปะการังจาน
(*Turbinaria sp.*) และปะการังโขด (*Porites sp.*)



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTS OF SALINITY AND NITRATE ON CORAL HEALTH LEVELS IN BRANCHING
CORAL (*Acropora sp.*) DISC CORAL (*Turbinaria sp.*) AND MASSIVE CORAL (*Porites sp.*)



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเค็มและไนเตรตต่อระดับสุขภาพในปะการังเขากวาง (<i>Acropora sp.</i>) ปะการังจาน (<i>Turbinaria sp.</i>) และปะการังโขด (<i>Porites sp.</i>)
โดย	น.ส.กฤติญา สำราญศิลป์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พีเชรพร เขาวงกัจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ (ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก (รองศาสตราจารย์ ดร.พีเชรพร เขาวงกัจเจริญ)
.....	กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน ลิ้มปียากร)
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิสา มหาสันตนะ)

กฤติญา สำราญศิลป์ : ผลของความเค็มและไนเตรตต่อระดับสุขภาพในปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*) ปะการังจาน (*Turbinaria sp.*) และปะการังโขด (*Porites sp.*). (THE EFFECTS OF SALINITY AND NITRATE ON CORAL HEALTH LEVELS IN BRANCHING CORAL (*Acropora sp.*) DISC CORAL (*Turbinaria sp.*) AND MASSIVE CORAL (*Porites sp.*)) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.เพ็ชรพร เซาวกิจเจริญ

ชุมชนตามแนวชายฝั่งที่มีการอยู่อาศัยอย่างหนาแน่นถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางทะเลและชายฝั่ง โดยชุมชนจะปลดปล่อยน้ำเสียชุมชนลงสู่ทะเลโดยไม่มีบำบัด นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลยังเพิ่มความรุนแรงของปัญหาน้ำเสียชุมชนได้ เช่น ในฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นทำให้ความเค็มน้ำทะเลลดลง พร้อมทั้งเกิดการเติมธาตุอาหารสู่ทะเลจากการชะหน้าดินจากน้ำท่า ส่งผลให้คุณภาพน้ำทะเลโดยรอบเสื่อมลงและนำไปสู่การเสื่อมโทรมในชุมชนปะการังโดยรอบแนวชายฝั่ง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อศึกษาผลของความเค็มและไนเตรตต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*) ปะการังจาน (*Turbinaria sp.*) และปะการังโขด (*Porites sp.*) ที่ ความเค็ม 15 20 25 และ 30 พีเอสบู ร่วมกับความเข้มข้นไนเตรต 5 20 60 และ 100 ไมโครกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ชั่วโมง โดยประเมินสุขภาพของปะการังโดยใช้แผนภูมิปะการัง ความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และร้อยละการยึดโพลีป โดยปะการังจะมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 จะสามารถคำนวณหาความเป็นพิษเฉียบพลันของไนเตรต หรือ LC_{50} ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิทได้ ผลการศึกษาพบว่าที่ความเค็ม 15 พีเอสบู และที่ไนเตรต 100 ไมโครกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ส่งผลให้ปะการังมีความเสื่อมโทรมมากที่สุด ในทั้งปะการัง 3 ชนิด โดยที่สภาวะดังกล่าว ปะการังเขากวางมี LC_{50} ของไนเตรต ที่เวลา 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 94.46 ไมโครกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ปะการังเขาโขดมี LC_{50} ที่เวลา 120 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 106.35 ไมโครกรัมไนโตรเจนต่อลิตร และปะการังจานมี LC_{50} ที่เวลา 144 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 116.55 ไมโครกรัมไนโตรเจนต่อลิตร นอกจากนั้นยังยืนยันการเพิ่มขึ้นของร้อยละการเสื่อมโทรมได้จากการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลอง ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชัง ในปี 2559-2561 พบว่าอิทธิพลของฤดูฝนทำให้ความเค็มของน้ำทะเลและปริมาณออกซิเจนละลายลดลง และมีปริมาณไนเตรตเพิ่มสูงขึ้นโดยรอบเกาะสีชัง โดยเฉพาะในบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นเช่น ท่าเวทวงษ์ พบว่ามีคุณภาพน้ำทะเลต่ำที่สุด ซึ่งผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังและใช้ประกอบการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมบนเกาะสีชังได้ภายในอนาคต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170433321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Coral bleaching, Nitrate, Salinity

Kittiya Samlansin : THE EFFECTS OF SALINITY AND NITRATE ON CORAL HEALTH LEVELS
IN BRANCHING CORAL (*Acropora sp.*) DISC CORAL (*Turbinaria sp.*) AND MASSIVE CORAL
(*Porites sp.*). Advisor: Assoc. Prof. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D.

Crowded coastal communities are the largest source of marine and coastal pollution. Untreated domestic wastewater is discharged into the sea directly. Furthermore, seasonal changes increase the effect of domestic wastewater as the decreased salinity and excessive nutrient in seawater by run-off in the rainy season. This wastewater adversely causes a decline in seawater quality and coral health along the coastline. The objective of this study was to study the effect of salinity and nitrate on coral health levels in *Acropora sp.*, *Turbinaria sp.* and *Porites sp.* by incubated under salinity vary in 15, 20, 25, and 30 psu and nitrate vary in 20, 60, and 100 $\mu\text{g-N/L}$ with triplicate experiments. The evaluation of coral health levels, using by coral health chart, Zooxanthellae density, chlorophyll a, and polyp activity. The coral with mortality percentages higher than 50 would be inducted to calculate the acute toxicity test of nitrate or LC_{50} by using Probit analysis. The experimental result indicated that the 3 corals showed the maximum decreased health level at the condition of salinity at 15 psu and nitrate 100 $\mu\text{g-N/L}$. According to this condition, LC_{50} of *Acropora sp.* at 96 hrs was equal to 94.46 $\mu\text{g-N/L}$, LC_{50} of *Turbinaria sp.* at 144 hrs was equal to 106.35 $\mu\text{g-N/L}$, and LC_{50} of *Porites sp.* at 120 hrs was equal to 116.55 $\mu\text{g-N/L}$. Furthermore, an increase in mortality percentages was strongly confirmed by an increased Zooxanthellae density and chlorophyll a found in seawater. The findings of seawater quality around Sichang Island in 2016-2018 showed that the influence of the rainy season decreased salinity and dissolved oxygen and increased nitrate around Sichang Island. Remarkably, the crowded community as Thewawong Pier showed the lowest seawater quality. The findings in this study could provide a guideline of seawater quality around Sichang Island and support environmental management on Sichang Island.

Field of Study: Environmental Engineering Student's Signature

Academic Year: 2019 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดีจากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่คอยให้คำปรึกษาและการช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำวิจัยนี้ ทั้งยังสละเวลาในการตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องของการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์นี้และการเขียนบทความ ตลอดจนให้คำปรึกษาในการนำเสนอผลงานการตีพิมพ์ในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ ผู้เป็นประธานสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ตะวัน ลิ้มปิยากร ผู้เป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวิสา มหาสันทนะ ผู้เป็นกรรมการภายนอกผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และให้แนวคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่วิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิตเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความดูแลตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณเทศบาลเกาะสีชังที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการประกอบการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณครอบครัวและเพื่อนๆที่ๆ ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจ ตลอดการทำวิจัยและการทำเล่มวิทยานิพนธ์นี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ ด้วยความระลึกถึงแก่ ดร. สมภพ รุ่งสุภา จากสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ ผู้เคยเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้ความรู้และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในด้านการทำการทดลอง ณ สถาบันวิจัยฯ ตลอดจนให้กำลังใจแก่การทำวิจัยนี้ ซึ่งผู้วิจัยซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

กฤติญา สาราญศิลป์

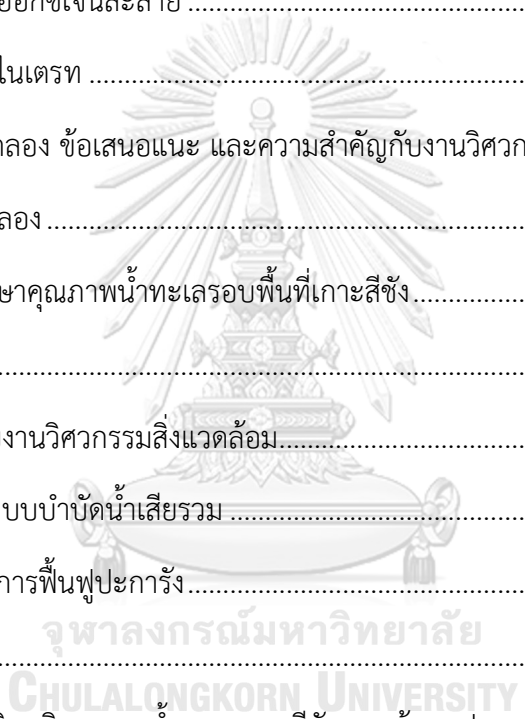
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกาะสีซัง.....	5
2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต.....	5
2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ.....	6
2.1.3 ประชากร.....	7
2.1.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	8
2.1.5 ด้านเศรษฐกิจ.....	10
2.1.6 ระบบน้ำประปาและสุขาภิบาล.....	11
2.1.7 ปะการัง.....	12
2.2 ชีววิทยาของปะการัง.....	13

2.2.1 สาหร่ายซูแซนเทลลี (Zooxanthellae).....	13
2.2.2 ปะการังเขากวาง (<i>Acropora sp.</i>).....	14
2.2.3 ปะการังจาน (<i>Turbinaria sp.</i>).....	15
2.2.4 ปะการังโขด (<i>Porites sp.</i>).....	16
2.3 ปะการังฟอกขาว (Coral bleaching).....	16
2.4 ปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญต่อสุขภาพปะการัง	17
2.4.1 ไนเตรท (Nitrate).....	17
2.4.2 อุณหภูมิ (Temperature).....	19
2.4.3 ความเค็ม (Salinity).....	20
2.4.4 แสง	22
2.4.5 ความเป็นกรดต่าง (pH).....	23
2.5 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll).....	23
2.6 มลพิษที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ทางทะเล	24
2.7 ไนโตรเจนในแหล่งน้ำ.....	27
2.8 การประเมินสุขภาพปะการังด้วยแผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart).....	28
2.9 การวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis).....	30
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
2.11 สรุปแนวคิงานวิจัย.....	37
บทที่ 3 แผนการทดลองและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 แผนการทดลอง	39
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี	41
3.2.1 เครื่องมือ	41
3.2.2 อุปกรณ์	41
3.2.3 สารเคมี.....	42

3.3 การเตรียมตัวอย่างปะการังและน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง.....	43
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างปะการัง.....	43
3.3.2 การเตรียมน้ำทะเล.....	43
3.4 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชัง	43
3.4.1 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ	43
3.4.2 การศึกษาคุณภาพน้ำรอบพื้นที่เกาะสีชัง	44
3.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.5.1 ศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพ ปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด.....	45
3.6 การประเมินระดับสุขภาพปะการัง	46
3.6.1 การประเมินระดับสุขภาพจากแผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart)	46
3.6.2 การประเมินระดับสุขภาพจากการยึดของโพลีปของปะการัง (Polyp activity).....	47
3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	47
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	49
4.1 ผลการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพ ปะการังเขากวาง ปะการังโขด และปะการังจาน.....	49
4.1.1 ปะการังเขากวาง.....	49
4.1.2 ปะการังจาน	51
4.1.3 ปะการังโขด.....	53
4.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีกับสุขภาพของปะการัง และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลอง	58
4.2.1 ปะการังเขากวาง.....	58
4.2.2 ปะการังจาน	61
4.2.3 ปะการังโขด.....	63
4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยึดโพลีปกับสุขภาพของปะการัง	67

4.3.1	ปะการังเขากวาง.....	67
4.3.2	ปะการังจาน	70
4.4	ผลการศึกษาคุนภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีซัง.....	73
4.4.1	อุณหภูมิน้ำทะเล.....	74
4.4.2	ความเค็ม	76
4.4.3	ความเป็นกรดต่าง.....	79
4.4.4	ปริมาณออกซิเจนละลาย	82
4.4.5	ปริมาณไนเตรท	83
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	89
5.1	สรุปผลการทดลอง	89
5.2	สรุปผลการศึกษาคุนภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีซัง.....	91
5.3	ข้อเสนอแนะ	92
5.4	ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	93
5.4.1	ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม	93
5.4.2	ส่งเสริมการฟื้นฟูปะการัง.....	95
บรรณานุกรม.....		96
ภาคผนวก ก	ข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำทะเลเกาะสีซัง และข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์จากเทศบาลเกาะสีซัง.....	104
ภาคผนวก ข	ประเภทคุณภาพน้ำทะเลและค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลไทย ประเภทที่ 2 เพื่อการอนุรักษ์ปะการัง	119
ภาคผนวก ค	วิธีการวิเคราะห์ไนเตรท-คลอโรฟิลล์ เอ และความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี	125
ภาคผนวก ง	การคำนวณร้อยละการยึดโพลีปของปะการัง และการวิเคราะห์โพรบิท.....	132
ภาคผนวก จ	ภาพการทดลองและอุปกรณ์การทดลอง.....	136
ประวัติผู้เขียน.....		140





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ผลของระดับไนเตรทต่อปะการัง (Fabricius, 2005).....	19
ตารางที่ 2-2 ร้อยละของสุขภาพและร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง	29
ตารางที่ 2-3 การแปลงค่าร้อยละการตายเป็นร้อยละการตายแบบโพธิ์บิท (Finney, 1971).....	31
ตารางที่ 3-4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
ตารางที่ 3-5 จุดเก็บตัวอย่างเกาะสี่ซัง	45
ตารางที่ 3-6 ร้อยละของสุขภาพและร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง	47
ตารางที่ 3-7 ร้อยละการยึดโพลีปะการัง (Rungsupa และคณะ, 2018).....	47
ตารางที่ 4-8 ร้อยละสุขภาพปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง	50
ตารางที่ 4-9 ร้อยละสุขภาพปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง 52	
ตารางที่ 4-10 ร้อยละสุขภาพปะการังโขดที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 120 ชั่วโมง54	
ตารางที่ 4-11 ร้อยละสุขภาพและความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง	59
ตารางที่ 4-12 ร้อยละสุขภาพและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง	60
ตารางที่ 4-13 ร้อยละสุขภาพและความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีของปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง	62
ตารางที่ 4-14 ร้อยละสุขภาพและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ของปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง	63
ตารางที่ 4-15 ร้อยละสุขภาพและความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีของปะการังโขดที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 120 ชั่วโมง	64
ตารางที่ 4-16 ร้อยละสุขภาพและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ของปะการังโขดที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 120 ชั่วโมง	65

ตารางที่ 4-17 ร้อยละการยึดโพลีปของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง.....	68
ตารางที่ 4-18 ร้อยละการยึดโพลีปของปะการังจานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง.....	70
ตารางที่ 4-19 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างเกาะสีชัง.....	74
ตารางที่ 4-20 อุณหภูมิน้ำทะเล (องศาเซลเซียส) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2561	75
ตารางที่ 4-21 ความเค็มน้ำทะเล (psu) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2561.....	76
ตารางที่ 4-22 ปริมาณน้ำฝนและความเค็มเฉลี่ยในเดือนเมษายนและกรกฎาคม ปี 2559-2561	78
ตารางที่ 4-23 ความเป็นกรดต่าง (pH) น้ำทะเลรอบเกาะสีชังในปี 2559-2561	81
ตารางที่ 4-24 ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/l) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2561	83
ตารางที่ 4-25 ปริมาณไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2562	84
ตารางที่ ก-26 คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2559	105
ตารางที่ ก-27 คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2560	107
ตารางที่ ก-28 คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2561	109
ตารางที่ ก-29 จำนวนประชากรและจำนวนหลังคาเรือนบนเกาะสีชังในปี 2559-2562.....	111
ตารางที่ ก-30 จำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีชังในปี 2549-2562	112
ตารางที่ ก-31 จำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีชังต่อเดือนในปี 2562	113
ตารางที่ ก-32 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2559	114
ตารางที่ ก-33 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2560	115
ตารางที่ ก-34 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2561	116
ตารางที่ ก-35 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2562	117
ตารางที่ ข-36 การกำหนดประเภทคุณภาพน้ำทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)	120
ตารางที่ ข-37 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2550).....	122

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2-1 เกาะสีซัง	5
ภาพที่ 2-2 สภาพชั้นดินบนเกาะสีซัง	6
ภาพที่ 2-3 จำนวนประชากรบนเกาะสีซังในปี 2555-2562	7
ภาพที่ 2-4 จำนวนหลังคาเรือนบนเกาะสีซังปี 2555-2562	8
ภาพที่ 2-5 จำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีซังในปี 2549-2562.....	8
ภาพที่ 2-6 กลุ่มประมงบนเกาะสีซัง	11
ภาพที่ 2-7 ถังรวบรวมน้ำฝนตามบ้านเรือน	11
ภาพที่ 2-8 อ่างเก็บน้ำเทศบาลตำบลบนเกาะสีซังหมู่ที่ 6	12
ภาพที่ 2-9 แผนที่แนวปะการังรอบเกาะสีซังในปี 2555.....	12
ภาพที่ 2-10 เซลล์สาหร่ายซูแซนเทลลี	13
ภาพที่ 2-11 ปะการังที่สูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลี.....	14
ภาพที่ 2-12 ปะการังเขากวาง (<i>Acropora sp.</i>).....	15
ภาพที่ 2-13 ปะการังจาน (<i>Turbinaria sp.</i>).....	15
ภาพที่ 2-14 ปะการังโขด (<i>Porites sp.</i>).....	16
ภาพที่ 2-15 ขั้นตอนการเกิดปะการังฟอกขาว.....	17
ภาพที่ 2-16 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a).....	24
ภาพที่ 2-17 แหล่งกำเนิดมลพิษจากชายฝั่ง.....	25
ภาพที่ 2-18 แหล่งกำเนิดมลพิษในทะเล.....	26
ภาพที่ 2-19 แผนภูมิสุขภาพปะการัง.....	29
ภาพที่ 2-20 ปริมาณสารและการตอบสนองของสัตว์ทดลอง (Dose-response).....	30
ภาพที่ 2-21 ผลของการแปลงค่าร้อยละการตายเป็นร้อยละการตายแบบโพรบิท	32

ภาพที่ 3-22 แผนดำเนินงานวิจัย.....	40
ภาพที่ 3-23 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเกาะสีชัง	44
ภาพที่ 3-24 ตัวอย่างชุดทดลอง	45
ภาพที่ 4-25 ผลการวิเคราะห์โพธิทในการคำนวณค่า LC_{50} ในปะการังเขากวาง.....	51
ภาพที่ 4-26 ผลการวิเคราะห์โพธิทในการคำนวณค่า LC_{50} ในปะการังจาน.....	53
ภาพที่ 4-27 ผลการวิเคราะห์โพธิทในการคำนวณค่า LC_{50} ในปะการังโขด	55
ภาพที่ 4-28 การขับเมือกของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 psu ความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/L}$	61
ภาพที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสุขภาพและร้อยละการยึดโพลีปของปะการังเขากวาง ที่ เวลา 96 ชั่วโมง	69
ภาพที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสุขภาพและร้อยละการยึดโพลีปของปะการังจาน ที่เวลา 144 ชั่วโมง.....	71
ภาพที่ 4-31 จุดเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำเกาะสีชัง	73
ภาพที่ 4-32 อุณหภูมิน้ำทะเล (องศาเซลเซียส) รอบเกาะสีชังปี 2559-2561	75
ภาพที่ 4-33 ความเค็มน้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2559-2561	77
ภาพที่ 4-34 ปริมาณน้ำฝนและความเค็มเฉลี่ยบนเกาะสีชังปี 2559-2561	78
ภาพที่ 4-35 จำนวนนักท่องเที่ยวในแต่ละเดือนบนเกาะสีชังในปี 2562.....	79
ภาพที่ 4-36 ความเป็นกรดต่าง (pH) น้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2559-2561.....	81
ภาพที่ 4-37 ปริมาณออกซิเจนละลายรอบเกาะสีชังปี 2559-2561	83
ภาพที่ 4-38 ปริมาณไนเตรทรอบเกาะสีชังปี 2559-2562	85
ภาพที่ 4-39 ปริมาณออกซิเจนละลายและปริมาณไนเตรทที่ทำเทววงษ์ปี 2559-2561	87
ภาพที่ ก-40 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2559	106
ภาพที่ ก-41 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2560.....	108
ภาพที่ ก-42 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2561	110
ภาพที่ ก-43 ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปี 2559-2562.....	118

ภาพที่ ง-44 การเปลี่ยนสีจากภาพ RGB color ให้เป็นภาพ Grayscale.....	133
ภาพที่ ง-45 โพลีปที่ขี้ดออกมาจะแสดงจุดสีขาว (จุดสีแดง).....	133
ภาพที่ จ-46 การติดตั้งชุดการทดลอง.....	137
ภาพที่ จ-47 การเตรียมปะการัง.....	137
ภาพที่ จ-48 การกรองน้ำตัวอย่าง.....	138
ภาพที่ จ-49 กล้องดิจิตอล Olympus stylus TG-4.....	138
ภาพที่ จ-50 ชุดการวิเคราะห์ไนเตรท ความหนาแน่นสำหรับซูแซนเทลลีและคลอโรฟิลล์ เอ.....	138
ภาพที่ จ-51 ซึ้นปะการังในบ่อปรับสภาพ.....	139



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปะการัง (Corals) เป็นสัตว์ที่จัดอยู่ในไฟลัม *Cnidaria* เป็นสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง มีโครงสร้างเป็นหินปูน (Calcification) ทำหน้าที่รองรับเนื้อเยื่อตัวปะการัง อันเรียกว่า โพลิป (Polyp) โพลิปมีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเล็ก ที่ส่วนปลายกระบอกจะมีหนวดซึ่งมีเข็มพิษ ทำหน้าที่จับอาหารที่เป็นแพลงก์ตอนในน้ำและใช้ในการป้องกันตัว อาหารและพลังงานที่ปะการังใช้ในการดำรงชีพส่วนหนึ่งได้รับมาจากสาหร่ายเซลล์เดียว (Single cell algae) ที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการัง สาหร่ายชนิดนี้เรียกว่า ซูแซนเทลลี (Zooxanthellae) โดยปะการังและสาหร่ายนี้จะอยู่ร่วมกันแบบมีประโยชน์ร่วมกัน โดยปะการังให้ที่อยู่อาศัยและอาหารแก่สาหร่าย เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจของปะการัง สาหร่ายจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างพลังงานและเพิ่มจำนวนเซลล์ต่อไป ในขณะที่เดียวปะการังก็จะได้รับก๊าซออกซิเจนและสารอาหารที่เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเช่นกัน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556ค) ปะการังและแนวปะการังสร้างประโยชน์ต่อมนุษย์ในทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น เป็นแหล่งอาหารและแหล่งอนุบาลของสัตว์น้ำ ใช้เป็นแนวลดแรงปะทะจากกระแสน้ำและกระแสน้ำ ป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง รวมถึงแหล่งสร้างมูลค่าที่สำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น เป็นแหล่งดึงดูดนักท่องเที่ยว ทำการประมง และการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่ง สร้างรายได้ให้แก่ภาครัฐและภาคเอกชน (United Nations Environment และคณะ, 2018) ในทางกลับกันพบว่ากิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดจากอิทธิพลการขยายตัวทางเศรษฐกิจตามแนวชายฝั่งเป็นภัยคุกคามต่อแนวปะการัง นำมาสู่การปล่อยน้ำเสียลงทะเล ปัญหาขยะในทะเล การประมงแบบเกินขนาด (Overfishing) (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2557) สถานการณ์ปะการังในประเทศไทยบริเวณชายฝั่งและเกาะแก่งต่างๆ ทั้งในอ่าวไทยและทะเลอันดามัน มีแนวโน้มเสียหายและเสียหายมากเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พบว่าในปี พ.ศ. 2558 ปะการังมีสัดส่วนมีชีวิตต่อตาย ในระดับเสียหาย ร้อยละ 28.3 และในระดับเสียหายมาก ร้อยละ 50 จากเดิมในปี พ.ศ. 2551 ระดับเสียหาย ร้อยละ 19.1 และระดับเสียหายมาก ร้อยละ 18 ตามลำดับ (สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558) นอกจากนี้ปรากฏการณ์ธรรมชาติก็ทำให้สุขภาพของปะการังเสื่อมโทรมได้เช่นกัน เช่น การลดลงความเค็มของน้ำทะเล (Salinity reduction) จากปริมาณน้ำฝนตก (Rainfall) น้ำท่า (Runoff) น้ำท่วม (Flooding) และพายุฝน (Storm) เป็นต้น ที่ความเค็มน้ำทะเลลดลงจากระดับปกติ ปะการังเกิดความเครียดจากกระบวนการรักษาคุณภาพในร่างกาย (Physiological process) ทำให้ปะการังเกิดการสูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลีรวมถึงยับยั้งการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ ท้ายที่สุดทำให้ปะการังเกิด

การฟอกขาวและตายลงในที่สุด (Connell และ Hawker, 1992) หรือเรียกว่า ปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว และปัจจัยอื่นๆเช่น ธาตุอาหาร (Nutrient enrichment) เช่น ไนเตรต หรือแอมโมเนีย ที่เกิดจากการชะธาตุอาหารจากชายฝั่งไหลลงสู่ทะเล หรือการปลดปล่อยน้ำเสียจากแหล่งชุมชนโดยไม่มี การบำบัด ธาตุอาหารเหล่านี้ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในน้ำและสัตว์น้ำเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียหรือไนเตรตส่งผลต่อการสูญเสียสาหร่ายซูแซลเทลลีบนปะการัง *Alveopora verrilliana* และ *Palythoa sp.* อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเกิดสภาวะการเสียสมดุลระหว่างปะการังและสาหร่ายซูแซลเทลลี (Zhu และคณะ, 2004) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรตต่อระดับสุขภาพของปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด แบบเฉียบพลัน โดยการประเมินสุขภาพของปะการังโดยใช้วิธีเทียบสี โดยใช้แผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart) รวมถึงศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซลเทลลี การยึดของโพลีพของปะการัง (Polyp activity) จากการคำนวณร้อยละการยึดโพลีพ ปะการัง (Rungsupa และคณะ, 2018) ความเป็นพิษเฉียบพลันของไนเตรตที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรม (LC₅₀) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเฝ้าระวังระดับไนเตรตในน้ำทะเลที่ส่งผลต่อสุขภาพของปะการังที่สามารถทำให้เกิดการฟอกขาวในปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขดในพื้นที่บริเวณเกาะสีชัง รวมไปถึงใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมบนเกาะสีชังได้อย่างถูกต้องและนำไปสู่การแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมบนเกาะสีชังได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรตต่อระดับสุขภาพของปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด เพื่อหาความเป็นพิษเฉียบพลันของไนเตรตที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรม (LC₅₀) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) และแผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral health chart)

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาปะการัง ของสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

1.3.1 ปะการังที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นปะการังชนิดที่พบได้มากในบริเวณเกาะสีชัง โดยทำการคัดเลือกปะการังเป็นจำนวน 3 ชนิด ซึ่งจำแนกประเภทตามลักษณะโครงสร้างปะการัง ได้แก่ ปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*) เป็นตัวแทนของปะการังแบบกิ่งก้าน (Branching coral) ที่มีโพลีปลั๊ก (Small polyp stony, SPS) ปะการังจาน (*Turbinaria sp.*) เป็นตัวแทนของปะการัง

แบบแผ่น (Plate coral) ที่มีโพลีปลั๊น และปะการังโขด (*Porites sp.*) เป็นตัวแทนปะการังแบบก้อน (Massive coral) ที่มีโพลีปลาว (Large polyp stony, LPS) โดยนำตัวอย่างปะการังที่ใช้ในการศึกษา มาจากโรงอนุบาลปะการัง ของสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

1.3.2 ทำการศึกษาค่าผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันที่ความเข้มข้นของไนเตรท 4 ระดับ คือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/L}$ ที่ความเข้มข้นความเค็ม 4 ระดับ คือ 15 20 25 และ 30 psu โดยความเข้มข้นของไนเตรทกำหนดจากปริมาณค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 โดยกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ซึ่งกำหนดค่าความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ให้มีค่าไม่เกิน 60 $\mu\text{g-N/L}$ และความเค็มกำหนดจากความเค็มปกติของน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชัง คือ 30 psu และค่าความเค็มต่ำสุดกำหนดจากรายงานความเค็มที่ทำให้เกิดการฟอกขาวของปะการังบริเวณเกาะสีชัง คือ 20 psu (Nakano, Tsuchiya, Rungsupa และ Kiyoshi Yamazato, 2009)

1.3.3 วิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในน้ำด้วยวิธี Cadmium Reduction Method ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบ Colorimetric Method และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ปะการังด้วยวิธี Acetone Extraction (Strickland และคณะ, 1972)

1.3.4 คำนวณหาความเป็นพิษเฉียบพลันของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC_{50}) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) (Finney, 1971) และการประเมินสุขภาพปะการังด้วยวิธีเทียบสีโดยใช้แผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart) (Siebeck และคณะ, 2006)

1.3.5 ประเมินสุขภาพของปะการังจากการคำนวณความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่พบในตู้ทดลอง โดยการนับจำนวนเซลล์ของสาหร่ายในน้ำด้วยสไลด์นับเซลล์แบบ Sedgewick-Rafter และเปรียบเทียบร้อยละสุขภาพของปะการังโดยใช้การยืดของโพลีปของปะการัง (Polyp activity) โดยการคำนวณจากร้อยละการยืดยืดโพลีปปะการัง (Rungsupa และคณะ, 2018)

1.3.6 สืบหาข้อมูลทุติยภูมิของคุณภาพน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชัง ในปี 2559-2561 และศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังใน 3 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 หาดถ้ำพัง เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษจากแหล่งท่องเที่ยว และจุดที่ 2 ท่าเวียงษ์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษจากชุมชน และจุดที่ 3 สะพานอัมฤกษ์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ไม่มีมลพิษปนเปื้อนโดยตรง โดยมีพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) โดยใช้เครื่องมือวัดแบบพกพา และเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทด้วยวิธี Cadmium Reduction Method ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์แบบ Colorimetric Method (Strickland และคณะ, 1972)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเฝ้าระวังระดับความเค็มและปริมาณไนเตรทในน้ำทะเลที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของปะการังที่สามารถทำให้เกิดการฟอกขาวในปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด ในพื้นที่บริเวณเกาะสี่ซึ่งรวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับเกาะอื่นๆในประเทศไทย

1.4.2 เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมบนเกาะสี่ซึ่งได้อย่างถูกต้องและนำไปสู่การแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมบนเกาะสี่ซึ่งได้อย่างยั่งยืนในอนาคต



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกาะสีชัง

2.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขต

เกาะสีชัง (ภาพที่ 2-1) มีพิกัดอยู่ที่ละติจูด 13.150801 และลองจิจูด 100.810029 ตั้งอยู่บริเวณตอนในของอ่าวไทย อยู่ในเทศบาลตำบลเกาะสีชัง ตำบลท่าเวววงษ์ อำเภอเกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยเกาะสีชังมีพื้นที่ภายในเกาะ 7.9 ตารางกิโลเมตร (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2561) เกาะสีชังมีเกาะบริวาร รวม 8 เกาะ ได้แก่ เกาะขามใหญ่ เกาะขามน้อย เกาะปรัง เกาะร้านดอกไม้ เกาะยายท้าว เกาะค่างควา เกาะท้ายตาหมื่น และเกาะสัมปะยื้อ บนเกาะสีชังมี 7 ชุมชน ได้แก่ ชุมชนบ้านท่าเวววงษ์ ชุมชนบ้านศาลเจ้าเก้ง ชุมชนบ้านท่าวัง ชุมชนบ้านตรอกด่านภาษี ชุมชนบ้านสะพานคู่ ชุมชนบ้านท่าภาณุรังษี และชุมชนบ้านเกาะขาม



ภาพที่ 2-1 เกาะสีชัง

เขตพื้นที่เกาะสีชัง

ทิศเหนือ	ใกล้กับอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ
ทิศใต้	ใกล้กับอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี
ทิศตะวันตก	ใกล้กับอำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี
ทิศตะวันออก	ใกล้กับอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศและภูมิอากาศ

เกาะสีชังมีสภาพภูมิประเทศเป็นเกาะกลางทะเล พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นภูเขา มีเขตหินประมาณร้อยละ 80 มีพื้นที่ราบประมาณ 500 ไร่ ไม่มีแม่น้ำ ลำธารและหนองบึง เกาะสีชังมีลักษณะธรณีวิทยาเป็นหินปูนเกือบทั้งหมด (ภาพที่ 2-2) ยกเว้นทางด้านทิศตะวันออกเริ่มตั้งแต่แหลมท่าวังเป็นแนวยาวไปทางใต้จนถึงแหลมหินขาวและบริเวณทางทิศตะวันตกของปลายแหลมตอนใต้ของเกาะเป็นหินแกรนิต (สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2555) บริเวณจุดสูงสุด คือ บริเวณยอดเขาพระจุลจอมเกล้า ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของเกาะสีชังมีความสูงประมาณ 192 เมตรจากระดับน้ำทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)



ภาพที่ 2-2 สภาพชั้นดินบนเกาะสีชัง

ดินบนเกาะสีชังมีลักษณะที่เรียกว่า Red sandy loam texture มีความอุดมสมบูรณ์พอสมควร แต่มีความตื้นมาก เพราะมีต้นกำเนิดจากหินปูน ดินถูกปกคลุมด้วยหญ้าและต้นไม้ ธาตุอาหารในดินค่อนข้างน้อย เนื่องจากถูกน้ำฝนชะล้างและไหลลงสู่ทะเล และจากลักษณะพื้นที่ลาดชันเกินร้อยละ 20 ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 44 เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาอย่างเห็นได้ชัด ในพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่าร้อยละ 10 เป็นบริเวณชุมชนในปัจจุบันซึ่งมีความหนาแน่นของประชากรมาก

ความลาดชัน

ต่ำกว่าร้อยละ 10	ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 30
ร้อยละ 10 - 20	ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 26
เกินกว่าร้อยละ 20	ครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 44

เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรีอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมประจำฤดูกาล 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูหนาวระหว่างเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

และมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดปกคลุมในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560ก) มีปริมาณฝนรวมตลอดปี 1,272.2 มิลลิเมตร (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2560ข) อุณหภูมิเฉลี่ยประจำปีมีอุณหภูมิสูงสุด 38 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด 25 องศาเซลเซียส (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2561)

ฤดูกาล

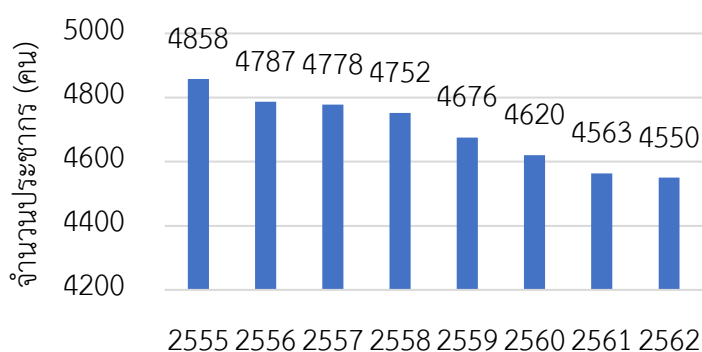
ฤดูหนาว	ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์
ฤดูร้อน	ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม
ฤดูฝน	ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม

2.1.3 ประชากร

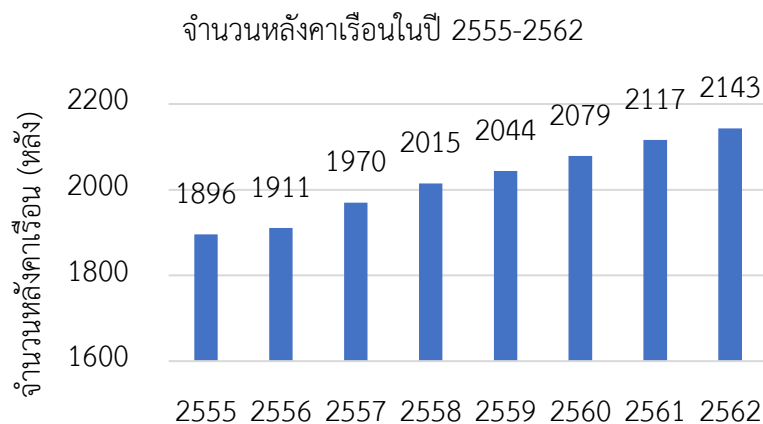
สถิติประชากรตามทะเบียนบ้านในเทศบาลตำบลเกาะสีชัง มีจำนวนประชากร 4,550 คน และมีครัวเรือน 2,143 ครัวเรือน (เดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2563) ดังแสดงในภาพที่ 2-3 และภาพที่ 2-4 นอกจากนี้ เกาะสีชังยังมีประชากรแฝงอีกประมาณ 3,000 คน ซึ่งได้แก่กลุ่มคนรับจ้างที่มากับเรือขนส่งสินค้า กลุ่มคนที่มาทำงานโดยไป-กลับทุกวัน ข้าราชการของหน่วยงานต่างๆ เป็นต้น

สถิตินักท่องเที่ยวที่เดินทางเข้าเกาะสีชังในปี 2549-2562 ผ่านท่าเทียบเรือท่าเวรวงษ์ท่าภาณุรังสี (ท่าบน) และท่าเรือท่องเที่ยวเกาะสีชัง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี 2562 มีจำนวนนักท่องเที่ยวเดินทางเข้าเกาะสีชังเป็นจำนวน 532,937 คน ดังแสดงในภาพที่ 2-5 โดยข้อมูลสถิติประชากร จำนวนหลังคาเรือนและจำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีชังดังกล่าว ได้รับความอนุเคราะห์จากเทศบาลเกาะสีชัง

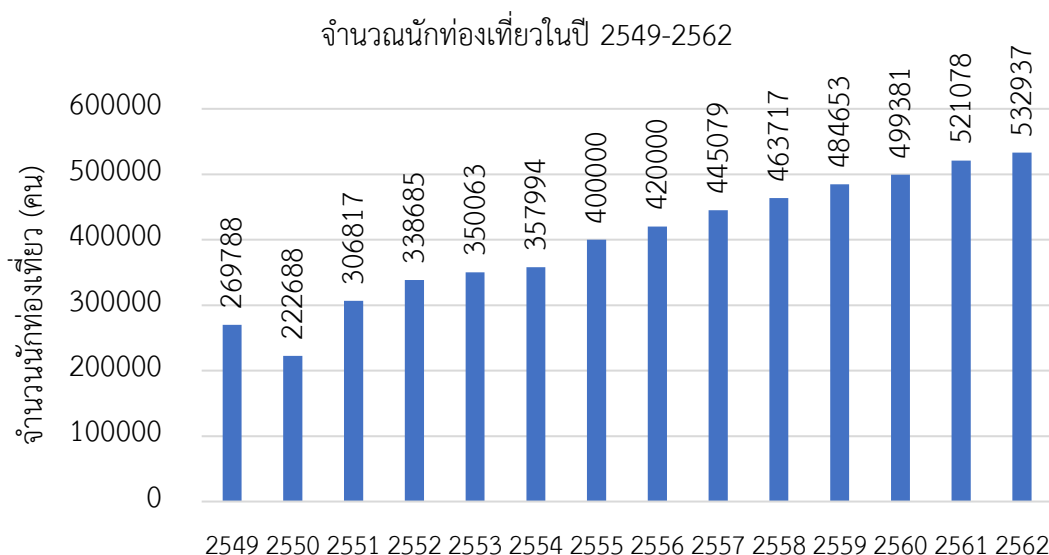
จำนวนประชากรในปี 2555-2562



ภาพที่ 2-3 จำนวนประชากรบนเกาะสีชังในปี 2555-2562



ภาพที่ 2-4 จำนวนหลังคาเรือนบนเกาะสีชังปี 2555-2562



ภาพที่ 2-5 จำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีชังในปี 2549-2562

2.1.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากรายงานของ โสภิต สร้อยสอดศรี (2552) กล่าวว่า การใช้ประโยชน์ที่ดินบนเกาะสีชังสามารถแบ่งได้ 5 ประเภทดังนี้

1. การใช้ที่ดินเพื่อการสร้างที่อยู่อาศัย

พื้นที่ชุมชนพบในทางฝั่งตะวันออกของเกาะสีชัง โดยเฉพาะบริเวณชุมชนซึ่งมีอาคารประเภทบ้านเรือนกระจุกตัวกันอย่างหนาแน่น เช่น ชุมชนตลาดท่าบนและตลาดท่าล่าง (ท่าเทววงษ์) ลักษณะทางกายภาพของชุมชนเป็นการเกิดขึ้นตามพฤติกรรมการอยู่อาศัย ไม่ได้มีการวางผังชุมชน นอกจากนี้ยังพบมีการอาศัยที่กระจุกตัวหนาแน่นตามแนวถนนต่างๆ เช่น ถนนวัฒนา ถนนมาลินี เป็นต้น

2. การใช้ที่ดินประเภทพาณิชย์กรรม

พบการใช้ที่ดินเชิงพาณิชย์กรรมในบริเวณที่มีชุมชนอยู่หนาแน่นได้แก่ บริเวณตลาดท่าบน และตลาดท่าล่าง รวมทั้งบริเวณถนนอัษฎางค์จนถึงก่อนเข้าเขตพระราชฐาน โดยกลุ่มกิจกรรมด้านพาณิชย์กรรม แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มกิจกรรมพาณิชย์กรรมเพื่อการใช้สอยในกิจวัตรประจำวัน การค้าขายสินค้าอุปโภค บริโภค การบริการขนาดเล็ก เช่น ร้านค้าของชำ ร้านอาหาร ร้านตัดผม ซึ่งเป็นกิจการของคนในพื้นที่ และกลุ่มกิจกรรมพาณิชย์กรรมเพื่อการท่องเที่ยว ได้แก่ โรงแรม รีสอร์ท บังกะโล รวมทั้งกิจกรรมการค้า การนำเที่ยว กิจการประเภทนี้บางส่วนเป็นของกลุ่มนายทุนจากภายนอกเกาะเข้ามาเช่าพื้นที่เพื่อประกอบอาชีพ

3. การใช้ที่ดินประเภทสถาบัน องค์กร และหน่วยงานราชการ

หน่วยงานราชการบนเกาะ พบกระจายตัวตามแนวถนนอัษฎางค์ทางตอนเหนือของเกาะ เช่น เทศบาลตำบลเกาะสีชัง สำนักงานประถมศึกษา ที่ว่าการอำเภอเกาะสีชังโรงพยาบาลเกาะสีชัง โรงเรียนอนุบาล ประถม และมัธยม เป็นต้น

ระบบสาธารณูปโภคบนเกาะ มีการกระจายตัวตามตำแหน่งที่เหมาะสมทั่วไปของเกาะ ได้แก่ โรงผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 1 โรง อ่างเก็บน้ำชลประทาน 1 แห่ง ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของเกาะ โรงผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล (ไม่เปิดใช้งาน) ที่ตั้งถังเก็บน้ำฝนตามหมู่บ้านต่างๆ พื้นที่รวบรวมและกองเก็บขยะ พื้นที่แยกขยะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่

สถานที่ท่องเที่ยวบนเกาะ เช่น เขตพระจุฑาธุชราชฐาน พิพิธภัณฑสถานและสถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทั้งหมดที่กล่าวนี้เป็นสถานที่ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงานราชการทั้งสิ้น

สถานที่เพื่อกิจกรรมทางศาสนา มักตั้งอยู่บนภูเขาที่สังเกตเห็นได้จากกระยะไกล เช่น วัดสำนักสงฆ์ศาลเจ้า และสถานที่ศักดิ์สิทธิ์อื่นๆ ซึ่งวัดที่พบในเทศบาลเกาะสีชังนั้น ได้แก่ วัดจุฑาทิศธรรมสภารามวรวิหาร วัดถ้ำยายปริก สำนักสงฆ์ถ้ำจักรพงษ์ และศาลเจ้าพ่อเขาใหญ่ เป็นต้น

4. การใช้ที่ดินประเภทอุตสาหกรรม

พบได้บริเวณทางใต้ของเกาะ บริเวณแหลมมุง เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กจำนวนมากแทรกตัวปะปนอยู่ระหว่างอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ได้แก่ การย่อยหิน คลังสินค้า คลังน้ำมัน อุโมงค์เรือและอุต่อเรือขนาดเล็ก การใช้ที่ดินประเภทนี้มักก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ ทางน้ำ และทางเสียง เป็นต้น

5. การใช้ที่ดินประเภทนันทนาการ

สถานศึกษา และหน่วยราชการบนเกาะ เช่น สนามฟุตบอลของโรงเรียน สวนหย่อมภายในหน่วยราชการ ลานเปิดของหน่วยงานราชการต่างๆ และอาคารอเนกประสงค์ด้านหน้าศาลเจ้าพ่อเขาใหญ่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ใกล้ชุมชน

จากข้อมูลสถิติจากความอนุเคราะห์โดยเทศบาลเกาะสีชัง ได้แก่ จำนวนประชากร จำนวนหลังคาเรือน และจำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีชังในปี 2555-2562 (แสดงในภาพที่ 2-3 ภาพที่ 2-4 และภาพที่ 2-5) พบว่าบนเกาะสีชังมีจำนวนประชากรลดลงในขณะที่มีจำนวนหลังคาเรือนและจำนวนนักท่องเที่ยวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น กล่าวได้ว่าจำนวนหลังคาเรือนที่เพิ่มขึ้นบนเกาะสีชังตอบสนองต่อความต้องการของนักท่องเที่ยวที่เพิ่มมากขึ้นทุกปีๆ เช่น การสร้างบ้านพักอาศัยเพื่อให้เช่ารายวันและรายเดือน รวมถึงการสร้างอาคารพาณิชย์ประเภทต่างๆ เพื่อใช้เป็นห้างร้านในการขายสินค้าและการให้บริการแก่นักท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินส่วนใหญ่ของเกาะสีชังจากการศึกษาของโสภิต สร้อยสอดศรี (2552) พบว่าแนวโน้มการพัฒนาการใช้ประโยชน์ที่ดินบนเกาะสีชังจะพัฒนาไปในเชิงการสร้างที่อยู่อาศัยและในเชิงพาณิชย์กรรม ประชาชนส่วนใหญ่บนเกาะสีชังจึงประกอบอาชีพเกี่ยวกับการบริการการท่องเที่ยวเป็นหลัก ซึ่งทำให้เกิดความหนาแน่นของที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ในบริเวณทิศตะวันออกของเกาะสีชังตามแนวท่าเรือของเกาะ สรุปได้ว่าพื้นที่ชุมชนบริเวณตลาดท่าบนและตลาดท่าล่าง (ท่าเทววงษ์) ที่อยู่ทางทิศตะวันออกของเกาะสีชังมีความหนาแน่นของชุมชนมากกว่าพื้นที่อื่น

2.1.5 ด้านเศรษฐกิจ

เดิมทีประชาชนชาวเกาะสีชังประกอบอาชีพประมงพื้นบ้านเป็นหลัก ประมาณร้อยละ 70 เนื่องจากมีทรัพยากรสัตว์น้ำที่อุดมสมบูรณ์ ต่อมาเมื่อประชากรเพิ่มมากขึ้นจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวทำให้รูปแบบการประกอบอาชีพเปลี่ยนไป ในปัจจุบันนี้ประชาชนส่วนใหญ่บนเกาะสีชังประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเป็นหลัก เช่น การบริการการท่องเที่ยว ประมาณร้อยละ 35 และการค้าขายประมาณร้อยละ 25 ส่วนอาชีพประมงพื้นบ้านนั้นลดลงเหลือเพียงร้อยละ 20 เท่านั้น ดังภาพที่ 2-6 (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)



ภาพที่ 2-6 กลุ่มประมงบนเกาะสีชัง

2.1.6 ระบบน้ำประปาและสุขาภิบาล

เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของเกาะสีชังเป็นโขดหิน มีความลาดชัน และมีหน้าดินบางมาก ในฤดูฝนน้ำฝนจึงไม่สามารถซึมผ่านลงไปได้ดินได้ ทำให้น้ำฝนไหลล้นไปตามพื้นผิวลงสู่ทะเลอย่างรวดเร็ว พื้นที่ส่วนใหญ่บนเกาะสีชังจึงแห้งแล้งกันดาร ไม่มีแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ และไม่มีแหล่งน้ำใต้ดินอยู่เลย ประชาชนบนเกาะสีชังต้องอาศัยน้ำฝนเพื่อการอุปโภคบริโภคได้เพียงอย่างเดียว ดังภาพที่ 2-7 แต่ทางเทศบาลตำบลเกาะสีชังมีความพยายามสร้างอ่างเก็บน้ำขึ้น 1 แห่ง เพื่อเป็นแหล่งจ่ายน้ำหลักของเกาะ ดังภาพที่ 2-8 ซึ่งอ่างเก็บน้ำนี้สามารถรองรับน้ำฝนได้ประมาณ 90,000 ลูกบาศก์เมตร แต่เนื่องจากอ่างเก็บน้ำมีการรั่วซึมทำให้ไม่สามารถกักเก็บน้ำได้เต็มขนาดความจุ ดังกล่าว ปัจจุบันจึงใช้สำหรับการพักผ่อนหย่อนใจและออกกำลังกายของประชาชนแทน (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2-7 ถังรวบรวมน้ำฝนตามบ้านเรือน



ภาพที่ 2-8 อ่างเก็บน้ำเทศบาลตำบลนเกาะสีชังหมู่ที่ 6

2.1.7 ปะการัง

โดยทั่วไปแล้วแนวปะการังมักพบในบริเวณที่เป็นน้ำทะเลแท้ คือ น้ำทะเลมีความเค็มไม่ต่ำกว่า 25 psu ตลอดทั้งปี นอกจากนี้แนวปะการังจะต้องได้รับแสงเพียงพอ เนื่องจากสาหร่ายเซลล์เดียวที่อาศัยร่วมกับเซลล์ปะการังนั้นใช้แสงในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง บริเวณรอบเกาะสีชังพบแนวปะการังที่ค่อนข้างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณรอบเกาะค้ำควา ที่อยู่ทางทิศใต้ของเกาะ (ภาพที่ 2-9) นอกจากนี้ปะการังที่อยู่อาศัยรวมกันเป็นกลุ่มก้อนแล้ว ยังมีปะการังชนิดพิเศษที่พบเฉพาะในบริเวณนี้เท่านั้น คือ ปะการังเดี่ยวขนาดเล็กที่มีรูปร่างคล้ายเห็ดหรือเหรียญ แนวปะการังนี้จึงได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์ทางทะเลมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2557)



ภาพที่ 2-9 แผนที่แนวปะการังรอบเกาะสีชังในปี 2555

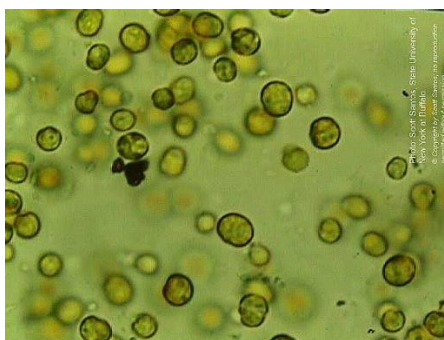
(กรมควบคุมมลพิษ, 2557)

2.2 ชีวิตวิทยาของปะการัง

2.2.1 สาหร่ายซูแซนเทลลี (Zooxanthellae)

ซูแซนเทลลี (Zooxanthellae) (ภาพที่ 2-10) เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวอยู่ในสกุล *Symbiodinium* มีรูปร่างกลม มีขนาด 6-15 ไมโครเมตร ภายในมีคลอโรพลาสต์ทำหน้าที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง (Harrison, 2011) สาหร่ายซูแซนเทลลีอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการัง ซึ่งในปะการังส่วนใหญ่ร้อยละ 70-75 พบว่าตัวอ่อนปะการังนั้นจะยังไม่มีสาหร่ายซูแซนเทลลีเข้ามาอยู่อาศัยภายในเนื้อเยื่อ แต่เมื่อโตขึ้นสาหร่ายจะเข้ามาอยู่อาศัยเอง แต่ในปะการังบางชนิดเช่น *Montipora*, *Pocillopora* และปะการังโขด (*Porites*) พบว่าตัวอ่อนหรือเซลล์ไข่ของปะการังจะได้รับการถ่ายทอดเซลล์สาหร่ายมาด้วยเลย (Hidaka, 2016) โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายซูแซนเทลลีและปะการังจะอยู่ร่วมกันแบบพึ่งพาอาศัยกัน (mutualism) นั่นคือปะการังและสาหร่ายจะอยู่ร่วมกันโดยต่างก็ได้รับประโยชน์ซึ่งกันและกัน หากแยกกันอยู่จะไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556ค) สาหร่ายซูแซนเทลลีไม่เพียงเป็นตัวกำหนดสีสันแก่ปะการัง แสดงในภาพที่ 2-11 ยังมีบทบาทสำคัญต่อปะการังคือสร้างพลังงานและผลิตออกซิเจนให้แก่ปะการัง โดยสาหร่ายซูแซนเทลลีจะสร้างพลังงานผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (คิดเป็นร้อยละ 90 ของพลังงานที่ปะการังใช้ในการดำรงชีวิต) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงนี้ประกอบด้วย กลูโคส กลีเซอรอล และกรดอะมิโน ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ปะการังใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และแคลเซียมคาร์บอเนตอันใช้ในการกระบวนการสร้างหินปูนให้แก่ปะการัง ในขณะเดียวกันนั้นความสัมพันธ์ของปะการังต่อสาหร่ายซูแซนเทลลีก็คือปะการังให้ที่อยู่อาศัยที่ปลอดภัยแก่สาหร่าย และจัดหาวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงแก่สาหร่ายอีกด้วย (NOAA, 2017b)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 2-10 เซลล์สาหร่ายซูแซนเทลลี

(Santos, 2017)



ภาพที่ 2-11 ปะการังที่สูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลี
(NOAA, 2017b)

2.2.2 ปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*)

ปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*) หรือ Staghorn coral (ภาพที่ 2-12) เป็นสัตว์ที่จัดอยู่ในไฟลัม *Cnidaria* วงศ์ *Acroporidae* จินัส *Acropora* มีโคโลนีประเภทกิ่งก้าน (Branching coral) (CoralWatch, 2002) จัดเป็นปะการังประเภทโพลีปสั้น (Small polyp stony, SPS) (Animal World, 2015) ที่อาศัยอยู่ในเขตน้ำลึก มีการเจริญเติบโตของโพลีป 2 แบบคือ เจริญตามปลายยอด (Axial corallite) และเจริญตามแนวรัศมีของกิ่ง (Radial corallite) มีสีน้ำตาลเข้มถึงอ่อน ในโคโลนีเดี่ยวของปะการังเขากวางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร มีความสูง 1.2 เมตร ในแต่ละกิ่งมีความหนา มากกว่า 7 เซนติเมตร (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2006) ปะการังชนิดนี้พบอยู่ทั่วไปในเขตน้ำขึ้นน้ำลง ทั้งในอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน ปะการังเขากวางมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 8-12 เซนติเมตรต่อปี และมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่ำ จึงเกิดการฟอกขาวได้รวดเร็วกว่าปะการังชนิดอื่นๆ (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน, 2554)

ในปี พ.ศ. 2553 เกิดเหตุการณ์อุณหภูมิน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นในทะเลอันดามันและทะเลอ่าวไทย โดยอุณหภูมิน้ำทะเลปกติคือ 29 องศาเซลเซียส แต่ในเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2553 อุณหภูมิน้ำทะเลได้เพิ่มขึ้นเป็น 30 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ปะการังในทะเลอันดามันและทะเลอ่าวไทยเกิดการฟอกขาวคิดเป็นร้อยละ 30 ถึง 95 ของปะการังทั้งหมด ซึ่งพบว่าปะการังชนิดเด่นที่เกิดการฟอกขาวมากที่สุดคือปะการังเขากวาง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556ข)



ภาพที่ 2-12 ปะการังเขากวาง (*Acropora sp.*)
(Reef Resilience Network, 2018b)

2.2.3 ปะการังจาน (*Turbinaria sp.*)

ปะการังจาน (*Turbinaria sp.*) หรือ Disc coral (ภาพที่ 2-13) เป็นสัตว์ที่จัดอยู่ในไฟลัม *Cnidaria* วงศ์ *Dendrophylliidae* จินัส *Turbinaria* มีโคโลนีประเภทแผ่น (Plate coral) (CoralWatch, 2002) จัดเป็นปะการังประเภทโพลิปยาว (Large polyp stony, LPS) พบได้ในเขตนํ้าตื้นใกล้ฝั่งหรือบริเวณที่มีน้ำขุ่น เพราะสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแสงน้อย (Patrick L. Colin และ Arneson, 1997) พบได้ทั้งในอ่าวไทยและฝั่งอันดามัน (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556ก) ปะการังจานมีสีน้ำตาลหรือสีเขียว โพลิป (Polyps) มีสีขาวหรือสีเหลืองซึ่งมีขนาด 1-3 มิลลิเมตร ปะการังจานมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ที่ 0.5-2 เซนติเมตรต่อปี มีการเจริญเติบโตของโพลิปเฉพาะผิวหน้าของปะการัง โดยโพลิปจะเรียงตัวในลักษณะเป็นวงกลมออกจากจุดกึ่งกลางของปะการัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2-13 ปะการังจาน (*Turbinaria sp.*)
(กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556ก)

2.2.4 ปะการังโขด (*Porites sp.*)

ปะการังโขด (*Porites sp.*) หรือ Hump Coral (ภาพที่ 2-14) เป็นสัตว์ที่จัดอยู่ในไฟลัม *Cnidaria* วงศ์ *Poritidae* จินัส *Porites* โคลนีมีลักษณะเป็นก้อน (Massive coral) มีรอยพับบางชนิดมีรอบพับคล้ายรอยหยักของสมอง จัดเป็นปะการังประเภทโพลิบสัน (Small polyp stony, SPS) มีขนาด 0.1-0.2 เซนติเมตร (Wildfactsheets, 2008) ปะการังโขดมีสีน้ำตาล มีพื้นผิวแบบเรียบอาศัยในเขตน้ำตื้นหรือเขตน้ำขึ้นน้ำลง สามารถพบทั่วไปในบริเวณทะเลอ่าวไทยและทะเลอันดามัน มีความทนทานและปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง (ศรีสกุล ภิรมย์วารการ, 2561) ปะการังโขดมีการเจริญเติบโตแบบขยายออกเป็นวงแหวนคล้ายวงเติบโตของต้นไม้ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ย 1 เซนติเมตรต่อปี (Veron และคณะ, 2016)



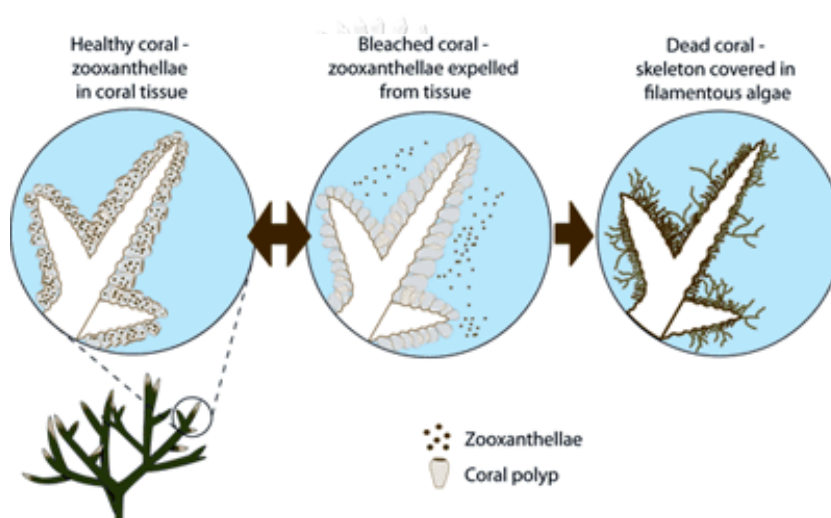
ภาพที่ 2-14 ปะการังโขด (*Porites sp.*)

(นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ, 2559)

2.3 ปะการังฟอกขาว (Coral bleaching)

โดยปกติแล้วสีของปะการังที่สามารถมองเห็นได้นั้นเกิดจากสาหร่ายเซลล์เดียวที่เรียกว่าสาหร่ายซูแซนเทลลีที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อปะการัง สาหร่ายซูแซนเทลลีดำรงชีวิตอยู่ร่วมกับปะการังแบบพึ่งพากัน (Mutualism) โดยมีหน้าที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโต และเร่งกระบวนการสร้างหินปูนให้แก่ปะการัง ปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว (Coral Bleaching) มักเกิดขึ้นเมื่อสภาวะสภาพแวดล้อมผิดปกติ เช่น อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงเกินปกติ ความเค็มของน้ำทะเลลดลงซึ่งเกิดจากน้ำจืดไหลลงสู่ทะเลเป็นปริมาณมาก เกิดปัญหาการสะสมของตะกอน หรือมลพิษอันเกิดจากการใช้ประโยชน์ทะเล เป็นต้น โดยปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเป็นปรากฏการณ์ที่ปะการังมีสีซีดจางลงหรือเป็นสีขาว ซึ่งเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ผิดปกติดังกล่าวกระตุ้นให้ปะการังทำให้เกิดภาวะเครียดจากการออกซิเดชัน (Oxidative stress) กระตุ้นให้สาหร่ายผู้ร่วมอาศัยหรือสาหร่ายซูแซนเทลลีผลิตอนุมูลอิสระ (Reactive oxygen species, ROS) เช่น ออกซิเจนโมเลกุลเดี่ยว (Singlet oxygen, 1O_2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) และ ไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical, $\bullet OH$) เป็นต้น ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำลายกระบวนการสังเคราะห์แสงและการสังเคราะห์ดีเอ็นเอในปะการัง ทำให้ปะการังจำเป็นต้อง

ขับสาหร่ายซูแซนเทลลีออกจากเซลล์เพื่อให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ต่อไป (Liñán-Cabello และ Marco, 2013) จึงทำให้มองเห็นชั้นเนื้อเยื่อปะการังมีลักษณะใส ไม่มีสี จนสามารถมองเห็นชั้นหินปูนสีขาว ในระหว่างเกิดการฟอกขาวปะการังจะมีสภาพอ่อนแอมากกว่าปกติ เนื่องจากขาดสารอาหารที่เกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายซูแซนเทลลี ทั้งนี้หากสภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงกลับสู่สภาพปกติโดยเร็ว สาหร่ายซูแซนเทลลีจะสามารถกลับเข้ามาอาศัยในเนื้อเยื่อปะการังได้ดังเดิม หากสภาพแวดล้อมยังไม่เปลี่ยนแปลงกลับสู่สภาพปกติหรือใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงนานอาจทำให้ปะการังค่อยๆ ตายไป และท้ายที่สุดจะถูกปกคลุมด้วยสาหร่ายดังภาพที่ 2-15 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556จ)



ภาพที่ 2-15 ขั้นตอนการเกิดปะการังฟอกขาว

(Reef Resilience Network, 2018a)

2.4 ปัจจัยทางกายภาพที่สำคัญต่อสุขภาพปะการัง

2.4.1 ไนเตรท (Nitrate)

ไนเตรทถือเป็นรูปหลักของไนโตรเจนในน้ำ เป็นหนึ่งในธาตุอาหารสำคัญของสาหร่ายและปะการัง โดยพบว่าสาหร่ายจะนำเอาธาตุอาหารไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อนำไปสร้างเป็นพลังงานให้แก่ตนเองและปะการัง ในทางกลับกันเมื่อสาหร่ายซูแซนเทลลีได้รับธาตุอาหารเพิ่มมากขึ้นก็นำไปสู่การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ปริมาณสาหร่ายซูแซนเทลลีที่เพิ่มมากขึ้นนี้ทำให้เกิดการเสียสมดุลระหว่างปะการังและสาหร่าย เพื่อรักษาสมดุลระหว่างปะการังและสาหร่าย ปะการังจึงทำการขับสาหร่ายซูแซนเทลลีออกเพื่อลดความหนาแน่นของสาหร่ายบนปะการัง ทำให้สีของปะการังซีดจาง และท้ายที่สุดจึงเกิดเป็นปะการังฟอกขาว แต่ในปะการังบางชนิดมีวิธีการรักษาสมดุลระหว่างปะการังและสาหร่ายโดยที่ปะการังจะจำกัดปริมาณสารอนินทรีย์ไนโตรเจนใน

สาหร่าย ทำให้สาหร่ายลดอัตราการผลิตกรดอะมิโน (Amino acid catabolism) ลง ก่อให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนในสาหร่าย จึงสามารถควบคุมการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนสาหร่ายได้ (Zhu และคณะ, 2004)

จากการศึกษาในปี 1996 พบว่าปริมาณไนเตรทที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซลเทลลีที่เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวนสาหร่ายยังเพิ่มการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย แต่ในทางกลับกันสามารถลดอัตราการหายใจ (Respiration) และอัตราการเติบโตของปะการัง (Skeletogenesis) (Marubini และ Davies, 1996)

การเติมธาตุอาหาร (Nutrient enrichment) ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตในน้ำและสัตว์น้ำเกิดการเจริญเติบโตของอย่างรวดเร็ว จากการศึกษพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียหรือไนเตรทส่งผลต่อการสูญเสียสาหร่ายซูแซลเทลลีบนปะการัง *Alveopora verrilliana* และ *Palythoa sp.* อย่างมีนัยสำคัญ สามารถกล่าวได้ว่าแอมโมเนียหรือไนเตรทที่ความเข้มข้นสูงสามารถเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายซูแซลเทลลีที่อาศัยอยู่บนปะการังได้ และเมื่อปะการังไม่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ ทำให้เกิดการเสียสมดุลระหว่างปะการังและสาหร่าย และนอกจากนั้นยังพบว่าปะการังต่างชนิดกันมีความทนทานต่อการฟอกขาวที่แตกต่างกันไป (Zhu และคณะ, 2004) ดังแสดงในตารางที่ 2-1

เกณฑ์ความเข้มข้นของไนเตรท

ในการศึกษานี้เกณฑ์ความเข้มข้นของไนเตรทกำหนดจากมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ประเภทที่ 2 เพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (Coral conservation) โดยกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ข) ในน้ำทะเลประเภทที่ 2 จะต้องมีค่าความเข้มข้นไนเตรท-ไนโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ไม่เกิน $60 \mu\text{g - N/L}$ โดยใช้วิธีตรวจสอบคือ Cadmium Reduction Method และ Colorimetric Method (ภาคผนวก ค)

ตารางที่ 2-1 ผลของระดับไนเตรทต่อปะการัง (Fabricius, 2005)

ความเข้มข้นไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	ระยะเวลา (วัน)	ผลต่อปะการัง
0, 14, 70 และ 280	30-40	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราการสร้างโครงสร้างหินปูนในปะการังลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นไนเตรทเพิ่มขึ้น (มากกว่า $14 \mu\text{g-N/L}$) - ที่ความเข้มข้น $14 \mu\text{g-N/L}$ มีความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีเพิ่มขึ้น - ที่ความเข้มข้น $70 \mu\text{g-N/L}$ พบว่าสาหร่ายซูแซนเทลลีมีขนาดใหญ่ขึ้น มีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อสาหร่ายซูแซนเทลลีเพิ่มขึ้น มีอัตราการสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้น และมีปริมาณโปรตีนในสาหร่ายซูแซนเทลลีเพิ่มขึ้น - ที่ความเข้มข้น $280 \mu\text{g-N/L}$ ความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อปะการังเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 (Marubini, 1996)
28	21	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีและอัตราการสังเคราะห์แสง แต่พบว่าปะการังมีน้ำหนักลดลงร้อยละ 34 (Ferrier-Pages และคณะ, 2001)
210	14	ความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อปะการังลดลง (Nordemar และคณะ, 2003)
14	14	ปะการังเขากวางเพิ่มอัตราการขับสาหร่ายซูแซนเทลลีอย่างมีนัยสำคัญ (Zhu และคณะ, 2004)

2.4.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความหลากหลายของชนิดปะการังในเขตละติจูด โดยพบว่าอุณหภูมิ น้ำทะเลที่เหมาะสมสำหรับการเกิดแนวปะการัง (Reef-building corals) อยู่ในช่วงเฉลี่ย 26-28 องศาเซลเซียส และหากอุณหภูมิ น้ำทะเลต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส จะยับยั้งการเกิดแนวปะการัง (NOAA, 2017a) นอกจากนี้แล้วพบว่าเมื่ออุณหภูมิ น้ำทะเลสูงขึ้น

แม้เพียงเล็กน้อยสามารถก่อให้เกิดความเครียดในปะการัง โดยพบว่าอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจลดลง ในขณะที่เดียวกันปะการังก็ขับสาหร่ายซูแซนเทลลีเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ และนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์การฟอกขาวในปะการังในที่สุด (B. E. Brown, 1997) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเกิดการฟอกขาวขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวของปะการังด้วยเช่นกัน โดยพบว่าปะการังและสาหร่ายซูแซนเทลลีที่สัมผัสกับน้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูงจะสังเคราะห์โปรตีนชนิด Heat-shock proteins (HSP) ที่มีหน้าที่ลดการรวมตัวของโปรตีนภายในเซลล์และกระตุ้นให้เกิดการม้วนพับใหม่ตัวขึ้นใหม่ของโปรตีนที่เสียสภาพจากความร้อนเพื่อรักษาสภาพของโปรตีนภายในเซลล์ให้กลับไปทำงานได้เป็นปกติ ช่วยป้องกันการเกิดความเสียหายในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจซึ่งเป็นแหล่งสร้างพลังงานที่สำคัญของเซลล์ (B. Brown และคณะ, 2002)

ในปี พ.ศ. 2553 เกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวครั้งใหญ่ในประเทศไทย ในทะเลฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน พบว่าอุณหภูมิของน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าปกติ ในเดือนเมษายน อุณหภูมิของน้ำทะเลสูงถึง 31 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิน้ำทะเลปกติมีค่าโดยประมาณ 28-29 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงของอุณหภูมิน้ำทะเลที่สามารถกระตุ้นให้เกิดการฟอกขาว (30.1 องศาเซลเซียส) ทำให้แนวปะการังในทุกรัฐทางฝั่งทะเลอันดามันเกิดการฟอกขาวมากกว่าร้อยละ 70 ของปะการังที่มีชีวิตที่มีอยู่เดิม สำหรับทางทะเลฝั่งอ่าวไทยพบว่าเกิดฟอกขาวต่ำกว่า (สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน, 2554)

2.4.3 ความเค็ม (Salinity)

ความเค็ม เกิดจากเกลือหรือแร่ธาตุต่างๆ ที่ละลายอยู่ในมวลน้ำ แร่ธาตุที่มีอยู่ในน้ำทะเลในปริมาณมาก ได้แก่ โซเดียมและคลอรีน รองลงไป ได้แก่ แมกนีเซียม ซัลเฟอร์ แคลเซียม โปแตสเซียม หน่วยวัดความเค็มของน้ำทะเลมีหลากหลายหน่วยได้แก่ กรัมต่อน้ำทะเล 1 กิโลกรัม (%o) ส่วนต่อพันส่วน (Part per thousand, ppt) psu (Practical salinity units, psu) หรือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นต้น ซึ่งสามารถเทียบเคียงความเค็ม 1 ppt มีค่าเท่ากับ 1 psu หรือ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยปกติความเค็มของน้ำทะเลมีค่าเฉลี่ยประมาณ 35 ส่วนต่อพันส่วน และจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาลรวมถึง ปริมาณน้ำฝน อัตราการระเหย ตำแหน่งที่ตั้ง และระยะทางที่ห่างจากปากแม่น้ำหรือชายฝั่ง (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556ง)

โดยทั่วไปแล้วน้ำทะเลในมหาสมุทรมีค่าเฉลี่ยความเค็มโดยประมาณ 34.72 psu โดยความเค็มที่เกิดขึ้นนี้มีสาเหตุมาจากน้ำชะเกลือจากพื้นดินลงสู่มหาสมุทร จากนั้นเกลือจะถูกกระแสน้ำในมหาสมุทรผสมรวมอย่างสมบูรณ์ แต่กระนั้นความเค็มในแต่ละมหาสมุทรก็ยังมีความแตกต่างกันไป เช่น มหาสมุทรแอตแลนติก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37 psu มหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิก มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 36.5 psu โดยค่าความเค็มต่ำสุดของมหาสมุทรอินเดียและแปซิฟิกพบในน่านน้ำของประเทศ

ดังต่อไปนี้ พม่า ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และทางตะวันตกของประเทศฟิลิปปิน สำหรับอ่าวไทย ประเทศไทย มีค่าความเค็มอยู่ในช่วง 25.0-30.0 psu

การลดลงของความเค็ม (Salinity reduction) เมื่อความเค็มลดลงจากระดับปกติพบว่า ปะการังจะเกิดความเครียดจากกระบวนการรักษาคุณภาพในร่างกาย (Physiological process) ความเครียดในระยะสั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อการหายใจ (Respiration) และการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ส่วนความเครียดในระยะยาวจะยับยั้งการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ (Reproduction) ของปะการัง ซ้ำยังเพิ่มอัตราการตายของปะการังมากขึ้นอีกด้วย สัญญาณแรกที่บ่งบอกถึงความเครียดในปะการังสามารถสังเกตได้จากปริมาณสารรายชูแซนเทลลีที่ลดลง ซึ่งสามารถติดตามได้จากความเข้มข้นของสารรายชูแซนเทลลี จำนวนเซลล์ของสารราย อัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจ หรือการเกิดหินปูน (Calcification) ในปะการัง เป็นต้น นอกจากนี้ความเค็มที่ลดลงจะส่งผลให้เกิดความเครียดในปะการังได้แล้วความเค็มที่เพิ่มขึ้นก็สามารถส่งผลต่อความเครียดของปะการังเช่นกัน (Connell และ Hawker, 1992)

ปัจจัยที่มีผลต่อความเค็ม

การลดลงของความเค็มเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ธรรมชาติดังนี้ ฝนตก (Rainfall) น้ำท่า (Runoff) น้ำท่วม (Flooding) และพายุฝน (Storm) เป็นต้น โดยปรากฏการณ์เหล่านี้ทำให้เกิดน้ำจืดปริมาณมากไหลเข้าสู่คลองและแม่น้ำ และท้ายที่สุดน้ำจากแม่น้ำไหลลงสู่ทะเล ส่งผลให้ความเค็มบริเวณปากแม่น้ำลดลง โดยความเค็มที่ลดลงนี้สามารถยับยั้งการเติบโตของปะการังได้ พบว่าในปี 1926 ทางใต้ของเกาะตาสิตี ประเทศเฟรนช์โปลินีเซีย เกิดฝนตกเป็นเวลา 6 วัน ทำให้เกิดน้ำท่วม มีน้ำจืดไหลลงสู่ทะเลเป็นปริมาณมาก เกิดการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำฝน 32 นิ้ว ส่งผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อปะการัง แต่เมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้นถึง 43 นิ้ว ส่งผลให้ปะการังตายจากผลของการลดลงของความเค็ม และในปี 1963 เมืองพอร์ตรอยัล ประเทศจาไมกา ได้รับความกระทบจากพายุเฮอริเคนเกิดฝนตกเป็นเวลา 2 วัน พบว่าปริมาณน้ำฝน 550 มิลลิเมตร ให้ความเค็มลดต่ำกว่า 30 psu เป็นเวลา 5 สัปดาห์ โดยพบความเค็มน้อยที่สุดที่ตรวจพบ คือ 3 psu จากความเค็มที่ลดลงนี้ทำให้ปะการังในระดับความลึก 2.5-3 เมตร เกิดการสูญเสียสาหร่ายชูแซนเทลลีจนเกิดเป็นปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาว

ในปี พ.ศ. 2538 เกาะคังคาว ประเทศไทย เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งใหญ่ น้ำจืดปริมาณมากไหลลงสู่ทะเล ทำให้เกิดการลดลงของความเค็ม โดยความเค็มที่ลดลงมีค่าเท่ากับ 23 และ 25 psu ที่ความลึก 3 และ 5 เมตร ตามลำดับ โดยพบปะการังชนิด *Pocillopora damicornis* และปะการัง *Acropora* บางชนิดเกิดการฟอกขาวและตายทันทีหลังจากสัมผัสกับความเค็มดังกล่าว ในทางกลับกันปะการังชนิดที่พบมากที่สุดใต้อุณหภูมิน้ำที่ต่ำอย่าง *Porites lutea* สามารถอยู่รอดเพียง

5 วัน หลังสัมผัสความเค็มที่ 17 psu และเริ่มเกิดการฟอกขาวที่ความเค็ม 20 psu ในวันที่ 7 ซึ่งยาวนานกว่าปะการังชนิดอื่นๆ เนื่องจากปะการังชนิด *Porites lutea* มีกลไกในการป้องกันตัวจากการลดลงของความเค็มได้ดี (Nakano, Tsuchiya, Rungsupa และ Kiyoshi Yamazato, 2009)

ในปี 1997 Morberg และคณะ ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากการลดลงของความเค็มที่ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจในปะการังชนิด 2 ชนิดคือ *Porites lutea* และ *Pocillopora damicornis* ผลการศึกษาพบว่าความเค็ม 20 และ 10 psu ส่งผลต่อการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของอัตราการสังเคราะห์แสงและการหายใจในปะการังทั้ง 2 ชนิด และยังพบว่าปะการังชนิด *Pocillopora damicornis* มีความไวต่อความเค็มมากกว่า *Porites lutea* (Morberg และคณะ, 1997)

2.4.4 แสง

แสงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปะการัง โดยทั่วไปแล้วสาหร่ายหรือพืชบกที่ขึ้นบนพื้นดินจะมีสารรงควัตถุ (Pigment) ที่ทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงในกระบวนการสังเคราะห์แสง ใช้ในการสร้างอาหารให้แก่ปะการังในรูปของอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) โดยสาหร่ายสามารถให้พลังงานแก่ปะการังคิดเป็นร้อยละ 95 ของพลังงานทั้งหมดที่ปะการังต้องการ นอกจากนั้นแสงยังส่งผลต่อลักษณะโครงสร้างปะการังและปริมาณคลอโรฟิลล์ของปะการัง โดยปะการังที่อาศัยในเขตน้ำตื้นที่มีแสงส่องถึงมาก (ความลึก 0-5 เมตร) โคโลนีจะมีลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งก้าน (Branching coral) และแบบเป็นก้อน (Massive coral) เนื่องจากได้รับแสงมากจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ในการรับแสง ปะการังโครงสร้างแบบกิ่งก้านชนิดเด่นได้แก่ ปะการังเขากวาง ปะการังชนิด *Pocillopora acuta* และปะการังชนิด *Montipora stellate* ปะการังโครงสร้างแบบก้อนชนิดเด่นได้แก่ ปะการังชนิด *Platygyra*, ปะการังชนิด *Galaxea* และปะการังชนิด *Goniopora* ในทางกลับกันปะการังที่อาศัยในเขตน้ำลึกมีแสงส่องถึงน้อย (ความลึกมากกว่า 5 เมตร) โคโลนีจะมีลักษณะโครงสร้างแบบแผ่น (Laminar coral) เนื่องจากต้องการพื้นที่รับแสงให้มากที่สุดจึงจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ในการรับแสง ปะการังโครงสร้างแบบแผ่นชนิดเด่นได้แก่ ปะการังชนิด *Pachyseris speciose* ปะการังชนิด *Mycedium elephantotus* และปะการังชนิด *Montipora* (Chow และคณะ, 2019)

ปริมาณแสงยังส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของปะการัง โดยพบว่าปริมาณแสงที่มากเกินไปสามารถลดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและปริมาณสารรงควัตถุของปะการัง (Liñán-Cabello และ Marco, 2013) โดยมีการศึกษาพบว่าปะการังในเขตน้ำตื้นจะมีสีซีดขาวแตกต่างจากปะการังในเขตน้ำลึกที่มีสีเข้มกว่า ซึ่งความเข้มสีของปะการังมีความสัมพันธ์ต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ในสาหร่ายซูแซนเทลลี อันเป็นผลจากการปรับตัวของปะการัง โดยปะการังที่อาศัยในที่แสงน้อยจะเพิ่มปริมาณ

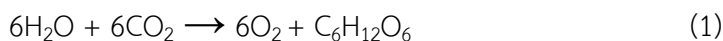
รงควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง เช่น คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (Carotenoid) เป็นต้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซับแสงได้มากขึ้น ทำให้สีของปะการังในเขตน้ำลึกที่มีสีเข้มกว่าปะการังในเขตน้ำตื้น (Harrison, 2011)

2.4.5 ความเป็นกรดต่าง (pH)

โดยทั่วไปแล้วมหาสมุทรจะมีค่าความเป็นกรดต่าง ประมาณ 8.0-8.1 มีความเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งความเป็นกรดต่างของน้ำทะเลเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ส่งผลต่อความเครียดของปะการังเช่นกัน พบว่าน้ำทะเลที่อยู่ในช่วงกรด (pH ต่ำกว่า 7) เป็นผลมาจากปรากฏการณ์ทะเลกรด (Ocean acidification, OA) ซึ่งเกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559) พบว่าน้ำทะเลที่มีความเป็นกรดมากขึ้นจะส่งผลให้ปะการังแข็งไม่สามารถผลิตหินปูน (Calcium carbonate, CaCO₃) ลดอัตราการเกิดหินปูน หรือการสร้างโครงสร้างแข็ง ในขณะที่เดียวกันก็เร่งให้เกิดการพังทลายทางชีวภาพ (Bioerosion) ทำให้เกิดการสลายตัวของชั้นหินปูนเดิมของปะการัง (บัญชา ธนบุญสมบัติ, 2560) นอกจากความเป็นกรดของน้ำทะเลจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปะการังและทำให้ชั้นหินปูนที่บางลงแล้ว พบว่าน้ำทะเลที่มีค่า pH เท่ากับ 7.3 ยังกระตุ้นให้เกิดกิจกรรมของแบคทีเรียซึ่งส่งผลต่อการเกิดโรคและความเครียดในปะการังอีกด้วย (Meron และคณะ, 2010) ในทางกลับกันหากเกิดอัตราการสังเคราะห์แสงในสาหร่ายทะเลสูง ก็สามารถทำให้น้ำทะเลมีค่าที่อยู่ในช่วงต่าง (pH มากกว่า 7) ได้เช่นกัน ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มอัตราสร้างโครงสร้างแข็งในปะการัง (Semesi และคณะ, 2009)

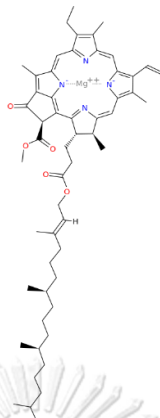
2.5 คลอโรฟิลล์ (Chlorophyll)

คลอโรฟิลล์เป็นสารรงควัตถุที่พบทั่วไปในพืชและสาหร่ายบางชนิด โดยบรรจุอยู่ในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ซึ่งสามารถดูดกลืนพลังงานแสงแล้วเปลี่ยนจากพลังงานแสงให้เป็นพลังงานเคมีได้โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) โดยจะเปลี่ยนน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ให้กลายเป็นออกซิเจน และกลูโคส (C₆H₁₂O₆) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของพืชตามสมการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในสมการที่ 1 ดังนี้



โครงสร้างพื้นฐานของคลอโรฟิลล์ (ภาพที่ 2-16) มีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างของฮีมในฮีโมโกลบินของเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยเรียกว่า Porphyrin ring มีลักษณะต่างกันว่าอะตอมที่ศูนย์กลางของคลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียม (Mg) เป็นอะตอมที่ศูนย์กลาง แต่ฮีมในฮีโมโกลบินมีเหล็ก (Fe) เป็นอะตอมที่ศูนย์กลาง และโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ยังประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนสายยาว

(Phytol side chain) ทำให้คลอโรฟิลล์เป็นโมเลกุลที่มีขี้ตัวดำ ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในอะซีโตน และแอลกอฮอล์ คลอโรฟิลล์ยังสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิดดังนี้ (ขวัญชนก ศรีทธาสุข, 2556)



ภาพที่ 2-16 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a)
(Richfield, 2007)

- คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a) มีสีเขียวแกมน้ำเงินโดยสามารถพบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิดที่สังเคราะห์แสงได้
- คลอโรฟิลล์ บี (Chlorophyll b) มีสีเขียวแกมเหลืองพบได้ในพืชชั้นสูง และสาหร่ายสีเขียว
- คลอโรฟิลล์ ซี (Chlorophyll c) พบได้ในสาหร่ายชนิดต่างๆ เช่น สาหร่ายสีน้ำตาล และสีทอง ไม่พบในพืชชั้นสูง
- คลอโรฟิลล์ ดี (Chlorophyll d) พบได้ในสาหร่ายสีแดง รวมทั้งแบคทีเรียที่สังเคราะห์แสงได้ (Cyanobacteria) ไม่พบในพืชชั้นสูงเช่นกัน

นอกจากนั้นการมองเห็นพืชหรือสาหร่ายมีสีเขียวนั้นเนื่องมาจาก คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวแสงสีน้ำเงินและสีแดงไว้ได้มากทำให้สะท้อนคลื่นแสงสีอื่นออกมายังตามนุษย์ซึ่งแสงที่สะท้อนออกมามากที่สุดอยู่ในช่วงความยาวของแสงสีเขียว ทำให้แสงที่ปรากฏบนพืชหรือสาหร่ายเป็นสีเขียว (Lehninger และคณะ, 2000)

2.6 มลพิษที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ทางทะเล

การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของอุตสาหกรรมและชุมชนเมืองรวมถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเลก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางทะเลทั้งทางตรงและทางอ้อม ยกตัวอย่างเช่น ระบบนิเวศทะเลโดยการทำลายสภาพแวดล้อมในทะเลให้เสื่อมลง สร้างความอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลและสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เป็นต้น แหล่งกำเนิดมลพิษทางทะเลสามารถแบ่งประเภทได้ 2 แหล่ง ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ก)

1. แหล่งกำเนิดมลพิษจากชายฝั่ง

แหล่งกำเนิดมลพิษจากชายฝั่ง (ภาพที่ 2-17) ที่ก่อให้เกิดปัญหามากที่สุดคือ ชุมชน สถานที่ท่องเที่ยว รวมถึงแหล่งอื่นๆ ที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม ท่าเรือ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะตั้งอยู่บริเวณชายฝั่งทะเล และริมฝั่งแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติบริเวณชายฝั่งและในทะเลเสื่อมโทรมลง



ภาพที่ 2-17 แหล่งกำเนิดมลพิษจากชายฝั่ง
(กรมควบคุมมลพิษ, 2560ค)

แหล่งชุมชน (Communities) โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำที่มีชุมชนหนาแน่น เป็นแหล่งก่อให้เกิดมลพิษจากกิจกรรมต่างๆ เช่น น้ำล้างจาน น้ำซักเสื้อผ้า ของเสียจากอาคารสำนักงานต่างๆ เป็นต้น ซึ่งน้ำทิ้งดังกล่าวมีความสกปรกสูง เช่น ปัญหาปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูง ทำให้พีชีน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้ต้องใช้ออกซิเจนในการสังเคราะห์แสงมากขึ้น จนทำให้แหล่งน้ำเกิดภาวะขาดออกซิเจน เช่นเดียวกับปัญหาปริมาณบีโอดีสูง (BOD) แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก เกิดสภาพเน่าเหม็นได้ง่าย ท้ายที่สุดแล้วจะทำให้คุณภาพคุณภาพน้ำทะเลเสื่อมโทรมลงทั้งสิ้น

นอกจากนั้นชุมชนยังปลดปล่อยขยะหรือของเสียจากลงสู่แม่น้ำที่ไหลสู่ทะเล ปัญหาที่ตามมาคือขยะหรือของเสียที่เป็นของแข็งที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน บางชนิดไม่สามารถย่อยสลายได้ ได้แก่ โฟม ยาง ขวดแก้ว และวัสดุที่ทำจากพลาสติกต่างๆ ของเสียที่ถูกทิ้งดังกล่าวเมื่อถูกพัดเข้าสู่ชายฝั่งจะทำให้บริเวณนั้นสกปรก เสียทัศนียภาพและไม่เหมาะแก่การท่องเที่ยว หรืออาจมีอันตรายต่อสัตว์น้ำเพราะคิดว่าเป็นอาหาร

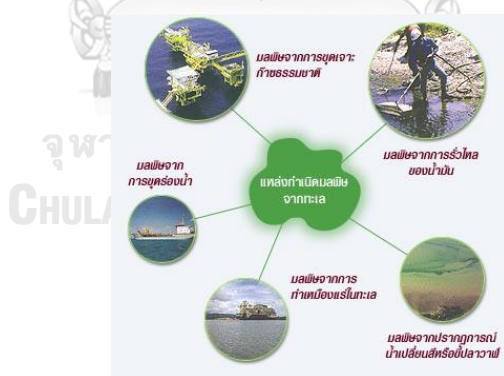
การท่องเที่ยว (Tourism) ปัจจุบันการท่องเที่ยวทะเลได้รับความนิยมสูง และผลที่ตามมาคือการเพิ่มปริมาณขยะมูลฝอย ของเสีย และน้ำทิ้งจากสถานที่พักตากอากาศ ร้านอาหารและสถานบริการอื่นๆ และเรือโดยสารทำให้น้ำทะเลมีคุณภาพเสื่อมลง นอกจากนี้ยังเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติทางทะเล เช่น การทิ้งสมอเรือบริเวณแนวปะการัง ปัญหาเหล่านี้ย่อมส่งผลให้ทรัพยากรชายฝั่ง ระบบนิเวศน์ใต้ท้องทะเล และทัศนียภาพของแหล่งท่องเที่ยวเสื่อมโทรมลง

ตัวอย่างเช่น การเกิดการขยายตัวของสาหร่ายเห็ดหูหนู (Padina) ที่อ่าวแม่ยาย อุทยานแห่งชาติหมู่เกาะสุรินทร์ ตั้งแต่ปี 2531 ทำให้ประการังที่สมบูรณ์หนาแน่น ถูกสาหร่ายขึ้นคลุมจนทำให้ประการังล้มตาย และปิดอ่าวลงไปมากที่สุด ซึ่งสาเหตุเกิดจากมีสารฟอสเฟตจากการซักล้างตักล้างมาก และไม่มีการระบาย จึงเป็นสารอาหารให้แก่สาหร่าย

ท่าเรือและสะพานปลา (Fishing post) บริเวณท่าเรือส่วนใหญ่มีการรั่วไหลของน้ำมันจากการซ่อมเครื่องยนต์การถ่ายน้ำมันเครื่อง น้ำทิ้งจากห้องเรือ และการทำความสะอาดเรือ ส่วนท่าเทียบเรือประมงและสะพานปลา พบว่าน้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดสัตว์น้ำแปรรูป สัตว์น้ำ การล้างทำความสะอาดท่าและเรือประมง ไหลลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง โดยไม่ผ่านการดักเศษชิ้นส่วนสัตว์น้ำและระบบบำบัดใด จึงมักมีคราบไขมัน เศษซากสัตว์น้ำ และเศษขยะมูลฝอยลอยอยู่บนผิวน้ำ ซึ่งน้ำทิ้งเหล่านี้จะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนเป็นจำนวนมาก มีผลต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้น

2. แหล่งกำเนิดมลพิษในทะเล

เกิดจากกิจกรรมในทะเล (ภาพที่ 2-18) ที่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทางทะเลได้แก่ การเดินเรือ การทำประมง และท่าเทียบเรือบริเวณชายฝั่งทำให้ทะเลมีการปนเปื้อนของน้ำมันที่รั่วไหล นอกจากนี้ การขุดร่องน้ำ การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ และการทำเหมืองแร่ในทะเลก่อให้เกิดการฟุ้งกระจาย และเกิดการปนเปื้อนของสารมลพิษรวมทั้งปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ซึ่งทำให้น้ำทะเลเกิดการเน่าเสียและเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ



ภาพที่ 2-18 แหล่งกำเนิดมลพิษในทะเล

(กรมควบคุมมลพิษ, 2560ง)

มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง โดยกรมควบคุมมลพิษ คือแนวทางในการจัดการและการควบคุมดูแลให้น้ำทะเลชายฝั่งคงสภาพตามธรรมชาติ ตลอดจนควบคุมให้มีการใช้ทรัพยากรทางทะเลอย่างเหมาะสม มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งแบ่งออกเป็น 7 ประเภท ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ข)

ประเภทที่ 1 เพื่อการสงวนรักษาสภาพธรรมชาติ (Environmental Preservation)

ประเภทที่ 2 เพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (Coral conservation)

บริเวณที่มีแหล่งปะการังสมบูรณ์ หรือปะการังที่เสื่อมโทรม แต่มีแนวโน้มที่จะฟื้นคืนสภาพได้ โดยมีมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 2 เป็นตัวควบคุมคุณภาพน้ำทะเล (ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 2 แสดงใน ภาคผนวก ข)

ประเภทที่ 3 เพื่อการอนุรักษ์แหล่งธรรมชาติอื่น ๆ (Conservation of Natural Resource)

ประเภทที่ 4 เพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง (Aquaculture)

ประเภทที่ 5 เพื่อการว่ายน้ำ (Water Contact Sport)

ประเภทที่ 6 เพื่อการกีฬาทางน้ำอื่น ๆ (Water Proximity Sport)

ประเภทที่ 7 บริเวณแหล่งอุตสาหกรรม (Industrial Zone)

2.7 ไนโตรเจนในแหล่งน้ำ

น้ำเสียการเกษตรจากการใช้ปุ๋ยเคมีและน้ำเสียชุมชนมักพบลักษณะของน้ำเสียที่คล้ายกันคือพบการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่มาก ซึ่งส่วนใหญ่แล้วคือ ไนเตรท (NO_3^-) แอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียม (NH_4^+) เป็นต้น สำหรับน้ำเสียชุมชนนั้นจะพบสิ่งปฏิกูลจากมนุษย์อยู่มาก ซึ่งก็คือยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) โดยยูเรียนั้นเป็นของเสียที่เกิดจากการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโนในมนุษย์ ยูเรียในรูปสารละลายจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยูรีเอส (Urease) จนเกิดเป็นแอมโมเนีย และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งในกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) ดังสมการที่ 2

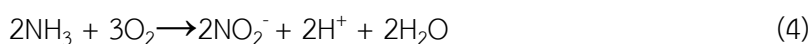


แอมโมเนียที่เกิดขึ้นมีเป็นรูปที่มีความเสถียรต่ำ ที่สมดุลจะสามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็นแอมโมเนียมได้ซึ่งเป็นรูปที่มีความเสถียรมากกว่าและละลายน้ำได้ดี ดังสมการที่ 3 การเกิดแอมโมเนียมจะถูกควบคุมโดยค่าความเป็นกรดต่าง (pH) พบว่าที่ pH มากกว่า 7.5 จะเร่งให้เกิดแอมโมเนีย ในขณะที่ pH ต่ำกว่า 7.5 จะเกิดเป็นแอมโมเนียม เช่นเดียวกันกับที่อุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดแอมโมเนีย แต่กลับพบว่าแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่า ในขณะที่แอมโมเนียมไม่แสดงความเป็นพิษ



นอกจากนั้นแอมโมเนียยังสามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็นไนเตรทได้เช่นกัน ในกระบวนการเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนเตรทนั้นเรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งจะอาศัยการทำงานของ

แบคทีเรีย 2 ชนิดแก่ Nitrosomonas ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และ Nitrobacter ใช้ในการออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรทตามลำดับ ในกระบวนการนี้จะเป็นออกเป็น 2 ขั้นตอนย่อยดังสมการที่ 4 และสมการที่ 5 โดย Nitrosomonas สามารถเรียกได้อีกแบบได้ว่า Ammonia oxidizing bacteria (AOB) เช่น *Nitrosomonas spp.* และ *Nitrosospira spp.* และ Nitrobacter เรียกได้อีกแบบว่า Nitrite oxidizing bacteria (NOB) เช่น *Nitrobacter spp.* และ *Nitrosospira spp.*



ในกระบวนการไนตริฟิเคชันนี้จัดเป็นกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โดยจะสังเกตได้จากเลขออกซิเดชันของไนโตรเจนเกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยเลขออกซิเดชันของ NH_3 คือ -3 เลขออกซิเดชันของ NO_2^- คือ +3 และเลขออกซิเดชันของ NO_3^- คือ +5 ตามลำดับ และจากสมการที่ 5 และสมการที่ 6 จะสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรทนั้นจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำปริมาณมาก ซึ่งออกซิเจนจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ขณะที่แอมโมเนียทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน (Electron donor) และยังพบว่าในกระบวนการนี้สร้างกรดจาก H^+ อีกด้วย ดังนั้นการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันได้จะต้องมีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำและต้องควบคุมความเป็นกรด

ในสภาวะไร้อากาศ (Anerobic condition) นี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการทำงานของแบคทีเรีย Denitrify bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่สำคัญในกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะทำหน้าที่รีดิวซ์ไนเตรทให้เป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) กลับเข้าสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่ง ดังสมการที่ 6

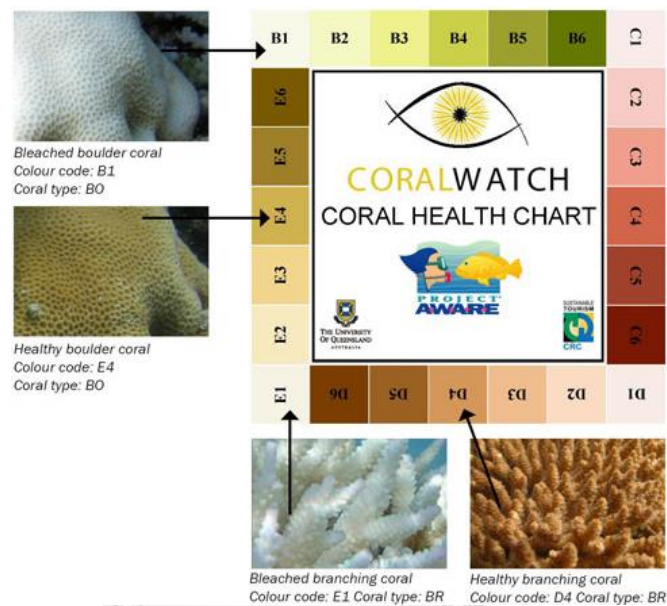


และจะสังเกตได้ว่าในกระบวนการนี้เลขออกซิเดชันของไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงลดลง โดยเลขออกซิเดชันของ NO_3^- คือ +5 ขณะที่ เลขออกซิเดชันของ N_2 คือ 0 กระบวนการนี้จึงเป็นกระบวนการรีดักชัน (Reduction) ซึ่งตัวรับอิเล็กตรอนในกระบวนการนี้คือไนเตรท และตัวให้อิเล็กตรอนคือสารอินทรีย์ในรูปต่างๆ และพบว่าในกระบวนการนี้จะสร้างเบสออกมา ดังนั้นการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน และต้องควบคุมความเป็นเบส

2.8 การประเมินสุขภาพปะการังด้วยแผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart)

แผนภูมิสุขภาพปะการัง ดังภาพที่ 2-19 ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 2006 โดย Siebeck และคณะ มหาวิทยาลัยควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย แผนภูมิสุขภาพปะการังประกอบด้วย 4 แถบสีที่

แตกต่างกัน แทนด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษคือ B C D และ E โดยสีในแต่ละแถบสีจะประกอบด้วยสี 6 ระดับ แทนด้วยเลข 1 ถึงเลข 6 โดยเรียงจากความอิ่มตัวของสี (Saturation : S) และความสว่าง (Brightness: B) จากน้อยไปมากสัมพันธ์กับความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ในปะการังซึ่งแสดงถึงสุขภาพของปะการัง (Siebeck และคณะ, 2006) โดยระดับสีที่ 1 หมายความว่า ปะการังมีสุขภาพในระดับเสื่อมโทรม เกิดเป็นปะการังฟอกขาว และระดับสีที่ 6 หมายความว่า ปะการังมีสุขภาพในระดับดีมาก ตามการแปลผลในตารางที่ 2-2 (บุษปกรณ์ อุดมทรัพย์, 2561)



ภาพที่ 2-19 แผนภูมิสุขภาพปะการัง

(CoralWatch, 2002)

ตารางที่ 2-2 ร้อยละของสุขภาพและร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง

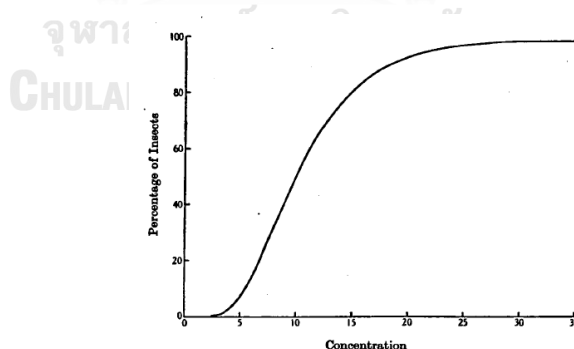
(บุษปกรณ์ อุดมทรัพย์, 2561)

ระดับสุขภาพ	สุขภาพ	ร้อยละของสุขภาพ	ร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรม
6	ดีมาก	100.00	0.00
5	ดี	83.33	16.67
4	ปานกลาง	66.67	33.33
3	พอใช้	50.00	50.00
2	แย่มาก	33.33	66.67
1	เสื่อมโทรม	16.67	83.33

2.9 การวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis)

การวิเคราะห์หาค่าความเป็นพิษของสารที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตสามารถหาได้จากการนำสารดังกล่าวไปทดสอบความเป็นพิษกับสัตว์ทดลอง เช่น หนูหรือกระต่าย เป็นต้น สำหรับการทดสอบอาการการเกิดพิษในสัตว์ทดลองนั้นจะให้สัตว์ทดลองสัมผัสกับสารดังกล่าวที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน โดยมีวิธีที่ใช้ในการสัมผัสมีหลายวิธี เช่น วิธีการสัมผัสผ่านผิวหนัง (Contract method) วิธีการฉีด (Injection method) วิธีการสูดดม (Inhalation method) เป็นต้น หลังรับสารพิษในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ วัดร้อยละการตายของสัตว์ทดลองที่สัมผัสสารในแต่ละความเข้มข้น แล้วจึงนำร้อยละการตายของสัตว์ทดลองไปวิเคราะห์ระดับความเป็นพิษที่เกิดขึ้น ซึ่งในการศึกษาทางพิษวิทยามีค่าต่างๆที่ใช้ในการบ่งชี้ความเป็นพิษ ตัวอย่างเช่น LC_{50} (Lethal Concentration 50%) และ LD_{50} (Lethal Dose 50%) เป็นต้น

Lethal Concentration 50% หรือ LC_{50} หมายถึง ค่าความเข้มข้นของสารที่ทำให้เป็นสัตว์ทดลองตายลงร้อยละ 50 สารแต่ละชนิดมีช่วงของความเข้มข้นหรือปริมาณของสารที่จะทำให้เกิดพิษต่อร่างกายของแต่ละสิ่งมีชีวิตในระดับที่แตกต่างกันออกไป ในสารที่มีค่า LC_{50} ต่ำ แสดงถึงความ เป็นพิษต่อสัตว์ทดลองสูงแม้สัมผัสปริมาณเพียงเล็กน้อย โดยทั่วไปแล้วหากต้องการแสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณสารและการตอบสนองของสัตว์ทดลอง (Dose-response curve) สามารถหาได้จากการเขียนกราฟระหว่างค่าร้อยละการตายของสัตว์ทดลอง (% Mortality หรือ % Response) และค่าความเข้มข้นของสาร (Concentration หรือ Dose) ซึ่งกราฟที่ได้มีลักษณะของ กราฟอยู่ในรูป Symmetric sigmoid curve หรือเรียกว่า S curve ดังแสดงในภาพที่ 2-20



ภาพที่ 2-20 ปริมาณสารและการตอบสนองของสัตว์ทดลอง (Dose-response)

(Finney, 1971)

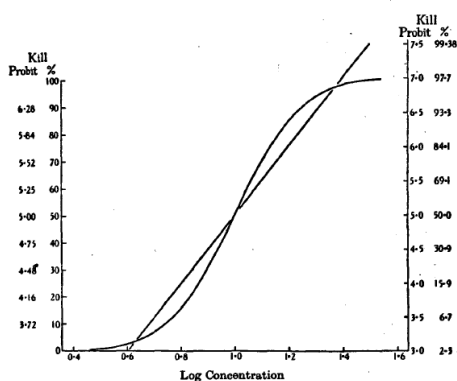
จากกราฟ Dose-response หากวัดร้อยละการตายที่ 50 ว่าตรงกับความเข้มข้นของสารที่ ปริมาณเท่าไรแล้วก็จะทราบปริมาณสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตายที่ร้อยละ 50 หรือ LC_{50} ได้ แต่การ หาค่า LC_{50} จากกราฟนั้นอาจเกิดความผิดพลาดเนื่องจากค่าอัตราการตายไม่ได้อยู่บนเส้นตรง

ที่ลากต่อกันเลยทีเดียว (กราฟมีลักษณะเป็น S curve) จึงก่อเกิดความแปรปรวนได้ง่าย จึงได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่า LC_{50} โดยอาศัยการวิเคราะห์จากสมการเส้นตรง (Regression) มาร่วมวิเคราะห์ด้วย

วิธีวิเคราะห์หาค่า LC_{50} ที่นิยมใช้ในปัจจุบันเสนอโดย Finney (1971) คือการวิเคราะห์แบบโพรบิต (Probit analysis) โดยข้อดีของการวิเคราะห์แบบโพรบิตคือ มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง และยังสามารถคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นของข้อมูล (95% Fiducial confidence interval) และค่าความชันของข้อมูล (Slope) ได้อีกด้วย การวิเคราะห์แบบโพรบิต (Probit analysis) จะปรับค่าความเข้มข้นของสารให้อยู่ในรูปของลอการิทึม (Log concentration) และปรับค่าร้อยละการตายของสัตว์ทดลองให้อยู่ในรูปของร้อยละการตายแบบโพรบิต (% Mortality Probit) ด้วยการแปลงค่าร้อยละเป็นเลขโพรบิต ดังแสดงในตารางที่ 2-3 เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารและร้อยละการตายของสัตว์ทดลองที่ปรับเรียบร้อยแล้วมาพล็อตเป็นกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์จะเห็นได้ว่ากราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 2-21 ซึ่งความสัมพันธ์ดังที่แสดงนี้สามารถคำนวณออกมาในรูปของสมการเส้นตรงได้ (ภาคผนวก ง)

ตารางที่ 2-3 การแปลงค่าร้อยละการตายเป็นร้อยละการตายแบบโพรบิต (Finney, 1971)

Percentage	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.2	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
%	0.00	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09



ภาพที่ 2-21 ผลของการแปลงค่าร้อยละการตายเป็นร้อยละการตายแบบโพรบิท
(Finney, 1971)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Schloder และ D'Croz (2004): ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและธาตุอาหารไนเตรตต่อการตอบสนองในปะการังแบบโขดและปะการังแบบกิ่งก้าน ซึ่งปะการังที่ใช้ในการศึกษาคือปะการังโขดชนิด *Porites lobate Dana* และปะการังแบบกิ่งก้านชนิด *Pocillopora damicornis* เมื่อเติมธาตุอาหารไนเตรตที่ความเข้มข้น 16.6-26.5 ไมโครโมลต่อลิตร (232.4-371 $\mu\text{g-N/L}$) พบว่าปะการังทั้งสองชนิดมีปริมาณสาหร่ายซูแซนเทลลีและคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อของปะการังเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ (29.9 องศาเซลเซียส) พร้อมทั้งเติมธาตุอาหารไนเตรต กลับพบว่าปะการังทั้งสองชนิดมีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีในเนื้อเยื่อของปะการังลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว พบว่าปะการังโขดมีปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำได้ (Soluble protein) ลดลง อันแสดงถึงสุขภาพของปะการัง (โฮสต์, host) มีสุขภาพเสื่อมลงด้วย ผลการศึกษาสรุปได้ว่าปะการังแบบกิ่งก้านชนิด *Pocillopora damicornis* ตอบสนองต่อธาตุอาหารไนเตรตเป็นหลัก ในขณะที่ปะการังโขด ตอบสนองต่ออุณหภูมิเป็นหลัก และปะการังโขดมีความต้านทานต่ออุณหภูมิและการเติมธาตุอาหารไนเตรตมากกว่าปะการังชนิด *Pocillopora damicornis*

Siebeck และคณะ (2006): ได้ศึกษาการติดตามการฟอกขาวในปะการังด้วยแผ่นเทียบสีและพัฒนาแผนภูมิที่ใช้ในการเปรียบเทียบสีของปะการัง เพื่อประเมินสถานะการฟอกขาวในปะการัง โดยมีจุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อหาวิธีการประเมินสุขภาพปะการังที่สะดวก รวดเร็ว และมีราคาไม่แพง โดยได้จำลองสถานะการฟอกขาวในปะการัง 5 ชนิด ซึ่งปะการังจำนวน 4 ใน 5 ชนิดนี้ได้ใช้เป็นตัวแทนสี 4 แถบสีบนแผนภูมิปะการัง โดยปะการังที่นำมาศึกษาได้แก่ *Pocillopora damicornis*, *Montipora digitate*, *Stylophora pistillata* *Platygyra daedalea* และปะการังเขากวางชนิด *Acropora aspera* จากนั้นจำลองการฟอกขาวในปะการังด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียส ในทุกวัน (เป็นระยะเวลา 4 วัน) ไปจนถึงอุณหภูมิระดับสูง 32 องศาเซลเซียส (ระดับปกติ 28

องศาเซลเซียส) ติดตามการเปลี่ยนสีของปะการังด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่าย หาความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซลเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อปะการัง การวิเคราะห์ภาพถ่ายปะการังสามารถทำได้จากติดตามระดับสี (Hue) ความเข้มสี (Saturation) และความสว่าง (Brightness) ของภาพถ่ายปะการัง จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างสีที่เปลี่ยนไปของปะการังกับความหนาแน่นสาหร่ายซูแซลเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเนื้อเยื่อของปะการัง ผลการศึกษาพบว่าในปะการังที่เกิดฟอกขาวจากการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิที่มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซลเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเนื้อเยื่อของปะการังลดลง และในการวิเคราะห์ภาพถ่ายของปะการังฟอกขาวนั้นพบว่าภาพมีความสว่างเพิ่มขึ้น มีความเข้มสีลดลง และมีระดับสีคงที่ ดังนั้นจึงนำผลการศึกษาที่ได้ไปพัฒนาแผนภูมิปะการังโดยแทนแต่ละแถบสีของแผนภูมิด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษคือ b c d และ e และในแต่ละแถบสีประกอบด้วยสี 6 ระดับสี ตั้งแต่ระดับ 1-6 เรียงจากความเข้มสีน้อยไปมาก และเมื่อนำแผนภูมิปะการังไปให้ผู้ใช้งานทั่วไปได้ลองนำไปใช้งานจริง พบว่าการประเมินสีปะการังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 1 ระดับสี

Nakano, Tsuchiya, Rungsupa และ Kiyoshi Yamazato (2009): ได้ศึกษาอิทธิพลของน้ำท่วมในฤดูฝนต่อสังคมปะการังรอบเกาะค้างคาว อ่าวไทยตอนใน ประเทศไทย ในเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ปี 1995 ที่เกาะค้างคาวเป็นฤดูฝนที่เกิดฝนตกหนักที่สุดในรอบ 15 ปี ทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำครั้งท่วมใหญ่ น้ำจืดปริมาณมากจึงไหลลงสู่ทะเลอ่าวไทย จึงได้ทำการสำรวจภาคสนามหลังเหตุการณ์ดังกล่าวพบว่าน้ำทะเลบริเวณเกาะค้างคาวมีความเค็มลดลงถึง 23 psu ที่ความลึก 3 เมตร และ 25 psu ที่ความลึก 5 เมตร ภายหลังเกิดฝนตก โดยมีปะการังที่ศึกษาทั้งหมด 9 ชนิด โดย 2 ชนิดจากปะการังที่ศึกษา ได้แก่ ปะการังเขากวางชนิด *Acropora formasa* และปะการังโขดชนิด *Porites lutea* ผลจากการลงพื้นที่สำรวจบริเวณเกาะค้างคาวพบว่าปะการังเขากวางและปะการัง *Pocillopora damicornis* เกิดการฟอกขาวและพบโคลินบางส่วนตายลง ในขณะที่ปะการังโขดซึ่งเป็นปะการังที่พบมากในบริเวณไม่แสดงอาการใดๆ และเมื่อนำปะการังโขดไปศึกษาผลกระทบจากความเค็มในช่วงต่างๆแล้วพบว่าปะการังโขดมีชีวิตอยู่ได้ 5 วัน หลังสัมผัสความเค็มที่ 17 psu และที่ความเค็ม 20 psu ปะการังโขดเกิดการฟอกขาวภายในเวลา 7 วัน พบว่าความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทะเลเพิ่มขึ้นถึง 2 เท่าจากเดิม (ความเค็มในระดับปกติ 28 psu) สามารถสรุปได้ว่าน้ำจืดปริมาณมากที่ไหลลงสู่ทะเลทำให้ความเค็มลดลงนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อชุมชนปะการังรอบเกาะค้างคาว นอกจากนั้นแล้วพบว่าปะการังโขดมีกลไกการป้องกันตัวจากระดับความเค็มที่ลดลงที่ดี

Faxneld และคณะ (2010): ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิ การลดลงของความเค็ม และการเติมธาตุอาหาร ต่อระบบเมตาบอลิซึมในปะการังงานชนิด *Turbinaria mesenterina* โดยอุณหภูมิ น้ำทะเลที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ระดับปกติ 25 องศาเซลเซียส และระดับสูง 31 องศาเซลเซียส การเติมธาตุอาหารแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือการเติมธาตุอาหารระดับปกติที่มีความ

เข้มข้นไนเตรท 0.3 ไมโครโมลต่อลิตร ($4.2 \mu\text{g-N/L}$) และการเติมธาตุอาหารระดับสูงที่มีความเข้มข้นไนเตรท 5 ไมโครโมลต่อลิตร ($70 \mu\text{g-N/L}$) ความเค็มแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือความเค็มระดับปกติ 30 psu และความเค็มระดับต่ำ 20 psu ผลการศึกษาพบว่าปะการังจางตายภายในเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากสัมผัสสื่อน้ำทะเลระดับสูง ที่ความเข้มข้นไนเตรทระดับสูง และความเค็มระดับต่ำ ในขณะที่ปะการังจางที่สัมผัสความเข้มข้นไนเตรทระดับสูง ที่ความเค็มระดับต่ำ และอุณหภูมิ น้ำทะเลระดับปกติ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่เกิดผลต่อระบบเมตาบอลิซึมและไม่พบการตายแต่อย่างใด

Berkelmans และคณะ (2012): ได้ศึกษาค่าขีดจำกัดความเค็ม (threshold) ในปะการังเขากวาง (*Acropora spp.*) ที่อาศัยในแนวปะการังเกรตแบร์ริเออร์รีฟ (Great Barrier Reef, GBR) โดยปกติแล้วในเดือนพฤษภาคมของ GBR มีฤดูกาลคือฤดูฝน ซึ่งมักเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมจากปริมาณฝนที่ตกลงมา ทำให้น้ำจืดสะสมอยู่ที่ปากแม่น้ำปริมาณมาก โดยน้ำจืดเหล่านี้จะไหลไปยังเกาะย่อยต่างๆ ของหมู่เกาะ Keppel ได้แก่ เกาะ Halfway เกาะ Miall เกาะ Great Keppel และเกาะ North Keppel ตามลำดับ ในปี 2010-2011 จึงได้ทำการศึกษาค่าขีดจำกัดความเค็มที่ทำให้ปะการังเขากวางตาย รอบหมู่เกาะ Keppel ด้วยแบบจำลอง Dose-time response โดยเปรียบเทียบกับกราฟความถี่สะสมของความเค็มระหว่างปะการังที่สัมผัสความเค็มสูงในเกาะที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำ (เกาะ Halfway) มีร้อยละการตายต่ำกว่า 10 และปะการังที่สัมผัสความเค็มต่ำในเกาะที่ห่างออกไปจากปากแม่น้ำ (เกาะ North Keppel) มีร้อยละการตายสูงกว่า 95 พบว่าความเค็มที่ทำให้ปะการังเขากวางตายมีช่วงอยู่ระหว่าง 22-28 psu ในระยะเวลาวันที่รับสัมผัส 3-16 วัน

กมลพร พัฒนศิริ (2556): ได้ศึกษาความทนทานต่อความเค็มของสาหร่ายซูแซลเทลลีที่แยกจากปะการังกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*), ปะการังดอกเห็ด (*Fungia fungites*) และดอกไม้ทะเล (*Epiactis sp.*) ที่อุณหภูมิสูง โดยทำการแยกเลี้ยงเซลล์สาหร่ายซูแซลเทลลีแบบปลอดเชื้อที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิควบคุมคือ 27 องศาเซลเซียส) ในระดับความเค็ม 5 ระดับ คือ 10 15 25 28 (ควบคุม) และ 33 psu โดยทำการสู่วัดเซลล์ทุก 2 วัน เป็นเวลา 14 วัน ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่นเซลล์สาหร่ายซูแซลเทลลีที่แยกจากปะการังดอกกะหล่ำและปะการังดอกเห็ด ลดลงอย่างรวดเร็วและเซลล์ส่วนใหญ่ที่พบตายลงในวันที่ 8 ของการทดลอง เช่นเดียวกับดอกไม้ทะเลที่ระดับความเค็มต่ำ (10 15 และ 25 psu) แต่ปะการังดอกไม้ทะเลที่ระดับความเค็มปกติ (28 และ 33 psu) ความหนาแน่นเซลล์สาหร่ายซูแซลเทลลีจะค่อยๆลดลง และเซลล์ส่วนใหญ่ที่พบตายลงในวันที่ 14 ของการทดลอง จากผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าสาหร่ายซูแซลเทลลีที่แยกจากดอกไม้ทะเลมีความทนทานต่ออุณหภูมิและความเค็มมากที่สุด

Tanaka และคณะ (2014): ได้ศึกษาการสูญเสียสาหร่ายซูแซลเทลลีในปะการังที่อยู่ในน้ำทะเลอุณหภูมิสูงและการเติมธาตุอาหาร โดยปะการังที่ใช้ในการศึกษานี้คือปะการังเขากวางชนิด *Acropora tenuis* เป็นจำนวน 3 โคโลนี อุณหภูมิ น้ำทะเลที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่

ระดับปกติ 27 องศาเซลเซียส และระดับสูง 31 องศาเซลเซียส การเติมธาตุอาหารแบ่งออกเป็น 2 ระดับคือ การเติมธาตุอาหารระดับต่ำ (ระดับปกติที่พบในน้ำทะเล) และการเติมธาตุอาหารระดับสูง โดยความเข้มข้นการเติมธาตุอาหารระดับสูง ได้แก่ ไนโตรเจน 4.8 ± 1.0 ไมโครโมลต่อลิตร ($67.2 \mu\text{g-N/L}$) ไนไตร 0.11 ± 0.02 ไมโครโมลต่อลิตร แอมโมเนีย 0.14 ± 0.07 และฟอสเฟต 0.28 ± 0.04 ไมโครโมลต่อลิตร ผลการศึกษาพบว่า การเติมธาตุอาหารระดับสูง ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ปะการังเขากวางจำนวนสองในสามโคโลนีมีความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในปะการัง มากกว่าการเติมธาตุอาหารระดับต่ำที่อุณหภูมิเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส ปะการังเขากวางทั้งสามโคโลนีมีความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ถึงกระนั้นร้อยละการลดลงของความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีก็ไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งในการเติมธาตุอาหารระดับปกติและระดับสูง ดังนั้นแล้วการเติมธาตุอาหารระดับสูงไม่ได้เร่งให้เกิดการสูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลีในปะการังที่อาศัยในสภาวะแวดล้อมที่น้ำทะเลมีอุณหภูมิสูง

ศุภกาญจน์ จันทร์แดง (2558): โดยปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเกิดขึ้นจากปัจจัยของสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเค็ม หรือ ความเข้มแสง ที่เปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะในปัจจุบันที่มีปริมาณน้ำจืดไหลลงสู่ทะเลมากผิดปกติ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่ทำให้ปัจจัยสภาวะแวดล้อมมีความแปรปรวนเพิ่มมากขึ้น การศึกษาครั้งนี้ จึงศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงความเค็มแบบเรื้อรังต่อการฟอกขาวของปะการังเขากวาง *Acropora millepora* โดยการเพิ่มและลดระดับความเค็มทีละน้อย (2 psu ต่อวัน) ซึ่งพบว่าปะการังเขากวาง *A. millepora* มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มแบบเรื้อรังในช่วงแคบ เมื่อความเค็มลดลงถึง 26 psu หรือเพิ่มขึ้นถึง 34 psu ปะการังแสดงลักษณะของการหลุดลอกของเนื้อเยื่อ (Tissue sloughed-off) และเมื่อนำปะการังที่แสดงลักษณะดังกล่าวไปฟื้นตัวในทะเล พบว่าปะการังไม่สามารถฟื้นตัวได้ ซึ่งแตกต่างกับปะการังที่แสดงลักษณะของสีที่ซีดเมื่อการลดหรือเพิ่มความเค็มในระดับที่ต่ำกว่า ซึ่งเมื่อนำปะการังเหล่านี้ไปฟื้นตัวในทะเลพบว่า ปะการังทั้งหมดที่มีสีซีดนั้น สามารถฟื้นตัวได้ร้อยละ 100

Kuanui และคณะ (2015): ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเจริญเติบโต การอยู่รอด และประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของปะการัง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ปะการังดอกกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*) ปะการังเขากวาง (*Acropora millepora*) และปะการังสมอง (*Platygyra sinensis*) ที่มีอายุ 6 และ 18 เดือน โดยให้ปะการังสัมผัสกับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 5 อุณหภูมิ คือ 18 23 28 (อุณหภูมิปกติ) 33 และ 38 องศาเซลเซียส และระดับความเค็มที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 22 27 32 (ความเค็มปกติ) 37 และ 42 psu ผลการศึกษาพบว่าปะการังทั้ง 3 ชนิดไม่เจริญเติบโต อยู่ไม่รอด และมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิ 18 23 33 และ 38 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ปะการังสามารถเจริญเติบโตและ

อยู่รอดได้ เนื่องจากปะการัง *P. sinensis* มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มสูงสามารถอยู่รอดและเจริญเติบโตได้ในระดับความเค็มที่ 22 27 32 และ 37 psu ส่วนปะการังอีก 2 ชนิดสามารถเจริญเติบโตและอยู่รอดได้ที่ระดับความเค็ม 32 psu เท่านั้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อความเครียดของปะการังมากกว่าความเค็ม

Chow และคณะ (2016): ได้ทำการประเมินสุขภาพขั้นพื้นฐานของปะการังโดยการประเมินปริมาณการฟอกขาวหรือการเปลี่ยนสีของปะการังที่เกี่ยวข้องกับร้อยละของความขาว ด้วยการถ่ายภาพปะการังดอกไม้ทะเล จากนั้นนำภาพถ่ายไปเปลี่ยนเป็นสีขาวดำ แล้วใช้เทคนิควิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์ ปะการังที่ฟอกขาวโดยสมบูรณ์จะถูกนำไปประมาณเป็นร้อยละของความขาวซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าร้อยละ 100 การทดลองนี้ได้ใช้ปะการังดอกไม้ทะเลในการทดลอง ซึ่งผลการทดลองพบว่าความรุนแรงของร้อยละความขาวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงลบกับความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลีและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ที่เชื่อมโยงกับระดับการฟอกขาวของปะการัง ซึ่งให้เห็นว่าวิธีการนี้ควรจะมีการติดตามตรวจสอบซ้ำเพิ่มเติมในแต่ละโคโลนีของปะการังเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เด่นชัดในสี ซึ่งจะเป็นการประเมินสุขภาพขั้นพื้นฐานของปะการัง นอกจากนี้ร้อยละของความขาวที่ใช้ในการอ้างอิงของปะการังที่มีชนิดแตกต่างกันสามารถทำให้เป็นมาตรฐานได้ สำหรับใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อระบุระดับความรุนแรงร้อยละของความขาวที่มีความเชื่อมโยงกับการฟอกขาวของปะการัง ดังนั้นวิธีการนี้ควรจะเป็นเครื่องมือที่ง่ายและแม่นยำในการประเมินสุขภาพของปะการังได้อย่างรวดเร็ว

บุษปกรณ อุดมทรัพย์ (2561): งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของแอมโมเนียและอุณหภูมิต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด โดยใช้การทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน ที่อุณหภูมิ 30 และ 33 องศาเซลเซียส ร่วมกับความเข้มข้นแอมโมเนีย 0 0.05 0.07 และ 0.1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ระยะเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ทำการทดลองความเข้มข้น 3 ซ้ำ เพื่อหาร้อยละสุขภาพและร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง ด้วยการประเมินจากแผนภูมิสุขภาพปะการัง และคำนวณค่าความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (LC_{50}) ที่เวลา 48 ชั่วโมง ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท และคำนวณร้อยละการยึดโพลีปของปะการังเขากวางและปะการังจาน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับร้อยละสุขภาพปะการัง ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 24 และ 48 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง ไม่สามารถคำนวณค่า LC_{50} ได้ เนื่องจากปะการังมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมน้อยกว่าร้อยละ 50 แต่ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เวลา 48 ชั่วโมง สามารถคำนวณค่า LC_{50} ได้เนื่องจากปะการังมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 โดยที่ผลสามารถยืนยันได้จากค่าความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลี ดังนั้นค่า LC_{50} ที่ 48 ชั่วโมงของปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด ในการศึกษาครั้งนี้ มีเท่ากับ 0.043 0.075 และ 0.054 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังเดือน

มีนาคม กรกฎาคม และธันวาคม ปี 2560 พบว่าอุณหภูมิน้ำทะเลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 29.07 ± 1.23 องศาเซลเซียส และปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ยเท่ากับ 0.063 ± 0.007 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร โดยค่ามาตรฐานแอมโมเนียมีค่าเท่ากับ 0.07 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

2.11 สรุปแนวคิดงานวิจัย

ปะการังที่สัมผัสความเค็มที่ลดลงต่ำกว่าระดับปกติ (ระดับปกติ 28-32 psu) จะมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการสัมผัส ที่ความเค็มระดับต่ำกว่าจะเกิดการตอบสนองของปะการัง (การฟอกขาวและการตาย) ในระยะเวลาอันสั้น ตรงกันข้ามกับความเค็มระดับสูงกว่าจะใช้ระยะเวลาเวลานานมากขึ้นต่อการเกิดการตอบสนองของปะการัง โดยการตอบสนองของปะการังต่อความเค็มที่ลดลงมีสัญญาณบ่งบอกสามารถสังเกตได้จาก การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทะเล และการฟอกขาวของปะการัง (สีของปะการังซีดขาว) จากการศึกษาหลายงานวิจัยพบว่า ปะการังโขดมีความทนทานต่อความเค็มที่ลดลงมากกว่าปะการังเขากวางโดย ปะการังโขดมีชีวิตอยู่ได้ 5 วัน หลังสัมผัสความเค็มที่ 17 psu และที่ความเค็ม 20 psu ปะการังโขดเกิดการฟอกขาวภายในเวลา 7 วัน แต่ในปะการังเขากวาง *A. millepora* มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มแบบเรื้อรังในช่วงแคบ เมื่อความเค็มลดลงถึง 26 psu หรือเพิ่มขึ้นถึง 34 psu โดยปะการังเขากวางจะแสดงแสดงลักษณะของการหลุดลอกของเนื้อเยื่อ (Tissue sloughed-off)

ปะการังที่ได้รับไนเตรตระดับสูงมากกว่า $67.2 \mu\text{g-N/L}$ (ระดับปกติ $2.66 \mu\text{g-N/L}$) หรือได้รับการเติมธาตุอาหารระดับสูง (อันประกอบด้วยไนเตรต $67.2 \mu\text{g-N/L}$ ไนโตรเตรต 0.11 ± 0.02 ไมโครโมลต่อลิตร แอมโมเนีย 0.14 ± 0.07 และฟอสเฟต 0.28 ± 0.04 ไมโครโมลต่อลิตร) จะมีปริมาณสาหร่ายซูแซนเทลลีและคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อของปะการังเพิ่มขึ้น จากการศึกษาจากงานวิจัยอื่นพบว่าปะการังโขดมีความทนทานต่อการเติมธาตุอาหารไนเตรตมากกว่าปะการังชนิด *Pocillopora damicornis* และในปะการังงานพบว่าตายภายในเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากสัมผัสอุณหภูมิน้ำทะเลระดับสูง (31 องศาเซลเซียส) ที่ความเข้มข้นไนเตรตระดับสูง ($70 \mu\text{g-N/L}$) และความเค็มระดับต่ำ (20 psu) ในขณะที่ปะการังงานที่สัมผัสความเข้มข้นไนเตรตระดับสูง ($70 \mu\text{g-N/L}$) ที่ความเค็มระดับต่ำ (20 psu) และอุณหภูมิน้ำทะเลระดับปกติ (25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่เกิดผลต่อระบบเมตาบอลิซึมและไม่พบการตายแต่อย่างใด

ในการศึกษาการเกิดปะการังฟอกขาวสามารถศึกษาได้ด้วยการวิเคราะห์ภาพถ่ายของปะการัง โดยพบว่าปะการังที่กระตุ้นให้เกิดการฟอกขาวนั้นมีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเนื้อเยื่อของปะการังลดลง ทำให้สีของปะการังค่อยๆซีดขาวมากขึ้น เมื่อนำภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงสีของปะการังฟอกขาวไปวิเคราะห์ภาพถ่ายพบว่าภาพมีความสว่างเพิ่มขึ้น มีความเข้มสีลดลง และมีระดับสีคงที่ ดังนั้นแล้วระดับการฟอกขาวของปะการังที่มากขึ้นสัมพันธ์กับ

ความหนาแน่นของสารละลายซูแซนเทลลีและความเข้มข้นของคลอโรฟิลล์ เอ ที่ลดลง โดยสามารถใช้การวิเคราะห์ภาพถ่ายของปะการังเป็นเครื่องมือที่ใช้สังเกตการเกิดการฟอกขาวในปะการังได้

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการต่อยอดองค์ความรู้จาก บุษปภรณ์ อุดมทรัพย์ (2561) เพื่อศึกษาปัจจัยที่ต่างออกไป เช่น ความเค็มร่วมกับไนเตรทที่ส่งผลต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวางปะการังจาน และปะการังโขด โดยประเมินสุขภาพของปะการังโดยใช้แผนภูมิสุขภาพปะการังควบคู่กับความหนาแน่นสารละลายซูแซนเทลลีที่พบในตู้ทดลอง และการยึดของโพลีของปะการัง พร้อมทั้งทดสอบความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (LC₅₀) ของไนเตรทต่อปะการังด้วยวิธีโพรมิท

นอกจากนั้นแล้วในการศึกษานี้ได้ทำการส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์ขอข้อมูลของเกาะสีชังไปยังฝ่ายเทศบาลตำบลเกาะสีชัง เพื่อที่จะนำข้อมูลของเกาะสีชังมาใช้เป็นแนวทางในการประเมินแหล่งกำเนิดมลพิษบนเกาะสีชังและใช้ประกอบการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลโดยรอบเกาะสีชัง ซึ่งได้ทำการขอข้อมูลของเกาะสีชังตั้งแต่ปี 2555-2562 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลประชากร ได้แก่ จำนวนประชากรทั้งหมด จำนวนประชากรแฝง จำนวนหลังคาเรือน และจำนวนนักท่องเที่ยว (รายเดือน)
- ข้อมูลสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (รายเดือน) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุด (รายเดือน) และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่ำสุด (รายเดือน)
- ข้อมูลการประปา ได้แก่ จำนวนครัวเรือนที่ใช้ประปา ปริมาณน้ำประปาที่ใช้ (รายเดือน) ปริมาณน้ำประปาที่ผลิต (รายเดือน) รายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำประปา (รายเดือน)
- ข้อมูลน้ำเสีย ได้แก่ ปริมาณน้ำเสีย (รายเดือน) รายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียก่อนบำบัด (รายเดือน) และรายงานผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังบำบัด (รายเดือน)
- การใช้ปุ๋ย ได้แก่ รายงานการนำเข้าปุ๋ยเคมี และรายงานการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี

บทที่ 3

แผนการทดลองและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรตต่อระดับสุขภาพปะการังสามชนิด ได้แก่ ปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด เป็นตัวแทนของปะการังที่มีโครงสร้างแบบกิ่งก้าน แบบแผ่น และแบบก้อน ในการวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของไนเตรต 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ และศึกษาความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu โดยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรต คลอโรฟิลล์ เอ และความหนาแน่นสาหร่ายแซนเทลลี ในตู้ทดลอง ปะการังทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษานำมาจากโรงอนุบาลปะการัง และทำการทดลองในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาปะการัง ของสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี โดยทำการทดลอง

การศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรตแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด

จากนั้นประเมินระดับสุขภาพปะการังด้วยแผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart) พร้อมกับถ่ายภาพปะการังเพื่อนำมาวิเคราะห์ร้อยละสุขภาพและสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง ความเข้มข้นของไนเตรตที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (Lethal Concentration: LC_{50}) ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) ร้อยละการยึดของโพลีปของปะการัง รวมทั้งใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสาหร่ายแซนเทลลีกับร้อยละสุขภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยึดโพลีปกับร้อยละสุขภาพปะการัง และศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังในปี 2559-2561 จำนวน 3 จุด จุดที่ 1 หาดถ้ำพัง เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษจากแหล่งท่องเที่ยว และจุดที่ 2 ท่าเวทวงษ์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษจากชุมชน และจุดที่ 3 สะพานอัมรินทร์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ไม่มีมลพิษปนเปื้อนโดยตรง จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ โดยมีพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) และปริมาณไนเตรต โดยแผนการดำเนินงานวิจัยที่กล่าวมานั้นแสดงไว้ใน ภาพที่ 3-22 และตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยแสดงไว้ตารางที่ 3-4



ภาพที่ 3-22 แผนดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปร	พารามิเตอร์
ตัวแปรอิสระ	- ชนิดของปะการัง ได้แก่ ปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด - ความเข้มข้นของไนเตรท 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/L}$ - ความเค็มของน้ำทะเล 15 20 25 และ 30 psu
ตัวแปรตาม	- สุขภาพของปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด
ตัวแปรควบคุม	- ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง 4 ลิตร - ความเป็นกรดต่างของน้ำทะเล (pH 8.1) - อุณหภูมิน้ำทะเลที่ 30 psu - ช่วงเวลาที่เก็บผลการทดลอง (ตอนกลางวัน) - ปริมาณออกซิเจนละลาย 6 mg/l

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 เครื่องมือ

เครื่องชั่งสารเคมีทศนิยม 4 ตำแหน่ง (OHAUS)
กล้องดิจิทัล (Olympus stylus TG-4)
pH Meter (Horiba LAQUAtwin)
Salinometer (Horiba LAQUAtwin)
Conductivity Meter (Horiba LAQUAtwin)
Nitrate Meter (Horiba LAQUAtwin)
เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Absorption spectrophotometer)

3.2.2 อุปกรณ์

กระดาษชั่งสารเคมี (Lab paper)
ช้อนตักสาร (Spatula)
แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)
บีกเกอร์ (Beaker)
กระบอกตวง (Cylinder)
ขวดแก้วสีชา (Amber glass bottle)
ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 50 100 500 และ 1000 มิลลิลิตร
ปิเปต (Pipet) ขนาด 1 5 และ 10 มิลลิลิตร

กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)

ขวดลดความดัน (Suction flask)

Reduction column

Cadmium granule

หลอดทดลอง (test tube)

สไลด์นับเซลล์แบบ Sedgewick-Rafter

แผ่น Cover glass

ที่พ่นลม (Airbrush)

กระดาษกรอง GF/C 0.2 ไมครอน

หลอดเซนติฟิว (Centrifuge Tube)

ขวดพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำ

สายยาง

หัวฟู่ให้อากาศ

ท่อพีวีซี

3.2.3 สารเคมี

โพแทสเซียมไนเตรท (Potassium nitrate)

แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbonate)

กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)

ซัลฟานิลาไมด์ (Sulfanilamide)

เอ็น-วัน-แนพทิลเอทิลีนไดเอมีน ไดไฮโดรคลอไรด์

(N-(1-Naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride)

โซเดียมไนเตรท (Sodium nitrate)

แอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)

แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide)

กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)

คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper(II) sulfate)

น้ำปราศจากไอออน (de-ionized water)

อะซิโตน (Acetone)

3.3 การเตรียมตัวอย่างปะการังและน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างปะการัง

ปรับสภาพปะการัง นำโคลนปะการังทั้ง 3 ชนิด คือ ปะการังเขากวาง ปะการังโขด และปะการังจาน ที่มีขนาดของโคลนไม่ต่ำกว่า 15 เซนติเมตร มาปรับสภาพในบ่ออนุบาลปะการังที่ติดตั้งท่ออากาศและมีระบบไหลเวียนของน้ำทะเลกรอง เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ก่อนนำปะการังมาทดลอง

การคัดเลือก นำโคลนปะการังจากบ่ออนุบาลมาตัดที่บริเวณส่วนปลายกิ่งให้ได้ความยาวของปะการังโดยประมาณ 3-4 เซนติเมตร จากนั้นนำปะการังที่ตัดแล้วมาเทียบระดับสีกับแผนภูมิสุขภาพปะการัง ปะการังที่ผ่านการคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลองต่อไปจะต้องมีสุขภาพดี หรือระดับสีเริ่มต้นเป็นระดับสีที่ 6 จากนั้นนำปะการังมายึดบนฐานตั้งพลาสติก โดยในการทดลองแต่ละครั้งจะใช้ปะการังชนิดเดียวกันทั้งหมด นำปะการัง 3 ชิ้น มาติดตั้งลงบนฐานตั้งพลาสติกด้วยดินน้ำมันสีขาว และเว้นระยะระหว่างปะการังโดยประมาณ 4 เซนติเมตร เพื่อให้สะดวกต่อการสังเกต

3.3.2 การเตรียมน้ำทะเล

ในการปรับสภาพโคลนปะการังรวมถึงการทดลองต่างๆในการศึกษานี้ ใช้น้ำทะเลในทดลอง ดังนั้นน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองจะต้องมีความสะอาด และไม่มีสารแขวนลอย โดยน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบริเวณหน้าสถานีวิจัยวิทยาศาสตร์ทางทะเลและศูนย์ฝึกนิสิต เกาะสีชัง เนื่องจากเป็นบริเวณที่น้ำทะเลมีความสะอาดมากที่สุดและใกล้สถานีวิจัยมากที่สุด จากนั้นนำน้ำทะเลปริมาตร 1000 ลิตร มากรองทราย (Sand filter) และกรองผ่านผ้ากรองขนาดรูพรุน 20 ไมครอน เพื่อกำจัดสารแขวนลอยขนาดใหญ่ออกไป น้ำทะเลที่ผ่านการกรองจะถูกเก็บไว้ในถังซีเมนต์ที่มีการเติมอากาศไว้ตลอดเวลา

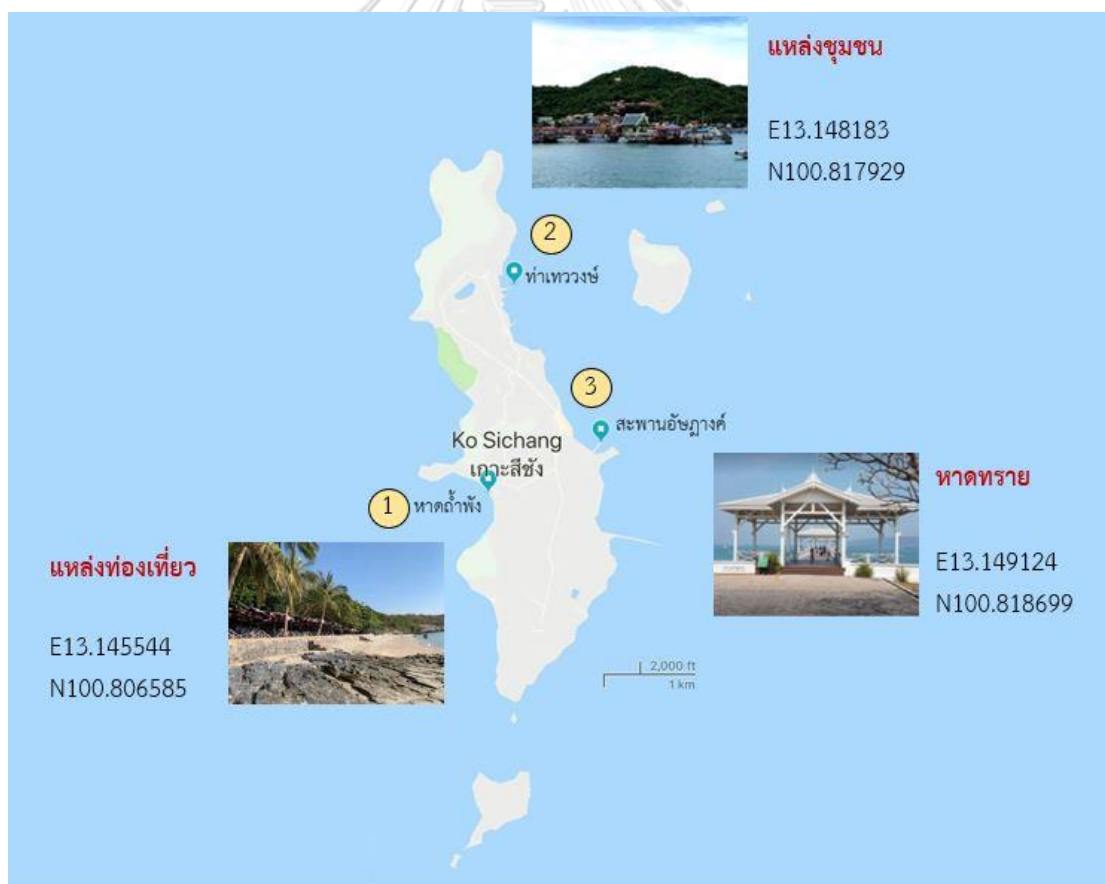
3.4 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชัง

3.4.1 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของคุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2559-2561 (ภาคผนวก ก) เพื่อใช้ในการกำหนดคุณภาพน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองให้มีค่าใกล้เคียงน้ำทะเลรอบเกาะสีชังให้มากที่สุดและกำหนดไว้เป็นค่าคงที่ตลอดการทดลอง และใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็มและปริมาณไนเตรท จากข้อมูลพบว่าน้ำทะเลรอบเกาะสีชังมีค่าเฉลี่ยความเป็นกรดต่างของน้ำทะเลอยู่ที่ 8.1 และอุณหภูมิน้ำทะเล 30 องศาเซลเซียส

3.4.2 การศึกษาคุณภาพน้ำรอบพื้นที่เกาะสีชัง

ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณภาพน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชังในเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ปี 2559-2561 โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด ดังแสดงในภาพที่ 3-23 และแสดงพิกัดในตารางที่ 3-5 โดยจุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1 หาดถ้ำพัง เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษ เป็นชายหาดที่มีนักท่องเที่ยวมาพักผ่อนมาก มีร้านค้าและร้านอาหารริมชายหาด และมีกิจกรรมเล่นน้ำ จุดที่ 2 ท่าเทววงษ์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษ เป็นบริเวณที่เรือขนส่งสินค้าจอดเทียบท่าและมีชุมชนอยู่หนาแน่น และจุดที่ 3 สะพานอัญญาศร์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ไม่มีมลพิษบนเป็อนโดยตรง เป็นชายหาดที่มีโขดหิน ก้อนหินขรุขระกระจายอยู่ใต้น้ำมาก และไม่มีกิจกรรมเล่นน้ำ ทำให้น้ำทะเลบริเวณนี้มีความสะอาดมาก โดยมีพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) และปริมาณไนเตรทด้วยวิธี Cadmium Reduction Method ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์แบบ Colorimetric Method (Strickland และคณะ, 1972)



ภาพที่ 3-23 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเกาะสีชัง

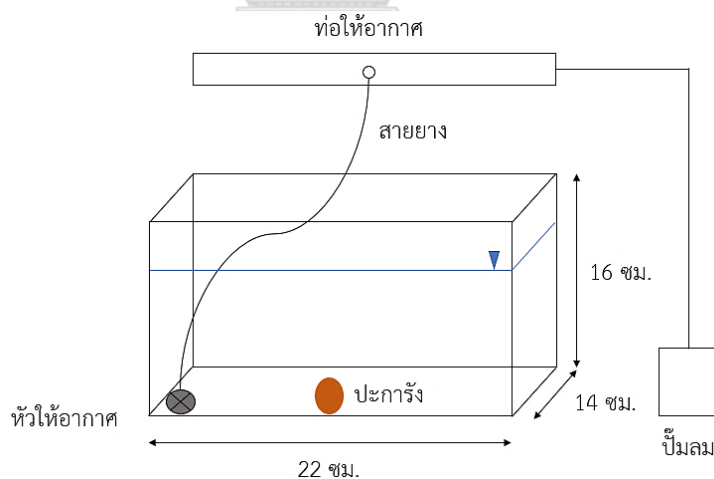
ตารางที่ 3-5 จุดเก็บตัวอย่างเกาะสีซัง

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ละติจูด	ลองจิจูด
1	หาดถ้ำพัง	13.145544	100.806585
2	ท่าเทววงษ์	13.148183	100.817929
3	สะพานอัมพวัน	13.149124	100.818699

3.5 วิธีดำเนินการวิจัย

3.5.1 ศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด

1. ติดตั้งตู้ทดลอง นำตู้กระจกความจุ 6 ลิตร ที่มีความกว้างxยาวxสูง คือ 14x22x16 เซนติเมตร จำนวน 16 ตู้ วางลงบนชั้นทดลอง นำน้ำทะเลที่ผ่านการกรองมาปรับระดับความเค็มด้วยน้ำสะอาดกรองจนได้ระดับความเค็มเป็น 15 20 25 และ 30 psu ตามลำดับ จากนั้นเติมน้ำทะเลที่ปรับระดับความเค็มแล้วปริมาตร 4 ลิตร เติมลงในตู้ทดลอง ติดตั้งระบบการเติมอากาศโดยการต่อสายออกซิเจนกับหัวทรายวางลงในแต่ละตู้ทดลอง โดยวางหัวทรายในตำแหน่งเดียวกันและปรับอัตราการไหลของอากาศให้เท่ากันทุกตู้ทดลอง แสดงในภาพที่ 3-24 และภาคผนวก จ



ภาพที่ 3-24 ตัวอย่างชุดทดลอง

2. ปรับระดับความเข้มข้นไนเตรท ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) เข้มข้น โดยนำมาปิเปตลงในตู้ทดลองเพื่อให้ได้ความเข้มข้นไนเตรท 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ

3. นำปะการังที่ติดตั้งฐานยึดแล้วจำนวน 3 ชั้นปะการัง ใส่ลงในตู้ทดลอง โดยทำการทดลองครั้งละหนึ่งชนิดปะการัง

4. บันทึกภาพ การวัดอุณหภูมิของน้ำด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ความเป็นกรดต่างด้วย pH Meter ความเค็มด้วย Salinometer และเก็บตัวอย่างน้ำ 200 มิลลิลิตรเพื่อนำมาหาความเข้มข้นไนเตรทเริ่มต้น จดบันทึกสีและบันทึกภาพปะการังทุกๆ 24 ชั่วโมง

5. เมื่อครบทุกๆ 24 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในตู้ทดลองและเปลี่ยนน้ำปะการังใหม่ โดยในแต่ละตู้ทดลองจะเก็บน้ำตัวอย่างจำนวน 2 ขวด ขวดละ 1 ลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ไนเตรท วิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ และหาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีในน้ำทะเล จากนั้นปรับปริมาตรน้ำทะเลให้ครบ 4 ลิตร ตามเดิม ด้วยการเติมน้ำทะเลด้วยความเข้มข้นเดิมลงไปและปรับความเข้มข้นไนเตรทให้คงที่โดยการปิเปตสารละลายสต็อกโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) เข้มข้นลงในตู้ทดลองด้วยปริมาตรร้อยละ 50 ของปริมาตรไนเตรทเริ่มต้น

หมายเหตุ การบันทึกภาพปะการังด้วยกล้องถ่ายภาพต้องควบคุมตำแหน่งการวางกล้องสภาพแสง และหมอตการถ่ายภาพให้คงที่ การควบคุมตำแหน่งในการวางกล้องให้คงที่ทำได้โดยวางกล้องขนานกับตู้ทดลอง และห่างจากตู้ทดลองเป็นระยะ 15 เซนติเมตร การควบคุมสภาพแสงให้คงที่ทำได้โดยใช้แสงจากโคมไฟช่วยในการถ่ายภาพ โดยวางโคมไฟขนานกับตู้ทดลอง และห่างจากตู้ทดลอง 15-20 เซนติเมตร การควบคุมหมอตการถ่ายภาพให้คงที่โดยการเลือกหมอตถ่ายภาพเดียวกันตลอดการทดลอง

3.6 การประเมินระดับสุขภาพปะการัง

3.6.1 การประเมินระดับสุขภาพจากแผนภูมิสุขภาพปะการัง (Coral Health Chart)

ทำการถ่ายภาพและประเมินสุขภาพของปะการังโดยใช้แผนภูมิสุขภาพปะการัง หรือ Coral Health Chart (CoralWatch, 2002) จากภาพที่ 2-19 แถบสีที่แสดงบนแผนภูมิมิทั้งหมด 6 ระดับ เรียงลำดับจาก 1 ถึง 6 โดยสีระดับที่ 1 หมายความว่าปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรม ไปยังสีระดับที่ 6 หมายความว่าปะการังมีสุขภาพดีมาก จากนั้นเปลี่ยนระดับสุขภาพของปะการังจากแผนภูมิสุขภาพให้เป็นร้อยละของสุขภาพและร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ร้อยละของสุขภาพและร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง

ระดับสุขภาพ	สุขภาพ	ร้อยละของสุขภาพ	ร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรม
6	ดีมาก	100.00	0.00
5	ดี	83.33	16.67
4	ปานกลาง	66.67	33.33
3	พอใช้	50.00	50.00
2	แย่	33.33	66.67
1	เสื่อมโทรม	16.67	83.33

3.6.2 การประเมินระดับสุขภาพจากการยึดของโพลีปของปะการัง (Polyp activity)

นำภาพถ่ายปะการังที่ถ่ายด้วยโหมดมาโคร (Macro) มาหาร้อยละการยึดโพลีปปะการัง โดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop CC 2019 ในการเปลี่ยนภาพปะการังจากภาพสี (RGB color) ให้เป็นภาพขาวดำ (Grayscale) โดยโพลีปที่ยึดจะแสดงจุดสีขาวที่ปลายโพลีป ในภาพ Grayscale จากนั้นนับจำนวนโพลีปที่ยึดเพื่อนำมาคำนวณหาร้อยละการยึดโพลีปปะการัง (Rungsupa และคณะ, 2018) ด้วยสมการที่ 7 ดังแสดงในภาพผนวก ง โดยร้อยละการยึดของโพลีปของปะการังสามารถประเมินสุขภาพปะการังได้ตามตารางที่ 3-7

$$\text{ร้อยละการยึดโพลีปของปะการัง} = \frac{\text{จำนวนโพลีปที่ยึด}}{\text{จำนวนโพลีปทั้งหมด}} \times 100 \quad (7)$$

ตารางที่ 3-7 ร้อยละการยึดโพลีปปะการัง (Rungsupa และคณะ, 2018)

ร้อยละการยึดโพลีปปะการัง	สุขภาพ
มากกว่า 50	สุขภาพดี
25-50	แย่
ต่ำกว่า 25	เสื่อมโทรม

3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด โดยให้ทำการบันทึกภาพปะการังในตู้ทดลองที่มีระดับไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกันที่เวลา 0 ชั่วโมง และทุกๆ 24 ชั่วโมง ให้ทำการจดบันทึกสีของปะการังในเวลาต่างๆเพื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละสุขภาพและสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง และปะการังที่มีสุขภาพต่ำกว่าระดับที่ 3 หรือมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จะถูกนำมาใช้

ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC₅₀) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) (Finney, 1971) (ภาคผนวก ง)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีกับร้อยละสุขภาพและผลการวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ เอ ในปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด โดยค่าร้อยละสุขภาพและสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการังได้จากการบันทึกภาพหรือการจดบันทึกสีของปะการังที่เวลาทุกๆ 24 ชั่วโมง ค่าความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่ได้จากการหาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่พบในตู้ทดลอง (ภาคผนวก ค) และค่าการวิเคราะห์ค่าคลอโรฟิลล์ เอ ได้จากการวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำ (Strickland และคณะ, 1972) (ภาคผนวก ค)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยึดโพลีปกับร้อยละสุขภาพปะการังของปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด โดยได้จากการบันทึกภาพหรือการจดบันทึกสีของปะการังในตู้ทดลองที่มีระดับไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกันที่เวลา 0 ชั่วโมง และทุกๆ 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละสุขภาพของปะการัง ร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง และร้อยละการยึดของโพลีปของปะการัง (ภาคผนวก ง)

การศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชัง โดยศึกษาจากข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากการรวบรวม (ภาคผนวก ก) ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง ปริมาณออกซิเจนละลาย และปริมาณไนเตรท

บทประยุกต์วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ศึกษาแหล่งกำเนิดของไนเตรทบนเกาะสีชังจากข้อมูลทุติยภูมิ โดยศึกษากิจกรรมที่ทำให้เกิดไนเตรท การใช้ประโยชน์พื้นที่ เช่น พื้นที่การเกษตร แหล่งชุมชน จุดพักนักท่องเที่ยว เป็นต้น และสำรวจสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศบนเกาะสีชัง เพื่อประเมินปริมาณไนเตรทในน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกิจกรรม ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การจัดการและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในอนาคต

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังโขด และปะการังจาน

การศึกษานี้ได้ศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด ที่มีความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ และประเมินสุขภาพปะการังโดยใช้แผนภูมิสุขภาพปะการัง (CoralWatch, 2002) และทำการบันทึกภาพปะการังในตู้ทดลอง โดยทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เพื่อนำผลประเมินสุขภาพปะการังมาคำนวณหาค่าร้อยละสุขภาพและสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง โดยปะการังที่มีสุขภาพต่ำกว่าระดับที่ 3 หรือมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จะนำมาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC_{50}) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) (Finney, 1971) ซึ่งผลการศึกษาของปะการังทั้ง 3 ชนิดแสดงไว้ดังนี้

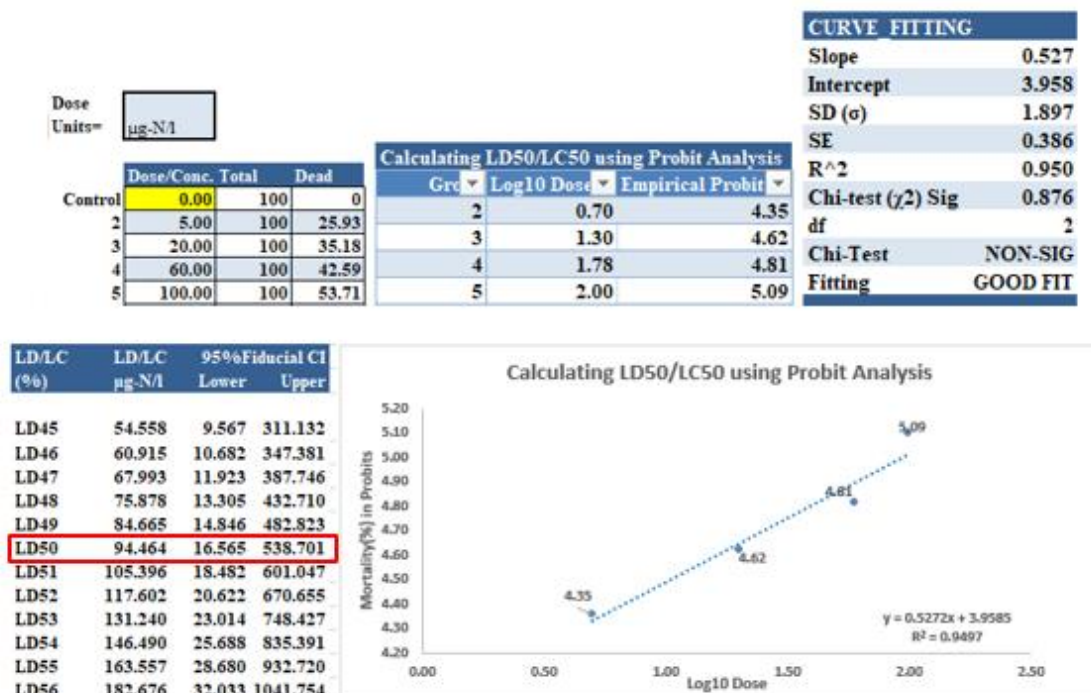
4.1.1 ปะการังเขากวาง

ผลการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังที่ความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ แสดงร้อยละสุขภาพของปะการังเขากวาง ภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-8 โดยที่ความเค็ม 15 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 46.29-74.07 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 100.00) มีระดับสุขภาพในระดับพอใช้ถึงดี ที่ความเค็ม 20 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 53.71-75.93 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับปานกลางถึงดี ที่ความเค็ม 25 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 74.07-87.04 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับดีถึงดีมาก และที่ความเค็ม 30 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 74.07-92.59 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับดีถึงดีมาก

ตารางที่ 4-8 ร้อยละสุขภาพปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$)	ร้อยละสุขภาพ					ร้อยละสุขภาพ
		0 ซม.	24 ซม.	48 ซม.	72 ซม.	96 ซม.	เสื่อมโทรม
15	5	100.00	96.29	90.74	83.33	74.07	25.93
	20	100.00	92.59	83.33	75.93	64.82	35.18
	60	100.00	90.74	79.63	64.81	57.41	42.59
	100	100.00	87.04	79.63	62.96	46.29	53.71
20	5	100.00	98.15	88.89	81.48	75.93	24.07
	20	98.15	90.74	85.18	79.63	70.37	29.63
	60	100.00	90.74	85.18	75.93	64.82	35.18
	100	98.15	87.03	79.63	68.52	53.71	46.29
25	5	100.00	100.00	92.59	90.74	87.04	12.96
	20	98.15	92.59	90.74	87.04	83.33	16.67
	60	98.15	90.74	81.48	81.48	77.78	22.22
	100	98.15	90.74	85.18	77.78	74.07	25.93
30	5	100.00	100.00	98.15	94.44	92.59	7.41
	20	98.15	92.59	88.89	87.04	83.33	16.67
	60	98.15	92.59	87.03	83.33	77.78	22.22
	100	98.15	90.74	87.04	77.78	74.07	25.93

เมื่อเปรียบเทียบความเค็มทั้ง 4 ระดับพบว่าระดับความเค็มที่มีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากที่สุดภายในเวลา 96 ชั่วโมง คือความเค็มที่ 15 psu ที่ความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/l}$ โดยมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมสูงที่สุดคือ 53.71 ซึ่งร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC_{50}) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท โดยผลการวิเคราะห์แบบโพรบิทแสดงในภาพที่ 4-25 พบว่าปะการังเขากวางที่มีความเค็ม 15 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง มีค่า LC_{50} ของไนเตรทคิดเป็น 94.46 $\mu\text{g-N/l}$



ภาพที่ 4-25 ผลการวิเคราะห์โพรบิทในการคำนวณหาค่า LC₅₀ ในปะการังเขากวาง

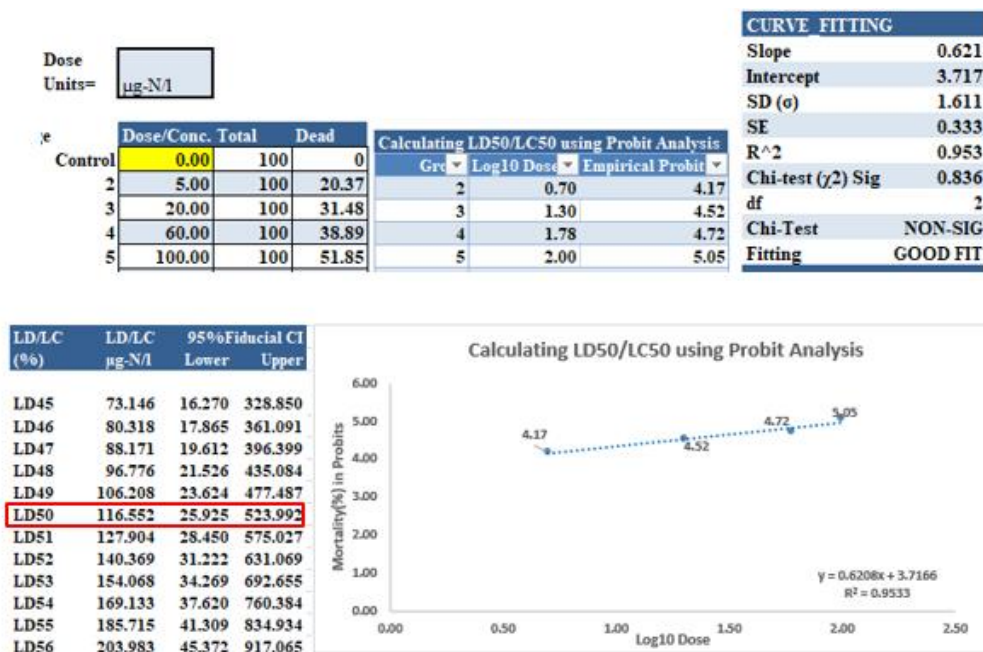
4.1.2 ปะการังจาน

ผลการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังที่ความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ แสดงร้อยละสุขภาพของปะการังจาน ภายในระยะเวลา 144 ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-9 โดยที่ความเค็ม 15 psu ที่เวลา 144 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 48.15-79.63 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับพอใช้ถึงดี ที่ความเค็ม 20 psu ที่เวลา 144 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 57.41-74.07 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับปานกลางถึงดี ที่ความเค็ม 25 psu ที่เวลา 144 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 62.96-79.63 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับปานกลางถึงดี และที่ความเค็ม 30 psu ที่เวลา 144 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 70.37-87.04 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 96.29-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับดีถึงดีมาก

ตารางที่ 4-9 ร้อยละสุขภาพปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$)	ร้อยละสุขภาพ							ร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรม
		0 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	144 ชม.	
15	5	100.00	100.00	98.15	90.74	83.33	83.33	79.63	20.37
	20	98.15	98.15	96.29	88.89	79.63	74.07	68.52	31.48
	60	98.15	98.15	96.29	85.18	77.78	74.07	61.11	38.89
	100	100.00	100.00	98.15	87.04	74.07	62.96	48.15	51.85
20	5	100.00	100.00	98.15	90.74	85.18	79.63	74.07	25.93
	20	98.15	98.15	98.15	90.74	81.48	74.07	68.52	31.48
	60	98.15	98.15	96.29	87.04	74.08	68.52	61.11	38.89
	100	100.00	100.00	94.44	81.48	74.07	62.97	57.41	42.59
25	5	100.00	100.00	100.00	94.44	88.89	85.18	79.63	20.37
	20	98.15	98.15	98.15	90.74	85.18	77.78	74.08	25.92
	60	98.15	98.15	96.29	90.74	85.18	77.78	70.37	29.63
	100	98.15	98.15	96.29	85.18	77.78	70.37	62.96	37.04
30	5	100.00	100.00	100.00	98.15	94.44	88.89	87.04	12.96
	20	100.00	100.00	100.00	98.15	90.74	87.04	79.63	20.37
	60	96.29	96.29	96.29	88.89	81.48	77.78	72.22	27.78
	100	98.15	98.15	98.15	92.59	87.03	77.78	70.37	29.63

เมื่อเปรียบเทียบความเค็มทั้ง 4 ระดับพบว่าระดับความเค็มที่มีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากที่สุดภายในเวลา 144 ชั่วโมง คือความเค็มที่ 15 psu ที่ความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/l}$ โดยมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมสูงที่สุดคือ 51.85 ซึ่งร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC_{50}) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท โดยผลการวิเคราะห์แบบโพรบิทแสดงใน ภาพที่ 4-26 พบว่าปะการังงานที่มีความเค็ม 15 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง มีค่า LC_{50} ของไนเตรทคิดเป็น 116.55 $\mu\text{g-N/l}$



ภาพที่ 4-26 ผลการวิเคราะห์โพรบิทในการคำนวณหาค่า LC₅₀ ในปะการังจาน

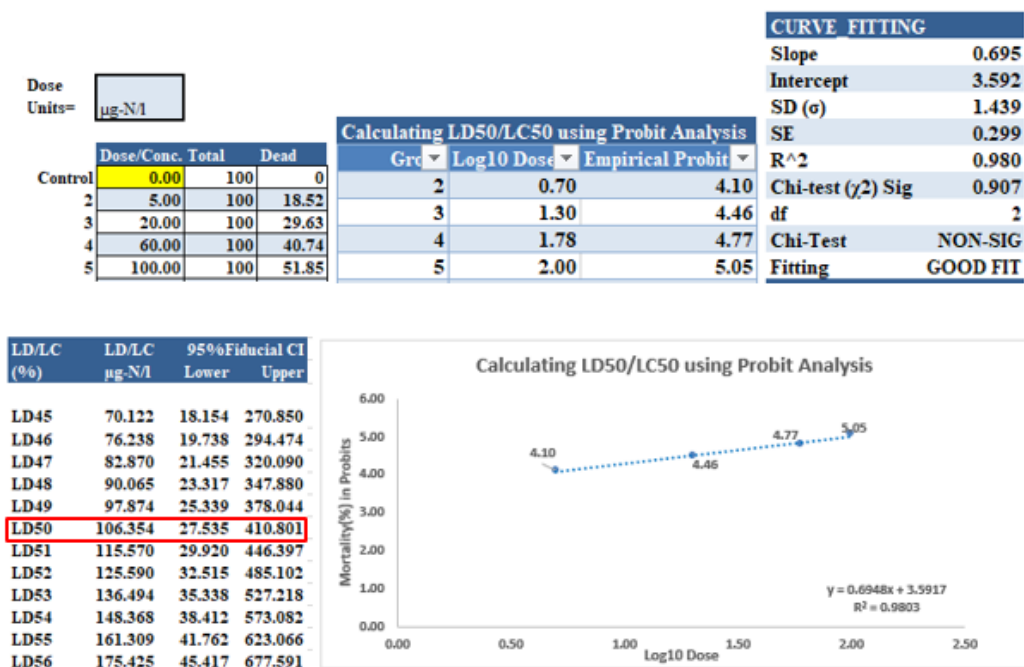
4.1.3 ปะการังโขด

ผลการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังที่ความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ แสดงร้อยละสุขภาพของปะการังโขด ภายในระยะเวลา 120 ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-10 โดยที่ความเค็ม 15 psu ที่เวลา 120 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 48.15-81.48 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 98.15-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับพอใช้ถึงดี ที่ความเค็ม 20 psu ที่เวลา 120 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 70.37-90.74 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 96.29-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับปานกลางถึงดี ที่ความเค็ม 25 psu ที่เวลา 120 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 77.78-94.44 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 96.29-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับดีถึงดีมาก และที่ความเค็ม 30 psu ที่เวลา 120 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละสุขภาพระหว่าง 81.48-98.15 (จากร้อยละสุขภาพที่ 0 ชั่วโมง คือ 94.44-100.00) มีระดับสุขภาพในระดับดีถึงดีมาก

ตารางที่ 4-10 ร้อยละสุขภาพปะการังโหนดที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 120 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	ร้อยละสุขภาพ						ร้อยละสุขภาพ เสื่อมโทรม
		0 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	120 ชม.
15	5	100.00	100.00	94.44	92.59	88.89	81.48	18.52
	20	100.00	100.00	96.30	83.33	79.63	70.37	29.63
	60	98.15	96.29	90.74	81.48	72.22	59.26	40.74
	100	100.00	98.15	88.89	75.92	62.96	48.15	51.85
20	5	100.00	100.00	98.15	94.44	94.44	90.74	9.26
	20	96.29	96.29	94.44	88.89	87.04	85.18	14.82
	60	100.00	100.00	98.15	92.59	83.33	81.48	18.52
	100	100.00	98.15	94.44	87.04	79.63	70.37	29.63
25	5	100.00	100.00	100.00	100.00	94.44	94.44	5.56
	20	96.29	96.29	94.44	92.59	88.89	88.89	11.11
	60	96.29	96.29	96.29	90.74	90.74	83.33	16.67
	100	96.29	96.29	96.29	90.74	88.89	77.78	22.22
30	5	98.15	98.15	98.15	98.15	98.15	98.15	1.85
	20	100.00	100.00	100.00	100.00	96.29	94.44	5.56
	60	100.00	100.00	100.00	98.15	94.44	90.74	9.26
	100	94.44	94.44	92.59	90.74	87.04	81.48	18.52

เมื่อเปรียบเทียบความเค็มทั้ง 4 ระดับพบว่าระดับความเค็มที่มีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากที่สุดภายในเวลา 120 ชั่วโมง คือความเค็มที่ 15 psu ที่ความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/L}$ โดยมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมสูงที่สุดคือ 51.85 ซึ่งร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จะนำมาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC_{50}) ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิท โดยผลการวิเคราะห์แบบโพรบิทแสดงในภาพที่ 4-27 พบว่าปะการังโหนดที่มีความเค็ม 15 psu ที่เวลา 96 ชั่วโมง มีค่า LC_{50} ของไนเตรทคิดเป็น 106.35 $\mu\text{g-N/L}$



ภาพที่ 4-27 ผลการวิเคราะห์โพรบิทในการคำนวณหาค่า LC₅₀ ในปะการังโขด

จากการศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันในปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด ที่มีความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 µg-N/L ตามลำดับ

ในปะการังทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ความเค็มต่ำกว่า 30 psu (ความเค็มน้ำทะเลปกติ) ปะการังทั้ง 3 ชนิด มีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นความเค็มต่ำจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สามารถกระตุ้นให้ปะการังเกิดการฟอกขาวได้ ซึ่งการศึกษาของ Moberg และคณะ (1997) ได้อธิบายไว้ว่าน้ำทะเลที่ความเค็มต่ำ (ที่ 20 psu) จะกระตุ้นให้ปะการังเกิดความเครียดจากความเค็ม (Salinity stress หรือ Osmotic stress) โดยพบว่าปะการังที่สัมผัสความเค็มต่ำมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการหายใจที่ลดลง เพื่อที่จะลดการนำอาหารและพลังงานที่ใช้ในการเจริญเติบโตนำไปใช้ในส่วนที่สำคัญกว่านั้นก็คือ การซ่อมแซมตัวเอง เพื่อเพิ่มการซ่อมแซมตัวเองในส่วนที่เกิดความเสียหายจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าปะการังที่เกิดความเครียดพบการสร้างเมือกปกคลุมตนเองและพบการหดโพลีกลับเข้าไปในโครงสร้างแข็ง เพื่อลดการสัมผัสระหว่างตนเองและสิ่งแวดล้อมนั้นๆ โดยการตอบสนองต่อความเครียดของปะการังนี้ก็เพื่อที่จะปรับตัวให้อาชีวิตรอดผ่านสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมนี้ไปได้ และงานวิจัยของ Kerswell และ Jones (2003) ก็พบเช่นเดียวกันดังนี้ ปะการังที่สัมผัสกับน้ำทะเลความเค็มต่ำมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการหายใจที่ลดลง พร้อมทั้งพบว่าเกิดการสูญเสียสาหร่ายเซลล์เดียวหรือสาหร่ายซูแซนทาเลียออกจาก

เนื้อเยื่อของปะการังด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับ Chavanich และคณะ (2009) ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของความเค็มของน้ำทะเลนั้น ส่งผลต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงและอัตราการหายใจที่ลดลง โดยช่วงความเค็มที่ปะการังยังสามารถมีชีวิตรอดได้คือ 15-31 psu ในปะการังอ่อน (Soft coral) การเปลี่ยนแปลงความเค็มในระยะเวลานั้นๆ (น้อยกว่า 51 ชั่วโมง) ปะการังยังสามารถฟื้นฟูตัวเองได้อยู่ แต่หากสัมผัสเป็นระยะเวลานาน จะเกิดความเสียหายในเนื้อเยื่อปะการัง ซึ่งปะการังไม่สามารถซ่อมแซมตนเองได้ จึงทำให้ปะการังตายจะลงในที่สุด

อีกหนึ่งปัจจัยที่สามารถกระตุ้นให้ปะการังเกิดการฟอกขาวได้ก็คือไนเตรท จากการทดลองที่ความเข้มข้นไนเตรทมากกว่า $5 \mu\text{g-N/L}$ (ปริมาณไนเตรทที่พบได้ในน้ำทะเลปกติ) ปะการังทั้ง 3 ชนิด มีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากไนเตรทสามารถกระตุ้นให้เกิดความเครียดในปะการังได้เช่นกัน ไนเตรทความเข้มข้นสูงจะเร่งการเจริญเติบโตของสาหร่ายซูแซนทาลีที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อของปะการัง ทำให้ความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนทาลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และซี 2 ในเนื้อเยื่อปะการังเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งขนาดของเซลล์สาหร่ายซูแซนทาลีก็มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยเช่นกัน ปริมาณสาหร่ายซูแซนทาลีที่เพิ่มมากขึ้นนั้นทำให้อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันพบว่าอัตราการหายใจลดลง ตามงานวิจัยของ Marubini และ Davies (1996) พบว่าอัตราการหายใจที่ลดลงทำให้ปะการังได้พลังงานที่จะนำไปใช้ลดลงตามลำดับ ทำให้ยับยั้งการสร้างโครงสร้างแข็ง (Calcification) ของปะการังด้วยเช่นกัน ในงานวิจัยของ Schloder และ D'Croz (2004) พบเช่นเดียวกันว่าปะการังที่รับสัมผัสไนเตรทความเข้มข้นสูงจะพบสาหร่ายซูแซนทาลีภายในเนื้อเยื่อปะการัง และปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มมากขึ้นจริง และยังพบว่าปะการังเกิดการสูญเสียสาหร่ายซูแซนทาลีจากเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้นด้วย อันเนื่องมาจากปริมาณสาหร่ายซูแซนทาลีที่เพิ่มขึ้นนี้ปะการังไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้ปะการังเกิดความเครียดจนจำเป็นต้องขับสาหร่ายซูแซนทาลีออกจากเนื้อเยื่อของตนเองเพื่อลดปริมาณสาหร่ายลงให้สามารถควบคุมไว้ได้ นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังสังเกตได้ว่าในสภาวะความเครียด ปะการังจะหดโพลิพลัมกลับเข้าสู่โครงสร้างแข็งอีกด้วย นอกจากนี้งานวิจัยของ Tanaka และคณะ (2014) กล่าวว่าอัตราการสูญเสียสาหร่ายซูแซนทาลีของปะการังที่เพิ่มมากขึ้นนี้ไม่ได้เป็นผลมาจากปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เนื่องจากพบอัตราการสูญเสียสาหร่ายซูแซนทาลีที่ค่อนข้างคงที่ในทั้งสภาวะที่เลี้ยงปะการังในปริมาณธาตุอาหารระดับสูงและสภาวะปริมาณธาตุอาหารระดับปกติ

จากตารางที่ 4-8 ถึงตารางที่ 4-10 พบว่าปะการังทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมที่มากกว่า 50 ในระยะเวลาต่างๆ พบว่าปะการังเขากวางมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมที่มากกว่าร้อยละ 50 พบในเวลา 96 ชั่วโมง ในขณะที่ปะการังโขดและปะการังจานพบว่ามีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมที่มากกว่า ร้อยละ 50 พบในเวลา 120 และ 144 ชั่วโมง ตามลำดับ โดย

ปะการังที่มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่ำจะตอบสนองต่อความเครียดได้รวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า LC_{50} ของไนเตรทแล้ว พบว่าปะการังเขากวางมีค่า LC_{50} ของไนเตรทที่เวลา 96 ชั่วโมงอยู่ที่ 94.46 $\mu\text{g-N/L}$ ปะการังโขดมีค่า LC_{50} ของไนเตรทที่เวลา 120 ชั่วโมงอยู่ที่ 106.35 $\mu\text{g-N/L}$ และปะการังจานมีค่า LC_{50} ของไนเตรทที่เวลา 144 ชั่วโมงอยู่ที่ 116.55 $\mu\text{g-N/L}$ โดยค่า LC_{50} ที่ต่ำจะแสดงถึงความเป็นพิษที่มากเมื่อรับสัมผัสเพียงเล็กน้อย ดังนั้นแล้วในปะการังทั้ง 3 ชนิดนี้ ปะการังเขากวางมีความทนทานในระดับต่ำ ปะการังโขดมีความทนทานในระดับปานกลาง และปะการังจานมีความทนทานในระดับมาก ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า LC_{50} ของไนเตรทที่ได้จากการทดลองในปะการังทั้ง 3 ชนิดกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 2 เพื่อการอนุรักษ์ปะการังที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งกำหนดไว้ว่า ความเข้มข้นไนเตรทในน้ำทะเลต้องมีค่าไม่เกิน 60 $\mu\text{g-N/L}$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า LC_{50} ของไนเตรทที่ได้จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งนี้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพปะการังแล้ว

การฟื้นตัวในสภาพน้ำทะเลปกติพบว่า เมื่อนำปะการังทั้ง 3 ชนิด หลังจบการทดลองไปปรับสภาพในบ่อน้ำทะเลธรรมชาติ เป็นเวลา 7 วัน ปะการังเขากวางไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาได้และตายลงอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ปะการังจานและปะการังโขดพบว่าสามารถฟื้นตัวได้ภายในเวลา 7 วัน ซึ่งสอดคล้องกับสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน (2554) คือ ปะการังเขากวางมีระดับความทนทานต่อการฟอกขาวต่ำ และว่องไวต่อการฟอกขาวมากกว่าปะการังชนิดอื่นๆ และเมื่อเกิดการฟอกขาวปะการังเขากวางจะไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาได้แม้กลับเข้าสู่สภาวะปกติแล้วก็ตาม เมื่อเกิดเหตุการณ์ปะการังฟอกขาวมักพบว่าปะการังเขากวางส่วนใหญ่จะตายลง ในขณะที่ปะการังชนิดอื่นๆ เช่น ปะการังโขด จะสามารถฟื้นตัวกลับมาได้ดั้งเดิมหลังผ่านเหตุการณ์ปะการังฟอกขาว อันเนื่องมาจากลักษณะที่แตกต่างกันของปะการังทั้ง 3 ชนิดนี้ ส่งผลต่อความทนทานในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้แตกต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jimenez และคณะ (2001) ที่แสดงให้เห็นว่าปะการังที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน ส่งผลต่อความคงทนในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยปะการังที่มีลักษณะแบบก้อน (massive coral) อันได้แก่ ปะการังโขด และปะการังจาน มีชั้นเนื้อเยื่อที่หนาสามารถสร้างอาหารผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและยังใช้ชั้นเนื้อเยื่อเป็นแหล่งสะสมพลังงานได้มากกว่าปะการังแบบกิ่งก้าน (branching coral) เช่น ปะการังเขากวาง ที่มีชั้นเนื้อเยื่อที่บางกว่า ทำให้ปะการังเขากวางสร้างอาหารได้น้อยกว่าและสะสมพลังงานได้น้อยกว่าปะการังโขด นอกจากนั้นแล้วปะการังโขดยังมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมในระดับสูง สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปได้ดี แต่ถึงกระนั้นปะการังโขดนั้นมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่าปะการังเขากวาง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Nakano, Tsuchiya, Rungsupa และ Yamazato (2009) พบว่าในฤดูฝนมักเกิดน้ำท่า (runoff) ไหลลงสู่ทะเลมาก ทำให้น้ำทะเลมีความเค็มต่ำกว่าระดับปกติ โดยน้ำทะเลที่พบมีความเค็มระหว่าง 17-25 psu พบว่า

ปะการังโขดมีความทนทานต่อสภาพดังกล่าวได้มากที่สุด ปะการังโขดสามารถมีชีวิตรอดได้ภายใต้ น้ำทะเลที่มีความเค็มต่ำ ในขณะที่ปะการังเขากวางเกิดความเสียหายมากบนโคโลนีและตายลงไปเป็น ปะการังชนิดแรกๆ นอกจากนั้นแล้วการศึกษาของ Berkelmans และคณะ (2012) ยังยืนยันว่า ปะการังเขากวางมีความทนทานต่อน้ำทะเลที่มีระดับความเค็มต่ำได้น้อย ซึ่งพบว่าปะการังเขากวาง มีช่วงความคงทนอยู่ระหว่าง 22-28 psu โดยปะการังเขากวางจะมีชีวิตรอดภายในระยะเวลา 3 วัน ที่ ความเค็ม 22 psu และมีชีวิตรอดภายในระยะเวลา 16 วัน ที่ความเค็ม 28 psu ก่อนจะเกิดการฟอกขาว

4.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีกับสุขภาพของปะการัง และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลอง

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบ ในตู้ทดลองในปะการังทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด ที่ ความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/L}$ ตามลำดับ

4.2.1 ปะการังเขากวาง

ผลการศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่พบในตู้ทดลองของปะการังเขากวางภายใน ระยะเวลา 96 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-11 โดยพบว่าที่เวลา 96 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 1.42-2.33 cells/ml ที่ความเค็ม 20 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 0.92-2.50 cells/ml ที่ความเค็ม 25 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 0.50-1.08 cells/ml และที่ความเค็ม 30 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 0.33-1.17 cells/ml

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลองของปะการังเขากวางภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-12 โดยพบว่าที่เวลา 96 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu พบปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.180-0.297 mg/m^3 ที่ความเค็ม 20 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.203-0.250 mg/m^3 ที่ความเค็ม 25 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.183-0.227 mg/m^3 และที่ความเค็ม 30 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.073-0.160 mg/m^3

ตารางที่ 4-11 ร้อยละสุขภาพและความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง

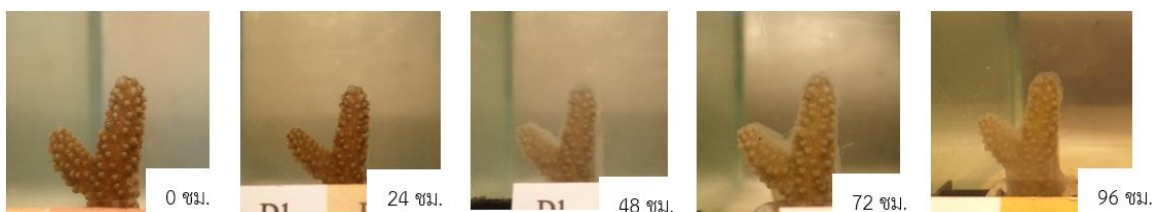
ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$)	ความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี (cells/ml)				ร้อยละสุขภาพ
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
15	5	1.17	1.33	1.08	1.42	74.07
	20	2.25	1.92	1.83	1.58	64.82
	60	2.50	1.58	1.67	2.17	57.41
	100	1.42	1.75	1.67	2.33	46.29
20	5	0.83	0.92	0.83	1.17	75.93
	20	0.67	0.83	0.75	0.92	70.37
	60	0.92	1.42	1.25	1.75	64.82
	100	2.08	1.17	1.75	2.50	53.71
25	5	1.00	0.67	0.50	0.83	87.04
	20	1.00	0.50	0.50	0.50	83.33
	60	1.00	0.42	0.67	0.92	77.78
	100	0.92	0.83	0.83	1.08	74.07
30	5	0.75	0.50	0.33	0.33	92.59
	20	1.08	0.75	0.33	0.50	83.33
	60	0.92	0.58	0.58	0.50	77.78
	100	1.17	0.67	1.00	1.17	74.07

ตารางที่ 4-12 ร้อยละสุขภาพและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 96 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	คลอโรฟิลล์ เอ (mg/m^3)				ร้อยละสุขภาพ
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	
15	5	0.103	0.153	0.153	0.180	74.07
	20	0.070	0.140	0.183	0.247	64.82
	60	0.090	0.100	0.153	0.230	57.41
	100	0.063	0.173	0.203	0.297	46.29
20	5	0.093	0.073	0.157	0.210	75.93
	20	0.070	0.093	0.103	0.203	70.37
	60	0.090	0.073	0.173	0.250	64.82
	100	0.083	0.080	0.233	0.243	53.71
25	5	0.063	0.130	0.163	0.207	87.04
	20	0.190	0.043	0.103	0.183	83.33
	60	0.080	0.117	0.093	0.197	77.78
	100	0.037	0.137	0.153	0.227	74.07
30	5	0.103	0.067	0.080	0.073	92.59
	20	0.083	0.027	0.090	0.127	83.33
	60	0.073	0.107	0.120	0.160	77.78
	100	0.093	0.090	0.103	0.143	74.07

จากการสังเกตยังพบว่า ปะการังเขากวางในความเค็ม 15 psu ที่ความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/L}$ ปะการังเขากวางเริ่มสร้างชั้นเมือกมาปกคลุมตัวเองที่เวลา 48 ชั่วโมง ในความเค็ม 15 psu ที่ความเข้มข้นไนเตรท 60 $\mu\text{g-N/L}$ พบว่าปะการังเขากวางเริ่มสร้างชั้นเมือกที่เวลา 72 ชั่วโมง และที่ความเค็ม 15 psu พบว่าปะการังเขากวางที่ความเข้มข้นไนเตรทที่ 5 และ 20 $\mu\text{g-N/L}$ เริ่มสร้างชั้นเมือกที่เวลา 96 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปชั้นเมือกจะเริ่มหนาขึ้นเรื่อยๆ ตามเวลาที่สัมผัส ดังแสดงใน ภาพที่ 4-28 โดยชั้นเมือกที่หนามากที่สุดพบ ในความเค็ม 15 psu ที่ความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/L}$ ซึ่งที่สภาวะนี้เอง พบว่าปะการังเขากวางเริ่มเกิดการหลุดลอกของเนื้อเยื่อ (Tissue sloughed-off) ซึ่งปะการังที่เกิดการสูญเสียเนื้อเยื่อ จะไม่สามารถฟื้นตัวได้

ในสภาวะน้ำทะเลปกติ และจะตายลงในที่สุด สอดคล้องกันกับเมื่อจบการทดลองได้นำปะการังเขากวางไปปรับสภาพในบ่อน้ำทะเลธรรมชาติ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าปะการังเขากวางไม่สามารถฟื้นตัวกลับมาได้และตายลงอย่างสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศุภกาญจน์ จันทรแดง (2558) ซึ่งพบว่าปะการังเขากวาง *Acropora millepora* แสดงลักษณะของการหลุดลอกของเนื้อเยื่อหลังสัมผัสกับความเค็มลดลงเร็วถึง 26 psu เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อนำไปฟื้นตัวในน้ำทะเลปกติแล้วนั้นไม่สามารถฟื้นตัวได้ดังปกติ



ภาพที่ 4-28 การขับเมือกของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 psu ความเข้มข้นไนเตรท 100 µg-N/L

4.2.2 ปะการังงาน

ผลการศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่พบในตู้ทดลองของปะการังงานภายในระยะเวลา 144 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-13 โดยพบว่าที่เวลา 144 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 4.25-8.25 cells/ml ที่ความเค็ม 20 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 3.92-7.00 cells/ml ที่ความเค็ม 25 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 3.33-4.50 cells/ml และที่ความเค็ม 30 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 2.25-3.75 cells/ml

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลองของปะการังงานภายในระยะเวลา 144 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-14 โดยพบว่าที่เวลา 144 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.193-0.341 mg/m³ ที่ความเค็ม 20 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.155-0.224 mg/m³ ที่ความเค็ม 25 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.159-0.219 mg/m³ และที่ความเค็ม 30 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.131-0.175 mg/m³ และในระหว่างการทดลองพบว่าปะการังงานไม่แสดงการขับเมือกแต่อย่างใด

ตารางที่ 4-13 ร้อยละสุขภาพและความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีของปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	ความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี (cells/ml)						ร้อยละสุขภาพ
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	144 ชม.	
15	5	1.75	1.92	2.92	3.50	3.67	4.25	79.63
	20	2.00	2.67	3.58	3.83	4.00	4.58	68.52
	60	1.92	3.42	4.42	5.33	5.58	6.50	61.11
	100	2.25	3.58	5.08	6.50	6.50	8.25	48.15
20	5	1.25	2.33	3.00	3.08	3.08	3.92	74.07
	20	1.50	2.75	3.50	3.08	4.42	4.50	68.52
	60	1.75	3.58	3.67	4.50	5.17	6.17	61.11
	100	1.75	2.50	3.83	4.25	5.00	7.00	57.41
25	5	1.33	1.58	2.58	2.58	3.00	3.33	79.63
	20	1.58	1.83	2.67	2.83	3.08	4.17	74.08
	60	1.50	2.75	3.17	3.08	3.92	4.50	70.37
	100	1.58	3.00	3.50	4.00	3.67	4.08	62.96
30	5	1.00	1.08	1.25	1.50	1.75	2.25	87.04
	20	1.17	1.50	1.75	2.17	2.08	2.58	79.63
	60	1.08	1.58	1.92	2.42	3.00	2.08	72.22
	100	1.17	2.00	1.75	2.58	2.42	3.75	70.37

ตารางที่ 4-14 ร้อยละสุขภาพและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ของปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$)	คลอโรฟิลล์ เอ (mg/m^3)						ร้อยละสุขภาพ 144 ชม.
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	144 ชม.	
15	5	0.088	0.112	0.131	0.133	0.191	0.208	79.63
	20	0.159	0.088	0.147	0.108	0.120	0.193	68.52
	60	0.028	0.154	0.111	0.189	0.236	0.306	61.11
	100	0.089	0.147	0.196	0.243	0.210	0.341	48.15
20	5	0.098	0.077	0.133	0.114	0.159	0.155	74.07
	20	0.100	0.117	0.138	0.175	0.145	0.224	68.52
	60	0.056	0.105	0.153	0.137	0.205	0.213	61.11
	100	0.133	0.106	0.173	0.231	0.245	0.191	57.41
25	5	0.085	0.131	0.068	0.121	0.147	0.159	79.63
	20	0.059	0.084	0.091	0.138	0.142	0.177	74.08
	60	0.115	0.105	0.160	0.092	0.180	0.189	70.37
	100	0.100	0.093	0.152	0.168	0.182	0.219	62.96
30	5	0.063	0.075	0.082	0.098	0.093	0.131	87.04
	20	0.119	0.078	0.105	0.107	0.124	0.170	79.63
	60	0.062	0.070	0.100	0.167	0.147	0.149	72.22
	100	0.112	0.112	0.107	0.089	0.135	0.175	70.37

4.2.3 ปะการังโขด

ผลการศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่พบในตู้ทดลองของปะการังเขาโขดภายในระยะเวลา 120 ชั่วโมง แสดงดังในตารางที่ 4-15 โดยพบว่าที่เวลา 120 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 9.22-18.90 cells/ml ที่ความเค็ม 20 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 8.05-16.22 cells/ml ที่ความเค็ม 25 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 8.75-10.85 cells/ml และที่ความเค็ม 30 psu มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีระหว่าง 5.13-6.30 cells/ml

ตารางที่ 4-15 ร้อยละสุขภาพและความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีของปะการังโขดที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 120 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	ความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี (cells/ml)					ร้อยละสุขภาพ
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	
15	5	5.48	6.30	7.35	7.35	9.22	81.48
	20	6.88	7.35	7.00	10.03	12.83	70.37
	60	6.53	8.17	9.92	9.80	10.03	59.26
	100	7.35	12.37	15.98	14.70	18.90	48.15
20	5	5.25	6.07	8.28	9.92	8.05	90.74
	20	5.72	7.12	8.52	11.32	9.92	85.18
	60	5.37	7.47	10.73	8.63	14.35	81.48
	100	5.95	8.28	9.92	12.25	16.22	70.37
25	5	3.03	5.37	5.48	6.30	8.75	94.44
	20	3.38	4.08	6.07	7.00	8.40	88.89
	60	3.73	5.37	4.67	5.60	7.00	83.33
	100	3.50	7.35	9.68	8.75	10.85	77.78
30	5	2.92	2.57	4.08	4.78	5.37	98.15
	20	1.98	4.08	3.85	3.97	5.13	94.44
	60	2.45	5.48	5.72	6.07	6.30	90.74
	100	3.03	5.72	4.20	5.25	6.07	81.48

ผลการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลองของปะการังโขดภายในระยะเวลา 120 ชั่วโมง แสดงดังในตารางที่ 4-16 โดยพบว่าที่เวลา 120 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.217-0.430 mg/m^3 ที่ความเค็ม 20 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.150-0.323 mg/m^3 ที่ความเค็ม 25 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.223-0.283 mg/m^3 และที่ความเค็ม 30 psu พบปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ระหว่าง 0.100-0.160 mg/m^3 และในระหว่างการทดลองพบว่าปะการังโขดไม่แสดงการขับเมือกแต่อย่างใด

ตารางที่ 4-16 ร้อยละสุขภาพและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์ เอ ของปะการังโขดที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 120 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	คลอโรฟิลล์ เอ (mg/m^3)					ร้อยละสุขภาพ
		24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	120 ชม.
15	5	0.087	0.127	0.173	0.297	0.230	81.48
	20	0.160	0.187	0.233	0.253	0.217	70.37
	60	0.073	0.170	0.200	0.293	0.270	59.26
	100	0.113	0.107	0.190	0.360	0.430	48.15
20	5	0.040	0.133	0.083	0.143	0.150	90.74
	20	0.090	0.153	0.187	0.300	0.290	85.18
	60	0.223	0.063	0.183	0.267	0.297	81.48
	100	0.077	0.067	0.107	0.243	0.323	70.37
25	5	0.060	0.097	0.137	0.190	0.237	94.44
	20	0.140	0.107	0.180	0.160	0.223	88.89
	60	0.103	0.113	0.080	0.247	0.283	83.33
	100	0.070	0.177	0.213	0.250	0.273	77.78
30	5	0.083	0.073	0.107	0.193	0.113	98.15
	20	0.057	0.093	0.120	0.097	0.100	94.44
	60	0.063	0.127	0.060	0.143	0.160	90.74
	100	0.090	0.080	0.097	0.120	0.110	81.48

จากการศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับสุขภาพของปะการังทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด พบว่าที่สภาวะความเค็มต่ำร่วมกับระดับของไนเตรทสูงนั้น มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในตู้ทดลองมากกว่าสภาวะน้ำทะเลปกติ (ความเค็ม 30 psu และไนเตรท 5 $\mu\text{g-N/L}$) ซึ่งสัมพันธ์ต่อร้อยละสุขภาพของปะการังที่ลดลงด้วยเช่นกัน เนื่องจากปะการังที่สัมผัสกับสภาวะที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว ทั้งความเค็มที่ต่ำกว่าระดับปกติ และความเข้มข้นไนเตรทที่สูงกว่าระดับปกตินี้ สามารถกระตุ้นให้ปะการังเกิดความเครียดได้ เมื่อปะการังเกิดความเครียด ปะการังจะหาวิธีการลดความเครียดเหล่านี้โดยอาศัยกลไกการป้องกันตัวของปะการังได้แก่ การขับสาหร่ายซูแซนเทลลี

และการขับเมือกมาปกคลุมตนเอง (Kerswell และ Jones, 2003) การขับสาหร่ายซูแซนเทลลีทำให้สีของปะการังซีดจางลงจากการสูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลีในเนื้อเยื่อ ซึ่งสีที่ซีดจางลงนี้บ่งบอกได้ว่าสุขภาพของปะการังเสื่อมโทรมมากขึ้นเช่นกัน และการขับขับเมือกที่มากเกินไปนั้นส่งผลให้เกิดการหลุดลอกของเนื้อเยื่อ (Tissue sloughed-off) ซึ่งเนื้อเยื่อถือเป็นแหล่งผลิตและกักเก็บพลังงานที่สำคัญของปะการัง การอยู่อาศัยในสภาวะที่ไม่เหมาะสมเช่นนี้ ทำให้ปะการังไม่สามารถจับอาหารกินเองได้และไม่สามารถผลิตพลังงานได้มากเท่ากับสภาวะปกติ ปะการังจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานสำรองไว้ปริมาณมากเพื่อใช้ในการดำรงชีวิตและซ่อมแซมตนเองในกรณีที่ได้รับ ความเสียหายจากสภาวะที่ไม่เหมาะสม เมื่อเกิดการหลุดลอกของเนื้อเยื่อปะการังจะสูญเสียแหล่งพลังงานที่สำคัญไป ทำให้ปะการังมีพลังงานไม่พอต่อการดำรงชีวิตและไม่สามารถป้องกันตัวจากสภาวะดังกล่าวได้ท้ายที่สุดแล้วนั้นผลรวมของทั้งการขับสาหร่ายซูแซนเทลลีและผลของการหลุดลอกของเนื้อเยื่อนั้น ทำให้ปะการังเกิดการฟอกขาว จนไม่สามารถฟื้นฟูตัวเองได้และตายลงในที่สุด ซึ่งในปะการังที่เกิดการฟอกขาวอันเนื่องมาจากการสูญเสียสาหร่ายซูแซนเทลลีนั้น พบว่ามีปริมาณสาหร่ายซูแซนเทลลีและปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในเนื้อเยื่อลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับปะการังที่มีสุขภาพสมบูรณ์ (Jones, 1997)

นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากคลอโรฟิลล์ เอ เป็นสารรงควัตถุที่อยู่ภายในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) ของพืชและสาหร่าย เมื่อสาหร่ายซูแซนเทลลีถูกขับออกจากปะการังมากขึ้นมีความเป็นไปได้ว่าสาหร่ายซูแซนเทลลีบางส่วนอาจเกิดความเสียหายที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้สารรงควัตถุต่างๆ ที่อยู่ภายในเซลล์หลุดออกจากเซลล์สาหร่ายซูแซนเทลลี จึงทำให้พบคลอโรฟิลล์ เอ ในน้ำทะเลเพิ่มมากขึ้น

จากการศึกษาของบุษปกรณ อุดมทรัพย์ (2561) Udomsap และคณะ (2018) และ Udomsap และคณะ (2019) พบว่าสภาวะที่ทำให้ทั้งปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขดมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากที่สุด คือที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส และที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 0.1 mg-N/L ที่เวลา 48 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าวพบความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีในตู้ทดลองอยู่ที่ 17.50 23.17 109.40 cells/ml และคลอโรฟิลล์ เอ ในตู้ทดลองอยู่ที่ 0.100 0.501 และ 0.504 mg/m³ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษากับงานวิจัยนี้ พบว่าสภาวะที่ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากที่สุดเช่นกันในทั้งปะการัง 3 ชนิด คือที่ความเค็ม 15 psu และที่ความเข้มข้นไนเตรท 100 µg-N/L พบว่าปะการังที่สัมผัสแอมโมเนียมีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีและคลอโรฟิลล์ เอ ในตู้ทดลองมากกว่าปะการังที่สัมผัสไนเตรท เนื่องจากแอมโมเนียมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำมากกว่าไนเตรทที่เป็นธาตุอาหารของสัตว์น้ำ การสัมผัสแอมโมเนียจึงทำให้ปะการังเกิดความเครียดสูง ส่งผลให้เกิดการขับสาหร่ายซูแซนเทลลีมากขึ้น ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลองจึงมากขึ้น

ตามลำดับ โดยปกติแล้วปริมาณแอมโมเนียในน้ำที่มากส่งผลต่อการขับถ่ายของเสียแอมโมเนียในสัตว์น้ำได้น้อยลง เมื่อสัตว์น้ำไม่สามารถขับแอมโมเนียออกมาได้ ระดับแอมโมเนียในเนื้อเยื่อจะสูงขึ้นจนสร้างความเสียหายแก่ระบบในร่างกาย เช่น ทำลายการสร้างเอนไซม์และโปรตีน เป็นต้น (Lawson, 1995)

4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการยึดโพลีกับสุขภาพของปะการัง

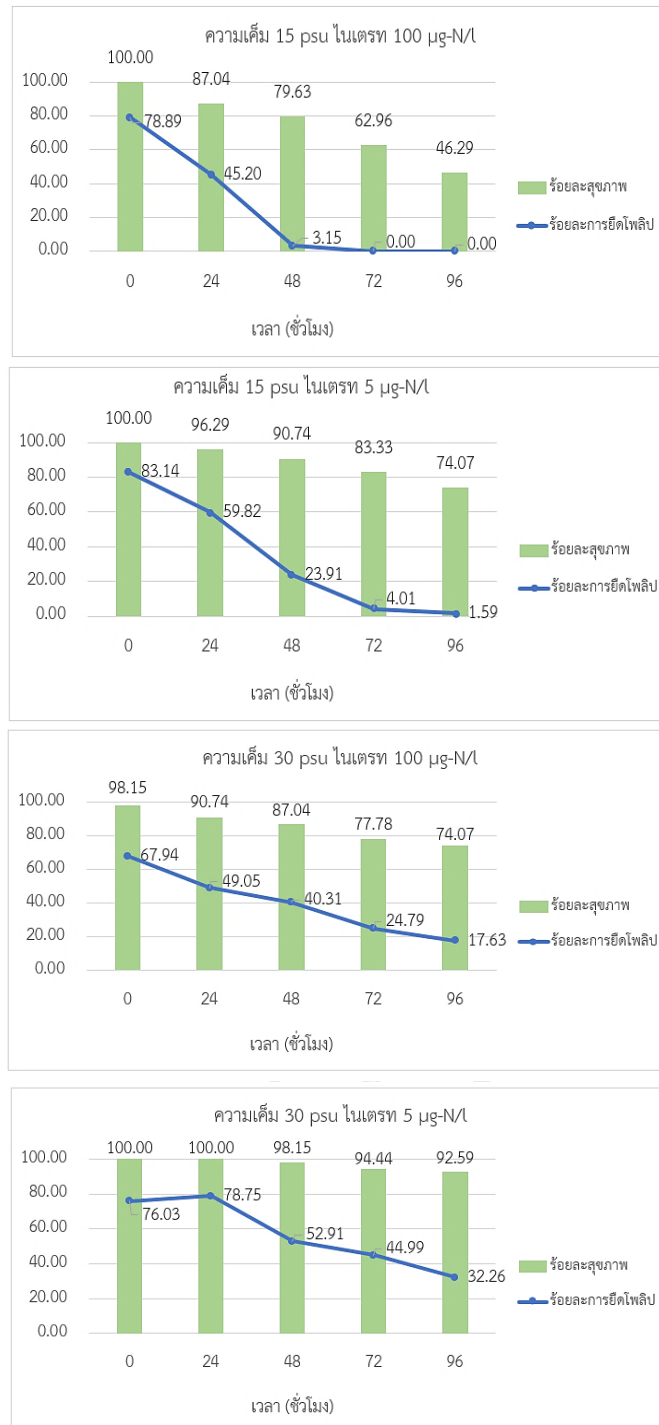
ในการศึกษานี้ได้ศึกษาร้อยละการยึดโพลีในปะการัง 2 ชนิด ได้แก่ ปะการังเขากวาง และปะการังจาน ที่ความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกัน ดังนี้ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ โดยนำภาพถ่ายปะการังที่ถ่ายด้วยโหมตมาโคร (Macro) มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CC 2019 จากนั้นคำนวณร้อยละการยึดโพลีปะการังเพื่อประเมินระดับสุขภาพของปะการัง และเนื่องด้วยปะการังโขดเป็นปะการังที่มีโพลีขนาดเล็กมากทำให้เกิดเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ภาพถ่าย ทำให้ไม่สามารถคำนวณออกมาเป็นร้อยละการยึดโพลีของปะการังโขดได้ ดังนั้นแล้วผลการศึกษาการยึดโพลีของปะการังเขากวาง และปะการังจาน ได้แสดงไว้ดังนี้

4.3.1 ปะการังเขากวาง

ผลการศึกษาการยึดโพลีในปะการังเขากวางภายในระยะเวลา 96 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-17 และภาพที่ 4-29 โดยพบว่าที่เวลา 96 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu มีร้อยละการยึดโพลีระหว่าง 0.00-2.15 (จากร้อยละ 70.10-78.89 ที่ 0 ชั่วโมง) ที่ความเค็ม 20 psu มีร้อยละการยึดโพลีระหว่าง 1.90-18.26 (จากร้อยละ 67.82-77.63 ที่ 0 ชั่วโมง) ที่ความเค็ม 25 psu มีร้อยละการยึดโพลีระหว่าง 18.09-35.26 (จากร้อยละ 68.54-70.17 ที่ 0 ชั่วโมง) และที่ความเค็ม 30 psu มีร้อยละการยึดโพลีระหว่าง 17.63-32.26 (จากร้อยละ 67.94-77.25 ที่ 0 ชั่วโมง) และยังพบว่าที่ความเค็ม 15 psu ปะการังเขากวางมีร้อยละการยึดโพลีลดลงอย่างรวดเร็วที่ชั่วโมงที่ 48

ตารางที่ 4-17 ร้อยละการยึดโพลีปของปะการังเขากวางที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu
ในเวลา 96 ชั่วโมง

ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$)	ร้อยละการยึดโพลีป				
		0 ซม.	24 ซม.	48 ซม.	72 ซม.	96 ซม.
15	5	83.14	59.82	23.91	4.01	1.59
	20	78.67	59.13	8.35	2.15	2.15
	60	70.10	45.97	8.48	1.01	0.82
	100	78.89	45.20	3.15	0.00	0.00
20	5	76.78	70.81	49.81	22.15	18.03
	20	77.63	74.42	60.33	39.50	18.26
	60	75.78	59.37	38.73	13.32	1.90
	100	67.82	52.90	34.61	17.20	10.33
25	5	68.54	59.52	52.06	38.07	35.26
	20	68.64	61.57	42.37	20.58	18.09
	60	68.61	66.65	30.83	40.71	30.42
	100	70.17	65.27	57.16	28.15	25.53
30	5	76.03	78.75	52.91	44.99	32.26
	20	72.31	62.58	52.67	32.87	26.52
	60	77.25	67.08	53.13	30.06	26.73
	100	67.94	49.05	40.31	24.79	17.63



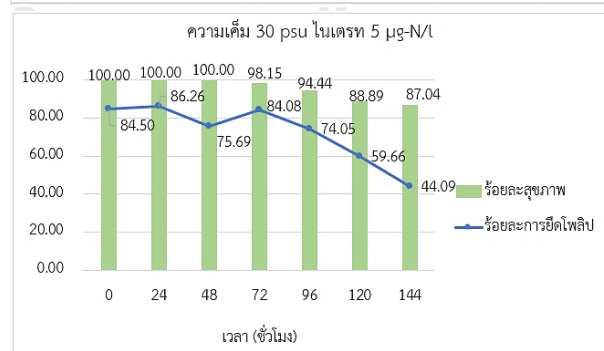
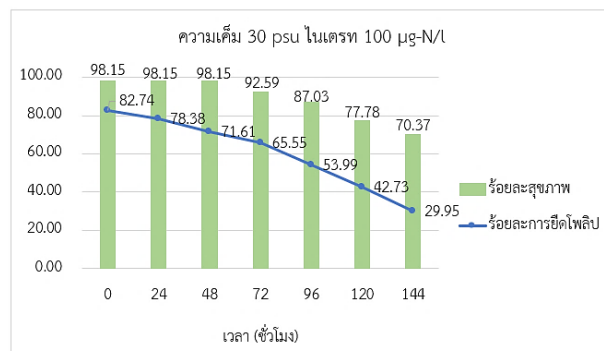
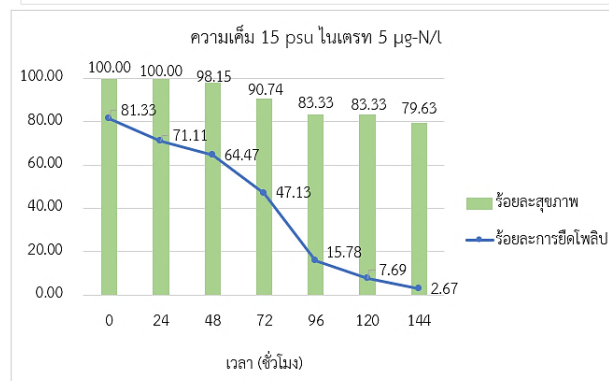
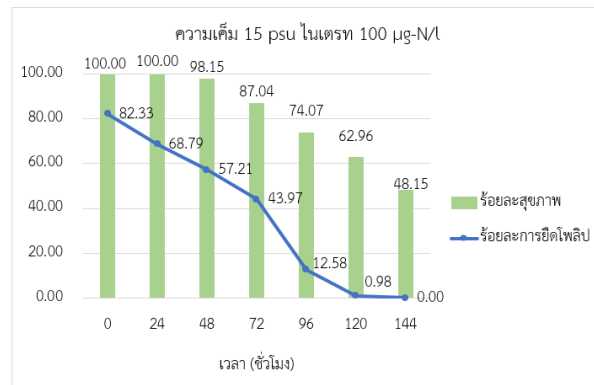
ภาพที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสุขภาพและร้อยละการยึดโพลีปของปะการังเขากวาง
ที่เวลา 96 ชั่วโมง

4.3.2 ปะการังงาน

ผลการศึกษาร้อยละการยึดโพลีปในปะการังงานภายในระยะเวลา 144 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4-18 และภาพที่ 4-30 โดยพบว่าที่เวลา 144 ชั่วโมง ที่ความเค็ม 15 psu มีร้อยละการยึดโพลีประหว่าง 0.00-2.67 (จากร้อยละ 81.33-82.33 ที่ 0 ชั่วโมง) ที่ความเค็ม 20 psu มีร้อยละการยึดโพลีประหว่าง 2.02-18.11 (จากร้อยละ 73.25-86.91 ที่ 0 ชั่วโมง) ที่ความเค็ม 25 psu มีร้อยละการยึดโพลีประหว่าง 27.61-32.21 (จากร้อยละ 82.77-85.66 ที่ 0 ชั่วโมง) และที่ความเค็ม 30 psu มีร้อยละการยึดโพลีประหว่าง 29.95-44.09 (จากร้อยละ 81.90-85.91 ที่ 0 ชั่วโมง) และยังพบว่าที่ความเค็ม 15 psu ปะการังงานมีร้อยละการยึดโพลีปลดลงอย่างรวดเร็วในชั่วโมงที่ 96

ตารางที่ 4-18 ร้อยละการยึดโพลีปของปะการังงานที่ความเค็ม 15 20 25 และ 30 psu ในเวลา 144 ชั่วโมง

ร้อยละการยึดโพลีป								
ความเค็ม (psu)	ไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$)	0 ชม.	24 ชม.	48 ชม.	72 ชม.	96 ชม.	120 ชม.	144 ชม.
15	5	81.33	71.11	64.47	47.13	15.78	7.69	2.67
	20	81.95	79.34	67.07	46.91	18.88	6.88	3.70
	60	81.86	69.30	59.95	43.96	12.73	4.38	0.00
	100	82.33	68.79	57.21	43.97	12.58	0.98	0.00
20	5	73.25	76.23	71.92	53.50	29.80	20.89	18.11
	20	86.91	72.84	60.86	41.60	22.47	16.42	6.05
	60	81.32	69.98	60.02	42.98	21.75	13.38	2.78
	100	83.88	67.98	54.20	40.23	15.54	6.65	2.02
25	5	85.66	77.19	76.21	71.53	63.15	48.89	32.21
	20	82.77	87.95	77.97	68.81	58.99	47.92	28.47
	60	83.04	83.85	77.61	76.29	64.83	49.38	29.78
	100	83.58	82.08	75.23	72.50	61.30	46.44	27.61
30	5	84.50	86.26	75.69	84.08	74.05	59.66	44.09
	20	85.91	81.87	78.59	72.86	75.80	59.60	41.44
	60	81.90	80.69	72.93	74.21	64.48	56.79	43.89
	100	82.74	78.38	71.61	65.55	53.99	42.73	29.95



ภาพที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละสุขภาพและร้อยละการยึดโพลิปของปะการังจาน
ที่เวลา 144 ชั่วโมง

จากผลการศึกษาปะการังเขากวางและปะการังงานนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน โดยพบว่าสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจากผลรวมของระดับความเค็มต่ำและความเข้มข้นไนเตรทสูงนี้ ทำให้ร้อยละการยึดโพลิพีมี่แนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่สัมผัสที่เพิ่มขึ้น โดยร้อยละการยึดโพลิพที่ลดลงนี้สัมพันธ์กับร้อยละสุขภาพที่ลดลงด้วยเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4-29 สำหรับปะการังเขากวาง และภาพที่ 4-30 สำหรับปะการังงาน ซึ่งร้อยละการยึดโพลิพที่ลดลงสัมพันธ์กับร้อยละสุขภาพปะการังที่ลดลงด้วยเช่นกัน

ร้อยละการยึดโพลิพที่ลดลงตามเวลาเพิ่มขึ้นนี้ เนื่องมาจากการอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลานานทำให้ปะการังเกิดความเครียด มากไปกว่านั้นอาจก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อปะการัง ปะการังจึงป้องกันตัวเองด้วยการหดโพลิพกลับสู่โครงร่างแข็งเพื่อลดการสัมผัสระหว่างตนเองและสิ่งแวดล้อม ซึ่งการหดโพลิพถือเป็นกลไกการป้องกันตัวในปะการังที่ใช้ในการปกป้องตัวเองจากทั้งผู้ล่าและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมดังกล่าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kerswell และ Jones (2003) และ Schloder และ D'Croz (2004) ซึ่งพบว่าปะการังจะเกิดความเครียดหลังจากการสัมผัสความเค็มระดับต่ำหรือการสัมผัสไนเตรทความเข้มข้นสูงปะการังจะแสดงการหดโพลิพกลับเข้าสู่โครงร่างแข็ง

การหดโพลิพของปะการังนั้นมีแนวโน้มต่อการลดอัตราการเจริญเติบโตในปะการัง เมื่อปะการังหดโพลิพกลับเข้าสู่โครงร่างแข็งทำให้มันไม่สามารถจับอาหารที่อยู่ในน้ำทะเลได้ นั่นก็คือแพลงก์ตอนสัตว์ (zooplankton) จึงทำให้ปะการังได้รับพลังงานจากอาหารลดลงต่ำกว่าปกติ และเมื่อพลังงานที่ได้รับลดลงแล้วนั้นปะการังจึงลดอัตราการเจริญเติบโตตามลำดับ (River และ Edmunds, 2001) นอกจากนี้การหดโพลิพของปะการังยังส่งผลต่อการอัตราการสังเคราะห์แสงที่ลดลงอีกด้วย เนื่องจากบริเวณโพลิพของปะการังนั้นมีสาหร่ายซูแซนทาลีอาศัยอยู่หนาแน่นกว่าบริเวณอื่น เมื่อปะการังหดโพลิพกลับสู่โครงร่างแข็งจะบดบังแสงต่อสาหร่ายซูแซนทาลี ทำให้สาหร่ายซูแซนทาลีไม่ได้รับแสง อัตราการสังเคราะห์แสงจึงลดลง พลังงานและอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงจากสาหร่ายซูแซนทาลีจึงลดลงตามลำดับ (Lasker, 1981) ดังนั้นแล้วปะการังที่โพลิพลดสั้นลงเป็นระยะเวลานานจะลดอัตราการเจริญเติบโตและการสร้างโครงร่างแข็ง

จากการสังเกตในระหว่างการทดลองพบว่าบางครั้งร้อยละการยึดโพลิพของปะการังสามารถเพิ่มขึ้นได้เช่นกัน โดยมักพบในช่วงต้นของการทดลอง ซึ่งช่วงความเค็มที่พบคือ 25 และ 30 psu อันเนื่องมาจากช่วงความเค็มนี้เป็นความเค็มที่ไม่แตกต่างจากความเค็มของน้ำทะเลธรรมชาติมากนัก ในหลายเหตุการณ์ธรรมชาติ เช่น ฝนตก หรือน้ำท่า ส่งผลให้น้ำทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยน้ำทะเลจะมีความเค็มลดลงเล็กน้อยแต่เมื่อเวลาผ่านไปไม่นานความเค็มของน้ำทะเลก็จะกลับเข้าสู่ระดับปกติ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในเวลาสั้นๆ พบว่าปะการังยังสามารถปรับตัวให้เข้ากับ

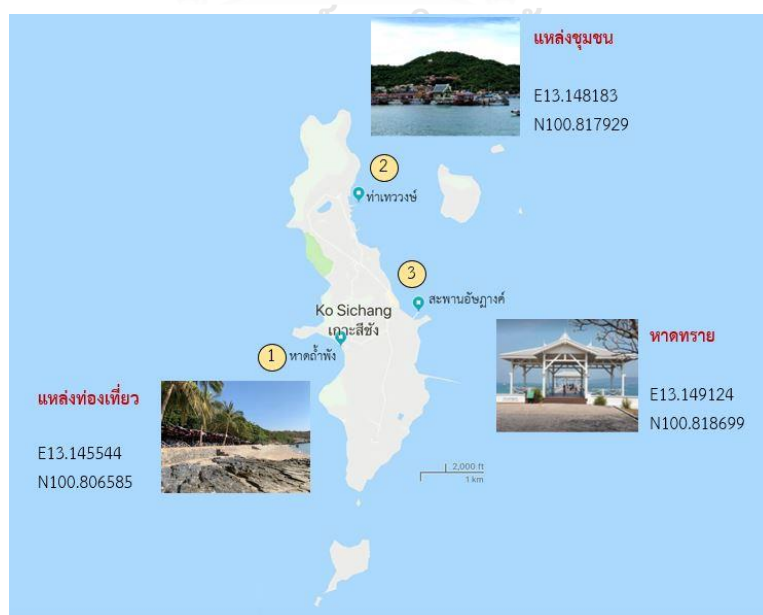
สภาพแวดล้อมได้ เมื่อปะการังสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้แล้ว จะสามารถยึดโพลิปออกมาจับอาหารกินได้ตามปกติ ทำให้ร้อยละการยึดของโพลิปมีมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงต้นของการทดลอง

4.4 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชัง

ทำการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของคุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2559-2561 (ภาคผนวก ข) (สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559, 2560, 2561) ในเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนของจังหวัดชลบุรี และในช่วงเดือนกรกฎาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนของจังหวัดชลบุรี (เทศบาลตำบลเกาะสีชัง, 2561) โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) และปริมาณไนเตรท

จุดเก็บตัวอย่าง

จุดเก็บตัวอย่างจำแนกตามแหล่งกำเนิดมลพิษ แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่ไม่มีแหล่งกำเนิดมลพิษ และพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 จุด ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 1 หาดถ้ำพัง เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษ เป็นชายหาดที่มีนักท่องเที่ยวมาพักผ่อนมากมีร้านค้าและร้านอาหารริมชายหาด และมีกิจกรรมเล่นน้ำ จุดที่ 2 ท่าหวงษ์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีมลพิษ เป็นบริเวณที่เรือขนส่งสินค้าที่จอดรอเทียบท่าและมีชุมชนอยู่หนาแน่น และจุดที่ 3 สะพานอัญญางค์ เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ไม่มีมลพิษปนเปื้อนโดยตรง เป็นชายหาดที่มีโขดหิน ก้อนหิน ขรุขระกระจายอยู่ใต้น้ำมาก ไม่มีกิจกรรมเล่นน้ำทำให้น้ำทะเลบริเวณนี้มีความสะอาดมาก โดยจุดเก็บตัวอย่างและพิกัด แสดงในภาพที่ 4-31 และตารางที่ 4-19



ภาพที่ 4-31 จุดเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำเกาะสีชัง

ตารางที่ 4-19 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างเกาะสีซัง

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ละติจูด	ลองจิจูด
1	หาดถ้ำพัง	13.145544	100.806585
2	ท่าเทววงษ์	13.148183	100.817929
3	สะพานอัมพวงค์	13.149124	100.818699

4.4.1 อุณหภูมิน้ำทะเล

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำรอบเกาะสีซังเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ในปี 2559-2561 ซึ่งอุณหภูมิน้ำทะเลรอบเกาะสีซังแสดงในตารางที่ 4-20 และภาพที่ 4-32 พบว่า อุณหภูมิน้ำทะเลรอบเกาะสีซังอยู่ในปี 2559 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 30.49 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 30.44 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุด 31.26 องศาเซลเซียส ที่หาดถ้ำพัง ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 30.39 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 30.66 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุด 31.91 องศาเซลเซียส ที่หาดถ้ำพัง ในปี 2561 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 30.54 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 30.03 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงสุด 30.80 องศาเซลเซียส ที่หาดถ้ำพัง เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำทะเลในปี 2559-2561 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิน้ำทะเล โดยในฤดูร้อนในช่วงเดือนเมษายนมีอุณหภูมิน้ำทะเลสูงกว่าในฤดูฝนในช่วงเดือนกรกฎาคม

นอกจากนั้นลักษณะพื้นที่ของจุดเก็บตัวอย่างก็มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิน้ำทะเลเช่นกัน ในจุดเก็บตัวอย่างที่มีอุณหภูมิน้ำทะเลสูงสุดคือหาดถ้ำพัง ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่เป็นชายหาดโล่งแจ้ง ไม่มีร่มเงาจากทั้งต้นไม้ใหญ่และสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้ชายหาด ทำให้บริเวณนี้ได้รับแสงแดดโดยตรง อุณหภูมิน้ำทะเลจึงสูง ในจุดเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิน้ำทะเลสูงรองลงมาคือสะพานอัมพวงค์ ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่โล่งแจ้ง และในจุดเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิน้ำทะเลต่ำสุด คือท่าเทววงษ์ ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่หนาแน่นไปด้วยชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง มีเรือชาวประมงและเรือขนส่งจอดพักไว้ที่ท่าเรือเป็นจำนวนมาก บริเวณนี้ได้รับร่มเงาจากสิ่งปลูกสร้างและเรือประมงจึงทำให้อุณหภูมิน้ำทะเลต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด

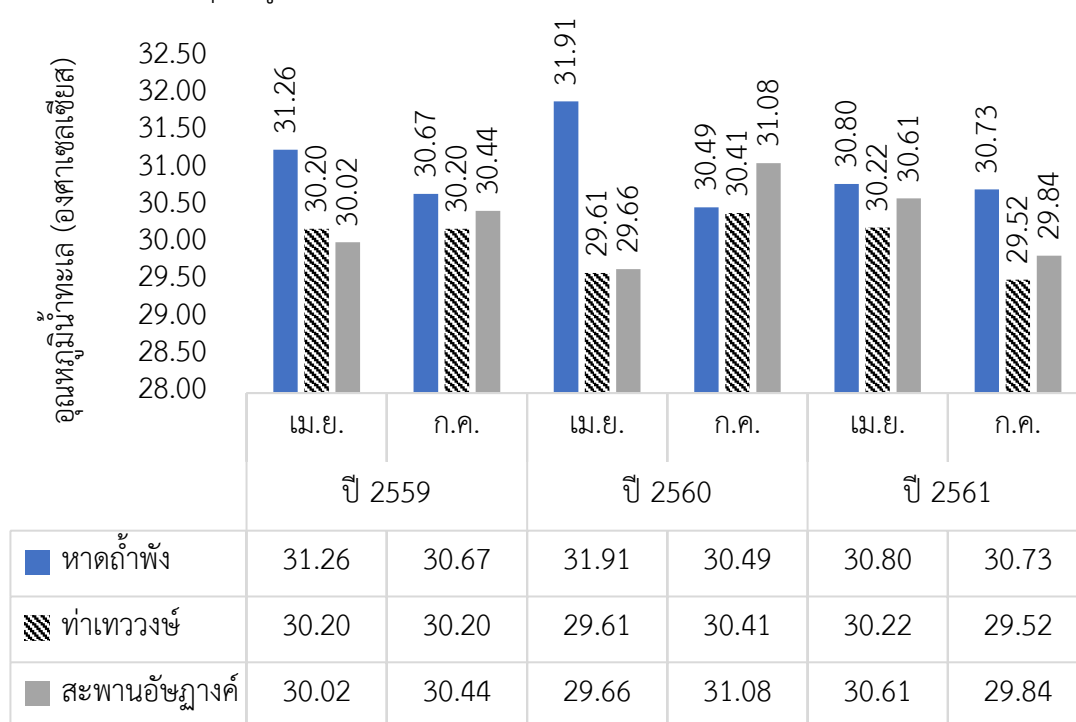
ตารางที่ 4-20 อุณหภูมิน้ำทะเล (องศาเซลเซียส) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2561

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ปี 2559		ปี 2560		ปี 2561	
		เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม
1	หาดถ้ำพัง	31.26	30.67	31.91	30.49	30.80	30.73
2	ท่าเทววงษ์	30.20	30.20	29.61	30.41	30.22	29.52
3	สะพานอัมพวงค์	30.02	30.44	29.66	31.08	30.61	29.84
	เฉลี่ย	30.49	30.44	30.39	30.66	30.54	30.03

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชีตเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งประการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ข) อุณหภูมิน้ำทะเล ต้องไม่เปลี่ยนแปลง

อุณหภูมิน้ำทะเล (องศาเซลเซียส) รอบเกาะสีชังปี 2559-2561



ภาพที่ 4-32 อุณหภูมิน้ำทะเล (องศาเซลเซียส) รอบเกาะสีชังปี 2559-2561

4.4.2 ความเค็ม

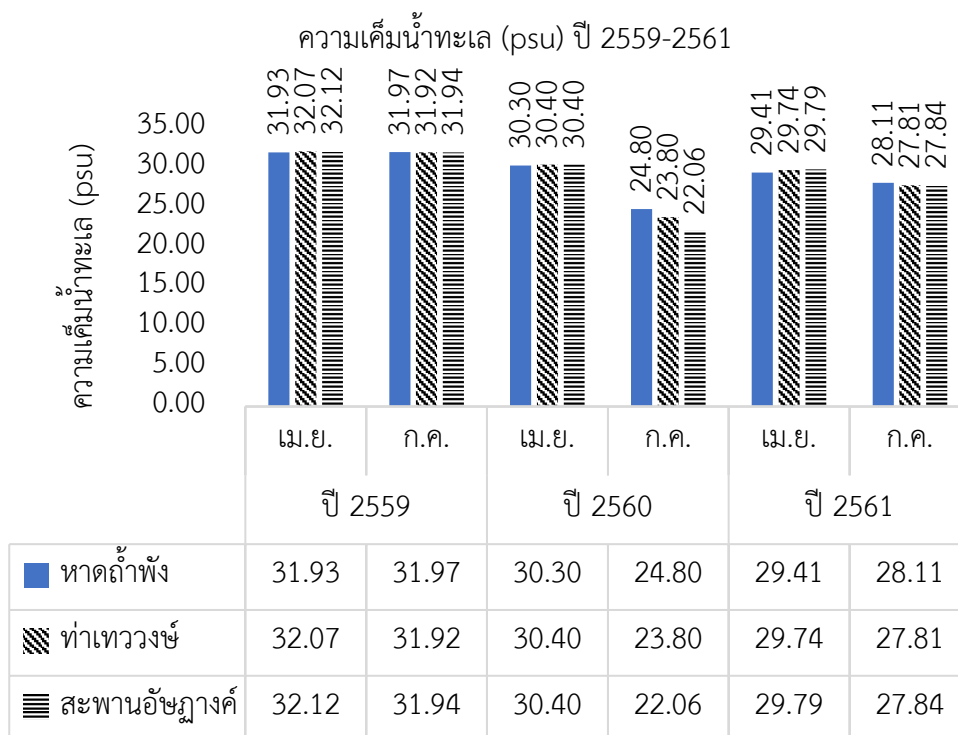
จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำรอบเกาะสีชังเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ในปี 2559-2561 ซึ่งความเค็มน้ำทะเลรอบเกาะสีชังแสดงในตารางที่ 4-21 และภาพที่ 4-33 พบว่าความเค็มรอบเกาะสีชังอยู่ในปี 2559 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 32.04 psu ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 31.94 psu และมีค่าต่ำสุด 31.92 psu ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์ ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 30.37 psu ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 23.55 psu และมีค่าต่ำสุด 22.06 psu ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างสะพานอัมพวัน ในปี 2561 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 29.65 psu ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 27.92 psu และมีค่าต่ำสุดที่ 27.81 psu ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์

ตารางที่ 4-21 ความเค็มน้ำทะเล (psu) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2561

จุด ที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ปี 2559		ปี 2560		ปี 2561	
		เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม
1	หาดถ้ำพัง	31.93	31.97	30.30	24.80	29.41	28.11
2	ท่าเทววงษ์	32.07	31.92	30.40	23.80	29.74	27.81
3	สะพานอัมพวัน	32.12	31.94	30.40	22.06	29.79	27.84
	เฉลี่ย	32.04	31.94	30.37	23.55	29.65	27.92
	ค่าต่ำสุด	31.93	31.92	30.40	22.06	29.41	27.81
	ค่าสูงสุด	32.12	31.97	30.40	24.80	29.79	28.11

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชิดเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ความเค็ม เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด



ภาพที่ 4-33 ความเค็มน้ำทะเลรอบเกาะสี่ซังปี 2559-2561

เมื่อเปรียบเทียบความเค็มในปี 2559-2561 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีอิทธิพลต่อความเค็มของน้ำทะเล โดยในฤดูฝนในช่วงเดือนกรกฎาคมน้ำทะเลจะมีความเค็มต่ำกว่าฤดูร้อนในช่วงเดือนเมษายนซึ่งน้ำทะเลซึ่งมีความเค็มสูงกว่า ความเค็มน้ำทะเลที่ต่ำลงในฤดูฝนนั้นเป็นผลมาจากในฤดูฝนมีปริมาณน้ำฝนต่อเดือนสูงกว่าฤดูร้อน ฝนที่ตกทำให้เกิดเป็นน้ำท่า (runoff) ปริมาณมาก ซึ่งเป็นน้ำจืด เมื่อน้ำท่าไหลลงสู่ทะเลทำให้น้ำทะเลถูกเจือจางด้วยน้ำท่า ทำให้น้ำทะเลในฤดูฝนมีความเค็มต่ำกว่าฤดูร้อน เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ดังกล่าวระหว่างฤดูกาลและความเค็มของน้ำทะเล พบว่าความเค็มที่ต่ำที่สุดในปี 2560 มีค่าเท่ากับ 22.06 psu สอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนในปี 2560 ซึ่งพบปริมาณน้ำฝนมากที่สุด 168.20 mm ดังแสดงตารางที่ 4-22 และภาพที่ 4-34 ดังนั้นแล้วปริมาณน้ำฝนในฤดูฝนส่งอิทธิพลต่อความเค็มของน้ำทะเลที่ลดลงบนเกาะสี่ซัง

ตารางที่ 4-22 ปริมาณน้ำฝนและความเค็มเฉลี่ยในเดือนเมษายนและกรกฎาคม ปี 2559-2561

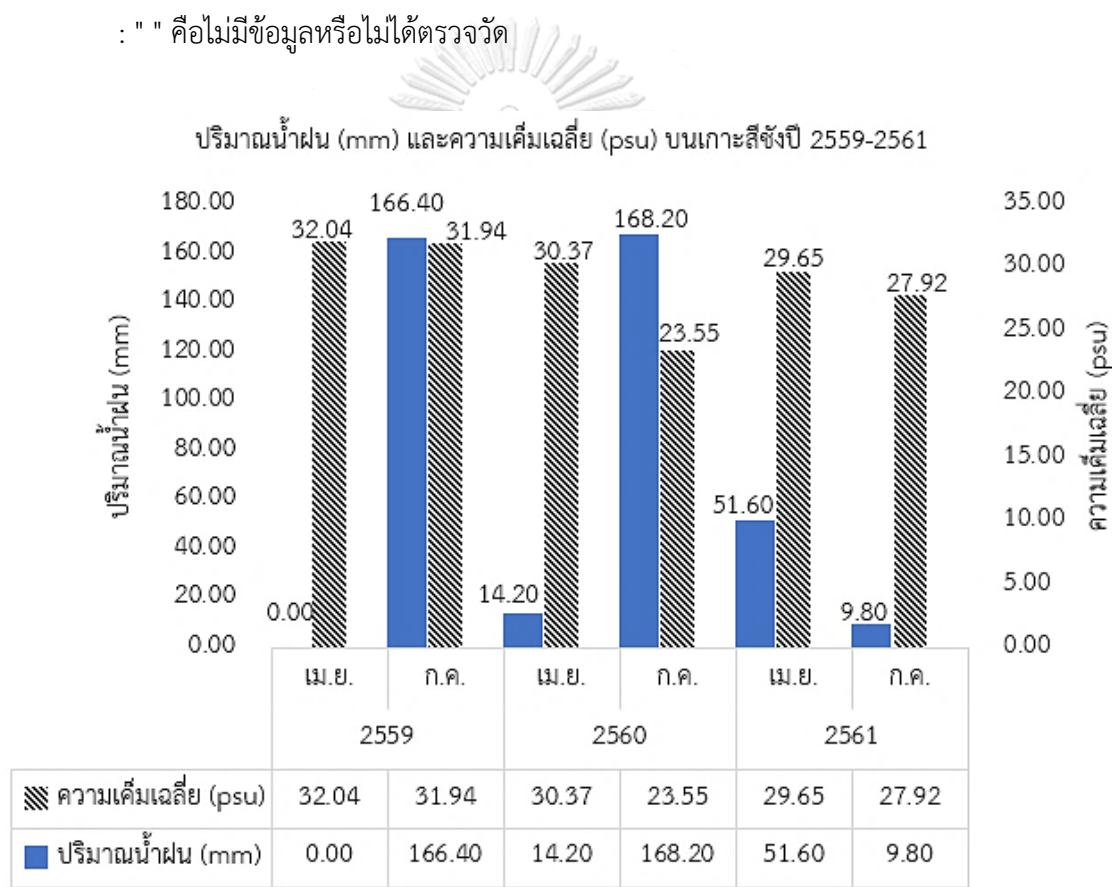
พารามิเตอร์	ปี 2559		ปี 2560		ปี 2561	
	เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม
ปริมาณน้ำฝน (mm)	0.00	166.40	14.20	168.20	51.60	9.80
ความเค็มเฉลี่ย (psu)	32.04	31.94	30.37	23.55	29.65	27.92

หมายเหตุ : ค่าฝนรายวันเป็นค่ารวมที่ตรวจวัดตั้งแต่ระหว่างเวลา 00.00 UTC

: วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มม.

: "T" คือวันที่ฝนตกรวมน้อยกว่า 0.1 มม.

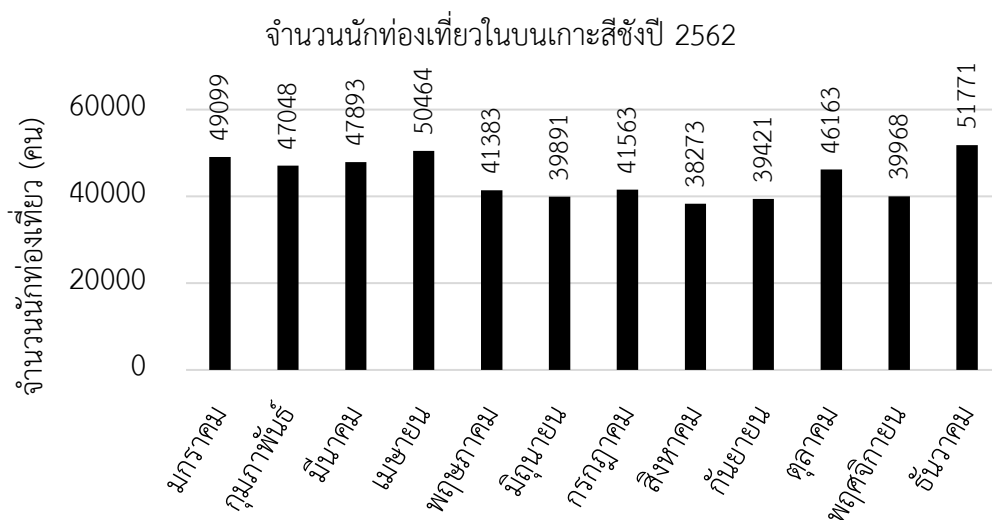
: " " คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด



ภาพที่ 4-34 ปริมาณน้ำฝนและความเค็มเฉลี่ยบนเกาะสีชังปี 2559-2561

นอกจากนั้นยังพบว่าฤดูกาลยังส่งผลต่อการใช้น้ำของนักท่องเที่ยวอีกด้วย ในฤดูร้อนเดือนเมษายนจะเป็นช่วง High season ที่มีนักท่องเที่ยวมาพักบนเกาะสีชังจำนวนมากในรอบปี อ้างอิงจากจำนวนนักท่องเที่ยวรายเดือนในปี 2562 ดังแสดงในภาพที่ 4-35 โดยบนเกาะสีชังมีสถานที่พักของนักท่องเที่ยวอยู่หนาแน่นที่ตำแหน่งหาดถ้ำพัง จำนวนนักท่องเที่ยวที่พักมากในฤดูร้อนนี้ส่งผลให้มีการใช้น้ำมากขึ้นเช่นกัน การใช้น้ำเกิดจากกิจกรรมต่างๆ เช่น การอาบน้ำ การซักล้างเสื้อผ้า

การทำอาหาร และการทำความสะอาดห้องพัก โดยปริมาณการใช้น้ำที่มากขึ้นในฤดูร้อนของหาดถ้ำพังนี้ สามารถสังเกตได้จากน้ำทะเลที่หาดถ้ำพังนี้มีความเค็มที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเค็มของจุดเก็บอื่นๆ ซึ่งพบได้ในปี 2559-2561 ในทางกลับกันในฤดูฝนเดือนกรกฎาคมจะเป็นช่วง Low season มีนักท่องเที่ยวมาเที่ยวมาพักบนเกาะสีชังน้อย จึงไม่พบว่าเกิดกิจกรรมการใช้น้ำที่หาดถ้ำพัง แต่กลับพบว่าน้ำทะเลมีความเค็มต่ำที่สุดที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์ เนื่องจากท่าเทววงษ์มีการอยู่อาศัยของชุมชนอยู่หนาแน่น เพราะว่าติดท่าเรือ เดินทางสะดวก ใช้เวลาเดินทางไม่นาน และมีร้านค้าขายอาหารมาก โดยชุมชนนี้มีลักษณะการอยู่อาศัยแบบถาวร เช่น ร้านขายของ ร้านขายของฝากของที่ระลึก บ้านพักและหอพักรายเดือน เป็นต้น แตกต่างจากหาดถ้ำพังที่มีลักษณะการอยู่อาศัยแบบชั่วคราวเป็นบ้านพักรายวัน ซึ่งลักษณะการพักอาศัยแบบถาวรของชุมชนในพื้นที่ท่าเทววงษ์นี้มีกิจกรรมใช้น้ำสม่ำเสมอตลอดทั้งปี จึงทำให้ความเค็มของน้ำทะเลต่ำที่จุดท่าเทววงษ์ในฤดูฝน แตกต่างจากฤดูร้อนที่พบความเค็มต่ำที่หาดถ้ำพัง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีอิทธิพลต่อความเค็มของน้ำทะเลรอบเกาะสีชังทั้งทางตรงและทางอ้อม



ภาพที่ 4-35 จำนวนนักท่องเที่ยวในแต่ละเดือนบนเกาะสีชังในปี 2562

4.4.3 ความเป็นกรดต่าง

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำรอบเกาะสีชังเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ในปี 2559-2561 ค่าความเป็นกรดต่างรอบเกาะสีชังแสดงในตารางที่ 4-23 และภาพที่ 4-36 พบว่าค่าความเป็นกรดต่างรอบเกาะสีชังอยู่ในปี 2559 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 8.03 ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 8.00 และมีค่าสูงสุด 8.17 ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์ ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 8.33 ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 8.59 และมีค่าสูงสุด 8.84 ในเดือน

กรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างสะพานอัมพวัน ในปี 2561 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 8.26 ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 8.09 และมีค่าสูงสุด 8.33 ในเดือนเมษายนที่จุดเก็บตัวอย่างหาดถ้ำพังและสะพานอัมพวัน

เมื่อเปรียบเทียบความเป็นกรดต่างน้ำทะเลในแต่ละฤดูกาลพบว่าในเดือนกรกฎาคมในฤดูฝนปี 2560 ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 8.59 ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทะเลประเภทที่ 2 ที่กำหนดไว้ว่าความเป็นกรดและต่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0-8.5

จากการเปรียบเทียบความเป็นกรดต่างน้ำทะเลรอบเกาะสีชังตามฤดูกาลพบว่า ฤดูร้อนในเดือนเมษายนมีความเป็นกรดต่างต่ำกว่าฤดูฝนในเดือนกรกฎาคม หมายความว่าในฤดูร้อนน้ำทะเลมีความเป็นกรดมากกว่าฤดูฝน เนื่องมาจากการเกิดปรากฏการณ์ทะเลกรด (Ocean Acidification, OA) โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสามารถละลายลงสู่น้ำทะเลได้ดีที่อุณหภูมิสูง (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559) สอดคล้องกับฤดูร้อนในช่วงเดือนเมษายนของเกาะสีชังที่มีอุณหภูมิน้ำทะเลสูงกว่าฤดูฝน เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายลงสู่น้ำทะเลจะเกิดการรวมตัวกับน้ำ (H_2O) เกิดเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ซึ่งจัดเป็นกรดอ่อน อันทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำทะเลต่ำลงเล็กน้อย กรดคาร์บอนิกนี้สามารถแตกตัวได้หลายรูปเช่น ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งไฮโดรเจนไอออนนี้เองเร่งการสลายหินปูนในสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็ง เช่น ปะการัง หอย เป็นต้น ทำให้เกิดการสลายตัวของชั้นหินปูนเดิมของปะการัง (บัญชา ธนบุญสมบัติ, 2560)

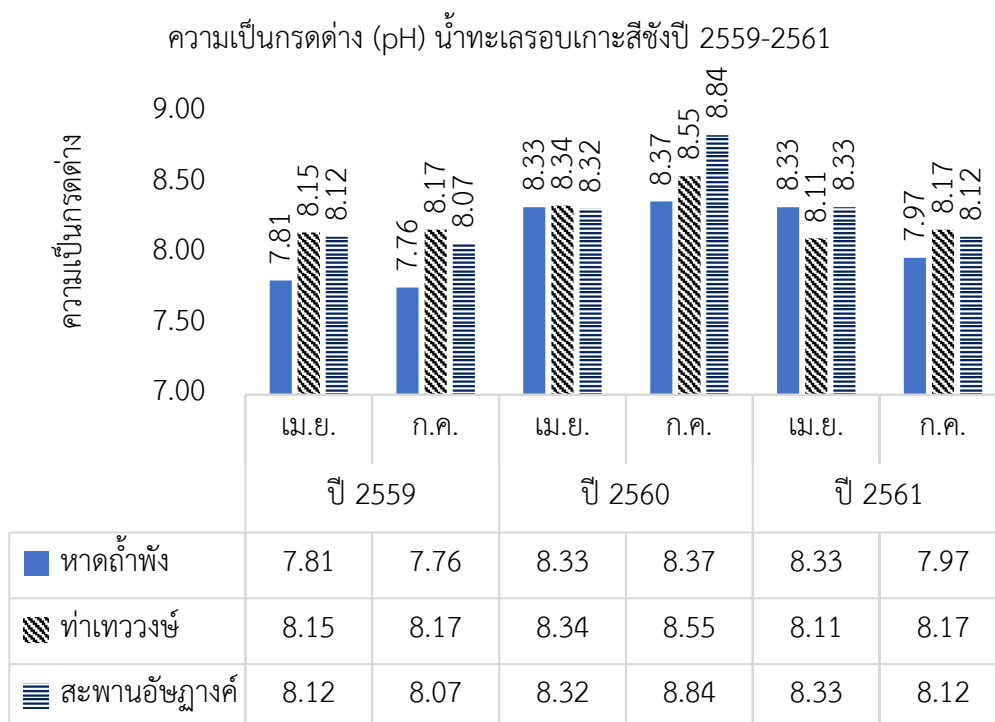
นอกจากนั้นยังพบว่ากิจกรรมของมนุษย์ยังมีอิทธิพลต่อความเป็นกรดต่างของน้ำทะเลเช่นกัน ในแต่ละฤดูกาลจะสังเกตเห็นได้ว่าจุดเก็บตัวอย่างที่มักมีค่าความเป็นกรดต่างสูงที่สุดในปี 2559-2561 ได้แก่ ท่าเววงษ์ เนื่องจากบริเวณท่าเววงษ์เป็นสถานที่ชาวประมงนำอาหารทะเลที่จับได้ขึ้นที่ท่าเรือนี้ และในตอนเช้าจะมีตลาดสดอาหารทะเลในบริเวณนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าชาวประมงส่วนใหญ่จะแปรรูปอาหารทะเลที่บริเวณท่าเรือ เช่น การคัดแยก การล้างทำความสะอาด และการชำแหละพร้อมแปรรูป ดังแสดงในภาพที่ 2-6 ข้อดีของการแปรรูปอาหารทะเลที่ท่าเรือคือไม่ต้องเคลื่อนย้ายอาหารทะเลไปมา และรักษาความสดใหม่ ในบริเวณใกล้ท่าเววงษ์นี้จึงมีชุมชนอยู่หนาแน่น โดยชุมชนมีลักษณะเป็นที่อยู่อาศัยถาวร แต่ต่างจากจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ท่าเววงษ์จึงมีแหล่งกำเนิดของสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ (Human wastes) ร่วมด้วย สิ่งขับถ่ายของมนุษย์ประกอบด้วย สารอินทรีย์ประเภทคาร์บอนและสารประกอบไนโตรเจนประเภทยูเรีย เป็นต้น ซึ่งยูเรียนี้สามารถเปลี่ยนรูปได้เป็นแอมโมเนีย (NH_3) อันเป็นเบสอ่อน ดังนั้นผลของน้ำเสียจากการแปรรูปอาหารทะเลและสิ่งขับถ่ายของมนุษย์ที่บริเวณท่าเววงษ์นี้จึงส่งผลทำให้ความเป็นกรดต่างน้ำทะเลสูง หรือมีความเป็นเบสมากกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 4-23 ความเป็นกรดต่าง (pH) น้ำทะเลรอบเกาะสีชังในปี 2559-2561

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ปี 2559		ปี 2560		ปี 2561	
		เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม
1	หาดถ้ำพัง	7.81	7.76	8.33	8.37	8.33	7.97
2	ท่าเทววงษ์	8.15	8.17	8.34	8.55	8.11	8.17
3	สะพานอัมพวันค์	8.12	8.07	8.32	8.84	8.33	8.12
	เฉลี่ย	8.03	8.00	8.33	8.59	8.26	8.09
	ค่าต่ำสุด	7.81	7.76	8.32	8.37	8.11	7.97
	ค่าสูงสุด	8.15	8.17	8.34	8.84	8.33	8.17

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชีตเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ข) ความเป็นกรดและต่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 - 8.5



ภาพที่ 4-36 ความเป็นกรดต่าง (pH) น้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2559-2561

4.4.4 ปริมาณออกซิเจนละลาย

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำรอบเกาะสีชังเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ในปี 2559-2561 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายรอบเกาะสีชังแสดงในตารางที่ 4-24 และภาพที่ 4-37 พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายรอบเกาะสีชังอยู่ในปี 2559 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 6.30 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 5.18 mg/l และมีค่าต่ำสุด 4.30 mg/l ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์ ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 6.53 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 5.37 mg/l และมีค่าต่ำสุด 2.49 mg/l ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์ ในปี 2561 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 6.55 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 6.34 mg/l และมีค่าต่ำสุด 5.61 mg/l ในเดือนเมษายนที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลายกับค่ามาตรฐานพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในเดือนกรกฎาคมในฤดูฝน ปี 2559 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.18 mg/l และในปี 2560 มีค่าปริมาณออกซิเจนละลายต่ำที่สุดคือ 2.49 mg/l ที่ท่าเทววงษ์ ซึ่งมีค่าปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทะเลประเภทที่ 2 ที่กำหนดไว้ว่าออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่น้อยกว่า 6 mg/l

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลายในแต่ละฤดูกาลแล้วพบว่า ในปี 2559-2561 ปริมาณออกซิเจนละลายในเดือนกรกฎาคมในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าปริมาณออกซิเจนละลายในเดือนเมษายนในฤดูร้อน เนื่องจากในฤดูฝนจะเกิดน้ำท่า (runoff) ปริมาณมาก ก่อนที่น้ำท่าจะไหลลงสู่ทะเลนั้น น้ำท่าได้ชะเอาสารอินทรีย์จากหน้าดินลงไปด้วย เช่น เศษดิน ใบไม้แห้ง สิ่งปฏิภูลหรือของเสียที่ตกค้างตามท่อ เป็นต้น ดังนั้นจึงพบสารอินทรีย์และตะกอนจำนวนมากในน้ำทะเลหลังเกิดฝนตก สารอินทรีย์จัดเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของแพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton) เช่น สาหร่ายสีเขียว ไดอะตอม หรือโปรโตซัวบางชนิด สารอินทรีย์ปริมาณมากนี้เร่งให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อสารอินทรีย์ค่อยๆหมดไป ทำให้สาหร่ายเริ่มตายลงจากการขาดอาหาร สาหร่ายที่ตายลงนี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย แต่เนื่องด้วยมีสาหร่ายที่ตายลงในปริมาณมากทำให้ต้องใช้ ออกซิเจนละลายปริมาณมากในกระบวนการย่อยสลายเช่นกัน จึงพบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าลดลงอย่างมากในระหว่างย่อยสลาย ดังนั้นในฤดูฝนจะพบปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่าฤดูร้อน อันเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทะเลที่เกิดจากการชะของน้ำท่าจากพื้นดิน

นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนละลายตามจุดเก็บตัวอย่างแล้วพบว่า จุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์มีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำที่สุดในทุกปีที่ทำการตรวจวัด จึงสรุปได้ว่าชุมชนที่อยู่อย่างหนาแน่นซึ่งมีลักษณะพักอาศัยแบบถาวร และกิจกรรมแปรรูปอาหารทะเลที่ท่าเทววงษ์นั้น ก่อให้เกิดของเสียประเภทสารอินทรีย์ไหลลงสู่ทะเลปริมาณมากจริง

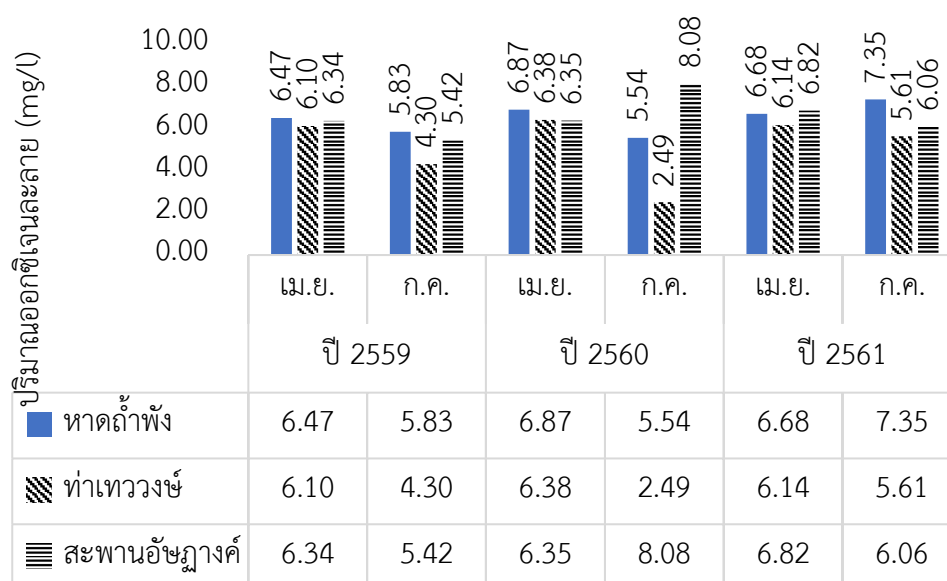
ตารางที่ 4-24 ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/l) รอบเกาะสีซังในปี 2559-2561

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ปี 2559		ปี 2560		ปี 2561	
		เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม	เมษายน	กรกฎาคม
1	หาดถ้ำพัง	6.47	<u>5.83</u>	6.87	5.54	6.68	7.35
2	ท่าเทววงษ์	6.10	<u>4.30</u>	6.38	<u>2.49</u>	6.14	5.61
3	สะพานอัมพวงค์	6.34	<u>5.42</u>	6.35	8.08	6.82	6.06
	เฉลี่ย	6.30	<u>5.18</u>	6.53	5.37	6.55	6.34
	ค่าต่ำสุด	6.10	<u>4.30</u>	6.35	<u>2.49</u>	6.14	5.61
	ค่าสูงสุด	6.47	<u>5.83</u>	6.87	8.08	6.82	7.35

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชีตเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ข) ออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่น้อยกว่า 6 mg/l

ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/l) รอบเกาะสีซังปี 2559-2561



ภาพที่ 4-37 ปริมาณออกซิเจนละลายรอบเกาะสีซังปี 2559-2561

4.4.5 ปริมาณไนเตรท

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำรอบเกาะสีซังเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ในปี 2559-2562 ซึ่งปริมาณไนเตรทรอบเกาะสีซังแสดงในตารางที่ 4-25 และภาพที่ 4-38 พบว่าปริมาณ

ไนเตรทรอบเกาะสีชังอยู่ในปี 2559 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 65.95 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 52.80 mg/l และมีค่าสูงสุด 185.00 mg/l ในเดือนเมษายนที่จุดเก็บตัวอย่างสะพานอัมพวัน ในปี 2560 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 39.00 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 15.00 mg/l และมีค่าสูงสุด 40.00 mg/l ในเดือนเมษายนที่จุดเก็บตัวอย่างสะพานอัมพวัน ในปี 2561 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 1.37 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 16.80 mg/l และมีค่าสูงสุด 19.60 mg/l ในเดือนกรกฎาคมที่จุดเก็บตัวอย่างท่าเววงษ์ ในปี 2562 มีค่าเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 3.27 mg/l ค่าเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 20.11 mg/l และมีค่าสูงสุด 21.80 mg/l ในเดือนกรกฎาคมที่หาดถ้ำพัง

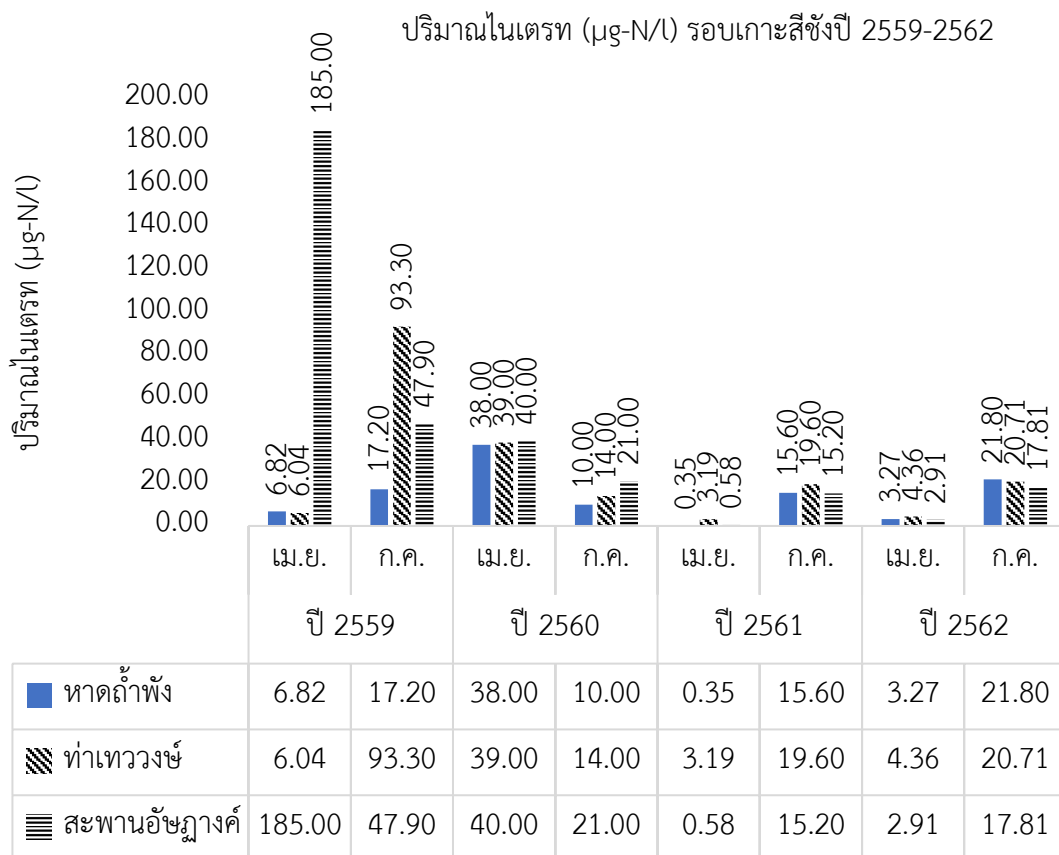
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทกับค่ามาตรฐานพบว่าในเดือนเมษายนในฤดูฝน ปี 2559 มีค่าปริมาณไนเตรทสูงที่สุดเท่ากับ 185.00 mg/l ที่สะพานอัมพวัน และในเดือนกรกฎาคมปีเดียวกันนั้น มีค่าปริมาณไนเตรทสูงที่สุดเท่ากับ 93.33 mg/l ที่ท่าเววงษ์ ซึ่งทั้งสองจุดเก็บนี้มีค่าปริมาณไนเตรทสูงเกินค่ามาตรฐานน้ำทะเลประเภทที่ 2 ที่กำหนดไว้ว่าไนเตรท-ไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 60 $\mu\text{g-N/l}$

ตารางที่ 4-25 ปริมาณไนเตรท ($\mu\text{g-N/l}$) รอบเกาะสีชังในปี 2559-2562

จุดที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ปี 2559		ปี 2560		ปี 2561		ปี 2562	
		เม.ย.	ก.ค.	เม.ย.	ก.ค.	เม.ย.	ก.ค.	เม.ย.	ก.ค.
1	หาดถ้ำพัง	6.82	17.20	38.00	10.00	0.35	15.60	3.27	21.80
2	ท่าเววงษ์	6.04	<u>93.30</u>	39.00	14.00	3.19	19.60	4.36	20.71
3	สะพานอัมพวัน	<u>185.00</u>	47.90	40.00	21.00	0.58	15.20	2.91	17.81
	เฉลี่ย	<u>65.95</u>	52.80	39.00	15.00	1.37	16.80	3.27	20.11

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชิดเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ไนเตรท-ไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 60 $\mu\text{g-N/l}$



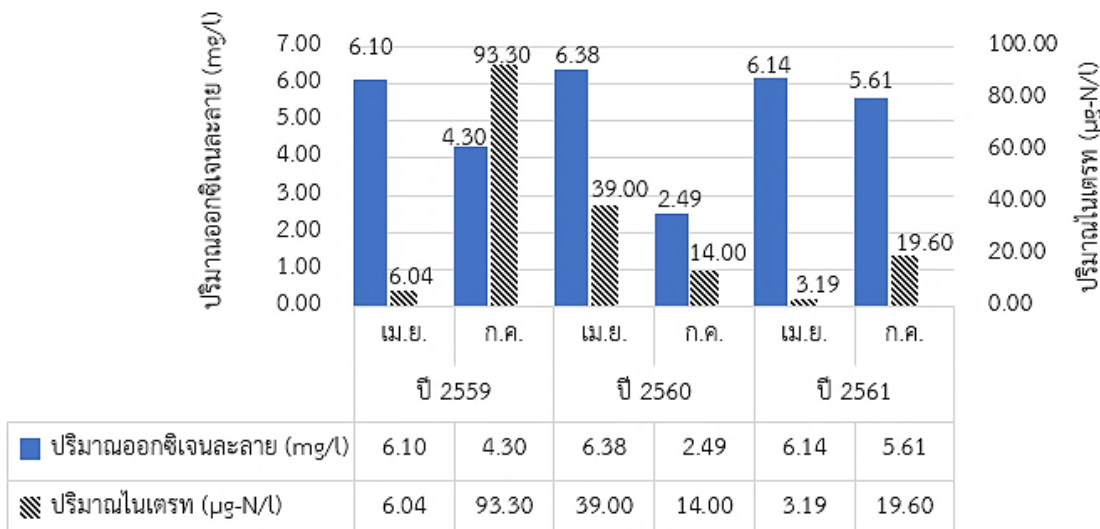
ภาพที่ 4-38 ปริมาณไนเตรทรอบเกาะสี่ซังปี 2559-2562

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทในแต่ละฤดูกาลพบว่าในเดือนกรกฎาคมช่วงฤดูฝน ในปี 2559 ปี 2561 และปี 2562 มีปริมาณไนเตรทสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไนเตรทในเดือนเมษายนในฤดูร้อน อันเนื่องมาจากน้ำฝนและน้ำท่าในฤดูฝนได้ชะธาตุอาหารและสารอินทรีย์จากผิวดินลงสู่ทะเล ทำให้มีธาตุอาหารและสารอินทรีย์ปริมาณมาก จึงทำให้พบไนเตรทสูงในน้ำทะเล เนื่องจากไนเตรทเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนรูปของสารประกอบไนโตรเจนประเภทยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) แอมโมเนีย (NH_3) และแอมโมเนียม (NH_4^+) ซึ่งพบได้มากในของเสียจากมนุษย์และอาหารทะเล โดยในการเปลี่ยนรูปสารประกอบไนโตรเจนดังกล่าวจนได้เป็นไนเตรทนั้นจะต้องเกิดผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) โดยอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิด สำหรับน้ำเสียชุมชนที่เป็นแหล่งรวมของสิ่งปฏิกูลจากมนุษย์นั้นจะพบสารอินทรีย์ไนโตรเจนประเภทยูเรียมาก โดยยูเรียนั้นเป็นของเสียที่เกิดจากการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโนในมนุษย์ เมื่อน้ำเสียจากชุมชนไหลลงสู่ทะเล ยูเรียในรูปสารละลายจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยูรีเอส (Urease) ผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) เปลี่ยนยูเรียให้กลายเป็นแอมโมเนีย (NH_3) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในน้ำทะเล แอมโมเนียที่เกิดขึ้นนี้สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็นไนเตรท

(NO₃⁻) ได้ผ่านกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งอาศัยการทำงานของแบคทีเรีย 2 ชนิด แก่ Nitrosomonas ใช้ในการออกซิไดซ์แอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ (NO₂⁻) และ Nitrobacter ใช้ในการออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรท ตามลำดับ ดังนั้นแล้วในฤดูฝนมักพบไนเตรทสูงในน้ำทะเลซึ่งเป็นผลมาจากน้ำฝนและน้ำท่าชะธาตุอาหารและสารอินทรีย์จากแหล่งชุมชนลงสู่ทะเล

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างพบว่าในจุดเก็บตัวอย่างท่าเทววงษ์ ในปี 2559 ปี 2561 และปี 2562 มีปริมาณไนเตรทในน้ำทะเลสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นที่ท่าเทววงษ์นี้ ได้แก่ กิจกรรมที่เกิดจากชุมชนที่อยู่กันอย่างหนาแน่น และกิจกรรมการแปรรูปอาหารทะเลต่างๆ ก่อให้เกิดน้ำเสียและของเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนสูง ซึ่งประกอบด้วย แอมโมเนีย และยูเรีย เป็นต้น ท้ายที่สุดแล้วสารประกอบไนโตรเจนดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนรูปจนกลายเป็นไนเตรทซึ่งเป็นธาตุอาหารในรูปที่แพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ได้งานได้เลย ซึ่งกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม (2541) กล่าวว่าปริมาณของไนเตรทจากของเสียของมนุษย์เกิดขึ้น 5 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ไนเตรทสามารถเร่งให้สาหร่ายเจริญเติบโตและตายไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ออกซิเจนละลายในน้ำถูกนำมาใช้ปริมาณมาก ทั้งในกระบวนการออกซิเดชันเพื่อเปลี่ยนรูปไนเตรท และใช้ในการย่อยสลายสาหร่ายดังกล่าวที่ตายเป็นปริมาณมาก จึงพบว่าน้ำทะเลที่มีธาตุอาหารสูงจะทำให้เกิดการขาดแคลนออกซิเจนละลาย ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณไนเตรทที่พบสูงที่สุดในเดือนกรกฎาคม ปี 2560 ที่ท่าเทววงษ์ มีค่าเท่ากับ 93.30 µg-N/l ขณะเดียวกันนั้นทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายมีค่าต่ำเหลือเพียง 4.30 mg/l ดังแสดงภาพที่ 4-39 ดังนั้นแล้วจึงสรุปได้ว่าไนเตรทเกิดขึ้นจากของเสียจากกิจกรรมของมนุษย์เช่น ของเสียจากชุมชน และของเสียจากกิจกรรมการแปรรูปอาหารทะเลต่างๆ ที่ท่าเทววงษ์ ซึ่งปริมาณไนเตรทจะแปรผกผันกับปริมาณออกซิเจนละลาย

ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/L) และปริมาณไนเตรท ($\mu\text{g-N/L}$) ที่ท่าเววงษ์
ในปี 2559-2561



ภาพที่ 4-39 ปริมาณออกซิเจนละลายและปริมาณไนเตรทที่ท่าเววงษ์ปี 2559-2561

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังในปี 2559-2561 โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณออกซิเจนละลาย (DO) และปริมาณไนเตรท สรุปได้ว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นบนเกาะสีชังนั้นคือน้ำเสียประเภทชุมชน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 แหล่งกำเนิด ได้แก่ แหล่งกำเนิดชุมชนในบริเวณท่าเววงษ์ และแหล่งกำเนิดบ้านพักนักท่องเที่ยวในบริเวณหาดถ้ำพัง ทั้งสองแหล่งกำเนิดนี้มีการอาศัยอยู่ของคนอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะในบริเวณท่าเววงษ์ที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลักบนเกาะสีชัง ซึ่งมีลักษณะการพักอาศัยแบบถาวรตลอดทั้งปี โดยทั้งสองแหล่งกำเนิดนี้มีลักษณะกิจกรรมการเกิดของเสียที่คล้ายกันคือการพักอาศัยทั้งแบบชั่วคราวจากนักท่องเที่ยวและแบบถาวรจากประชากรเดิม ลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจึงพบของเสียจากมนุษย์อยู่มาก เช่น ยูเรีย และสารอินทรีย์ต่างๆ เป็นต้น

น้ำเสียชุมชนเกิดขึ้นจากของเสียจากมนุษย์มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ เช่น สารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น สารประกอบไนโตรเจนที่อยู่ในน้ำเสียสามารถเปลี่ยนรูปได้โดยอาศัยแบคทีเรียในน้ำทะเลโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชันและรีดักชัน ซึ่งหนึ่งในรูปที่พบคือ ไนเตรท จึงพบว่าน้ำทะเลบริเวณชุมชนหนาแน่นเช่นท่าเววงษ์ที่มีการทิ้งน้ำเสียพบว่าปริมาณไนเตรทสูง นอกจากนั้นปริมาณไนเตรทที่สูงยังส่งผลให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำมีค่าต่ำลงที่ท่าเววงษ์ด้วยเช่นกัน เนื่องจากออกซิเจนในน้ำถูกนำไปใช้ทั้งในกระบวนการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนและใช้ในการย่อยสลายสาหร่ายที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจากการได้รับไนเตรทในปริมาณที่มากกว่าปกติ ซึ่งปริมาณออกซิเจนละลายต่ำส่งผลเสียต่อการหายใจของสัตว์น้ำ

นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่เพิ่มความรุนแรงของน้ำเสียชุมชนเช่นกัน ซึ่งในฤดูฝน น้ำฝนสามารถชะของเสียต่างๆจากพื้นดินลงสู่ทะเล ประกอบกับพื้นที่บนเกาะสีชังมีความชันมาก สภาพชั้นดินเป็นหินปูนส่วนใหญ่ และมีชั้นดินที่น้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2557) จึงไม่สามารถดูดซึมและชะลอน้ำฝนได้ ดังนั้นในฤดูฝนจึงเกิดปริมาณน้ำฝนไหลลงสู่ทะเลมากส่งผลให้ความเค็มของน้ำทะเลลดลงประกอบกับน้ำฝนเพิ่มการชะของเสียลงสู่ทะเลมากกว่าฤดูกาลอื่นๆ จึงมักพบว่าในฤดูฝน น้ำทะเลรอบเกาะสีชังมีความเค็มลดลง มีปริมาณไนเตรทสูงจากการชะของเสียจากพื้นดิน และพบว่ามีปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำลง ตามลำดับ

ในปัจจุบันนี้ทางเทศบาลตำบลเกาะสีชังไม่มีการติดตั้งระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียรวมของเกาะ จึงทำให้น้ำเสียจากชุมชนเหล่านั้นถูกทิ้งสู่ทะเลโดยตรงโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัดใดๆ จึงทำให้เกาะสีชังพบปัญหาของน้ำเสียชุมชนมาโดยตลอด โดยเฉพาะในบริเวณท่าเหววงษ์ที่มีการอาศัยอยู่ของชุมชนอยู่อย่างหนาแน่นและถาวร ซึ่งผลกระทบจากน้ำเสียชุมชนดังกล่าวสามารถส่งผลกระทบต่อความเสื่อมโทรมสุขภาพปะการังในบริเวณเกาะสีชังซึ่งยากต่อการฟื้นฟูในบริเวณดังกล่าวได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาผลของความเค็มร่วมกับระดับของไนเตรทแบบเฉียบพลันต่อระดับสุขภาพปะการังเขากวาง ปะการังจาน และปะการังโขด ที่มีความเข้มข้นไนเตรทและความเค็มที่แตกต่างกันดังนี้ ความเค็ม 4 ระดับคือ 15 20 25 และ 30 psu และความเข้มข้นไนเตรท 4 ระดับคือ 5 20 60 และ 100 $\mu\text{g-N/l}$ ตามลำดับ และประเมินสุขภาพปะการังโดยใช้แผนภูมิสุขภาพปะการัง (CoralWatch, 2002) และทำการบันทึกภาพปะการังในตู้ทดลอง โดยทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ เพื่อนำผลการประเมินสุขภาพปะการังมาคำนวณหาค่าร้อยละสุขภาพและสุขภาพเสื่อมโทรมของปะการัง โดยปะการังที่มีสุขภาพต่ำกว่าระดับที่ 3 หรือมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้ปะการังมีสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 (LC_{50}) ด้วยการใช้การวิเคราะห์แบบโพรบิท (Probit analysis) (Finney, 1971) นอกจากนั้นยังประเมินระดับสุขภาพของปะการังร่วมกับความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ และร้อยละการยึดโพลีปในปะการัง ซึ่งผลการศึกษาของปะการังทั้ง 3 ชนิดแสดงไว้ดังนี้

การศึกษาร้อยละสุขภาพของปะการังในสภาวะที่ต่างกันพบว่าในสภาวะความเค็มต่ำร่วมกับความเข้มข้นไนเตรทสูงส่งผลต่อสุขภาพปะการังให้เกิดความเสื่อมโทรมมากที่สุด ซึ่งสภาวะที่ปะการังมีความเสื่อมโทรมมากที่สุดนั้นก็คือ ที่ความเค็ม 15 psu ร่วมกับความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/l}$ ที่สภาวะดังกล่าวทำให้ปะการังเกิดความเครียดจากการที่ไม่สามารถรักษาคุณภาพภายในระบบได้ ความเครียดของปะการังกระตุ้นให้เกิดการสูญเสียสาหร่ายเซลล์เดียวหรือสาหร่ายซูแซนเทลลีออกจากเนื้อเยื่อของปะการัง ส่งผลให้สีของปะการังซีดจางลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สุขภาพของปะการังเสื่อมโทรมนั่นเอง นอกจากนั้นยังพบว่าปะการังทั้ง 3 ชนิดนั้นมีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมได้แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า LC_{50} ของไนเตรทแล้วพบว่าปะการังเขากวางมีค่า LC_{50} ของไนเตรทที่เวลา 96 ชั่วโมงอยู่ที่ 94.46 $\mu\text{g-N/l}$ ปะการังโขดมีค่า LC_{50} ของไนเตรทที่เวลา 120 ชั่วโมงอยู่ที่ 106.35 $\mu\text{g-N/l}$ และปะการังจานมีค่า LC_{50} ของไนเตรทที่เวลา 144 ชั่วโมงอยู่ที่ 116.55 $\mu\text{g-N/l}$ โดยค่า LC_{50} ที่ต่ำจะแสดงถึงความเป็นพิษที่มากเมื่อรับสัมผัสเพียงเล็กน้อย ดังนั้น สรุปได้ว่าในปะการังทั้ง 3 ชนิดนี้ ปะการังเขากวางมีความทนทานในระดับต่ำ ปะการังโขดมีความทนทานในระดับปานกลาง และปะการังจานมีความทนทานในระดับมาก ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า LC_{50} ของไนเตรทที่ได้จากการทดลองในปะการังทั้ง 3 ชนิดกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งประเภทที่ 2 เพื่อการอนุรักษ์ปะการังที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งกำหนดไว้ว่า ความเข้มข้น

ไนเตรทในน้ำทะเลต้องมีค่าไม่เกิน 60 $\mu\text{g-N/l}$ ซึ่งค่า LC_{50} ของไนเตรทที่ได้จากการทดลองในหังปะการังทั้ง 3 ชนิด อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานแสดงให้เห็นว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งนี้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสุขภาพปะการังแล้ว

การศึกษาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ กับสุขภาพของปะการัง พบว่าที่สภาวะความเค็มต่ำร่วมกับความเข้มข้นของไนเตรทสูง หรือที่ความเค็ม 5 psu ร่วมกับความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/l}$ นั้น มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในตู้ทดลองมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะอื่นๆ ซึ่งความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในสภาวะดังกล่าวซึ่งพบมากที่สุดนั้นยังสอดคล้องกับร้อยละความเสื่อมโทรมที่พบว่ามีค่ามากที่สุดเช่นกัน ที่สภาวะที่ความเค็ม 5 psu ร่วมกับความเข้มข้นไนเตรท 100 $\mu\text{g-N/l}$ นั้นปะการังเขากวางที่เวลา 96 ชั่วโมง มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีมีค่าเท่ากับ 2.33 cells/ml และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเท่ากับ 0.297 mg/m^3 ปะการังจานที่เวลา 144 ชั่วโมง มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีมีค่าเท่ากับ 8.25 cells/ml และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเท่ากับ 0.341 mg/m^3 และปะการังโขดเวลา 120 ชั่วโมง มีความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีมีค่าเท่ากับ 18.90 cells/ml และปริมาณคลอโรฟิลล์เอ มีค่าเท่ากับ 0.430 mg/m^3 ซึ่งปริมาณสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่แตกต่างกันในปะการังแต่ละชนิดนั้นเนื่องมาจากความหนาของชั้นเนื้อเยื่อที่ต่างกัน โดยปริมาณสาหร่ายซูแซนเทลลี และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่พบในตู้ทดลองมากที่สุดและน้อยที่สุดคือ ปะการังโขดและปะการังเขากวาง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปะการัง โดยปะการังแบบก้อน (massive coral) ได้แก่ ปะการังโขดและปะการังจานจะมีชั้นเนื้อเยื่อหนากว่าปะการังปะการังแบบกิ่งก้าน (branching coral) ซึ่งก็คือ ปะการังเขากวาง นั่นเอง

การศึกษาร้อยละการยึดโพลีปของปะการังพบว่า สามารถทำการทดลองได้ในปะการังเพียง 2 ชนิด คือ ปะการังเขากวางและปะการังจาน เนื่องจากปะการังโขดมีโพลีปขนาดเล็กมากไม่สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายและคำนวณออกมาเป็นร้อยละการยึดโพลีปได้ ผลการศึกษาในปะการังเขากวางและปะการังจานนี้พบการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน โดยพบว่าสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจากผลรวมของระดับความเค็มต่ำและความเข้มข้นไนเตรทสูงนี้ ทำให้ร้อยละการยึดโพลีปมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาสัมผัสที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจาก การสัมผัสกับสภาวะที่ไม่เหมาะสมดังกล่าวนี้ทำให้ปะการังเกิดความเครียดและเกิดความระคายเคือง ปะการังจึงป้องกันตัวเองด้วยการหดโพลีปกลับสู่โครงร่างแข็งเพื่อลดการสัมผัสระหว่างตนเองและสิ่งแวดล้อมดังกล่าว จึงทำให้ร้อยละการยึดโพลีปลดลงตามระยะเวลาสัมผัสที่เพิ่มขึ้น โดยการหดโพลีปของปะการังยังส่งผลต่อการได้รับพลังงานที่ลดลงทั้งในทางตรงและทางอ้อมในปะการังอีกด้วย ในทางตรงเมื่อปะการังหดโพลีปนั้นจะทำให้ปะการังไม่สามารถจับอาหารได้เองตามปกติ และในทางอ้อมนั้นการหดโพลีปของปะการังนั้นส่งผลให้เกิดการบดบังแสงต่อสาหร่ายซูแซนเทลลี เมื่อสาหร่ายซูแซนเทลลีได้รับแสงลดลงทำให้

อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง พลังงานและอาหารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงจึงลดลงตามลำดับด้วยเช่นกัน ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปะการังและการสร้างโครงสร้างแข็งในปะการัง

5.2 สรุปผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชัง

การศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังได้รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของคุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในเดือนเมษายนและเดือนกรกฎาคม ปี 2559-2561 ซึ่งเดือนเมษายนเป็นช่วงฤดูร้อนของจังหวัดชลบุรี (เทศกาลท่องเที่ยว) และในช่วงเดือนกรกฎาคมเป็นช่วงฤดูฝนของจังหวัดชลบุรี โดยมีพื้นที่ที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 3 จุด ได้แก่ หาดถ้ำพัง ท่าเววงษ์ และสะพาน โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ น้ำทะเล ความเค็ม ความเป็นกรดต่าง ปริมาณออกซิเจนละลาย และปริมาณไนเตรท สรุปผลการศึกษาดังนี้

อุณหภูมิ น้ำทะเลรอบเกาะสีชัง พบว่าในปี 2559-2561 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ น้ำทะเลในฤดูร้อนคือ 30.49 30.39 และ 30.54 องศาเซลเซียส และในฤดูฝนคือ 30.44 30.66 และ 30.03 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิ น้ำทะเล โดยในฤดูร้อนในช่วงเดือนเมษายนมีอุณหภูมิ น้ำทะเลสูงกว่าในฤดูฝนในช่วงเดือนกรกฎาคม ซึ่งอุณหภูมิ น้ำทะเลเฉลี่ยที่พบในปี 2559-2561 นั้นมีค่ามากกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของปะการังได้

ความเค็มรอบเกาะสีชัง พบว่าในปี 2559-2561 มีค่าความเค็มเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 32.04 30.37 และ 29.65 psu และในเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 31.94 23.55 และ 27.92 psu ตามลำดับ พบว่าการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีอิทธิพลต่อความเค็มของน้ำทะเล โดยในฤดูฝนในช่วงเดือนกรกฎาคมมีฝนตกปริมาณมาก น้ำทะเลจะมีความเค็มต่ำในฤดูฝน นอกจากนั้นยังพบว่าในช่วงฤดูร้อนมีนักท่องเที่ยวมาพักผ่อนเกาะสีชังมาก มีปริมาณการใช้น้ำมากขึ้นส่งผลให้น้ำทะเลจะมีความเค็มต่ำในบางจุดเช่นกัน ถึงอย่างนั้นแล้วความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลในปี 2559-2561 ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ความเป็นกรดต่างรอบเกาะสีชังในปี 2559-2561 มีค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 8.03 8.33 และ 8.26 และในเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 8.00 8.59 และ 8.09 ตามลำดับ มักพบว่าในฤดูร้อนในน้ำทะเลความเป็นกรดมากกว่าฤดูฝน เนื่องมาจากการเกิดปรากฏการณ์ทะเลกรดทำให้ในหลายจุดเก็บตัวอย่างมีความเป็นกรดต่างต่ำลงในฤดูร้อน และยังพบว่าน้ำเสียจากมนุษย์อันมีสารประกอบไนโตรเจนอยู่มาก เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งแอมโมเนียเป็นเบส ทำให้น้ำทะเลมีความเป็นกรดต่างสูงขึ้นกว่าปกติ ทำให้บางจุดมีความเป็นกรดต่างมาตรฐาน คือมากกว่า 8.5

ปริมาณออกซิเจนละลายรอบเกาะสีชัง ในปี 2559-2561 มีปริมาณออกซิเจนละลายเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 6.30 6.53 และ 6.55 mg/l และเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 5.18 5.37 และ 6.34 mg/l ตามลำดับ พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายในฤดูฝนต่ำกว่าในฤดูร้อนเนื่องมาจากออกซิเจนละลายถูกนำไปใช้ในกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นมากจากการชะของน้ำฝน ดังนั้นแล้วในฤดูฝนจึงพบปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานกำหนดไว้ว่าปริมาณออกซิเจนละลายควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 mg/l

ปริมาณไนเตรทรอบเกาะสีชัง อยู่ในปี 2559-2562 มีปริมาณไนเตรทเฉลี่ยในเดือนเมษายนอยู่ที่ 65.95 39.00 3.27 และ 1.37 mg/l และในเดือนกรกฎาคมอยู่ที่ 15.00 52.80 16.80 และ 20.11 mg/l ตามลำดับ พบว่าปริมาณไนเตรทในฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อนเนื่องจากน้ำฝนชะของเสียจากมนุษย์ลงสู่ทะเล ซึ่งของเสียจากมนุษย์ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ในรูปไนโตรเจน สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทได้ ทำให้ในฤดูฝนมักพบไนเตรทน้ำทะเลสูงกว่าปกติ ถึงอย่างนั้นแล้วค่าเฉลี่ยปริมาณไนเตรทในน้ำทะเลปี 2559-2562 ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 5.3.1 การศึกษาปัจจัยทางกายภาพซึ่งก่อให้เกิดการฟอกขาวในปะการังในปัจจุบันนี้ยังคงมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบจากปัจจัยเดี่ยวเพียงอย่างเดียว เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิ น้ำทะเล ตะกอนแขวนลอยในน้ำ ธาตุอาหาร ความเป็นกรดต่าง เป็นต้น งานวิจัยในอนาคตควรมุ่งเน้นศึกษาผลกระทบซึ่งเกิดจากผลรวมของหลายปัจจัยทางกายภาพเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาวะในทะเลตามธรรมชาติ ดังนั้นควรศึกษาผลกระทบจากผลรวมของหลายปัจจัยร่วมกันโดยเสนอให้ศึกษาในพื้นที่จริงและมีการติดตามตรวจวัดอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นฐานข้อมูลการติดตามสุขภาพปะการังรอบเกาะสีชัง
- 5.3.2 การนำแผนภูมิปะการังมาใช้ประเมินสุขภาพปะการังในระดับการทดลองนั้นสามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง ดังนั้นการใช้แผนภูมิปะการังจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่ดีในการติดตามสุขภาพปะการัง โดยเสนอแนะให้นำไปประยุกต์ใช้ในระดับที่ใหญ่ขึ้น เช่น การสำรวจและการติดตามสุขภาพปะการังในรายปี เป็นต้น
- 5.3.3 เสนอให้มีการพัฒนาระบบการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image Analysis) ร่วมกับการประเมินสุขภาพปะการัง โดยพัฒนาการประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถประเมินสุขภาพปะการังได้อย่างรวดเร็วและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในพื้นที่ปะการังต่อไป

5.3.4 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังในปี 2559-2561 นั้นสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษจากแหล่งชุมชนและแหล่งท่องเที่ยวได้ เช่น พิจารณาความสำคัญของระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียบนเกาะสีชัง หรือส่งเสริมการฟื้นฟูปะการังโดยรอบเกาะสีชัง เป็นต้น เพื่อใช้เสนอต่อการบริหารจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของเกาะสีชังต่อไปในอนาคต

5.3.5 ในการประเมินหาระยะเวลาหรือปริมาณไนเตรทที่ทำให้สุขภาพปะการังทั้ง 3 ชนิด ลดลงในระดับเสื่อมโทรม (LC_{50}) ในสภาวะน้ำทะเลที่มีความเค็มใกล้เคียงกับธรรมชาติที่ระดับ 20 25 และ 30 psu ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในการทดลองนี้ เนื่องจากมีข้อมูลจากการทดลองไม่เพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์ ที่สภาวะดังกล่าวปะการังทั้ง 3 ชนิด มีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมต่ำกว่า 50 เมื่อนำไปหา LC_{50} ด้วยการวิเคราะห์แบบโพรบิทจะได้ผลวิเคราะห์ที่มีความแปรปรวนสูงมาก จึงเสนอให้เพิ่มช่วงเวลาในการทดลองเพื่อให้ปะการังในความเค็มแต่ละระดับแสดงสุขภาพในระดับเสื่อมโทรม หรือมีร้อยละสุขภาพเสื่อมโทรมมากกว่า 50 จึงจะสามารถประเมินหา LC_{50} ของไนเตรทในทุกระดับความเค็มของน้ำทะเลที่กล่าวมาได้

5.4 ความสำคัญกับงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

5.4.1 ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียรวม

การแก้ไขปัญหาหน้าเสียน้ำจากเกาะสีชังที่ยั่งยืนนั้นคือการติดตั้งระบบรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสียรวมบนเกาะสีชัง แต่เนื่องด้วยปัญหาของลักษณะภูมิประเทศที่มีความชันมากนั้นเป็นความยากลำบากในการติดตั้งระบบรวบรวมน้ำเสียให้ได้ในทุกๆ พื้นที่บนเกาะสีชัง ดังนั้นจึงควรเลือกพื้นที่ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักของน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นบนเกาะสีชังนั้นเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากชุมชน ดังนั้นจึงแนะนำให้สร้างระบบรวบรวมน้ำเสียในบริเวณที่ชุมชนอยู่หนาแน่นเพื่อที่จะสามารถรวบรวมน้ำเสียส่วนใหญ่ได้ ซึ่งบริเวณที่ชุมชนอยู่อย่างหนาแน่นก็คือแถบท่าเรือของเกาะคือ ท่าเทววงษ์

น้ำเสียชุมชนมีลักษณะเด่นที่พบคือ มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์อยู่สูง นั่นก็คือมีปริมาณอินทรีย์ไนโตรเจนสูง เช่น แอมโมเนียและไนเตรท ซึ่งส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและปะการัง ดังนั้นการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจะต้องพิจารณาการกำจัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนออกจากน้ำเสียเป็นลำดับสำคัญ โดยวิธีบำบัดที่แนะนำนี้จะเน้นการบำบัดทางกายภาพและชีวภาพ เนื่องด้วยมีค่าใช้จ่ายไม่สูง ไม่ต้องอาศัยการดูแลมากและไม่ใช้สารเคมีอันอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยเสนอวิธีบำบัดสารอินทรีย์ไนโตรเจนที่มีประสิทธิภาพคือ

ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบดีไนตริฟิเคชันเกิดทีหลัง (Post-denitrification activated sludge system) และระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน (Pre-denitrification activated sludge system) ทั้งสองระบบนี้ใช้องค์ประกอบที่เหมือนกันแตกต่างกันลำดับการเรียงถังเติมอากาศเท่านั้น โดยในระบบทั้งสองประกอบด้วย ถังเติมอากาศ (Aeration tank) ถังไร้อากาศ (Anaerobic tank) ถังตกตะกอน (Sedimentation tank) และระบบเวียนตะกอนและระบบระบายตะกอน ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบดีไนตริฟิเคชันเกิดทีหลัง จะเรียกถังปฏิบัติการดังนี้ ถังเติมอากาศ ถังไร้อากาศ และถังตกตะกอน แตกต่างจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อนที่จะเรียกถังปฏิบัติการดังนี้ ถังไร้อากาศ ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน ในส่วนถังเติมอากาศ จะเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันขึ้น โดยสารอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนและออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนพร้อมทั้งสามารถเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนให้เป็นไนเตรทได้ ในส่วนถังไร้อากาศจะเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน โดยสารอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนและไนเตรทเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถเปลี่ยนไนเตรทในน้ำเสียให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนกลับสู่ชั้นบรรยากาศได้ ในส่วนถังตกตะกอนนี้เป็นส่วนสำคัญในการเลี้ยงแบคทีเรียให้เจริญเติบโตจนกระทั่งสามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เมื่อกลุ่มก้อนแบคทีเรียมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีน้ำหนักมากพอที่จะจมตัวลง จะเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนแบคทีเรียจะแยกชั้นออกจากน้ำ จึงทำให้เกิดชั้นน้ำใสออกมา และในส่วนระบบเวียนตะกอนนั้นจะรวบรวมตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่กันถังตกตะกอนเวียนกลับสู่ถังเติมอากาศเพื่อเป็นการเติมแบคทีเรียให้ไปทำหน้าที่ช่วยย่อยสารอินทรีย์อีกรอบ เมื่อปล่อยให้ระบบทำงานนานๆไป จะพบว่าปริมาณตะกอนแบคทีเรียเพิ่มมากขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของแบคทีเรียที่มากเกินไปและเพื่อรักษาประมาณแบคทีเรียให้คงที่มักจะระบายตะกอนทิ้งผ่านกันถังตกตะกอน

นอกจากนั้นแล้วการแก้ปัญหาหน้าเสียบนเกาะสีชังอันเกิดจากการอยู่อาศัยของชุมชนที่หนาแน่นในบริเวณพื้นที่ท่าเทววงษ์ อาจพิจารณาควบคู่กับการวางแผนผังเมืองเพื่อลดความหนาแน่นชุมชนให้เหมาะสมกับพื้นที่เพื่อแก้ปัญหาชุมชนหนาแน่นเฉพาะจุด โดยคำนึงถึงการพัฒนาสาธารณูปโภคและการการเดินทางให้กระจายไปยังทุกพื้นที่ของเกาะสีชังเพื่อขยายพื้นที่อยู่อาศัยไปในบริเวณอื่นของเกาะสีชัง การกำหนดอัตราส่วนที่ดินประเภทอยู่อาศัย การกำหนดความสูงในการก่อสร้างอาคารเพื่อลดความหนาแน่นในการอยู่อาศัย ดำเนินการบริหารจัดการและการระบายน้ำในพื้นที่ชุมชน หรือดำเนินโครงการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมชุมชนอย่างยั่งยืน เป็นต้น

5.4.2 ส่งเสริมการฟื้นฟูปะการัง

การฟื้นฟูปะการังจำเป็นต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของพื้นที่เป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากในหลายพื้นที่อันมีกิจกรรมของมนุษย์นั้นสร้างความเสื่อมโทรมต่อปะการังแบบถาวร เช่น การปล่อยน้ำเสียชุมชน การชะล้างตะกอน ท่าเรือโดยสาร เป็นต้น ความเสื่อมโทรมดังกล่าวนั้นยากต่อการฟื้นฟูปะการังให้สำเร็จได้ พื้นที่ที่จะทำการฟื้นฟูปะการังนั้นต้องเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน ต้องมีความลึกที่ได้รับปริมาณแสงส่องพอเหมาะ มีความเค็มในช่วง 30-36 psu มีอุณหภูมิน้ำทะเล 25-30 องศาเซลเซียส และอยู่ในพื้นที่ที่มีคลื่นลมไม่รุนแรง โดยในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการฟื้นฟูปะการังรอบเกาะสีชังนั้นคือในบริเวณสะพานอัญญาวงศ์ตลอดจนแนวชายฝั่งทิศใต้ของเกาะสีชัง ซึ่งไม่มีกิจกรรมการรบกวนของมนุษย์เกิดขึ้นในบริเวณนี้ ซึ่งการฟื้นฟูปะการังที่ได้ดำเนินการกับแนวปะการังโดยตรง (Active restoration) มีทั้งสิ้น 2 วิธีที่ได้รับความนิยมจากสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน (2552) ดังนี้

การย้ายปลุกปะการัง (Coral recruitment) เป็นวิธีที่แรกและเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในหลายพื้นที่ในแนวอ่าวไทย โดยวิธีการทำเริ่มจากคัดเลือกโคโลนีปะการังที่มีสุขภาพดีมาตัดแบ่งให้ได้ปะการังขนาด 15-20 เซนติเมตร จากนั้นนำปะการังมายึดติดกับฐานประเภทอิฐบล็อก ปูนซีเมนต์ เหล็กหรือท่อพีวีซี แล้วจึงนำฐานที่ยึดติดแล้วไปตอกติดบนพื้นทรายเดิมที่พบเศษปะการังตายที่ความลึก 6-10 เมตร การตอกติดปะการังบนเศษปะการังเดิมนั้นมีความสำคัญเนื่องจากเศษปะการังเหล่านั้นจะถูกใช้เป็นที่ลงเกาะสำหรับปะการังเกิดใหม่ หากปะการังเกิดใหม่ไม่มีที่ลงเกาะจะทำให้ปะการังกระจายอยู่บนพื้นทราย ซึ่งมีโอกาสตายสูงจากการถูกทับถมได้ พบว่าวิธีการย้ายปลุกปะการังนี้สามารถฟื้นฟูให้ปะการังอย่างกลมกลืนกับสภาพแวดล้อมได้ในเวลา 7 ปี

การจัดทำแปลงอนุบาล (Coral nursery) มีแนวคิดคล้ายกับการเพาะพันธุ์พืช คือนำกิ่งพันธุ์ปะการังขนาดเล็กไปเลี้ยงในสภาพทะเลจริง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปะการังมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้มากกว่าการย้ายปลุกปะการังเลยโดยตรง โดยการอนุบาลปะการังจะนำกิ่งปะการังขนาดเล็กมาเลี้ยงบนแพทุ่นลอยซึ่งลดโอกาสการทับถมของตะกอนจึงทำให้ปะการังมีโอกาสรอดมากกว่าการย้ายปลุก ซึ่งถือเป็นวิธีที่ประสบความสำเร็จมาก โดยวิธีการทำเริ่มจากคัดเลือกกิ่งพันธุ์ปะการังที่มีความสมบูรณ์ขนาดประมาณ 3-5 เซนติเมตร จากนั้นยึดปะการังติดกับแพที่เตรียมไว้โดยการเตรียมแพอนุบาลมีดังนี้ เตรียมแพปะการังขนาด 4x5 เมตร ที่ความลึก 6 เมตรจากผิวน้ำ และสูงจากพื้นทะเล 4 เมตรเพื่อป้องกันการทับถมของตะกอน จากนั้นติดทุ่นพลาสติกที่มุมของแพทั้งสี่มุมเพื่อช่วยลอย พร้อมกับใช้ฐานคอนกรีตหนัก 40 กิโลกรัมยึดในแต่ละมุมของแพ

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กมลพร พัฒนศิริ. (2556). ผลของอุณหภูมิและความเค็มต่อการเติบโตของ zooxanthellae ที่แยกจากปะการังกะหล่ำ (*Pocillopora damicornis*), ปะการังดอกเห็ด (*Fungia fungites*) และดอกไม้ทะเล (*Epiactis* sp.) ที่อุณหภูมิสูง (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมควบคุมมลพิษ. (2550). ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water02.html

กรมควบคุมมลพิษ. (2557). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและภาวะมลพิษกรณีการขนส่งสินค้าบริเวณเกาะสีชังเพื่อประเมินศักยภาพและผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการเป็นเขตขนส่งสินค้าระดับภูมิภาคเพื่อรองรับการขยายตัวของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://infofile.pcd.go.th/mgt/SichangCompleteReport.pdf?CFID=80669&CFTOKEN=90406733> [3 พฤษภาคม 2563]

กรมควบคุมมลพิษ. (2560ก). เกณฑ์ความรู้มลพิษทางทะเล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_marine.html#s2_5 [9 สิงหาคม 2562]

กรมควบคุมมลพิษ. (2560ข). มาตรฐานน้ำทะเลชายฝั่ง [ออนไลน์]. ทะเลกับการใช้ประโยชน์. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_sea4use.html [9 สิงหาคม 2562]

กรมควบคุมมลพิษ. (2560ค). แหล่งกำเนิดมลพิษจากชายฝั่งทะเล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_marine.html [22 สิงหาคม 2562]

กรมควบคุมมลพิษ. (2560ง). แหล่งกำเนิดมลพิษในทะเล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/water_marine.html [22 สิงหาคม 2562]

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556ก). *Turbinaria peltata* [ออนไลน์]. ระบบฐานข้อมูลกลางและมาตรฐานข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. แหล่งที่มา: http://km.dmcr.go.th/th/c_1/s_149/d_5657 [4 สิงหาคม 2562]

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556ข). ความรู้ทั่วไป ปะการังฟอกขาว, [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://km.dmcr.go.th/th/c_254/d_13608 [11 สิงหาคม 2562]

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556ค). ชีวิตวิทยาและระบบนิเวศปะการัง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://km.dmcr.go.th/th/c_3/d_793 [18 สิงหาคม 2562]

- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556ง). มาตรฐานน้ำทะเล [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://km.dmcr.go.th/th/c_51 [17 สิงหาคม 2562]
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2556จ). สถานการณ์ กันยายน 2553 [ออนไลน์]. ประกาศพอก ขาว. แหล่งที่มา: https://km.dmcr.go.th/th/c_254/d_13636 [4 สิงหาคม 2562]
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2557. รายงานการสำรวจและประเมินสถานภาพและศักยภาพ ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง : ประกาศและหล้าทะเล ปี 2557.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2560ก). ภูมิอากาศจังหวัดชลบุรี [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://climate.tmd.go.th/data/province/ตะวันออก/ภูมิอากาศชลบุรี.pdf> [5 สิงหาคม 2562]
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2560ข). สถิติปริมาณฝน จำแนกรายจังหวัด และสถานีตรวจอากาศ เป็นรายเดือน พ.ศ. 2560 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://statbbi.nso.go.th/staticreport/Page/sector/TH/report/sector_21_65_TH_xlsx [4 สิงหาคม 2562]
- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). ปრაกฏการณ์ทะเลกรด [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.environnet.in.th/archives/944> [13 สิงหาคม 2562]
- กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม. (2541). ไนเตรท ไนไตรท์และ สารประกอบเอ็น-ไนโตรโซ (Nitrate, nitrite and N-nitroso compounds) [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://infofile.pcd.go.th/haz/55-Nitrate.pdf> [7 มิถุนายน 2563]
- ขวัญชนก ศรัทธาสุข. (2556). โครงสร้างของคลอโรฟิลล์ [ออนไลน์]. คลอโรฟิลล์กับสุขภาพ. แหล่งที่มา: <http://biology.ipst.ac.th/?p=963> [8 สิงหาคม 2562]
- เทศบาลตำบลเกาะสีชัง. (2561). ประวัติเทศบาลตำบลเกาะสีชัง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.kohsichang.go.th/ประวัติเทศบาล/> [13 กรกฎาคม 2562]
- นิลนาจ ชัยชนาวีสุทธิ. (2559). สถานภาพการระบาดของโรคปะการังอันเนื่องมาจากสภาวะโลกร้อนและความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมทางทะเลในแนวปะการังเขตนน้ำตื้นบริเวณอ่าวไทยแล้วทะเลอันดามัน [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: https://cuir.car.chula.ac.th/dspace/bitstream/123456789/57104/1/Nilnaj_Chai_Res_2559.pdf [18 สิงหาคม 2562]
- บัญชา ธนบุญสมบัติ. (2560). Ocean Acidification คู่แฝดตัวร้ายของโลกร้อน. เทคโนโลยีวิสดู, 12-19.
- บุษปกรณ์ อุดมทรัพย์. (2561). ผลของอุณหภูมิและแอมโมเนียต่อระดับสุขภาพปะการัง กรณีศึกษาเกาะสีชัง ประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรีสกุล ภิรมย์วารากร. (2561). ปะการังแข็งบริเวณหมู่เกาะทะเลใต้ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www1a.biotec.or.th/BRT/index.php/2010-08-09-09-38-28/234-coral-srisakul> [2 สิงหาคม 2562]

- ศุภกาญจน์ จันทร์แดง. (2558). "ผลของการเปลี่ยนแปลงความเค็มแบบเรื้อรังต่อการฟอกขาวและการฟื้นตัวของปะการังเขากวาง" การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6. 26 มิถุนายน 2558. มหาวิทยาลัยมหาดใหญ่: มหาวิทยาลัยมหาดใหญ่. 1553.
- สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2558). สถานภาพปะการังทั่วประเทศไทย ปี 2558 [ออนไลน์]. แนวปะการังในประเทศไทย. แหล่งที่มา: http://mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=66&lang=th [17 สิงหาคม 2562]
- สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2559). ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลพื้นที่ชายฝั่งทั่วประเทศ ปี 2559 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.arri.chula.ac.th/> [17 สิงหาคม 2562]
- สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2560). ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลพื้นที่ชายฝั่งทั่วประเทศ ปี 2560 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.arri.chula.ac.th/> [17 สิงหาคม 2562]
- สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561). ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลพื้นที่ชายฝั่งทั่วประเทศ ปี 2561 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.arri.chula.ac.th/> [17 สิงหาคม 2562]
- สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางชายฝั่งทะเลและป่าชายเลน. (2552). การฟื้นฟูแนวปะการังในประเทศไทย. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เวิลด์ ออฟเซ็ท.
- สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2554). บันทึกจากทะเล 2554 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.pmbc.go.th> [11 สิงหาคม 2562]
- สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. (2555). ธรณีวิทยา จังหวัดชลบุรี และแหล่งเรียนรู้ทางธรณีวิทยา [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dmr.go.th/download/teacher/chon/doc1.pdf> [22 เมษายน 2563]
- โสภิต สร้อยสอดศรี. (2552). ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการพัฒนาการท่องเที่ยวหมู่เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Animal World. (2015). Types of coral [Online]. *Small Polyp Stony Corals*. <http://animal-world.com/Aquarium-Coral-Reefs/Stony-Corals-SPS> [4 August 2019]
- Berkelmans, R., Jones, A. M., Schaffelke, B. (2012). Salinity thresholds of *Acropora* spp. on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 31(4), 1103-1110.

- Brown, B., Clarke, K., Warwick, R. (2002). Serial patterns of biodiversity change in corals across shallow reef flats in Ko Phuket, Thailand, due to the effects of local (sedimentation) and regional (climatic) perturbations. *Marine Biology*, 141(1), 21-29.
- Brown, B. E. (1997). Coral bleaching: causes and consequences. *Coral Reefs*, 16(1), S129-S138.
- Chavanich, S., Viyakarn, V., Loyjiw, T., Pattaratamrong, P., Chankong, A. (2009). Mass bleaching of soft coral, Sarcophyton spp. in Thailand and the role of temperature and salinity stress. *Ices Journal of Marine Science*, 66(7), 1515-1519. doi:10.1093/icesjms/fsp048
- Chow, Tsang, R. H. L., Lam, E. K. Y., Ang, P. (2016). Quantifying the degree of coral bleaching using digital photographic technique. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 479, 60-68. doi:https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.03.003
- Chow, G., Y. K. Samuel, C., Sudhanshi Sanjeev, J., Danwei, H. (2019). Light limitation selects for depth generalists in urbanised reef coral communities. *Marine Environmental Research*, 147, 101-112.
- Connell, D. W., Hawker, D. W. 1992. Pollution in tropical aquatic systems. 1, Boca Raton: CRC Press.
- CoralWatch. (2002). Coral Health Chart [Online]. <https://coralwatch-old.org/web/guest/coral-health-chart> [28 July 2019]
- Fabricius, K. E. (2005). Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 50(2), 125-146.
- Faxneld, S., Jörgensen, T. L., Tedengren, M. (2010). Effects of elevated water temperature, reduced salinity and nutrient enrichment on the metabolism of the coral *Turbinaria mesenterina*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88(4), 482-487.
- Ferrier-Pages, C., Schoelzke, V., Jaubert, J., Muscatine, L., Hoegh-Guldberg, O. (2001). Response of a scleractinian coral, *Stylophora pistillata*, to iron and nitrate enrichment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259(2), 249-261.

- Finney, D. J. 1971. Probit Analysis. 3rd edition. Cambridge University: Cambridge University Press.
- Harrison, P. L. 2011. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Zvy Dubinsky Noga Stambler. Springer.
- Hidaka, M. 2016. Life History and Stress Response of Scleractinian Corals. 5, Hajime Kayanne. Springer Japan.
- Jimenez, C., Cortés, J., León, A., Ruíz, E. (2001). Coral bleaching and mortality associated with the 1997-98 El Niño in an upwelling environment in the eastern Pacific (Gulf of Papagayo, Costa Rica). *Bulletin of Marine Science*, 69, 151-169.
- Jones, R. (1997). Changes in zooxanthellar densities and chlorophyll concentrations in corals during and after a bleaching event. *Marine Ecology Progress Series*, 158, 51-59. doi:10.3354/meps158051
- Kerswell, A., Jones, R. (2003). Effects of hypo-osmosis on the coral *Stylophora pistillata*: Nature and cause of 'low-salinity bleaching'. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER*, 253, 145-154. doi:10.3354/meps253145
- Kuanui, P., Chavanich, S., Viyakarn, V., Omori, M., Lin, C. (2015). Effects of temperature and salinity on survival rate of cultured corals and photosynthetic efficiency of zooxanthellae in coral tissues. *Ocean Science Journal*, 50(2), 263-268. doi:10.1007/s12601-015-0023-3
- Lasker, H. R. (1981). Phenotypic Variation in the Coral *Montastrea cavernosa* and Its Effects on Colony Energetics. 160(2), 292-302. doi:10.2307/1540889
- Lawson, T. B. 1995. Fundamentals of Aquacultural Engineering. New York: Chapman and Hall.
- Lehninger, A. L., Nelson, D. L., Cox, M. M. 2000. Lehninger principles of biochemistry. 3rd ed. /. New York: Worth Publishers.
- Liñán-Cabello, Marco, A. 2013. Corals : classification, habitat, and ecological significance. Hauppauge, N.Y.: Nova Science Publisher's, Inc.
- Marubini, F. (1996). The physiological response of hermatypic corals to nutrient enrichment. (Doctor dissertation), University of Glasgow. Glasgow.
- Marubini, F., Davies, P. S. (1996). Nitrate increases zooxanthellae population density and reduces skeletogenesis in corals. *Marine Biology*, 127(2), 319-328.

- Meron, D., Atias, E., Iasur Kruh, L., Elifantz, H., Minz, D., Fine, M., Banin, E. (2010). The impact of reduced pH on the microbial community of the coral *Acropora eurystoma*. *The Isme Journal*, 5, 51.
- Moberg, F., Nystrom, M., Kautsky, N., Tedengren, M., Jarayabhand, P. (1997). Effects of reduced salinity on the rates of photosynthesis and respiration in the hermatypic corals *Porites lutea* and *Pocillopora damicornis*. *Marine Ecology Progress Series*, 157, 53-59.
- Nakano, Y., Tsuchiya, M., Rungsupa, S., Kiyoshi Yamazato, K. Y. (2009). Influence of severe freshwater flooding during the rainy season on the coral community around Khang Khao Island in the inner Gulf of Thailand. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 11(2), 131-138.
- Nakano, Y., Tsuchiya, M., Rungsupa, S., Yamazato, K. (2009). Influence of severe freshwater flooding during the rainy season on the coral community around Khang Khao Island in the inner Gulf of Thailand. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 11, 131-138. doi:10.3755/galaxea.11.131
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2006). Staghorn Coral [Online]. <https://www.fisheries.noaa.gov/species/staghorn-coral#overview> [20 July 2019]
- NOAA. (2017a). In what types of water do corals live? [Online]. *National Ocean Service website*. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/coralwaters.html> [22 July 2019]
- NOAA. (2017b). Zooxanthellae... What's That? [Online]. https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/coral02_zooxanthellae.html [8 September 2019]
- Nordemar, I., Nystrom, M., Dizon, R. (2003). Effects of elevated seawater temperature and nitrate enrichment on the branching coral *Porites cylindrica* in the absence of particulate food. *Marine Biology*, 142(4), 669-677.
- Patrick L. Colin, Arneson, C. 1997. Tropical Pacific Invertebrates. 1, United States of America: Coral Reef Press.
- Reef Resilience Network. (2018a). Bleaching Biology [Online]. <http://reefresilience.org/bleaching-biology/> [5 September 2019]
- Reef Resilience Network. (2018b). Coral population [Online]. <http://reefresilience.org/restoration/coral-populations/> [15 September 2019]

- Richfield, D. (2007). Chlorophyll a molecule [Online]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlorophyll_a.svg [17 August 2019]
- River, G. F., Edmunds, P. J. (2001). Mechanisms of interaction between macroalgae and scleractinians on a coral reef in Jamaica. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 261(2), 159-172. doi:[https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00266-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00266-0)
- Rungsupa, S., Chawakitchareon, P., Hansuebsai, A., Sasaki, S., Kiyoki, Y. (2018). Photographic Assessment of Coral Stress: Effect of Low Salinity to *Acropora* sp. *Goniopora* sp. and *Pavona* sp. at Sichang Island, Thailand. *International Conference on Information Modelling and Knowledge Bases XXIX*, 301, 137-148.
- Santos, S. (2017). Zooxanthellae cell [Online]. https://oceanservice.noaa.gov/education/kits/corals/media/supp_coral02a.html [11 August 2019]
- Schloder, C., D'Croz, L. (2004). Responses of massive and branching coral species to the combined effects of water temperature and nitrate enrichment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 313(2), 255-268.
- Semesi, I. S., Beer, S., Björk, M. (2009). Seagrass photosynthesis controls rates of calcification and photosynthesis of calcareous macroalgae in a tropical seagrass meadow. *Marine Ecology Progress Series*, 382, 41-47.
- Siebeck, U. E., Marshall, N. J., Klüter, A., Hoegh-Guldberg, O. (2006). Monitoring coral bleaching using a colour reference card. *Coral Reefs*, 25(3), 453-460.
- Strickland, J. D. H., Parsons, T. R., Strickland, J. D. H. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada.
- Tanaka, Y., Inoue, M., Nakamura, T., Suzuki, A., Sakai, K. (2014). Loss of zooxanthellae in a coral under high seawater temperature and nutrient enrichment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 457, 220-225.
- Udomsap, B., Chawakitchareon, P., Rungsupa, S. (2018). Effects of Temperature and Ammonia on Coral Health Status: A Case Study of Disc Coral (*Turbinaria peltata*). *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*, Vol 9 No.1 ISSN 2228-9860 eISSN 1906-9642, 31-41.
- Udomsap, B., Chawakitchareon, P., Rungsupa, S. (2019). An effect-analysis method for species-dependent coral health status in temperature and ammonia: a case study

of *Acropora sp.*, *Turbinaria sp.*, and *Porites sp.* *E3S Web of Conferences*, 93, 01002. doi:10.1051/e3sconf/20199301002


United Nations Environment, ISU, ICRI, Trucost. (2018). The Coral Reef Economy: The business case for investment in the protection, preservation and enhancement of coral reef health. [Online]. <https://wedocs.unep.org> [30 July 2019]

Veron, J. E. N., Stafford-Smith, M. G., Turak, E., DeVantier, L. M. (2016). Growth rates [Online]. *Coral structure and growth.* <http://www.coralsoftheworld.org/page/structure-and-growth/> [4 August 2019]

Wildfactsheets. (2008). Porites sp. [Online]. *Pore coral.* <http://www.wildsingapore.com/wildfacts/cnidaria/coralhard/poritidae/porites.htm> [4 August 2019]

Woelkerling, W. J., Kowal, R. R., Gough, S. B. (1976). Sedgwick-rafter cell counts: a procedural analysis. *Hydrobiologia*, 48(2), 95-107. doi:10.1007/BF00040161

Zhu, B. H., Wang, G. C., Huang, B., Tseng, C. K. (2004). Effects of temperature, hypoxia, ammonia and nitrate on the bleaching among three coral species. *Chinese Science Bulletin*, 49(18), 1923-1928.



ภาคผนวก ก ข้อมูลวิทยุภูมิภาคภาพน้ำทะเลเกาะสีชัง
และข้อมูลประกอบการทำวิทยานิพนธ์จากเทศบาลเกาะสีชัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก-26 คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2559

เมษายน 2559					
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิน้ำทะเล (°C)	ความเค็ม (psu)	pH	DO (mg/l)	ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg-N/l)
หาดถ้ำพัง	31.26	31.93	7.81	6.47	6.82
ท่าเทววงษ์	30.20	32.07	8.15	6.10	6.04
สะพานอัยุฆางค์	30.02	32.12	8.12	6.34	185
กรกฎาคม 2559					
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิน้ำทะเล (°C)	ความเค็ม (psu)	pH	DO (mg/l)	ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg-N/l)
หาดถ้ำพัง	30.37	31.97	7.76	5.83	17.20
ท่าเทววงษ์	30.20	31.29	8.17	4.30	93.3
สะพานอัยุฆางค์	30.44	31.94	8.07	5.42	47.9

(สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559)

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชิดเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560ข)

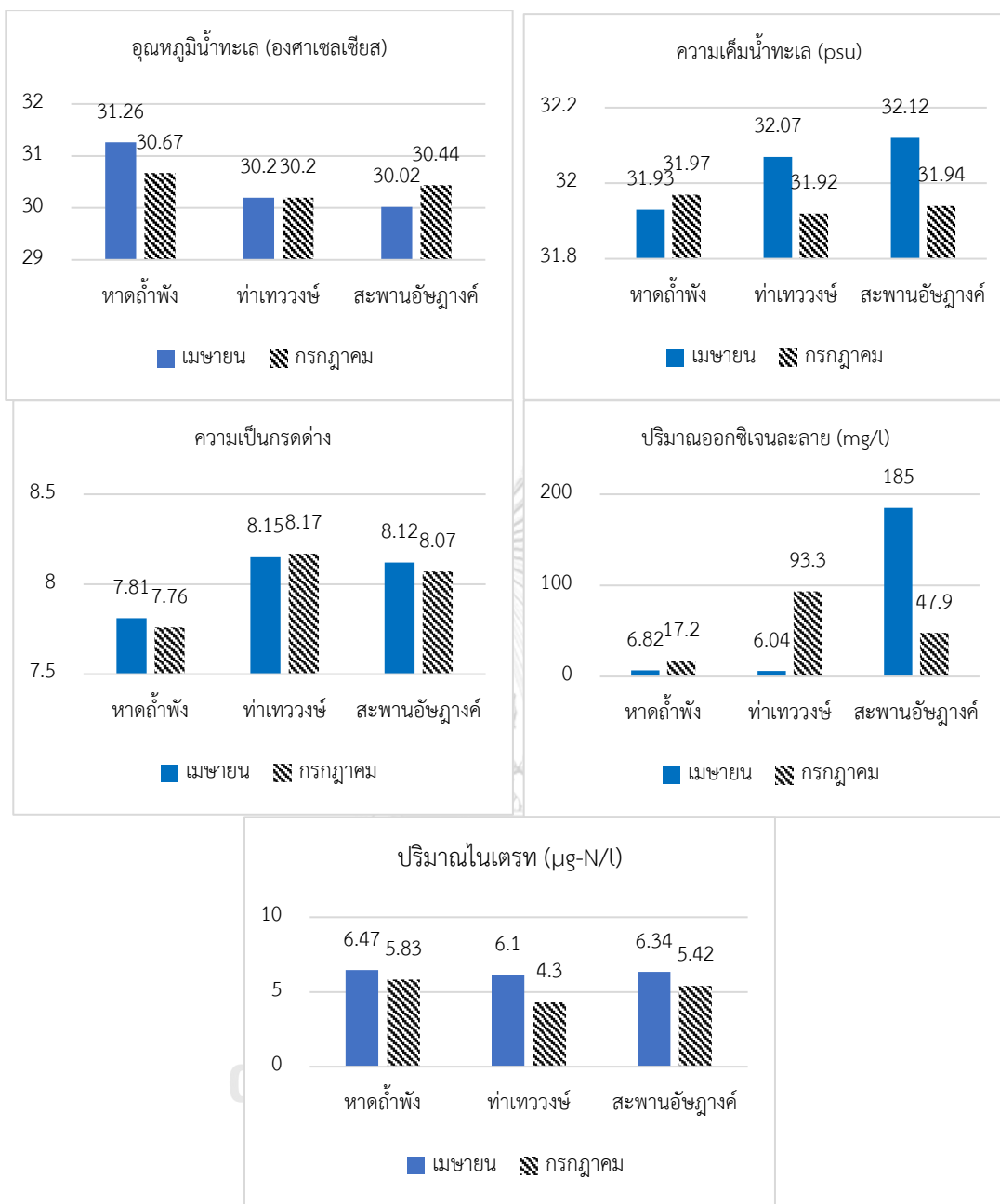
อุณหภูมิน้ำทะเล ต้องไม่เปลี่ยนแปลง

ความเค็ม เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด

ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 - 8.5

ออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่น้อยกว่า 6 mg/l

ไนเตรท-ไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 60 µg-N/l



ภาพที่ ก-40 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสี่ซังปี 2559

ตารางที่ ก-27 คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2560

เมษายน 2560					
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิน้ำทะเล (°C)	ความเค็ม (psu)	pH	DO (mg/l)	ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg-N/l)
หาดถ้ำพัง	31.91	30.3	8.33	6.87	38
ท่าเทววงษ์	29.61	30.4	8.34	6.38	39
สะพานอัยุฆางค์	29.66	30.4	8.32	6.35	40
กรกฎาคม 2560					
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิน้ำทะเล (°C)	ความเค็ม (psu)	pH	DO (mg/l)	ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg-N/l)
หาดถ้ำพัง	30.49	24.8	8.37	5.54	10
ท่าเทววงษ์	30.41	23.8	8.55	2.49	14
สะพานอัยุฆางค์	31.08	22.06	8.84	8.08	21

(สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560)

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชีตเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

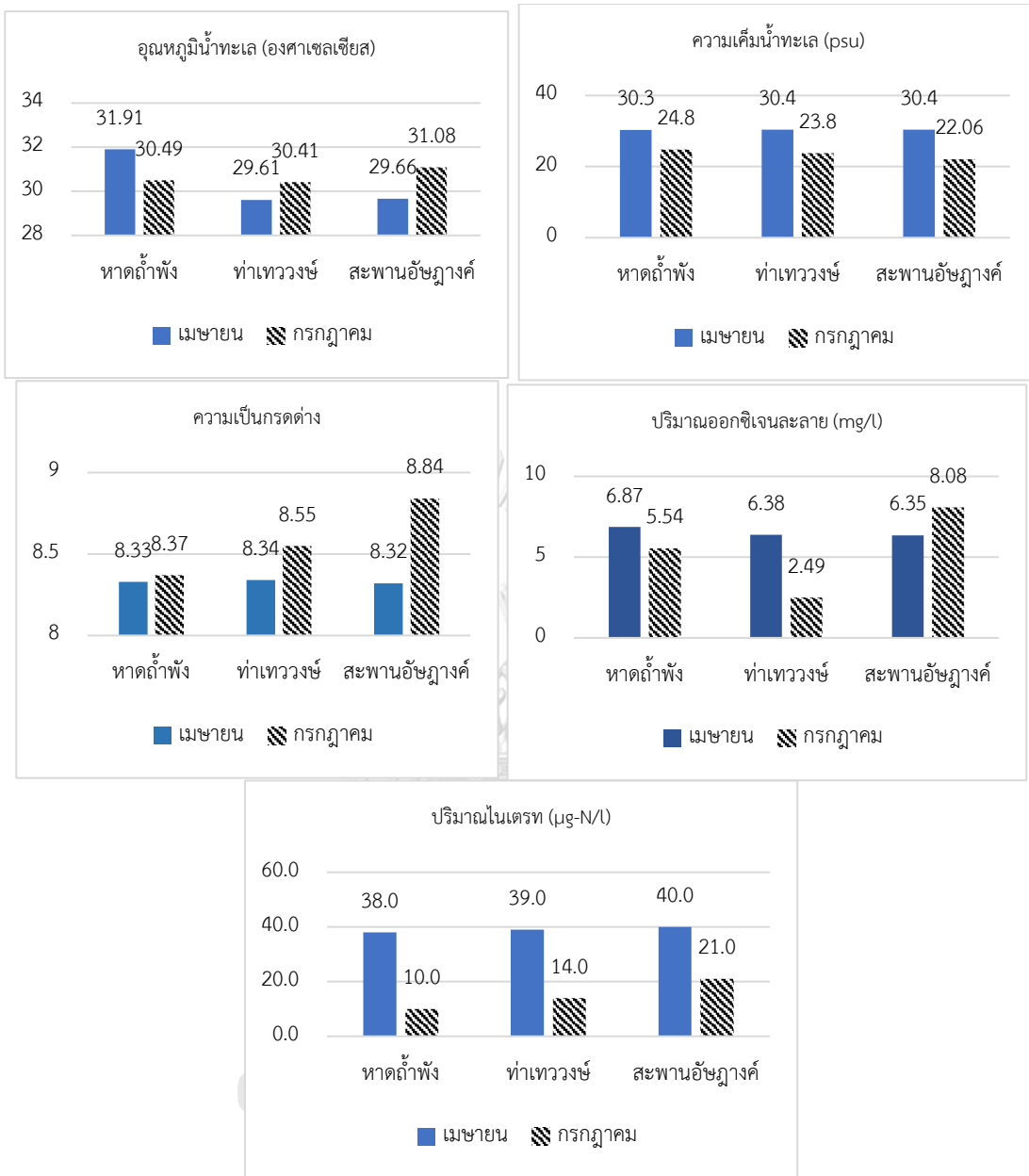
อุณหภูมิน้ำทะเล ต้องไม่เปลี่ยนแปลง

ความเค็ม เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด

ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 - 8.5

ออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่น้อยกว่า 6 mg/l

ไนเตรท-ไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 60 µg-N/l



ภาพที่ ก-41 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีซังปี 2560

ตารางที่ ก-28 คุณภาพน้ำทะเลรอบพื้นที่เกาะสีชังในปี 2561

เมษายน 2561					
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิ น้ำทะเล (°C)	ความเค็ม (ppt)	pH	DO (mg/l)	ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg-N/l)
หาดถ้ำพัง	29.84	29.79	8.12	6.06	15.6
ท่าเทววงษ์	29.52	29.74	8.17	<u>5.61</u>	19.6
สะพานอัมพวัน	30.61	27.84	8.33	6.82	0.58
กรกฎาคม 2561					
จุดเก็บตัวอย่าง	อุณหภูมิ น้ำทะเล (°C)	ความเค็ม (ppt)	pH	DO (mg/l)	ไนเตรท-ไนโตรเจน (µg-N/l)
หาดถ้ำพัง	30.80	28.11	8.33	6.68	0.35
ท่าเทววงษ์	30.22	27.81	8.11	6.14	3.19
สะพานอัมพวัน	29.84	29.79	8.12	6.06	15.2

(สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561)

* คือ ไม่มีการเก็บตัวอย่าง / ชีตเส้นใต้ คือ มีค่าไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐาน

หมายเหตุ ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง

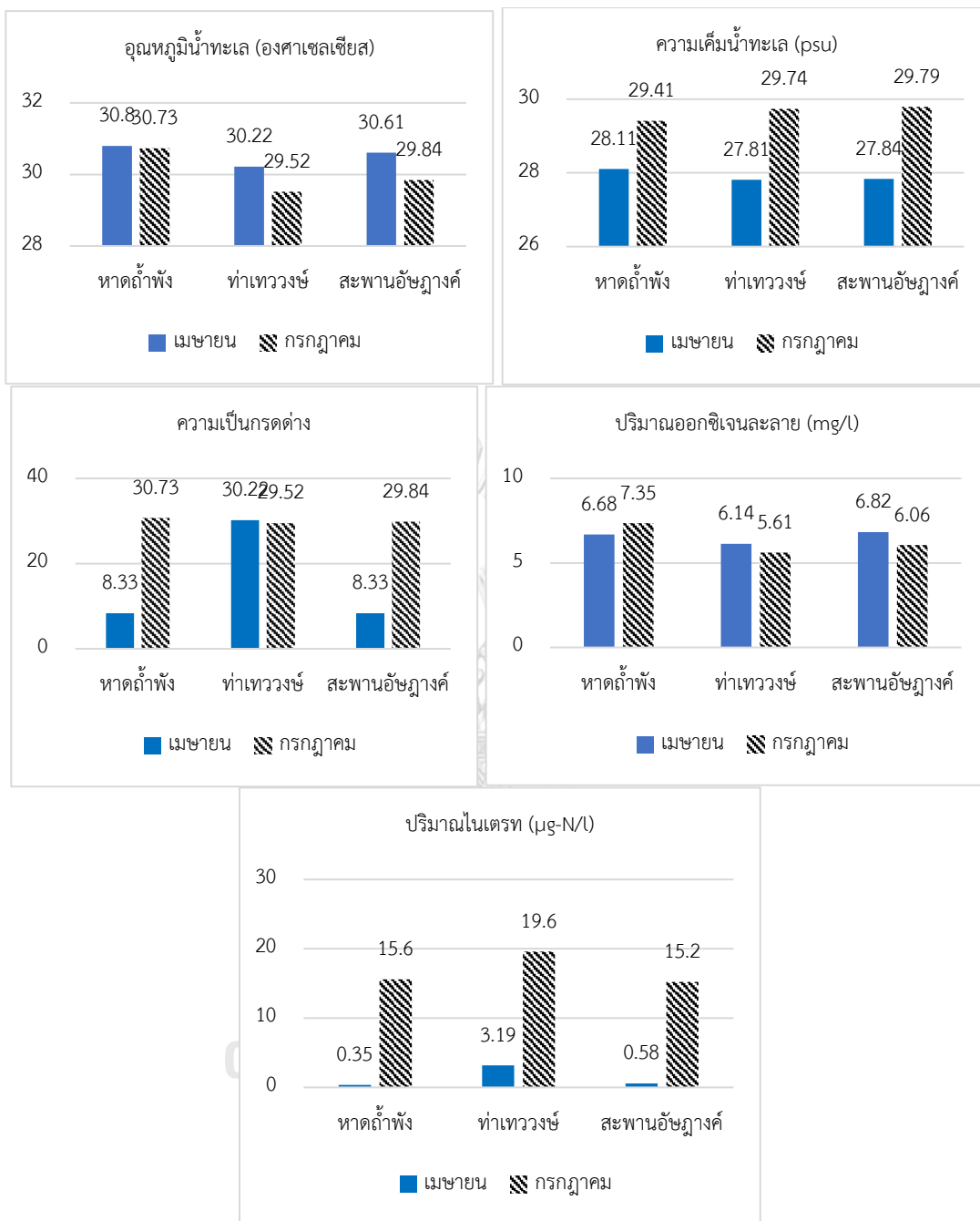
อุณหภูมิน้ำทะเล ต้องไม่เปลี่ยนแปลง

ความเค็ม เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด

ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าอยู่ระหว่าง 7.0 - 8.5

ออกซิเจนละลาย (DO) ต้องไม่น้อยกว่า 6 mg/l

ไนเตรท-ไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 60 µg-N/l



ภาพที่ ก-42 คุณภาพน้ำทะเลรอบเกาะสีชังปี 2561

ตารางที่ ก-29 จำนวนประชากรและจำนวนหลังคาเรือนบนเกาะสีชังในปี 2559-2562

	ปี2559		ปี2560		ปี2561		ปี2562	
เดือน	ประชากร (คน)	หลังคา เรือน (หลัง)	ประชากร (คน)	หลังคา เรือน (หลัง)	ประชากร (คน)	หลังคา เรือน (หลัง)	ประชากร (คน)	หลังคา เรือน (หลัง)
ม.ค.	4682	2029	4643	2056	4565	2097	4549	2135
ก.พ.	4680	2029	4638	2062	4561	2097	4566	2136
มี.ค.	4682	2030	4630	2075	4564	2110	4569	2137
เม.ย.	4692	2031	4629	2077	4557	2111	4563	2137
พ.ค.	4691	2042	4630	2078	4550	2111	4557	2138
มิ.ย.	4680	2043	4623	2080	4560	2111	4541	2144
ก.ค.	4672	2043	4625	2081	4558	2119	4552	2145
ส.ค.	4677	2051	4623	2082	4570	2124	4541	2145
ก.ย.	4677	2056	4617	2083	4569	2123	4534	2146
ต.ค.	4658	2056	4611	2086	4570	2130	4544	2147
พ.ย.	4655	2056	4592	2091	4573	2132	4546	2154
ธ.ค.	4660	2056	4580	2093	4560	2134	4538	2155

ตารางที่ ก-30 จำนวนนักท่องเที่ยวนบนเกาะสีชังในปี 2549-2562

ปี	จำนวนนักท่องเที่ยว (คน)
2549	269788
2550	222688
2551	306817
2552	338685
2553	350063
2554	357994
2555	400000
2556	420000
2557	445079
2558	463717
2559	484653
2560	499381
2561	521078
2562	532937

ตารางที่ ก-31 จำนวนนักท่องเที่ยวบนเกาะสีชังต่อเดือนในปี 2562

เดือน	ปี 2562
	จำนวนนักท่องเที่ยว (คน)
มกราคม	49099
กุมภาพันธ์	47048
มีนาคม	47893
เมษายน	50464
พฤษภาคม	41383
มิถุนายน	39891
กรกฎาคม	41563
สิงหาคม	38273
กันยายน	39421
ตุลาคม	46163
พฤศจิกายน	39968
ธันวาคม	51771

ตารางที่ ก-32 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2559

วันที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	0	0.9	0	0	0	75.8	0	0	6.5	0	0	0
2	0	0	0	0	0	10.4	3.3	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	20.2	0	0	0	8.2	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1.1	3.1	0.6	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	1.6	0	37.2	0	0
6	0	0	0	0	0	2.1	1	0	0	8.9	0.2	0
7	0	0	0	0	0	0.7	0	0	0	6.1	2	0
8	25.8	0	0	0	0	0	2.3	0	14	1	29.5	0
9	0	0	0	0	0	0	20.9	4.7	0	0	1.2	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	T	0.2	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2	12.4	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	36.1	12.6	0	0
13	0	0	0	0	0	0	27	0	29.8	0.3	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2.8	0	0	0	0	0.1	2.8	1.2	0	0	0	T
16	0.1	3.2	0	0	45.2	0.7	14.3	3.2	28.1	0	0	0
17	0	0	0	0	49.5	35.1	0	0	2.4	0.4	0	0
18	0	0	0	0	4	0.2	46.7	0	8.7	T	0	0
19	0	0	0	0	0	0	24.1	0	11.6	0	0	0
20	0	0	0	0	0	21.7	17.2	0	14.4	0	0	0
21	0	0	0	0	0	19.5	0.4	0	14.7	0	0	0
22	0	0	0	0	1.2	0	4.1	0	25.2	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	24.8	12.5	0	T	0	0
24	22.3	0	0	0	0	T	0	9	1.4	0	T	0
25	0	0	0	0	0	3.3	0	0	5.7	2.8	24.1	0
26	0	0	0	0	0.6	0	16.6	0	20.2	5.3	0	0
27	0	0	0	0	0	2.7	0	0	1.2	0	0	0
28	0	0	T	0	0	0	0	3.1	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	33.8	0	60.9	0	0
30	0	-	0	T	17.9	0.2	0	0	11	1.2	0	0
31	0	-	0	-	1.7	-	0	14	-	1.2	-	1.8
รวม	51	4.1	0	0	120.1	192.7	166.4	107.6	230.9	187.2	57.2	1.8
จำนวนวัน	4	2	1	1	7	15	12	10	19	18	8	2
สูงสุด	25.8	3.2	0	0	49.5	75.8	46.7	33.8	36.1	60.9	29.5	1.8

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปี: 1119.0 mm, จำนวนวันที่ฝนตกตลอดปี: 99 วัน, ปริมาณฝนสูงสุด: 75.8 mm, เมื่อวันที่ 2016-06-01 หมายเหตุ : ค่าฝนรายวันเป็นค่ารวมที่ตรวจวัดตั้งแต่ระหว่างเวลา 00.00 UTC, วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มม. , "T" คือวันที่ฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม. และ " - " คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด

ตารางที่ ก-33 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2560

วันที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	T	0	0	0	0.6	0	0
3	0	T	0	0	0	18.8	T	0	0	47.6	0	0
4	0	0	0	0	T	0	15.7	9.2	0.6	22.3	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	17.6	10.6	0	0
6	0	0	0	7.9	0	0	4.8	10.1	30.1	0	0	0
7	0	0	0	0.9	0	3.3	0	0	2.5	11.3	0	0
8	0.1	0	0.3	5.4	0	0	T	1.2	0	16.1	0	0
9	49.2	0	T	0	T	0	8	0	0	0.1	0	0
10	74.5	0	0	0	0	3.9	10.7	7.4	0	0	0	0
11	0	0	0	0	8.8	0	3.6	0	0.1	0	2.2	0
12	0	0	0	0	16.2	0	14.3	0	0	0	0.8	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
14	0	0	0	0	5.7	0	2.3	0	8.7	0	0	0
15	0	0	0	0	4.2	0	T	29.1	0	0	0.1	18
16	0	0	0	0	6.8	0	10.1	T	0	0	0	0
17	0	0	0	0	22.3	0	0	24	28.5	7.4	0	0
18	0	0	4.7	0	0	0.3	50.3	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	8.3	2.3	28.1	0	0	2	50.4	0
20	0	0	0	0	0	0	T	0	T	0	17.4	0
21	0	0	0	0	T	4.8	T	0	7.4	23.2	0	0
22	0	0	0	0	0	1.7	0	0	23.7	12.6	T	0
23	0	0	0	0	3.5	T	3.9	40.3	32.3	21.8	0	0
24	0	0	0	0	43.3	0	16.4	0	0	3.4	0	0
25	0	0	0	2.5	0	0	T	0	0	0	0	3.6
26	0	0	12.1	0	24.9	0	T	6	0	0	0	3.1
27	0	0	23.3	0	2.8	0	0	8.2	0.1	0	0	4.4
28	0	0	0	0	7.1	0	0	2.3	30.1	0	0	0
29	0	-	12.5	0	1.1	9	0	2.9	9.1	0	0	0
30	0	-	0	0	22.8	1.3	0	24.6	1.5	0	0	0
31	0	-	0	-	0	-	0	20.7	-	0	-	0
รวม	123.8	0	52.9	14.2	180.3	45.4	168.2	186	192.3	209	70.9	29.1
จำนวนวัน	3	1	6	3	18	11	18	15	15	14	6	4
สูงสุด	74.5	0	23.3	7.9	43.3	18.8	50.3	40.3	32.3	47.6	50.4	18

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปี: 1272.1 mm, จำนวนวันที่ฝนตกตลอดปี: 114 วัน, ปริมาณฝนสูงสุด: 74.5 mm, เมื่อวันที่ 2017-01-10
 หมายเหตุ : ค่าฝนรายวันเป็นค่ารวมที่ตรวจวัดตั้งแต่ระหว่างเวลา 00.00 UTC, วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มม., "T" คือวันที่ฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม. และ " - " คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด

ตารางที่ ก-34 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2561

วันที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	58.5	0	0
2	0	0	0	19.7	0	3.2	4.8	0	34.2	37.5	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	14.3	3.5	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	7.6	4.8	8.9	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	13.1	0	0
6	0.1	0	0	10.4	0	4.4	0	0	15.4	31.1	0	0
7	0	0	0	0	10.8	0	0	3.4	0	0	0	1.2
8	0	0	0	0	0	2.9	0	0	0	0	2.5	1.1
9	12.3	0	45.4	0	0	0	1.5	20	12.4	0	1	0
10	13.7	0	0	0	0	7.7	0	0	8.5	0	2.3	0.2
11	0	0	0	0	0	22.3	0	0	5.5	0	0	15.4
12	0	0	0	0	0	0	0	0	54.9	25.4	0	T
13	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	44.2	1	0	0
15	0	0	0	0	0	T	0	2.4	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0
17	0	0	0	31	0	0	T	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	9.8	0	0	4.5	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	1.8	0	0	0.5	10	0
20	0	0	0	0	T	0	0	0	0	15.6	0	0
21	0	0	0	0	1.4	0	0	0	27.6	10.8	0	0
22	0	41.2	20.2	0	0	0	0	0	0	0	6.5	0
23	0	65.6	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0
24	0	0	0	0	25.4	0	0	0.8	8.5	0	0	0
25	0	3.5	0	0	0	1	0	2	0	4.5	0	0
26	0	32.6	0	28.8	13.6	0	0	3.8	0	9.2	0	0
27	0	0	0	6.7	1.8	17.6	0	1.8	0	0	0	0
28	0	0	0	83	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	-	0	5	0	0	0	0	13.6	0	0	0
30	0	-	0	10.9	26.4	4.8	0	0	0	0	0	0
31	0	-	0	-	0.1	-	0.2	5.1	-	0	-	0
รวม	26.1	142.9	65.6	195.5	89.4	63.9	9.8	51.6	253.5	219.6	22.3	17.9
จำนวนวัน	3	4	2	8	10	9	6	11	15	13	5	5
สูงสุด	13.7	65.6	45.4	83	26.4	22.3	4.8	20	54.9	58.5	10	15.4

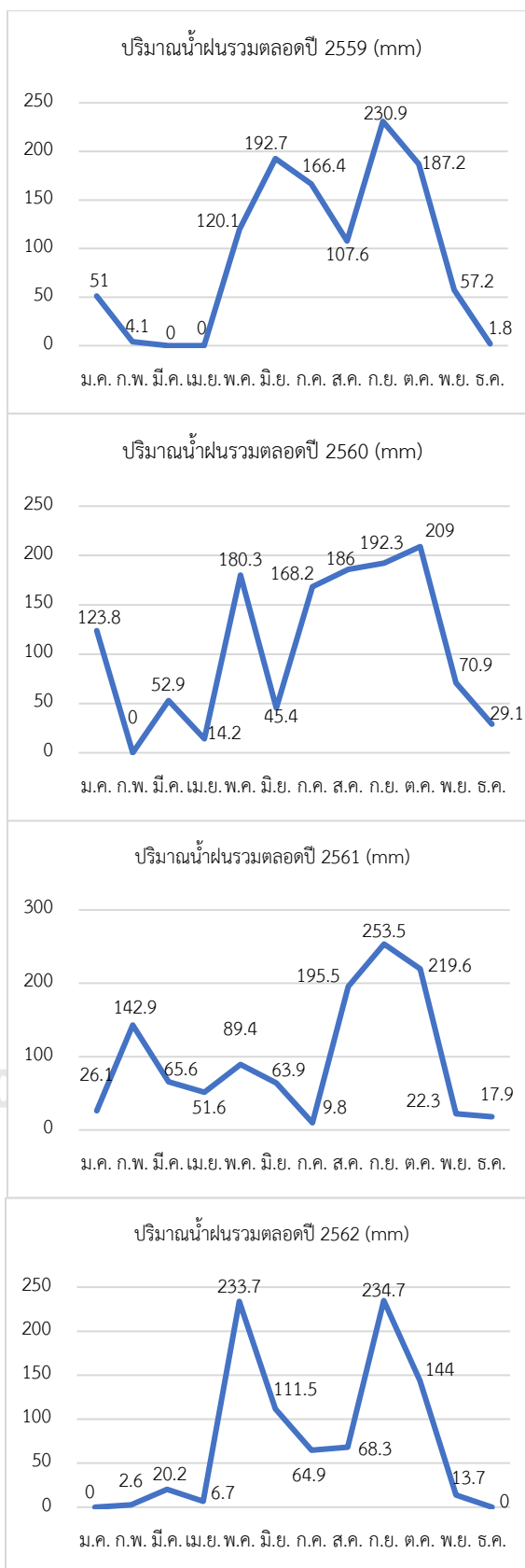
ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปี: 1158.1 mm, จำนวนวันที่ฝนตกตลอดปี: 91 วัน, ปริมาณฝนสูงสุด: 83 mm, เมื่อวันที่ 2018-04-28

หมายเหตุ : ค่าฝนรายวันเป็นค่ารวมที่ตรวจวัดตั้งแต่ระหว่างเวลา 00.00 UTC, วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 มม., "T" คือวันที่ฝนตกน้อยกว่า 0.1 มม. และ "-" คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด

ตารางที่ ก-35 ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) บนเกาะสีชังในปี 2562

วันที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	5.2	0
2	0	0	0	0	0	1.7	3.7	0	9.1	0	0	0
3	0	0	0	0.1	0	0	2.3	1.1	10	0	8.5	0
4	0	0	0	0	0	0	17.9	0.2	0.7	0	0	0
5	T	0	0	0	0	2	39	0	15.6	10.8	0	0
6	0	0	0	0	0	2.7	0	8.5	0	0.2	0	0
7	0	0	0	6.6	0	22.6	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	10.9	0	0	8.6	84.5	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0
10	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0.7	0	6.8	0	12.3	0	0
12	0	0	0	0	0.8	0	0	13	0	3.6	0	0
13	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0.4	0	0
14	0	0	0	0	30.5	0	0	8.9	61	8.9	0	0
15	0	0	T	0	8	0	0	0	0	0	0	0
16	0	T	0.8	0	0	5.8	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	0	0	0	0	0	9.5	0	0	29.1	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	7.2	8.9	0	0	0
21	0	0	0	0	48	0	0	0	42.3	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	32.3	0	0	0
23	0	2.5	0	0	0.8	2.7	0	0	1.8	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0
25	0	T	6.3	0	5.2	0	2	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	31.6	0	0.8	0	0	0	0
27	0	0	13.1	0	63.3	0.2	0	0	14.3	0	0	0
28	0	0	0	0	5.4	2	0	21.3	0	23.3	0	0
29	0	-	0	0	26.8	18.6	0	0	0	0	0	0
30	0	-	0	0	33.9	0	0	T	0	0	0	0
31	0	-	0	-	0	-	0	0	-	0	-	0
รวม	0	2.6	20.2	6.7	233.7	111.5	64.9	68.3	234.7	144	13.7	0
จำนวนวัน	1	4	4	2	11	15	5	11	13	8	2	0
สูงสุด	0	2.5	13.1	6.6	63.3	31.6	39	21.3	61	84.5	8.5	0

ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปี: 900.3 mm, จำนวนวันที่ฝนตกตลอดปี: 76 วัน, ปริมาณฝนสูงสุด: 84.5 mm, เมื่อวันที่ 2019-10-08
 หมายเหตุ : ค่าฝนรายวันเป็นค่ารวมที่ตรวจวัดตั้งแต่ระหว่างเวลา 00.00 UTC, วันที่ฝนตกคือวันที่ฝนตกมมมากกว่าหรือเท่ากับ
 0.1 มม., "T" คือวันที่ฝนตกมมน้อยกว่า 0.1 มม. และ "-" คือไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ตรวจวัด



ภาพที่ ก-43 ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปี 2559-2562

ภาคผนวก ข ประเภทคุณภาพน้ำทะเลและค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลไทย
ประเภทที่ 2 เพื่อการอนุรักษ์ปะการัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-36 การกำหนดประเภทคุณภาพน้ำทะเล (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

ประเภทคุณภาพน้ำ	การใช้ประโยชน์คุณภาพน้ำทะเล
ประเภทที่ 1	คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลที่ได้จัดไว้เพื่อการใช้ประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งเป็นแหล่งน้ำทะเลตามธรรมชาติสำหรับเป็นที่แพร่พันธุ์หรืออนุบาลของสัตว์น้ำวัยอ่อน หรือเป็นแหล่งอาหาร หรือที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ พืช หรือหญ้าทะเล
ประเภทที่ 2	คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์แหล่งปะการัง ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลที่มีปะการัง โดยมีขอบเขต ครอบคลุมพื้นที่ในรัศมีแนวราบกับผิวน้ำนับจากเส้นตรงที่ลากตั้งฉากกับเส้นที่เชื่อมจุดนอกสุดของแนวปะการังออกไปเป็นระยะ 1,000 เมตร
ประเภทที่ 3	คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลซึ่งมีประกาศ กำหนดให้เป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามกฎหมายว่าด้วยการประมง
ประเภทที่ 4	คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการนันทนาการ ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลซึ่งมีประกาศขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นกำหนดให้เป็นเขตเพื่อการว่ายน้ำ หรือใช้ประโยชน์เพื่อการนันทนาการทางน้ำ
ประเภทที่ 5	คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอุตสาหกรรม และท่าเรือ ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลที่อยู่ประชิดกับเขตนิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย เขตประกอบการอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน เขตท่าเรือตามกฎหมายว่าด้วยการเดินเรือในน่านน้ำไทย ท่าเรือหรือท่าเทียบเรือ แล้วแต่กรณี โดยมีขอบเขตนับตั้งแต่แนวน้ำลงต่ำสุดออกไปจนถึงระยะ 1,000 เมตร ตามแนวราบกับผิวน้ำ
ประเภทที่ 6	คุณภาพน้ำทะเลสำหรับเขตชุมชน ได้แก่ แหล่งน้ำทะเลที่อยู่ประชิดกับชุมชนที่มีประกาศกำหนดให้เป็นเทศบาลตามกฎหมายว่าด้วยเทศบาล เมืองพัทยา หรือกรุงเทพมหานคร โดยมีขอบเขต คือเขตเทศบาล เขตเมืองพัทยา หรือเขตกรุงเทพมหานคร เฉพาะที่ติดกับชายฝั่งทะเล นับตั้งแต่แนวน้ำลงต่ำสุดออกไปจนถึงระยะ 1,000 เมตร ตามแนวราบกับผิวน้ำ

หมายเหตุ: วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

หมายเหตุ: วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

1. หาก ณ จุดตรวจสอบ มีความลึกน้อยกว่า 5 ม. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลที่ความลึก 1 ม. และสูงจากท้องน้ำ 1 ม.
2. หาก ณ จุดตรวจสอบ มีความลึกอยู่ระหว่าง 5-20 ม. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลที่ความลึก 1 ม. กึ่งกลางน้ำ และสูงจากท้องน้ำ 1 ม.
3. หาก ณ จุดตรวจสอบ มีความลึกอยู่ระหว่าง 20-40 ม. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลที่ความลึก 1 ม. 10 ม. 20 ม. 30 ม. และสูงจากท้องน้ำ 1 ม.
4. หาก ณ จุดตรวจสอบ มีความลึกอยู่ระหว่าง 40-100 ม. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลที่ความลึก 1 ม. 20 ม. 40 ม. 80 ม. และสูงจากท้องน้ำ 1 ม.
5. หาก ณ จุดตรวจสอบ มีความลึกมากกว่า 100 ม. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลที่ความลึก 1 ม. ที่ทุก ๆ ความลึก 50 ม. และสูงจากท้องน้ำ 1 ม.
6. หาก ณ จุดตรวจสอบมีความลึกของน้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ม. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเล ที่ระดับกึ่งกลางความลึกของน้ำ
 เว้นแต่ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มเอ็นเทอโรคอกไค (Enterococci Bacteria) ให้เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกใต้ผิวน้ำ 30 ซม. สำหรับวัตถุลอยน้ำ สี ความโปร่งใส น้ำมันและไขมันบนผิวน้ำ ไม่ต้องเก็บตัวอย่าง แต่ให้ตรวจวัด ณ จุดตรวจสอบ
7. ให้เก็บตัวอย่างน้ำทะเลในช่วงเวลาตั้งแต่น้ำลงถึงน้ำลงต่ำสุด เฉพาะในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง

ตารางที่ ข-37 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์
			ประเภทที่ 2
1. วัตถุที่ลอยน้ำ (Floatable Solids)	-		ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
2. สี	-		ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
3. กลิ่น (Odour)	-		ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
4. อุณหภูมิ (Temperature)	องศาเซลเซียส	1) Thermometer 2) Electrical Sensor Method	ไม่เปลี่ยนแปลง
5. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	pH meter	7.0 - 8.5
6. ความโปร่งใส (Transparency)	-		ลดลงจากสภาพธรรมชาติ ไม่เกินกว่า 10% จากค่า ต่ำสุด
7. สารแขวนลอย	-		ดูหมายเหตุ 1
8. ความเค็ม (Salinity)		1) Argentometric 2) Electrical Conductivity Method 3) Density 4) Refractometer	เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินกว่า 10% ของค่าต่ำสุด
9. น้ำมันหรือไขมันบนผิวน้ำ (Floatable Oil & Grease)	-		มองไม่เห็น
10. บีโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน	ug/l		ไม่เกิน 0.5
11. ออกซิเจนละลาย (DO)	mg/l		ไม่น้อยกว่า 6
12. แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	MPN/100ml		ไม่เกิน 1000
13. แบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	CFU/100 ml		ไม่เกิน 70
14. แบคทีเรียกลุ่มเอ็นเทอโรคอก โค (Enterococci Bacteria)	CFU/100 ml		ไม่เกิน 35
15. ไนเตรท-ไนโตรเจน (NO ₃ -N)	ug-N/l	Cadmium Reduction Method เป็น NO ₂ ⁻ แล้วใช้ Colorimetric Method	ไม่เกิน 60
16. ฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (PO ₄ -P)	ug-P/l		ไม่เกิน 15

ตารางที่ ข-36 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) (ต่อ)

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีการตรวจสอบ	ประเภทการใช้ประโยชน์
			ประเภทที่ 2
17.แอมโมเนียไนโตรเจน (NH ₃ -N)	ug-N/l	Phenol-Hypochlorite Method	ไม่เกิน 70
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	ug/l		ไม่เกิน 0.1
19.แคดเมียม (Cd)	ug/l		ไม่เกิน 5
20.โครเมียมรวม (Cr)	ug/l		ไม่เกิน 100
21.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr-Hexavalent)	ug/l		ไม่เกิน 50
22.ตะกั่ว (Pb)	ug/l		ไม่เกิน 8.5
23.ทองแดง (Cu)	ug/l		ไม่เกิน 8
24.แมงกานีส (Mn)	ug/l		ไม่เกิน 100
25.สังกะสี (Zn)	ug/l		ไม่เกิน 50
26.เหล็ก (Fe)	ug/l		ไม่เกิน 300
27.ฟลูออไรด์ (F)	ug/l		ไม่เกิน 1
28.คลอรีนคงเหลือ (Residual Chlorine)	ug/l		-
29.ฟีนอล (Phenols)	ug/l		ไม่เกิน 0.03
30.ซัลไฟด์ (Sulfide)	ug/l		ไม่เกิน 10
31.ไซยาไนด์ (Cyanide)	ug/l		ไม่เกิน 7
32.พีซีบี (PCB)	ug/l		ตรวจไม่พบ
33.สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Total Organochlorine Pesticides)	-		ดูหมายเหตุ 2
34.สารหนู (Arsenic)	ug/l		ไม่เกิน 10
35.กัมมันตภาพรังสี (เบคเคอเรลต่อลิตร)	ug/l		-
- ค่ากัมมันตภาพรังสีรวมแอลฟา			ไม่เกิน 0.1
- ค่ากัมมันตภาพรังสีรวมเบตา (ไม่รวมค่าโปตัสเซียม-40)			ไม่เกิน 1.0
36.สารประกอบดีบุกอินทรีย์ชนิดไตรบิวทิล	ng/l		ไม่เกิน 10


หมายเหตุ : 1. ค่ามาตรฐานสารแขวนลอย มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นไม่เกินผลรวมของค่าเฉลี่ย 1 วัน หรือ 1 เดือน หรือ 1 ปี บวกกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยนั้นๆ โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย 1 วัน ให้วัดทุกชั่วโมง หรืออย่างน้อย 5 ครั้ง ที่ช่วงเวลาเท่าๆ กัน ค่าเฉลี่ย 1 เดือน ให้วัดทุกวัน หรืออย่างน้อย 4 ครั้ง (ที่ช่วงเวลาเท่าๆ กัน ใน 1 เดือน) ณ เวลาเดียวกัน ค่าเฉลี่ย 1 ปี ให้วัดทุกเดือน ณ วันที่ และเวลาเดียวกัน

2. สารเคมีที่ใช้ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีน

- ค่ามาตรฐานอัลดรินสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ต้องมีค่าไม่มากกว่า 1.3 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานคลอเดนสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.004 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานดีดีทีสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.001 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานดิลดรินสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0019 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานเอลดรินสำหรับการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0023 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานเอ็นโดซัลฟานสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0087 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานเฮปตาครออร์สำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภทต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.0036 ไมโครกรัม/ลิตร
- ค่ามาตรฐานลินเดนสำหรับทุกประเภทการใช้ประโยชน์ทุกประเภท ต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.16 ไมโครกรัม/ลิตร

ค่ามาตรฐานของ Alachlor, Ametryn, Atrazine, Carbaryl, Carbendazim, Chlorpyrifos, Cypermethrin, 2,4-D, Diuron Glyphosate, Malathion, Mancozeb, Methyl parathion, Parathion, และ Propanil ต้องตรวจไม่พบโดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่กำหนด

แหล่งที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 27 (พ.ศ.2549) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 124 ตอนที่ 11 ง วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2550



ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์ไนเตรท-คลอไรด์ เอ
และความหนาแน่นสำหรับยูแซนเทลลี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การวิเคราะห์ไนเตรท โดยวิธี Cadmium Reduction Method
(Strickland และคณะ, 1972)**

1. น้ำยาเคมีและวิธีเตรียม

1.1 น้ำกลั่น (De-ionization water)

1.2 สารละลาย NH_4Cl -EDTA

ชั่งสารแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) ปริมาณ 13 กรัม และชั่งสาร Ethylene diamine tetra-acetic acid (EDTA) ปริมาณ 1.7 กรัม เตรียมไว้ จากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 900 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร จึงเทแอมโมเนียมคลอไรด์และ EDTA ที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้นี้ลงในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนให้ละลายให้สมบูรณ์ จากนั้นปรับ pH ของสารละลายด้วยแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เพื่อให้ pH ของสารละลายมีค่าอยู่ที่ 8.5 จากนั้นจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

1.3 Dilute NH_4Cl -EDTA solution

นำสารละลาย NH_4Cl -EDTA ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ครบด้วยน้ำกลั่น

1.4 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 6 นอร์มอล

รินน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่ตั้งอยู่ในตู้ดูดควัน จากนั้นเอียงขวดวัดปริมาตรให้เพื่อให้ง่ายต่อการเติมสารชนิดที่สอง ก่อนค่อยๆรินกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร เมื่อรินกรดลงไปจนหมด ให้ปิดฝาขวดให้แน่นแล้วค่อยๆพลิกขวดขึ้นลงไปมาเพื่อให้สารละลายผสมกัน

1.5 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) 2 %

ชั่งสาร CuSO_4 ปริมาณ 20 กรัม เตรียมไว้ จากนั้นเทน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นเทสาร CuSO_4 ที่ชั่งไว้ตอนแรกลงไปลงในขวดวัดปริมาตร ปิดฝาขวดให้แน่นก่อนกลับขวดขึ้นลงไปมา เมื่อสารที่เป็นของแข็งละลายจนหมดจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตรขวด

1.6 สารละลายสี (Color reagent)

เตรียมน้ำกลั่น 800 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมกรด 85% Phosphoric acid ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเติม 10 กรัม Sulfanilamine ลงไปในขวดวัดปริมาตร จากนั้นปิดฝาให้แน่นแล้วเขย่าจนสารละลายจนหมด จากนั้นจึงเติม 1 กรัม N-(1-naphthyl) ethylenediamine dihydrochloride ลงไป ปิดฝาแล้วเขย่าจนสารละลาย

จึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร และเก็บสารละลายในขวดสีชา มีอายุการใช้งาน 1 เดือน

1.7 Copper-Cadmium granules

ชั่ง Cadmium granule ปริมาณ 20 กรัม (เพียงพอสำหรับ 1 คอลัมน์) เตรียมไว้ จากนั้นทำการล้าง Cadmium granule ด้วยกรดไฮโดรคลอริก โดยการเท Cadmium granule ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นริน HCl 6 นอร์มอล ที่เตรียมไว้ก่อนหน้า ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตามลงไปบีกเกอร์ แล้วจึงวนบีกเกอร์ซ้ำๆ ให้ Cadmium granule สัมผัสกับกรดก่อนค่อยๆรินกรดทิ้ง จากนั้นล้างซ้ำด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้ง จนสารละลายมี pH มากกว่า 5 จึงค่อยๆเทน้ำกลั่นทิ้ง หลังจากเทน้ำกลั่นทิ้งไปเทสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 2 % ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงไปแล้วใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 5 นาที จะเกิดคอลลอยด์สีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น (หากไม่มีคอลลอยด์เกิดขึ้น ให้คนสารละลายต่อไปเรื่อยๆจนสีของสารละลายจางลงไป จึงเทสารละลายทิ้ง แล้วเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เข้าไปใหม่ จากนั้นใช้แท่งแก้วคนเป็นเวลา 5 นาที จนกว่าจะเกิดคอลลอยด์สีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น) ให้ค่อยๆเทคอลลอยด์ทิ้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆครั้งจนคอลลอยด์หมดไป ก่อนเก็บ Cadmium granule ในน้ำกลั่น โดยห้ามไม่ให้ Cadmium granule แห้ง

1.8 Stock Nitrate Solution

ชั่งสารโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) ปริมาณ 20 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำที่คืบ คีบบีกเกอร์จากตู้อบใส่ลงในเดซิเคเตอร์เพื่อปล่อยให้บีกเกอร์ค่อยๆเย็นตัวลง เมื่อสารเย็นตัวลงจึงนำสารมาชั่งบนเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง เพื่อให้ได้ปริมาณ 0.7218 กรัม แล้วจึงใส่ไปในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นรินน้ำกลั่นลงไปโดยประมาณ 300 มิลลิลิตร เพื่อให้งานต่อการกลับขวดเพื่อละลายสารโพแทสเซียมไนเตรท เมื่อสารละลายจนหมดจึงปรับปริมาตรจนครบ จากนั้นปิเปตสารคลอโรฟอร์มปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตามลงไป แล้วจึงปิดฝาแล้วกลับขวดอีกครั้งเพื่อผสมให้เข้ากัน จะได้ในสารละลาย 1 มิลลิลิตร จะมีสารละลายอยู่ที่ 100 ไมโครกรัม

1.9 Standard Nitrate

นำสารละลาย Stock Nitrate Solution ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ จะได้ในสารละลาย 1 มิลลิลิตร จะมีสารละลายอยู่ที่ 10 ไมโครกรัม

2. ขั้นตอนวิเคราะห์

- 2.1 นำน้ำตัวอย่างมากรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร โดยน้ำตัวอย่างที่นำมาทดสอบควรมีช่วง pH อยู่ระหว่าง 7- 9 หากน้ำตัวอย่างมี pH > 9 ให้ปรับด้วย 1 นอร์มอล HCl หากน้ำตัวอย่างมี pH < 7 ให้ปรับด้วย 1 โมลาร์ NH₄OH
- 2.2 เตรียม Reduction column โดยใช้ glass wood ใส่ลงในก้นคอลัมน์เพื่อป้องกัน granules ไหลออกจากคอลัมน์ จากนั้นไขวาล์วปิด แล้วจึงเติมน้ำกลั่นลงในคอลัมน์ให้เต็มแล้วเท Copper-Cadmium granules ที่เตรียมไว้ก่อนหน้าลงในคอลัมน์ โดยระวังอย่าให้ granules สัมผัสกับอากาศเป็นเวลานาน หยดเติม granules เมื่อความยาวของ granules ในคอลัมน์ให้มีความยาวประมาณ 18.5 เซนติเมตร โดยรักษาระดับน้ำในคอลัมน์ให้สูงกว่าระดับ granules อยู่ตลอดเวลา แล้วจึงล้างคอลัมน์ด้วย Dilute NH₄Cl-EDTA solution ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ไขวาล์วเปิดโดยคงความเร็วการไหลของสารละลายโดยประมาณ 7-10 มิลลิลิตรต่อนาที
- 2.3 นำเทน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้วปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเติม Dilute NH₄Cl-EDTA solution ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ลงไป (จะได้สารละลายปริมาตร 100 มิลลิลิตร) แล้วใช้แท่งแก้วคนให้สารละลายผสมกัน จากนั้นนำน้ำตัวอย่างที่ได้ค่อยๆรินลงในคอลัมน์ ที่มีบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร มารองรับ (ใช้บีกเกอร์ที่มีสเกลตัวเลขบอกปริมาตร) โดยน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ (100 มิลลิลิตร) จะแบ่งได้ดังนี้ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แรกไม่นำไปทดสอบต่อให้เททิ้งไป ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต่อมาให้ถ่ายใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร อันใหม่เพื่อนำไปทดสอบต่อ และปริมาตร 25 มิลลิลิตร สุดท้ายไม่นำไปทดสอบต่อให้เททิ้งไปเช่นกัน
- 2.4 ปิเปิด Color reagent ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในน้ำตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้ผสมกัน และทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร ควรวัดภายใน 10-15 นาทีหลังเติม Color reagent

การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ (Strickland และคณะ, 1972)

1. น้ำยาเคมีและวิธีเตรียม

แมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$)

เตรียมซังสาร $MgCO_3$ ปริมาณ 1 กรัม จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร รินน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อยปิดฝาขวดให้สนิทแล้วกลับขวดขึ้นลงไปมาเพื่อให้สารละลาย จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบปริมาตร และเทสารละลายเก็บลงในขวด ทึบแสง ก่อนนำไปใช้งานให้เขย่าขวดก่อนทุกครั้ง

2. การเก็บตัวอย่างและการรักษาตัวอย่าง

2.1 น้ำตัวอย่าง

ตวงน้ำตัวอย่างใส่ลงในขวด Polyethylene ทึบแสง จากนั้นหยดสารละลาย $MgCO_3$ ที่เตรียมไว้ ลงไป 2-3 หยด จากนั้นปิดฝาขวดแล้วเก็บขวดในที่มืดและเย็น สามารถเก็บได้นานสุด 8 ชั่วโมง

2.2 กระจกกรอง

กระจกกรองที่ผ่านการกรองน้ำตัวอย่างแล้ว นำมาพับครึ่งให้ด้านที่กรองน้ำพับทบเข้าหากัน จากนั้นพับทบอีกครั้งหนึ่ง ใส่ลงในถุงกระดาษฟอยล์ทึบแสง จากนั้นเก็บในที่มืดและเย็น ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส โดยสามารถเก็บไว้ได้หลายอาทิตย์

3. ขั้นตอนวิเคราะห์

3.1 ติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองน้ำตัวอย่าง โดยต่อกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel) เข้ากับขวดลดความดัน (Suction flask) จากนั้นใช้สายยางต่อขวดลดความดันและปั๊มดูดอากาศเข้าด้วยกัน ก่อนเริ่มการกรองน้ำตัวอย่าง เขย่าขวดเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยตกตะกอนอยู่ที่ก้นขวด ให้เทน้ำตัวอย่างจากขวดลงในบีกเกอร์ที่มีสเกลบอกปริมาตรชัดเจน วางกระจกกรอง Whatman GF/C ขนาด 47 มิลลิเมตรลงในกรวยบุชเนอร์และใช้น้ำกลั่นฉีดลงเล็กน้อยลงบนกระจกกรองเพื่อให้กระจกกรองแนบไปกับกรวยกรอง จากนั้นเปิดปั๊มดูดอากาศและค่อยๆรินน้ำตัวอย่างลงบนกลางกระจกกรอง โดยต้องจดปริมาตรน้ำตัวอย่างทุกครั้งที่กรอง

3.2 เมื่อกรองน้ำตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ปิดปั๊มดูดอากาศ นำกระจกกรองขึ้นมาพับครึ่งให้ด้านที่กรองทบเข้าหากัน จากนั้นใช้กรรไกรตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วใส่ลงในหลอดเซนติฟิว (Centrifuge tube) ขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 90% acetone ลงไปปริมาตร 5-10 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดแล้วเขย่า จากนั้นเก็บหลอดในตู้เย็นเป็นเวลา 20 ชั่วโมง

- 3.3 นำหลอดออกมาจากตู้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 10 มิลลิลิตร ด้วย 90% acetone จากนั้นปิดฝาให้สนิทแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องเซนติฟิวที่ความเร็วรอบ 4000-5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
- 3.4 รินส่วนสารละลายใส่เก็บไว้เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 645 และ 663 นาโนเมตร จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Chlorophyll a (mg/l)} = \frac{11.64E_{663} - 2.16E_{645} + 0.10E_{630}}{V}$$

- กำหนด E_{630} คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร
 E_{645} คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 นาโนเมตร
 E_{663} คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร
 V คือปริมาตรน้ำตัวอย่างที่กรองผ่านกระดาษกรอง (ลิตร)

การหาความหนาแน่นสาหร่ายซูแซนเทลลีในน้ำ (Woelkerling และคณะ, 1976)

สไลด์นับเซลล์แบบ Sedgewick-Rafter คือแผ่นสไลด์ที่มีขนาด 1000 ช่อง แผ่นสไลด์มีความกว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาว 20 มิลลิเมตร และความลึก 1 มิลลิเมตร โดยมีปริมาตรรวมทั้งหมดคือ 1 มิลลิลิตร ใช้สำหรับนับจำนวนเซลล์ของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนในน้ำ และสามารถนำมาคำนวณหาความหนาแน่นสาหร่ายในน้ำได้เช่นกัน

ขั้นตอนวิเคราะห์

1. กรองน้ำตัวอย่างปริมาตร 500-1000 มิลลิลิตร ผ่านผ้ากรองหรือถุงกรองแพลงก์ตอน ที่มีขนาดตา 20 ไมครอน โดยใช้ปั๊มเกอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่ารองรับน้ำด้านล่าง จากนั้นเปิดน้ำตัวอย่างที่ค้างอยู่บนผ้ากรอง (สาหร่ายซูแซนเทลลีมีขนาดใหญ่กว่าขนาดตาผ้ากรอง) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในปั๊มเกอร์ใหม่ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 10 มิลลิลิตร
2. นำสไลด์ Sedgewick-Rafter วางลงบนกระดาษทึบเพื่อป้องกันการรอยขีดข่วนบนสไลด์ จากนั้นใช้ Cover glass วางลงบนสไลด์นับเซลล์โดยวางทำมุมเฉียงโดยให้เหลือช่องว่างเล็กน้อยบริเวณมุมสไลด์พอให้สามารถหยดสารลงไปได้
3. เปิดน้ำตัวอย่าง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงบนมุมสไลด์ Sedgewick-Rafter ที่เหลือช่องว่างไว้ จากนั้นค่อยๆเลื่อนแผ่น Cover glass ปิดให้สนิท ถ้าพบว่ามีฟองอากาศในสไลด์ให้ลองขยับแผ่น Cover glass ไปมา หากฟองอากาศยังไม่หายไปให้ทำใหม่อีกครั้ง จากนั้นรอประมาณ 5-10 นาที ให้สาหร่ายค่อยๆเรียงตัวเป็นชั้น ซึ่งง่ายต่อการนับ
4. นำสไลด์ Sedgewick-Rafter วางในกล้องจุลทรรศน์เพื่อับจำนวนสาหร่าย หากพบว่าสาหร่ายมีความหนาแน่นไม่มากนักสามารถนับสาหร่ายทั้งหมดในสไลด์ได้ แต่ถ้าหากสาหร่ายมีความหนาแน่นมากจะต้องนำน้ำตัวอย่างไปเจือจางก่อนทำการนับ โดยให้จดความเข้มข้นที่เจือจางไว้เพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป ความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลี สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความหนาแน่นของสาหร่ายซูแซนเทลลี (เซลล์/มิลลิลิตร)} = \frac{NV_1}{V_2} = \frac{1000 \text{ ช่องสไลด์}}{2 \times 20 \text{ ช่องสไลด์}} \times \frac{10N}{1000}$$

กำหนด N คือ จำนวนสาหร่ายที่นับได้บนสไลด์ Sedgewick-Rafter (เซลล์/มิลลิลิตร)

V_1 คือ ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่นำมาปรับปริมาตร (มิลลิลิตร) หรือ 10 ml

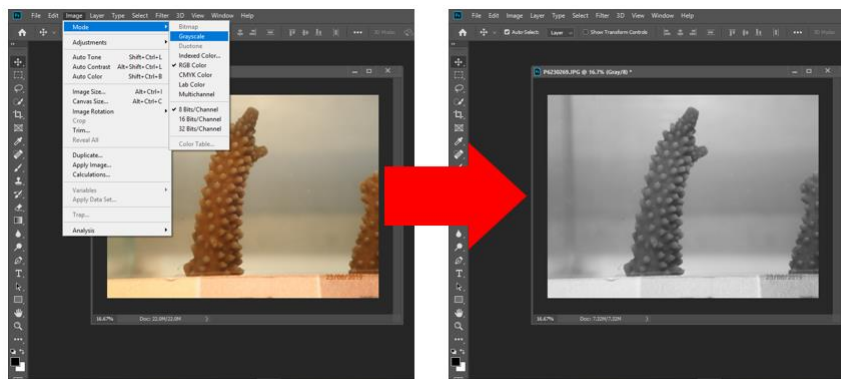
V_2 คือ ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่นำมากรองผ่านผ้ากรอง (มิลลิลิตร) หรือ 1000 ml

ภาคผนวก ง การคำนวณร้อยละการยึดโพลีของปะการัง และการวิเคราะห์โพธิบท



การคำนวณร้อยละการยึดการยึดโพลีของปะการัง
(Rungsupa และคณะ, 2018)

- นำภาพถ่ายปะการังที่ถ่ายแบบมาโคร (Macro) มาเปลี่ยนสีภาพจากภาพสี (RGB color) ให้เป็นภาพขาวดำ (Grayscale) ด้วยโปรแกรม Photoshop CC 2019 โดยคลิกที่ Image > Mode > Grayscale > Discard ดัง ภาพที่ ง-44



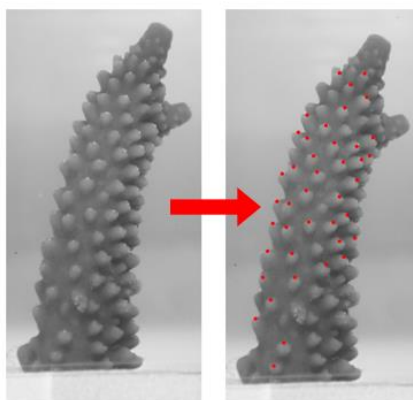
ภาพที่ ง-44 การเปลี่ยนสีจากภาพ RGB color ให้เป็นภาพ Grayscale

- นับจำนวนโพลีที่ยึดออกมา โดยโพลีที่ยึดออกมาจะแสดงจุดสีขาวที่ปลายโพลี ในภาพ Grayscale จากนั้นนับจำนวนโพลีที่ยึดมาคำนวณหาร้อยละการยึดโพลีปะการัง ดังภาพที่ ง-45

$$\text{ร้อยละการยึดโพลีของปะการัง} = \frac{\text{จำนวนโพลีที่ยึด}}{\text{จำนวนโพลีทั้งหมด}} \times 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHUI



ภาพที่ ง-45 โพลีที่ยึดออกมาจะแสดงจุดสีขาว (จุดสีแดง)

ตัวอย่างการคำนวณ มีโพลีที่ยึด(จุดสีแดง) = 42 จุด

$$\text{ร้อยละการยึดโพลีของปะการัง} = \frac{42}{42} \times 100 = 100\%$$

การวิเคราะห์โพรบิท (Probit analysis)

(Finney, 1971)

การวิเคราะห์โพรบิทเป็นอีกหนึ่งในวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและการตอบสนองต่อสารนั้นๆ (Dose response curve) และยังสามารถใช้ในการคำนวณหาปริมาณสารที่ทำให้สัตว์ทดลองตายไปร้อยละ 50 (LC₅₀) โดยในการศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์แบบโพรบิท โดย Finney (1971) ด้วยโปรแกรม Excel ในการหาค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่ทำให้สุขภาพของปะการังเสื่อมโทรมมากกว่าร้อยละ 50 และค่าความเชื่อมั่น (95% fiducial limits) มีดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. คำนวณหาค่า Log₁₀(Dose) โดยนำความเข้มข้นไนเตรทแทนลงสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Log}_{10}(\text{Dose}) = \text{Log}_{10}(\text{ความเข้มข้นไนเตรท}) = X$$

2. คำนวณหาอัตราส่วนการตาย (Mortality proportion) โดยนำร้อยละการเสื่อมโทรมของปะการังที่มีค่ามากกว่าร้อยละ 50 แทนลงในสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Mortality proportion} = \frac{\text{ร้อยละการเสื่อมโทรมของปะการัง}}{100}$$

3. คำนวณหาค่า Corrected mortality โดยนำ Mortality proportion แทนลงในสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Corrected mortality} = \frac{\text{Mortality} - \text{Mortality}_{\text{control}}}{1 - \text{Mortality}_{\text{control}}}$$

กำหนด $\text{Mortality}_{\text{control}}$ = อัตราส่วนการตายของปะการังที่อยู่ในตู้ที่ไม่มีไนเตรท

4. คำนวณหา Empirical probit (Y*) โดยนำ Corrected mortality มาคำนวณใน Excel โดยใช้สูตรคำนวณ คือ $5 + \text{NORM.S.INV}(\text{Corrected mortality}, 0, 1)$ หรือนำมาแทนลงในสมการดังต่อไปนี้

$$Y^* = 5 + \frac{x - \mu}{s}$$

กำหนด $X = \text{Log}_{10}(\text{Dose})$

$\mu = \text{ค่าเฉลี่ยประชากร} = 0$

$S = \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร} = 1$

5. คำนวณหาค่า Expected probit (Y_i) โดยพล็อตกราฟระหว่าง Empirical probit และ Log₁₀(Dose) จะได้สมการเส้นตรงในรูปทั่วไปคือ $Y = a + bX$ โดยเมื่อนำค่า $X = \text{Log}_{10}(\text{Dose})$ ใดๆ มาแทนลงในสมการแล้ว จะได้ค่า Y ค่าใหม่ ที่เรียกว่า $Y_i = \text{Expected probit}$

6. คำนวณหาค่า Z-value (Z) โดยแทน Expected probit ลงในสมการ

$$Z\text{-value} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Y_i^2}$$

กำหนด Y_i = Expected probit

7. คำนวณหาค่า Weighting coefficient (W) โดยแทนค่า Z-value ลงในสมการ

$$W = \frac{Z^2}{PQ}$$

กำหนด Z = Z-value

P = Execpted proportion = NORM.DIST(Expected probit,0,1)

Q = 1-P

8. คำนวณหาค่า Standard Error (SE) โดยแทนค่า Standard deviation และ Weighting coefficient ลงในสมการ

$$\text{Standard Error} = \frac{S}{\sqrt{\sum W}}$$

กำหนด S = Standard deviation (SD)

= 1/ความชันของกราฟ Empirical probit

W = Weighting coefficient

9. คำนวณหาค่าความเชื่อมั่น (95% fiducial limits) โดยแทนค่า Standard Error ลงในสมการ

$$95\% \text{ fiducial limits} = \text{Antilog}(\text{Log}_{10}(\text{Dose}) \pm 1.96(\text{SE}))$$





ภาพที่ จ-46 การติดตั้งชุดการทดลอง



ภาพที่ จ-47 การเตรียมปะการัง



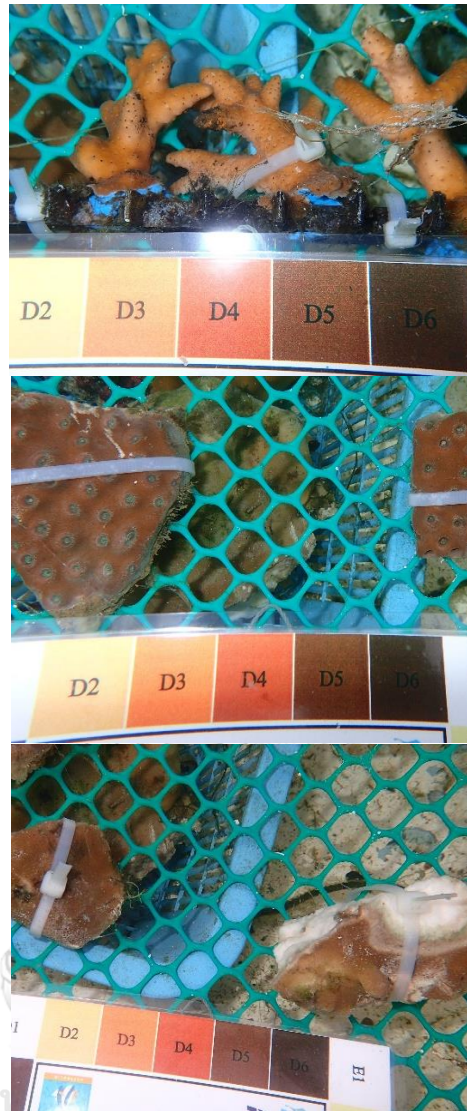
ภาพที่ จ-48 การกรองน้ำตัวอย่าง



ภาพที่ จ-49 กล้องดิจิตอล Olympus stylus TG-4



ภาพที่ จ-50 ชุดการวิเคราะห์ไนเตรท ความหนาแน่นสำหรับซูแซนเทลลีและคลอโรฟิลล์ เอ



ภาพที่ จ-51 ชิ้นปะการังในบ่อปรับสภาพ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาว กฤติญา สำราญศิลป์
วัน เดือน ปี เกิด	5 สิงหาคม 2538
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2560 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2561
ผลงานตีพิมพ์	<p>[1] Kittiya Samlansin, Petchporn Chawakitchareon and Sompop Rungsupa (2020) Effects of Salinity and Nitrate on Coral Health Levels: A Case Study of Hump Coral. (Porites sp.) International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies. Volume 11 No.8 ISSN 2228-9860 eISSN 1906-9642. CODEN: ITJEA8 Paper ID:11A8E http://TUENGR.COM/V11A/11A8E.pdf DOI: 10.14456/ITJEMAST.2020.146 Available online 28 February 2020 https://tuengr.com/V11A/11A8E.pdf</p> <p>[2] Kittiya Samlansin, Petchporn Chawakitchareon and Sompop Rungsupa (2020) Effects of Salinity and Nitrate on Coral Health Levels of Acropora sp. Thai Environmental Engineering Journal. Vol. 34 No. 1 (2020): January-April. 19-26. Available online https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/231684/164123</p>