



การศึกษาการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรส์และโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย

บริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ประเทศไทย

THE STUDY OF PLASTICIZER AND HEAVY METALS CONTAMINANTS ON
MICROPLASTICS FROM SANDY BEACHES AT THE GULF OF THAILAND AND
ANDAMAN THAILAND

จันทนา พันธุ์พรวาน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2566

การศึกษาการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอร์และโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย
บริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ประเทศไทย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE STUDY OF PLASTICIZER AND HEAVY METALS CONTAMINANTS ON
MICROPLASTICS FROM SANDY BEACHES AT THE GULF OF THAILAND AND
ANDAMAN THAILAND



JANTANA PANPRAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Environmental Technology & Resources Management)
Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University
2023
Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอร์และโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย

บริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ประเทศไทย

ของ

จันทนา พันธุ์พรวน

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ดร.อัญชนา พัฒนสุพงษ์) (รองศาสตราจารย์ ดร.ทนายท ศรียาภัย)

ชื่อเรื่อง	การศึกษาการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย บริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ประเทศไทย
ผู้วิจัย	จันทนา พันธุ์พรวน
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฌภัทร โพธิ์วัน
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. อัญชนา พัฒนสุพงษ์

การศึกษาการปนเปื้อนของพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย บริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปริมาณ รูปร่าง ขนาด สี และชนิดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างทราย รวมถึงวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกในพื้นที่ 11 จังหวัด ได้แก่ ตราด จันทบุรี ระยอง ชลบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง พังงา ภูเก็ต และกระบี่ โดยเลือกพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการท่องเที่ยว การทำประมง บริเวณปากแม่น้ำและแหล่งอุตสาหกรรม ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง ในช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 ถึงเดือนตุลาคม 2566 ผลการศึกษาพบปริมาณไมโครพลาสติกอยู่ในช่วง 223 – 1,483 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ซึ่งปริมาณที่พบบริเวณชายหาดทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้ ลักษณะที่พบมากที่สุดได้แก่ เส้นใย ร้อยละ 70 ของปริมาณทั้งหมด รวมถึงพบสีดำและขนาดไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45 และ 61 ตามลำดับ พบไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 ชนิด ซึ่ง PE เป็นชนิดที่พบมากที่สุดร้อยละ 45 ผลการศึกษาปริมาณพลาสติกไฮเซอรทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ Dibutyl phthalate (DBP), Bisphenol A (BPA), Benzyl butyl phthalate (BBP) และ Di-n-octyl phthalate (DNOP) พบว่ามีปริมาณอยู่ในช่วง 0.00 – 20.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดย BPA มากที่สุดในทุกพื้นที่ (ร้อยละ 60) และการศึกษาปริมาณโลหะหนักทั้ง 11 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) ซีลีเนียม (Se) โมลิบดีนัม (Mo) ตะกั่ว (Pb) โคบอลต์ (Co) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และปรอท (Hg) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.00 – 630.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยชนิดที่พบมากที่สุดได้แก่ Mn (ร้อยละ 45) ปริมาณพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักที่พบทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้น โดยคำนวณจากค่าความเป็นอันตรายของไมโครพลาสติก พลาสติกไฮเซอร และโลหะหนัก พบว่ามีระดับความเสี่ยงเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางถึงรุนแรง อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นเพียงการสำรวจและตรวจติดตามปริมาณ ลักษณะที่ปรากฏ และชนิดไมโครพลาสติก รวมถึงสารปนเปื้อนบนไมโครพลาสติกเบื้องต้นภายในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งคาดว่าผลการศึกษาทั้งหมดจะเป็นข้อมูลพื้นฐานส่วนหนึ่งที่สำคัญและเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดการปัญหาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกและสารมลพิษบนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางทะเลได้ในลำดับถัดไป

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก, พลาสติกไฮเซอร, โลหะหนัก, อ่าวไทย, อันดามัน

Title	THE STUDY OF PLASTICIZER AND HEAVY METALS CONTAMINANTS ON MICROPLASTICS FROM SANDY BEACHES AT THE GULF OF THAILAND AND ANDAMAN THAILAND
Author	JANTANA PANPRAN
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Naphat Phowan
Co Advisor	Dr. Anchana Pattanasupong

The study of plasticizer and heavy metals contaminants on microplastics from sandy beaches situated on the Gulf of Thailand and Andaman Thailand. The objective was to survey the quantity, shape, size, color, and type of microplastics in sand samples, including analyzing the type and quantity of plasticizers and heavy metals on microplastics, specifically in 11 provinces: Trat, Chanthaburi, Rayong, Chonburi, Phetchaburi, Prachuap Khiri Khan, Chumphon, Ranong, Phang Nga, Phuket, and Krabi. Areas influenced by tourism, fishing, estuary, and industrial sources were chosen. Samples were collected three times throughout the year, between November 2022 and October 2023. The results indicated that the number of microplastics in the beach sand ranged from 223 - 1,483 particles/kg dry weight, with no significant difference observed between the two areas ($p > 0.05$). Fibers were the predominant type, constituting 70% of the total, and most were found to be black and size was less than 0.1 millimeters accounting for 45% and 61%, respectively. In this study, 8 types of microplastics were identified, with the most common ones being PE (45%). A quantitative study of 4 types of plasticizers; Dibutyl phthalate (DBP), Bisphenol A (BPA), Benzyl butyl phthalate (BBP), and Di-n-octyl phthalate (DNOP) was conducted. The amounts ranged from 0.00 – 20.42 mg/kg, with BPA being the dominant type (60%). Additionally, a quantitative study was conducted on 11 types of heavy metals: As, Se, Mo, Pb, Co, Cd, Ni, Cr, Cu, Mn, and Hg. The amounts ranged from 0.00 – 630.57 mg/kg, with Mn being the most prevalent (45%). The quantities of plasticizers and heavy metals found in both sources were not significantly different ($p > 0.05$). The assessment of the potential ecological risk index (RI) of microplastics indicated risks ranging from low to extremely dangerous and toxic levels. However, this study is only a survey and monitoring of the quantity, appearance, and types of microplastics, including contaminants on microplastics, a year period. It is expected that all study results will provide important basic information and will be useful to relevant agencies in managing the problem of microplastic contamination and pollutants.

Keyword : Microplastics, Plasticizers, Heavy metals, Gulf of Thailand, Andaman sea

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีของตลอดจน การให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับแก้ข้อบกพร่อง จากผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และ ดร.อัญชนา พัฒนสุพงษ์ อาจารย์ที่ ปรึกษาร่วม ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล ประธานคณะกรรมการสอบปาก เปลาปริญญานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ทนายท ศรียาภัย กรรมการฯ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.อัญชนา พัฒนสุพงษ์ ผู้อำนวยการห้องปฏิบัติการทดสอบการสลายตัว ทางชีวภาพของวัสดุ (หป. สช.), ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ (ศพว.) สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือวิเคราะห์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตร สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการ จัดการทรัพยากร คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิ โรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการศึกษาผู้มีสมรรถนะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2566 ที่ทำ ให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ รวมถึงบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ที่ได้ให้ความ ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงคุณของบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ อบรมสั่งสอนให้ความรู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาต่อไป

จันทนา พันธุ์พรวาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	3
1.3 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
1.6 กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....	6
2.1 ชยะทะเล.....	6
2.2 ไมโครพลาสติก	7
2.2.1 กระบวนการแตกเป็นส่วนหนึ่งของพลาสติก.....	8
2.2.2 ประเภทของพลาสติกที่พบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล	8
2.2.3 ขนาดของพลาสติก.....	9
2.2.4 การสกัดไมโครพลาสติก.....	10
2.2.5 การจำแนกไมโครพลาสติก.....	11

2.3 พลาสติกไฮเซอร	14
2.3.1 ประเภทของพลาสติกไฮเซอร	14
2.3.2 วิธีการสกัดพลาสติกไฮเซอร	17
2.3.3 ผลกระทบของพลาสติกไฮเซอร	18
2.4 โลหะหนัก	18
2.4.1 ผลกระทบของโลหะหนัก	20
2.4.2 การดูดซับโลหะหนักบนไมโครพลาสติก	21
2.4.3 โลหะหนักที่พบในทะเลประเทศไทย	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	25
3.1 เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี	25
3.2 สถานที่ศึกษา	26
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	29
3.3.1 การเก็บตัวอย่าง การสกัด และการจำแนกลักษณะ	29
3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	31
3.3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารพลาสติกไฮเซอร และโลหะหนัก	31
3.3.4 การวิเคราะห์สารพลาสติกไฮเซอร	31
3.3.5 การวิเคราะห์โลหะหนัก	32
3.3.6 การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้น	33
3.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	35
บทที่ 4 ผลการศึกษา	36
4.1 สภาวะแวดล้อม	36
4.2 ปริมาณ ลักษณะ และองค์ประกอบของไมโครพลาสติก	38

4.2.1 ปริมาณไมโครพลาสติก	38
4.2.2 ลักษณะของไมโครพลาสติก.....	40
4.2.3 องค์ประกอบของไมโครพลาสติก	45
4.3 พลาสติกไฮเซอ์บนไมโครพลาสติก	46
4.4 โลหะหนักบนไมโครพลาสติก	48
4.5 การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ.....	50
4.5.1 ไมโครพลาสติก	50
4.5.2 พลาสติกไฮเซอ์.....	52
4.5.3 โลหะหนัก	53
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 อภิปรายผล	56
5.3 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	101

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ประเภทของพลาสติกที่พบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล	9
ตาราง 2 ความหนาแน่นของสารละลายเกลือ	10
ตาราง 3 สภาพที่เหมาะสมสำหรับการสกัดไมโครพลาสติก	11
ตาราง 4 การศึกษาลักษณะรูปร่างและสีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาด ประเทศไทย .	12
ตาราง 5 วิธีและสภาพที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ชนิดไมโครพลาสติก	13
ตาราง 6 ตัวอย่างพลาสติกไฮดรอกซีที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก.....	15
ตาราง 7 พลาสติกไฮดรอกซีที่พบในทะเล	16
ตาราง 8 วิธีการสกัดพลาสติกไฮดรอกซี.....	17
ตาราง 9 แหล่งที่มาของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม.....	19
ตาราง 10 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก	20
ตาราง 11 ความเป็นพิษจากโลหะหนัก	20
ตาราง 12 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง	27
ตาราง 13 พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง.....	27
ตาราง 14 วิธีการตรวจวัดสมบัติเบื้องต้น.....	30
ตาราง 15 สภาพการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID.....	32
ตาราง 16 ค่าความเสี่ยงของสารเป้าหมาย	34
ตาราง 17 เกณฑ์ความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา.....	35
ตาราง 18 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลชายหาดอ่าวไทย.....	37
ตาราง 19 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลชายหาดอันดามัน	37
ตาราง 20 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน.....	37

ตาราง 21 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย	38
ตาราง 22 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน.....	39
ตาราง 23 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน	39
ตาราง 24 รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทย	40
ตาราง 25 รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน	41
ตาราง 26 รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน.....	41
ตาราง 27 ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทย	42
ตาราง 28 ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน	42
ตาราง 29 ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน	43
ตาราง 30 สีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทย	43
ตาราง 31 สีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน	44
ตาราง 32 สีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน	44
ตาราง 33 องค์ประกอบของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน	46
ตาราง 34 ปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรันไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย	47
ตาราง 35 ปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรันไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน	47
ตาราง 36 ปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรันไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดทั้ง 2 แหล่ง	47
ตาราง 37 ปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย	48
ตาราง 38 ปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน.....	49
ตาราง 39 ปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน	49
ตาราง 40 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย.....	51
ตาราง 41 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน	51
ตาราง 42 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของพลาสติกไฮเซอรันบริเวณชายหาดอ่าวไทย	52
ตาราง 43 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของพลาสติกไฮเซอรันบริเวณชายหาดอันดามัน	52

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย	5
ภาพประกอบ 2 ลักษณะรูปร่างไมโครพลาสติกภายใต้กล้องสเตอริโอ	12
ภาพประกอบ 3 การจำแนกประเภทของพลาสติกไฮเซอร์	15
ภาพประกอบ 4 แหล่งเก็บตัวอย่างทรายบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน	29
ภาพประกอบ 5 การเก็บตัวอย่างทราย	30
ภาพประกอบ 6 ร้อยละองค์ประกอบของไมโครพลาสติกที่พบภายในระยะเวลา 1 ปี	45
ภาพประกอบ 7 สถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณชายหาดอ่าวไทย	81
ภาพประกอบ 8 สถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณชายหาดอันดามัน	82
ภาพประกอบ 9 ลักษณะไมโครพลาสติก	91
ภาพประกอบ 10 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PE	92
ภาพประกอบ 11 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PP	92
ภาพประกอบ 12 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PE+PP	93
ภาพประกอบ 13 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PS	93
ภาพประกอบ 14 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PVC	94
ภาพประกอบ 15 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ LDPE	94
ภาพประกอบ 16 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ Nylon	95
ภาพประกอบ 17 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ EPDM	95
ภาพประกอบ 18 กราฟสารมาตรฐานพลาสติกไฮเซอร์ 5 ความเข้มข้น	96
ภาพประกอบ 19 กราฟสารมาตรฐานโลหะหนัก 10 ชนิด	98
ภาพประกอบ 20 กราฟสารมาตรฐาน Hg	98



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ผลิตภัณฑ์พลาสติกได้รับความนิยมและใช้กันแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก คงทน และยืดหยุ่นต่อการใช้งานในด้านต่าง ๆ ในปี 2021 ทั่วโลกมีปริมาณการใช้พลาสติกรวม 391 ล้านตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องร้อยละ 4 ต่อปี (Statista Research Department, 2023; เมธาสิทธิ์, 2565) ทำให้ในปีถัดไปอุตสาหกรรมพลาสติกมีมูลค่าทางการตลาดเพิ่มขึ้นร้อยละ 11 ซึ่งมีมูลค่าถึง 986.63 พันล้านเหรียญสหรัฐ (Markets, 2022) ทั้งนี้ จากปริมาณความต้องการใช้พลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ทั่วโลกมีปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นประมาณ 350 ล้านตันต่อปี ส่วนใหญ่เป็นขยะพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (Single-use plastics) โดยร้อยละ 40 เป็นขยะจากบรรจุภัณฑ์ รองลงมาเป็นสินค้าอุปโภคบริโภคที่ร้อยละ 12 (OECD, 2022) ซึ่งได้รับการกำจัดอย่างถูกวิธีด้วยการเผาและการรีไซเคิลเพียงร้อยละ 21 และอีกร้อยละ 79 ถูกกำจัดที่หลุมฝังกลบ ซึ่งเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ขยะพลาสติกบางส่วนปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม UNEP (2021) คาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2040 จะมีขยะพลาสติกจากบนบกปริมาณ 29 ล้านตันที่ถูกพัดพามากับกระแสน้ำ กระแสนลม หรือจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ ปนเปื้อนลงสู่แม่น้ำ ลำคลอง และสะสมในชั้นบรรยากาศ ก่อนจะปนเปื้อนลงสู่ทะเล (Mai et al., 2023; Zhou et al., 2018) ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2565) ที่รายงานประเภทขยะพลาสติกที่พบบริเวณปากแม่น้ำสายหลัก 9 สายที่ไหลลงสู่ทะเลอ่าวไทย โดยพบพลาสติกแผ่นบางประมาณ 456 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 62 ของขยะทั้งหมด ซึ่งกิจกรรมบริเวณชายหาดและการพักผ่อนถือเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดขยะมากที่สุดประมาณ 576 ตันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 78 ขยะพลาสติกเหล่านี้เมื่อปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและหมุนเวียนอยู่ในระบบนิเวศทางทะเลผ่านการหมุนวนของกระแสน้ำทั่วโลก (Sheela et al., 2022) จะเกิดการเสื่อมสภาพ แตกหัก และเปลี่ยนรูปร่างจนมีขนาดเล็กลง จากกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ กลายเป็นไมโครพลาสติก (Sukrita & Prasongsom, 2019) ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ (1) ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Primary microplastics) คือพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ตั้งแต่กระบวนการผลิต เช่น เม็ดเรซิน ผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย และเครื่องสำอาง (2) ไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary microplastics) คือพลาสติกที่เกิดจากการแตกเป็นส่วนในสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ (Sajorne et al., 2022) นอกจากนี้ ในระหว่างกระบวนการผลิตยังมีการเพิ่มสารเติมแต่งบางชนิดที่ทำให้พลาสติกเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ไวต่อการแตกเป็นส่วน

ในสิ่งแวดล้อม หรือปรับเปลี่ยนให้สามารถละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ไมโครพลาสติกกลายเป็นพาหะของสารมลพิษอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม (Koelmans et al., 2016; Li et al., 2022) เช่น โลหะหนัก (Liu et al., 2022) สารประกอบอินทรีย์ (Q. Chen et al., 2018) และจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (Bowley et al., 2021) นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลในอีกหลายด้าน เช่น การท่องเที่ยว ทัศนียภาพของชายหาด สุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตในทะเล รวมถึงการสร้างระบบนิเวศใหม่ที่เรียกว่า Plastisphere ที่เป็นการปรับตัวของจุลินทรีย์เพื่ออาศัยอยู่ร่วมกันกับขยะพลาสติกที่มนุษย์สร้างขึ้น (Du et al., 2022) ทำให้พบการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกมีอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมแม้ในพื้นที่ห่างไกล เช่น บริเวณมหาสมุทรอาร์กติก (Ross et al., 2021) และมหาสมุทรแปซิฟิก (Li et al., 2020) อีกทั้งยังมีการค้นพบหินพลาสติกบนเกาะร้างกลางมหาสมุทรแอตแลนติกของประเทศบราซิล (Munjal, 2023) กล่าวได้ว่า อนาคตของพลาสติกเมื่อปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมจะมีขนาดเล็กลง อาจถูกพัดพาจากกระแสน้ำขึ้น - น้ำลงในทะเลมาสะสมบริเวณชายหาด ส่งผลให้พฤติกรรมการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลงไป (Patchaiyappan et al., 2021) โดยสภาพแวดล้อมบริเวณชายหาดทั่วโลกเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยสำคัญทางนิเวศวิทยา เศรษฐกิจและสังคมมากที่สุด (Harley et al., 2006) ซึ่งการปนเปื้อนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดจัดเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักในการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ก่อโรค (Keswani et al., 2016) ทำให้หลายประเทศทั่วโลกตระหนักถึงปัญหาและอันตรายที่เกิดจากไมโครพลาสติก จึงมีการออกนโยบาย กฎระเบียบ/ข้อบังคับ หรือมาตรการต่างๆ เพื่อควบคุมและลดสาเหตุการเกิดไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม อาทิ การเรียกเก็บภาษีจากผู้ผลิต ผู้บริโภค หรือผู้นำเข้าถุงพลาสติก และยกเลิกการใช้ Single-use plastics บางประเภท เช่น ถุงพลาสติกที่มีขนาดความหนาน้อยกว่า 30 ไมโครเมตร (สุจิตรา, 2562) การห้ามผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของไมโครบีสที่ผลิตจากพลาสติกสังเคราะห์ในประเทศ แคนาดา สหรัฐอเมริกา สวีเดน เบลเยียม ฝรั่งเศส อิตาลี สหราชอาณาจักร และไทย (Yuan et al., 2022) รวมถึงมีการควบคุมหรือห้ามไม่ให้ใช้สารเติมแต่งบางชนิดที่ใช้ในการผลิตพลาสติก เช่น สารกลุ่ม Phthalates ได้แก่ Diisobutyl phthalate (DIBP), Dibutyl phthalate (DBP), Benzyl butyl phthalate (BBP), Bis (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) และ Dicyclohexyl phthalate (DCHP) เนื่องจากส่งผลกระทบต่อระบบต่อมไร้ท่อของมนุษย์ และมีความเป็นพิษร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ (ECHA, 2021) นอกจากนี้ ยังมีรายงานการศึกษาถึงปริมาณสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับโดยไมโครพลาสติก เช่น การดูดซับโลหะหนักของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาด (Maršić-Lučić et al., 2018; Vedolin et al., 2018; Xie et al., 2021) และการถ่ายทอดสารปนเปื้อนไปยังสิ่งมีชีวิต เช่น การถ่ายทอดสารเติม

แตงบนไมโครพลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride; PVC) สู่หนอนทราย ส่งผลให้สัตว์ทดสอบสร้างสารต้านอนุมูลอิสระลดลง (Browne et al., 2013)

จากข้อมูลข้างต้นกล่าวได้ว่าสภาพแวดล้อมบริเวณชายหาดมีแนวโน้มที่จะพบการตกค้างของขยะพลาสติก จนนำไปสู่การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกบริเวณนั้น โดยไมโครพลาสติกเหล่านี้จะดูดซับสารมลพิษ และถูกพัดพาไปยังพื้นที่ต่าง ๆ โดยกระแสน้ำ เมื่อถูกบริโภคโดยสิ่งมีชีวิตในทะเลจะเกิดการสะสมบริเวณเนื้อเยื่อ และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางลำดับห่วงโซ่อาหาร อย่างไรก็ตาม รายงานการศึกษาระบุพบไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทรายบริเวณชายหาดของประเทศไทยยังคงมีจำกัด ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นการสำรวจไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทรายบริเวณชายหาดอำเภอไทยและอันดามันของประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ปริมาณ ชนิด และลักษณะของไมโครพลาสติก รวมถึงการวิเคราะห์สารพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติก เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงของสิ่งมีชีวิตในการได้รับไมโครพลาสติก อีกทั้งยังเป็นข้อมูลของการตรวจติดตามปริมาณการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก สารพลาสติกไฮเซอรและโลหะในสิ่งแวดล้อม เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกในทะเลต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณ ชนิด และลักษณะของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในทรายบริเวณชายหาด
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกที่คัดแยกได้
- 1.2.3 เพื่อประเมินความเสี่ยงการเกิดมลพิษจากไมโครพลาสติก สารพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศ

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงปริมาณ ชนิด และลักษณะของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในทราย รวมถึงชนิดของสารพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติก และวิธีการประเมินความเสี่ยงการเกิดมลพิษจากไมโครพลาสติก สารพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ซึ่งผลจากการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นฐานข้อมูลสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการขยะพลาสติกในทะเลต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ภายในระยะเวลา 1 ปี ดำเนินการเก็บตัวอย่างทรายจำนวน 3 ครั้ง บริเวณชายหาดอำเภอไทยจำนวน 7 จังหวัด และชายหาดอันดามันจำนวน 4 จังหวัด โดยเลือกพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการท่องเที่ยว การทำประมง บริเวณปากแม่น้ำ และแหล่งอุตสาหกรรม นำมาวิเคราะห์ ชนิด ปริมาณ และลักษณะของไมโครพลาสติก รวมถึงการวิเคราะห์สารพลาสติกไซเซอร์ และโลหะหนักบนไมโครพลาสติก เพื่อการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้น

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

การปนเปื้อน (Contamination) คือ การที่มีสารเคมีบางชนิดหรือสิ่งแปลกปลอมในสิ่งแวดล้อม ทั้งที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติหรือจากการกระทำของสิ่งมีชีวิต แต่ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรมหรือมีคุณสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงไป

ไมโครพลาสติก (Microplastics) เป็นอนุภาคพลาสติกที่มีขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร สามารถจำแนกได้ 2 ประเภทคือ ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Primary microplastics) และไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary microplastics)

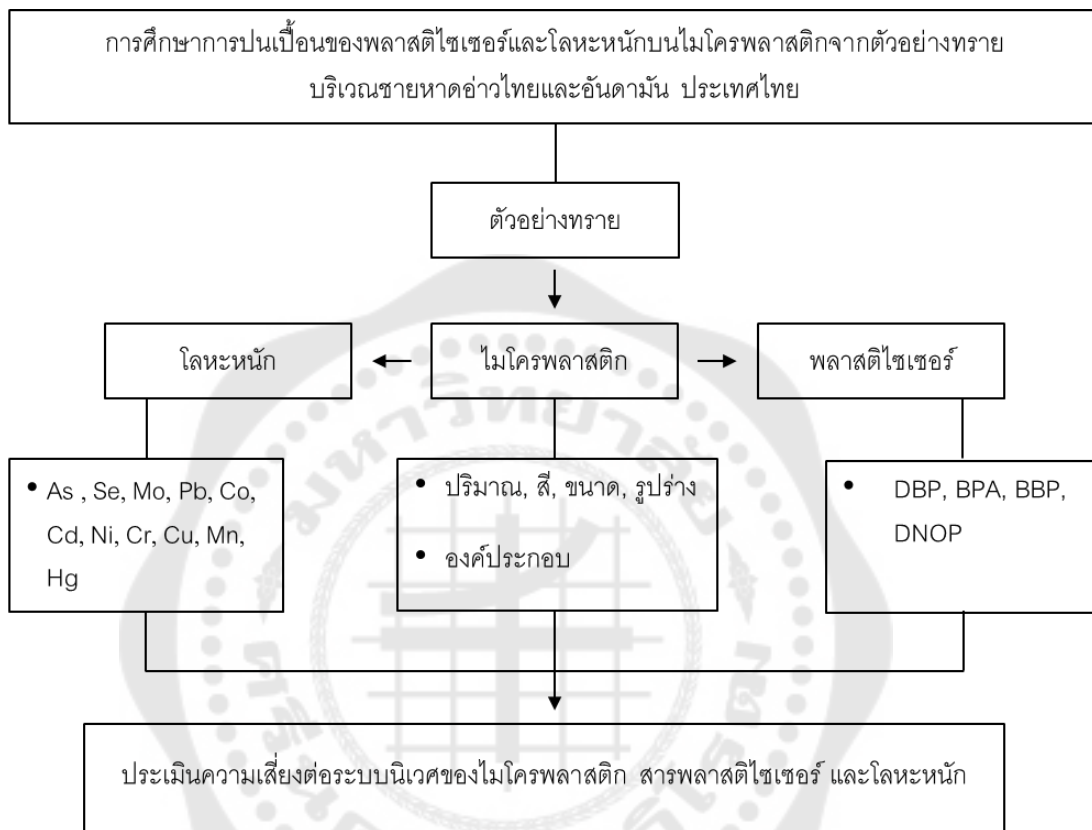
การแตกเป็นส่วน (Degradation) คือ กระบวนการแตกออกทางฟิสิกส์ของวัตถุเป็นชิ้นเล็ก ๆ

พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเติมแต่งที่ถูกเติมลงในพลาสติก เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการอ่อนตัว ยืดหยุ่น และหักงอได้

โลหะหนัก (Heavy metal) คือกลุ่มธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรที่พบได้ในธรรมชาติ โลหะหนักมีความเป็นพิษและมีความเสถียร จึงย่อยสลายได้ยากในสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร

1.6 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

การศึกษาศาารปนเปื้อนพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย บริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามันของประเทศไทย มีกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดวิจัย

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ขยะทะเล
2. ไมโครพลาสติก
3. พลาสติกไฮเซอร์
4. โลหะหนัก
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะทะเล

ขยะทะเลเป็นวัสดุที่ถูกทิ้งลงสู่ทะเล แม่น้ำ หรือบนชายหาด ส่วนใหญ่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ทั้งโดยเจตนาและไม่เจตนา โดยมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญแบ่งเป็น 2 แหล่งใหญ่ ๆ คือ จากแผ่นดินร้อยละ 80 และจากมหาสมุทรร้อยละ 20 (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2556) ทั้งนี้ ขยะบางส่วนจะถูกพัดพาจากบนบกลงสู่ทะเลผ่านทางปากแม่น้ำ จากการศึกษาปริมาณขยะพลาสติกบริเวณปากแม่น้ำของแม่น้ำ 5 สาย ได้แก่ บางปะกง เจ้าพระยาท่าจีน แม่กลอง และบางตะบูน พบว่ามีปริมาณขยะที่ไหลลงสู่อ่าวไทยประมาณ 3,391 กิโลกรัมต่อวัน เป็นขยะพลาสติกร้อยละ 75 โดยพบพลาสติกบางมากที่สุดประมาณ 1,882 กิโลกรัมต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 65 (ธีรวัตร และคณะ, 2562) และในปี 2564 มีปริมาณขยะจากปากแม่น้ำที่ไหลออกสู่ทะเลอ่าวไทยรวม 1,023 ตัน โดยขยะเหล่านี้ร้อยละ 43 จะกลายมาเป็นขยะบริเวณชายหาด เป็นขยะพลาสติกร้อยละ 83 ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศชายหาด และระบบเศรษฐกิจของแหล่งท่องเที่ยวในพื้นที่นั้น ๆ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2565) ธิษัมพร และไชยพิพัฒน์ (2566) รายงานผล การศึกษาชนิด และปริมาณขยะทะเลบนชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี สุ่มเก็บตัวอย่าง โดยการวางแปลงขนาด 3×3 เมตร ความลึกไม่เกิน 5 เซนติเมตร จำนวน 3 ซ้ำ จำแนกขยะออกเป็น 20 ชนิด ด้วยตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร พบเส้นใยพลาสติกจากเชือกที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมงมากที่สุด เฉลี่ย 75.23 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 28 รองลงมาเป็นพลาสติกที่มีขนาดตั้งแต่ 0.5 เซนติเมตรลงไปเฉลี่ย 31.96 ชิ้น หรือร้อยละ 12 เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีผลการศึกษาปริมาณ ชนิด และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดขยะทะเล บริเวณชายหาดราชมงคล จังหวัดตรัง

และอ่าวตังเกี๋ย จังหวัดภูเก็ต ที่ทำการเก็บตัวอย่างขยะพลาสติกและนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยแบบบันทึก International Coastal Cleanup (ICC) โดยชายหาดราชมงคลพบขยะรวม 296 ชิ้น (1,044 กิโลกรัม) เป็นขยะประเภท โฟม พลาสติกแข็ง และเส้นใยสิ่งทอมากที่สุด ตามลำดับ ในส่วนของอ่าวตังเกี๋ย พบขยะรวม 290 ชิ้น (2,543 กิโลกรัม) ขยะที่พบมากที่สุด ได้แก่ โฟม พลาสติกแข็ง และ พลาสติกต่าง ๆ ตามลำดับ ซึ่งกิจกรรมที่ก่อให้เกิดขยะทะเลของทั้ง 2 แหล่ง มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันคือ จากกิจกรรมชายหาดและการพักผ่อน กิจกรรมการประมงและเดินเรือ และกิจกรรมเกี่ยวกับการสูบบุหรี่ (เจนวิทย์ และคณะ, 2557) สอดคล้องกับผลการศึกษานิตินิตและปริมาณขยะ บริเวณสถานตากอากาศบางปู จังหวัดสมุทรปราการ พบขยะประเภท ภาชนะบรรจุอาหาร และถุงพลาสติกมากที่สุด จากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชายหาดและการพักผ่อน (วิษชุดา, 2564) ขยะทะเลโดยส่วนใหญ่ยังเป็นชิ้นพลาสติกที่สามารถแตกเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กลงจนกลายเป็นไมโครพลาสติกในที่สุด และเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะใน หอยฝาเดียว หอยสองฝา และเพรียง ที่มีลักษณะการกินอาหารแบบการกรอง อีกทั้ง ไมโครพลาสติกยังมีสมบัติในการดูดซับ และปลดปล่อยสารมลพิษต่าง ๆ เช่น สารพลาสติกไฮโดรคาร์บอน โลหะหนัก และเชื้อก่อโรค ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคจากการถ่ายทอดผ่านห่วงโซ่อาหาร (Thushari et al., 2017)

2.2 ไมโครพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบ อาทิ คาร์บอน ออกซิเจน และคลอรีน เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตพลาสติกเริ่มจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กจากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยาจนได้เป็นโพลิเมอร์ ทั้งนี้ อาจมีการเติมสารเติมแต่ง รวมถึงโลหะหนักบางชนิด เพื่อเพิ่มความสวยงาม และคุณสมบัติในการใช้งาน มีการใช้งานพลาสติกอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถนำมารีไซเคิลได้หลากหลายลักษณะตามวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์ เช่น บรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (นันท์วุฒิ, 2563) ปัจจุบันยังมีความต้องการใช้พลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่การสะสมของพลาสติกที่ไม่มีการจัดการอย่างถูกวิธี และปนเปื้อนลงสู่ทะเลเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมชาติ การทำประมง การท่องเที่ยว และการขนส่งสินค้า (Ogunola & Palanisami, 2016)

2.2.1 กระบวนการแตกเป็นส่วนของพลาสติก

การเพิ่มขึ้นของปริมาณพลาสติกปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม จากการจัดการขยะที่ไม่ถูกวิธี และจากการพัดพาของกระแสน้ำ ทำให้ขยะพลาสติกเกิดการแพร่กระจาย และตกค้างสะสมบริเวณชายหาด โดยเกิดการแตกเป็นส่วนได้จากกระบวนการทางธรรมชาติ ได้แก่

1. การแตกเป็นส่วนด้วยความร้อน (Thermal degradation) เป็นการแตกสลายของพันธะโควาเลนต์ เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้พลาสติกมีลักษณะหนืดขึ้นจากการหลอมละลาย เป็นการเร่งปฏิกิริยาการแตกสลายของพลาสติกได้เร็วขึ้น

2. การแตกเป็นส่วนด้วยแสง (Photo-degradation) เกิดจากสารเติมแต่งที่ทำให้พลาสติกมีความไวต่อแสง หรือมีพันธะทางเคมีไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการแตกเป็นส่วนเมื่อได้รับรังสียูวี

3. การแตกเป็นส่วนด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Thermo-oxidative degradation) เป็นการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพลาสติก ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เมื่อได้รับออกซิเจน ความร้อน หรือ แสงยูวี

4. การแตกเป็นส่วนด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทที่เติม Catalytic Hydrolysis เพื่อเร่งการแตกเป็นส่วนของพลาสติก และประเภท Non-Catalytic Hydrolysis พบในพลาสติกที่มีหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ หรือเอไมด์เป็นองค์ประกอบ เช่น พอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์ เป็นต้น

5. การแตกเป็นส่วนทางชีวภาพ (Biodegradation) เกิดจากกระบวนการที่จุลินทรีย์มีการปลดปล่อยเอนไซม์ 2 ชนิด ได้แก่ Endo-enzyme และ Exo-enzyme ออกมาเพื่อแตกโครงสร้างภายในของพลาสติก เมื่อมีขนาดเล็กจนจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ จะเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ในสภาวะการสลายตัวแบบมีอากาศ (Coolmag, 2022; Manlikanin, 2023)

2.2.2 ประเภทของพลาสติกที่พบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล

ขยะพลาสติกร้อยละ 18 ที่พบในทะเลมีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมประมง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Hinojosa & Thiel, 2009) โดยส่วนใหญ่ขยะพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดมักเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ซึ่งประเภทของพลาสติกที่พบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล ดังแสดงในตาราง 1 (Andrady, 2011)

ตาราง 1 ประเภทของพลาสติกที่พบในสิ่งแวดล้อมทางทะเล

ประเภทพลาสติก		ผลิตภัณฑ์
Low-density polyethylene	LDPE, LLDPE	ถุงพลาสติก ขวด และหลอดดูดน้ำ
High-density polyethylene	HDPE	ขวด ถัง และถาด
Polypropylene	PP	เชือก ฝาขวด และตาข่ายดักสัตว์
Polystyrene	PS	ภาชนะพลาสติกใสอาหาร
Polystyrene Foam	PS Foam	ฟองลอย กล่องใส่เหยื่อ และถ้วยโฟม
Polyamide	PA	ตาข่ายดักสัตว์
Polyethylene terephthalate	PET	ขวดน้ำใส
Polyvinyl chloride	PVC	ฟิล์มพลาสติก ขวด และถ้วย
Cellulose Acetate	CA	ตัวกรองบุหรี่

ที่มา: Andrady (2011)

2.2.3 ขนาดของพลาสติก

ขนาดของพลาสติกเป็นอีกหนึ่งปัจจัยของการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม พลาสติกหลังจากการแตกจากกระบวนการแตกเป็นส่วนจะมีขนาดเล็กลงเป็นอนุภาคพลาสติกแข็งหรือไม่ละลายน้ำสามารถจัดจำแนกได้ 5 ขนาด (DIN EN ISO 24187, 2022) ได้แก่

1. แมโครพลาสติก (Macroplastic) มีขนาดมากกว่า 5 เซนติเมตร
2. แมโครพลาสติกขนาดเล็ก (Small microplastic) มีขนาดระหว่าง 5 มิลลิเมตร - 5 เซนติเมตร
3. ไมโครพลาสติกขนาดใหญ่ (Large microplastic) มีขนาดระหว่าง 1 - 5 มิลลิเมตร
4. ไมโครพลาสติก (Microplastic) มีขนาดระหว่าง 1 – 5,000 ไมโครเมตร สามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ประเภท คือ

4.1 ไมโครพลาสติกประเภทปฐมภูมิ (Primary microplastics) เป็นพลาสติกที่ถูกผลิตขึ้นมาให้มีขนาดเล็กนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย หรือเป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับการผลิตพลาสติก

4.2 ไมโครพลาสติกประเภททุติยภูมิ (Secondary microplastics) เป็นพลาสติกที่เกิดจากการแตกเป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์พลาสติกจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมทำให้มีขนาดเล็กลง (National Geographic Society, 2022)

5. Nanoplastic มีขนาดน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร

2.2.4 การสกัดไมโครพลาสติก

การสกัดไมโครพลาสติกสามารถทำได้ทั้งวิธีการทางเคมี เอนไซม์ และกายภาพ โดยวิธีการทางเคมี และเอนไซม์ จะเป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคไมโครพลาสติกมีความบริสุทธิ์ (Zhao et al., 2016) ซึ่งการใช้เอนไซม์นั้นนิยมใช้กับตัวอย่างที่ปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตาม หลังจากกระบวนการสกัดจะพบสารประกอบอินทรีย์ตกค้างในปริมาณมาก (Cole et al., 2014) ทั้งนี้ เพื่อลดปริมาณสารประกอบอินทรีย์ตกค้าง จึงมีการใช้วิธีการสกัดทางเคมีร่วมกับทางกายภาพ โดยใช้สารเคมีมาทำปฏิกิริยาให้เกิดการออกซิเดชัน หรือ สภาวะความเป็นกรด – เบส ในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างทดสอบให้เหลือเพียงอนุภาคของไมโครพลาสติก (Singh et al., 2021) ร่วมกับการใช้สารละลายเกลือเข้มข้นที่มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1.15 - 1.70 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ตาราง 2) เพื่อแยกความหนาแน่นของอนุภาคไมโครพลาสติก โดยทั่วไปพลาสติกส่วนใหญ่จะมีความหนาแน่นอยู่ในช่วงประมาณ 0.80 - 1.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสารละลายเกลือที่นิยมใช้ในการสกัดมากที่สุดคือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เนื่องจากมีราคาต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รองลงมาคือ ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) และ โซเดียมไอโอไดด์ (NaI) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดไมโครพลาสติกของเกลือทั้ง 3 ชนิด พบว่าสารละลาย NaI ใช้ระยะในการสกัดน้อยกว่าสารละลาย NaCl และ $ZnCl_2$ มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดไมโครพลาสติกโดยใช้สารละลาย NaCl และ $ZnCl_2$ (ตาราง 3) แต่อย่างไรก็ตาม $ZnCl_2$ และ NaI นั้นเป็นอันตรายต่อผิวหนัง ดวงตา และระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งสารละลาย NaI ยังทำให้วัยะเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสเป็นเวลานาน และมีราคาสูง (Cutroneo et al., 2021)

ตาราง 2 ความหนาแน่นของสารละลายเกลือ

สารละลายเกลือ	ช่วงความหนาแน่น (g/cm ³)
1. Sodium chloride (NaCl)	1.15 – 1.30
2. Calcium chloride (CaCl ₂)	1.30 – 1.35
3. Zinc chloride (ZnCl ₂)	1.50 – 1.80
4. Zinc bromide (ZnBr ₂)	1.70
5. Sodium iodide (NaI)	1.55 – 1.80
6. Sodium bromide (NaBr)	1.37

สารละลายเกลือ	ช่วงความหนาแน่น (g/cm ³)
7. Sodium polytungstate (SPT; (3Na ₂ WO ₄ ·9WO ₃ ·H ₂ O))	1.40 – 1.65
8. Sodium tungstate dihydrate (Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O)	1.40
9. Lithium metatungstate (Li ₂ WO ₄)	1.62
10. Potassium iodide (KI)	1.70
11. Monosodium phosphate (MSP; NaH ₂ PO ₄)	1.40 – 1.45

ที่มา: Cutroneo et al. (2021)

ตาราง 3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดไมโครพลาสติก

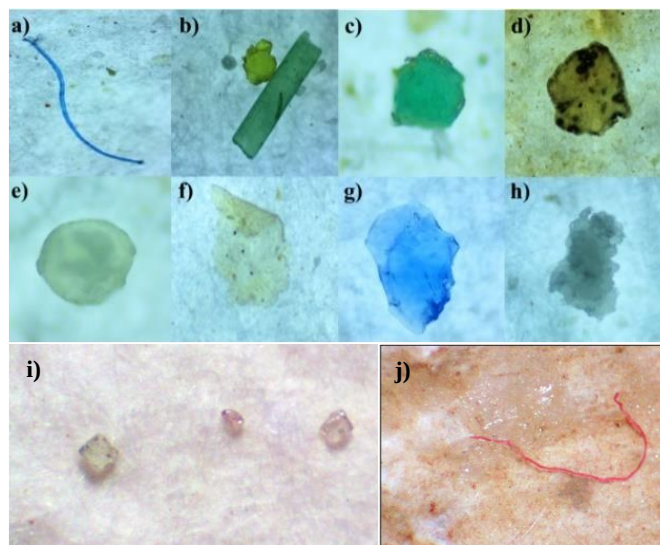
Items	NaCl	ZnCl ₂
1. Sample mass (Kg)	0.05 - 1	0.4 - 6
2. Solution volume (L)	0.5 - 4	0.3 - 30
3. Stirring time	30 s. - 2 h.	10 min.
4. Settle down time	2 min. - 6 h.	1 - 12 h.

ที่มา: DIN EN ISO 24187 (2022)

2.2.5 การจำแนกไมโครพลาสติก

2.2.5.1 ลักษณะรูปร่าง สี และขนาด

โดยทั่วไปมีการจำแนกลักษณะไมโครพลาสติกออกเป็น 7 ลักษณะ ได้แก่ เส้นใย ชื้น แผ่นฟิล์ม แผ่นแข็ง เม็ดกลม แท่ง และฟอยล์ (ภาพประกอบ 2) แบ่งสีออกเป็น 13 สี ได้แก่ ขาว ใส แดง ดำ น้ำเงิน ฟ้ำ เขียว เทา น้ำตาล เหลือง ส้ม ม่วง และเงิน ในส่วนของขนาดแบ่งได้ 4 ขนาด ได้แก่ 1.001 – 5 มิลลิเมตร 0.501 – 1 มิลลิเมตร 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร และ <0.1 มิลลิเมตร ดังแสดงในตาราง 4



ภาพประกอบ 2 ลักษณะรูปร่างไมโครพลาสติกภายใต้กล้องสเตอริโอ

a, j) เส้นใย, (b-d) ชิ้นส่วน, e, i) เม็ด, (f-g) ฟิล์ม และ h) โฟม

ที่มา: Benson & Fred-Ahmadu (2020); Panida & Parnuch (2022)

ตาราง 4 การศึกษาลักษณะรูปร่างและสีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาด ประเทศไทย

ลำดับ	พื้นที่	ลักษณะรูปร่าง	สี	ขนาด (mm)	ที่มา
1.	หาดป่าตอง หาดกะหลิม และหาดไตรตรัง จ.ภูเก็ต	เส้นใย ชิ้น แผ่นฟิล์ม แผ่น แข็ง เม็ดกลม และแท่ง	ขาว ใส แดง ดำ น้ำเงิน ฟ้า เขียว เทา น้ำตาล เหลือง ส้ม และม่วง	-	(Akkajit et al., 2019)
2.	เกาะลันตา จ.ตรัง	เส้นใย และชิ้น	ขาว ใส แดง ดำ เขียว เทา เหลือง ฟ้า และ เงิน	> 5, 1 - 5, < 1	(Pradit et al., 2020)
3.	หาดเกาะครามใหญ่ จ.ชลบุรี หาดเกาะมันใน จ.ระยอง หาดเจ้าหลาว จ.จันทบุรี	เส้นใย แผ่น และแท่ง	ขาว ใส แดง ดำ น้ำเงิน เขียว และเหลือง	1 - 5, 0.3 - <1, 0.02 - <0.3	(Jualaong et al., 2021)

ลำดับ	พื้นที่	ลักษณะรูปร่าง	สี	ขนาด (mm)	ที่มา
หาดพลอยแดง จ.ตราด					
4.	หาด จ. ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และ ตราด	เส้นใย แผ่น และเม็ด	ขาว ใส แดง ดำ น้ำเงิน น้ำตาล และสีอื่นๆ	-	(กรรณิกา และคณะ, 2564)
5.	หาดปลา หาดสุชาดา ปากแม่น้ำระยอง หาดแม่รำพึง อุทยาน แห่งชาติทางทะเลเขา แหลมหญ้า และหาด บ้านเพ จ.ระยอง	เส้นใย แผ่นแข็ง แผ่นฟิล์ม เม็ด กลม และโฟม	ขาว ใส ดำ แดง เหลือง และฟ้า	1.001 – 5, 0.501 – 1, 0.1 - 0.5, <0.1	(Panida & Parnuch, 2022)

2.2.5.2 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้าง

การจำแนกชนิดของไมโครพลาสติกจากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโครงสร้างแบ่งได้ 2 วิธีการ คือ วิเคราะห์สเปกโทรสโกปี (Spectroscopic analysis) และความร้อน (Thermo-analysis) ซึ่งการเลือกวิธีการในการทดสอบจะขึ้นกับลักษณะ ปริมาณที่พบ และขนาด ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ตาราง 5) โดยวิธีสเปกโทรสโกปี ส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องมือ Fourier transform infrared (FTIR) หรือ Raman เพราะวิเคราะห์ได้ถูกต้องและไม่ทำลายตัวอย่าง การใช้ความร้อน (Thermo-analysis) ด้วยเครื่อง Thermogravimetric (TGA) และ Gas chromatography-mass spectrometry มักใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งในพลาสติก ทั้งนี้ ในการเตรียมตัวอย่างต้องระวังการปนเปื้อนในระหว่างกระบวนการสกัดเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง (ISO/TR 21960, 2020)

ตาราง 5 วิธีและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ชนิดไมโครพลาสติก

วิธีวิเคราะห์		ปริมาณ (µg)	ขนาด (mm)	เวลาวิเคราะห์
Spectroscopic	Raman	~ 1	> 0.005	~ 30 min
	ATR-FTIR	> 1,000	> 0.5	~ 30 s
	µATR-FTIR	~ 1	< 0.5	~ 30 s

วิธีวิเคราะห์		ปริมาณ (µg)	ขนาด (mm)	เวลาวิเคราะห์
Thermal	Py-GC-MS	~ 10 - 100	-	~ 1 - 2 h
	DSC	2 - 5 mg	-	~ 1 - 2 h
	TED- GC-MS	50 mg	-	~ 2 - 3 h

ที่มา: DIN EN ISO 24187 (2022)

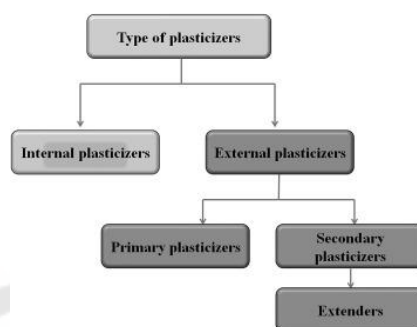
2.3 พลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์เป็นสารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก เพื่อให้มันนิ่มและยืดหยุ่นขึ้น สะดวกต่อการนำมาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ประเภทต่างๆ เช่น ฟิล์มเพื่อการเกษตร ผ้าใบ กันสาด ม่านอาบน้ำ และเทปกาว เป็นต้น โดยพลาสติกประเภทโพลีไวนิลคลอไรด์ มีการเติมสารพลาสติไซเซอร์มากถึงร้อยละ 90 รองลงมาเป็นพลาสติกประเภทโพลีไวนิลบิวทิล ฟิล์มเมอร์ อะคริลิก ไนลอน โพลีเอทิลีน โพลียูรีเทน และฟลูออโรเรซินบางชนิด โดยในทวีปเอเชียกลุ่มของพลาสติไซเซอร์ที่นิยมใช้คือพทาเลตเอสเทอร์ (Phthalate esters) (Godwin, 2011)

2.3.1 ประเภทของพลาสติไซเซอร์

สารพลาสติไซเซอร์สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) Internal plasticizers คือ สารพลาสติไซเซอร์ที่ผสมอยู่กับเนื้อเรซินในระหว่างกระบวนการโพลิเมอไรเซชัน โดยสารพลาสติไซเซอร์จะเข้าไปยึดเกาะกับโมเลกุลของพลาสติก มักนิยมใช้กับพลาสติกประเภทโพลีไวนิลคลอไรด์ และ (2) External plasticizers เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลอย่างน้อย 300 กรัมต่อโมล มีจุดเดือดสูง ระเหยได้ยาก และมีค่าการละลายน้ำใกล้เคียงกับพลาสติก โดยสารกลุ่มนี้จะเป็นการผสมสารพลาสติไซเซอร์กับพลาสติกทางกายภาพ แต่จะไม่ยึดติดกันด้วยพันธะทางเคมี จึงทำให้เกิดการระเหย หรือสลายไปได้ง่าย โดย External plasticizers ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 กลุ่ม คือ พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary plasticizers) เป็นสารประกอบกลุ่มโพลาร์ ที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำสูง โดยพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิที่นิยมใช้ คือ สารกลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ และพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary plasticizers) เป็นสารประเภทที่มีขั้วน้อย จึงมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากผสมกับพลาสติกได้ยาก โดยแตกออกเป็นกลุ่มย่อย (Extenders) ได้แก่ แนนเทนิกไฮโดรคาร์บอน อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน คลอรีนพาราฟิน (ทนไฟ) และอื่นๆ (ภาพประกอบ 3) โดยตัวอย่างสารพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก ดังแสดง

ในตาราง 6 (Langer et al., 2020; อนงค์นาฏ, 2566) มีรายงานการพบพลาสติกไฮเซอรในทะเลส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ (ตาราง 7) เนื่องจากมีปริมาณการใช้สูงคิดเป็นร้อยละ 65 ของส่วนแบ่งการตลาดทั่วโลก (Wright et al., 2020)



ภาพประกอบ 3 การจำแนกประเภทของพลาสติกไฮเซอร

ที่มา: Langer et al. (2020)

ตาราง 6 ตัวอย่างพลาสติกไฮเซอรที่ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก

ประเภทพลาสติกไฮเซอร	ชนิด	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
Phthalate esters	Di (2-ethylhexyl) phthalate; DEHP	อุปกรณ์ทางการแพทย์ ห่ออาหาร วัสดุก่อสร้าง บรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนยานยนต์ในเครื่องสำอาง (สเปรย์ฉีดผม น้ำยาทาเล็บ โลชั่น แชมพู และสบู่)
Dibasic acid ester (Adipates, Sebacates, Azelates, Glutarates, Oleates)	Di(2-ethylhexyl) adipate; DEHA	ชิ้นส่วนรถยนต์, การตกแต่งภายในเครื่องบิน และฉนวนสายไวไฟ
Epoxy plasticizers	Epoxidized soybean oil; ESBO, Epoxidized fatty acid esters	สายเคเบิล, เทปไฟฟ้า, รองเท้า, ท่อและท่อ
Glycol derivatives (Glycol ethers and Their esters; Dibenzoates, Benzoates)	Dipropylene glycol dibenzoate	พื้น, ฟิล์ม, กาว, ยาแนว และรถยนต์

ประเภทพลาสติกไฮเซอร	ชนิด	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์
Trimellitates (Trialkyl trimellitate)	Tris(2-ethylhexyl) trimellitate	ฉนวนสายไฟและสายเคเบิล PVC อุตสาหกรรมสูง, การตกแต่งภายใน และรถยนต์
Phosphate ester (Aryl, Alkyl, Mixed phosphate ester)	Tricresyl phosphate	บรรจุภัณฑ์, สายเคเบิล, ฝุ่นและผง
Citrates	Triethyl citrate	อุปกรณ์การแพทย์ที่ทำจาก PVC, ของเล่นเด็ก, ฟิล์มยืดถนอมอาหาร และสายยางหนา

ที่มา: Langer et al. (2020)

ตาราง 7 พลาสติกไฮเซอรที่พบในทะเล

สารเคมี	ชนิดพลาสติก	ปริมาณที่พบ	ที่มา
DEHP, Di-n-butyl phthalate (DnBP), Diethyl phthalate (DEP), Diisobutyl phthalate (DiBP), 2,4-di-tert-butylphenol (2,4-DTBP)	PE, PP	วิเคราะห์เชิงคุณภาพ	(Fries et al., 2013)
DnBP, DiBP, Diethyl phthalate (DEP), Dimethyl phthalate (DMP)	PS	วิเคราะห์เชิงคุณภาพ	(Fries et al., 2013)
DEHP, DiBP, DEP	Polyamide-6 (PA-6)	วิเคราะห์เชิงคุณภาพ	(Fries et al., 2013)
DEHP, Diisooctyl phthalate (DIOP)	PE, PP, PET, PC, Poly(acrylic/styrene)	วิเคราะห์เชิงคุณภาพ	(Rani et al., 2015)
Bisphenol A (BPA)	PS	4.58 mg/g	(Aminot et al., 2020)
BPA	PE	0.48 ± 0.88 mg/g	(Q. Chen et al., 2019)

2.3.2 วิธีการสกัดพลาสติกไซเซอร

จากการศึกษาของ Benson & Fred-Ahmadu (2020) ได้ทำการสกัดสารกลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ จากตัวอย่างไมโครพลาสติกปริมาณ 0.25 - 0.50 กรัม ที่แยกได้จากตะกอนทรายบริเวณอ่าวกินี ประเทศไนจีเรีย โดยนำมาผสมกับสารไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane; CHX) และสารเอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate; EA) ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตรรวม 5 มิลลิลิตร นำมาสกัดด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic Bath) เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำภาชนะทดสอบมาวางบนเครื่องเขย่าสาร (Orbital rotator) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแยกตัวอย่างกับตัวทำละลายด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) แยกสารละลายเก็บไว้ในหลอด ทำการสกัดซ้ำกับตัวอย่างเดิมจำนวน 2 ครั้ง จนมีปริมาตรรวมเป็น 15 มิลลิลิตร และนำมาทำให้เข้มข้นจนมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 1 มิลลิลิตรด้วยเครื่อง Rotary Evaporator เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS และสำหรับการศึกษาของ Zhang et al. (2020) ได้ทำการสกัดสารกลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ จากตัวอย่างตะกอนทรายบริเวณทะเลจีนใต้ปริมาณ 2.5 กรัม ด้วยสารไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทำการสกัด 2 ครั้ง และนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างที่ได้มาสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid phase extraction: SPE) ซะสารเป้าหมายโดยใช้สารละลายเฮกเซน (n-Hexane) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS) วิธีการสกัดสารพลาสติกไซเซอรจากการศึกษาอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 วิธีการสกัดพลาสติกไซเซอร

ตัวอย่าง	สารพลาสติกไซเซอร	วิธีการสกัด	ที่มา
ทราย	พทาเลตเอสเทอร์	ทราย 2.5 กรัม ผสมกับไดคลอโรมีเทน 20 มิลลิลิตร (สกัดด้วย Sonicate 2 ครั้ง) และนำมาสกัดด้วย SPE และชะด้วย n-Hexane 1 มิลลิลิตร	(Zhang et al., 2017)
ไมโครพลาสติก	พทาเลตเอสเทอร์	ไมโครพลาสติก 0.25 - 0.50 กรัม ผสมกับ CHX และ EA (อัตราส่วน 1:1) 5 มิลลิลิตร สกัดด้วย Sonicate 20 นาที วางตัวอย่างไว้บนเครื่อง Orbital rotator เป็นเวลา	(Kumkar et al., 2022)

ตัวอย่าง	สารพลาสติกไฮเซอร	วิธีการสกัด	ที่มา
		24 ชั่วโมง (ทำซ้ำ 2 ครั้ง) ระเหยให้ มีปริมาตรสุดท้ายเป็น 1 มิลลิลิตร	
ทราย	พทาเลตเอสเทอร์	ทราย 1 กรัม ผสมกับไดคลอโร มีเทน 1 มิลลิลิตร สกัดด้วยเครื่อง ย่อยสลายตัวอย่างด้วยระบบ ไมโครเวฟ ที่ 80 องศาเซลเซียส ที่ 600 วัตต์ เป็นเวลา 60 นาที	(La Nasa et al., 2021)
น้ำทะเล	พทาเลตเอสเทอร์	น้ำทะเล 500 มิลลิลิตร กรองผ่าน SPE C18 ซะด้วย n-Hexane 0.95 มิลลิลิตร	(Gugliandolo et al., 2020)

2.3.3 ผลกระทบของพลาสติกไฮเซอร

เมื่อพลาสติกเกิดการแตกเป็นส่วนจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น รังสี UV หรือ ความร้อน จนทำให้มีขนาดเล็กลง ขณะเดียวกันยังมีการปลดปล่อยสารพลาสติกไฮเซอรที่เคลือบ หรือผสมอยู่ในพลาสติกนั้นๆ ออกมาได้ โดยความเป็นพิษของไมโครพลาสติกส่วนใหญ่จะขึ้นกับ ปริมาณสารพลาสติกไฮเซอร หากมีการปนเปื้อนสู่สิ่งมีชีวิตและถ่ายทอดสู่ห่วงโซ่อาหาร จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ในระยะยาว ตัวอย่างเช่น พลาสติกไฮเซอร กลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ ที่มีปริมาณการใช้ทั่วโลกถึงร้อยละ 75 มีผลการศึกษาค่าความเป็นพิษของ สารกลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ ชนิด Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) ที่ทำให้หนูทดลองตายร้อยละ 50 โดยต้องใช้สารในปริมาณมากกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ผกาทิพย์, 2564) ทั้งนี้สาร กลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ยังส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ซึ่งจะไปรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อใน ร่างกายมนุษย์ ทำให้หลายประเทศทั่วโลกมีการห้ามใช้สารกลุ่มพทาเลตเอสเทอร์บางชนิด เช่น ประเทศจีน ห้ามใช้ Dimethyl phthalate Dibutyl (DMP), phthalate Bis(2-ethylhexyl) phthalate (DBP) และ Diisodecyl phthalate (DiDP) เป็นสารเติมแต่งในบรรจุภัณฑ์อาหาร และประเทศ แคนาดาห้ามใช้ DEHP ในเครื่องสำอางและอุปกรณ์การแพทย์ เป็นต้น (Baloyi et al., 2021)

2.4 โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นธาตุที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและมีความ เป็นพิษถึงแม้จะอยู่ในระดับ ppt (Part per thousand) ถึงน้อยกว่า 10 ppb (Part per billion) โลหะหนักสามารถพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ และจากการนำมาใช้ด้านเกษตรกรรม และ

อุตสาหกรรม อีกทั้งยังปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมได้จากระบบบำบัดน้ำเสีย หรือ บ่อฝังกลบขยะ ฯลฯ โลหะหนักมีความคงทนและสลายตัวได้ยากในสิ่งแวดล้อม จึงก่อให้เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร (อาตาม, 2561) โดยโลหะหนักเหล่านี้สามารถพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ขยะเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ไอเสียรถยนต์ และเหมืองแร่ (ตาราง 9) ซึ่งแตกต่างจากสารมลพิษอินทรีย์ เนื่องจากโลหะหนักมีความคงตัวสูงในสิ่งแวดล้อม สลายตัวได้ยาก ทำให้มีโอกาสสูงที่จะสะสมในร่างกายและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็ง (Yadav et al., 2019)

ตาราง 9 แหล่งที่มาของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

โลหะหนัก	แหล่งที่มา
นิกเกิล (Ni)	แบตเตอรี่ กัลวานไนซ์ การกลั่นโลหะ ปุ๋ย และอุตสาหกรรมสี
สังกะสี (Zn)	อุตสาหกรรมสีและสีย้อม น้ำยารักษาเนื้อไม้ ปุ๋ย ยาง และผงซักฟอก
สารหนู (As)	น้ำยารักษาเนื้อไม้ สีย้อม และอุตสาหกรรมรถยนต์
แคดเมียม (Cd)	จิตรกรรม สังกะสี ยาฆ่าแมลง พลาสติกโพลีไวนิล และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมกลั่น
อะลูมิเนียม (Al)	อะลูมิเนียมฟอสเฟต ยาฆ่าแมลง เซรามิกส์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์
เหล็ก (Fe)	ชิ้นส่วนเครื่องยนต์และอุตสาหกรรมการกลั่นโลหะ
ทองแดง (Cu)	อุตสาหกรรมไฟฟ้า การกลั่นโลหะ และพลาสติก
ตะกั่ว (Pb)	สารกำจัดศัตรูพืช แบตเตอรี่มือถือ วัสดุที่ใช้น้ำมัน และอุตสาหกรรมน้ำมันเบนซินที่มีสารตะกั่ว
โครเมียม (Cr)	อุตสาหกรรมการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า หนัง สิ่งทอ เชื้อกระดาศ การฟอกหนัง และการชุบโครเมียม
ดีบุก (Sn)	น้ำยารักษาเนื้อไม้ หนังกสัตว์ สีย้อมผ้า สีกันเปรี้ยว อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง

ที่มา: Bandara et al. (2022)

สำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนักในทะเลมีสาเหตุหลักมาจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทำให้ในแต่ละพื้นที่มีแนวโน้มที่จะพบสารปนเปื้อนที่แตกต่างกันจากกิจกรรมที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพและเคมียังเป็นปัจจัยที่ทำให้โลหะหนักมีการเปลี่ยนรูปและสะสมในสภาพแวดล้อมทางทะเลรูปแบบต่าง ๆ เช่น ป่าชายเลน ชายหาด

และพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีน้ำท่วมขัง ซึ่งเป็นที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตทางทะเลหลากหลายชนิด รวมถึงสัตว์ใกล้สูญพันธุ์ (Bandara et al., 2022) โดยกรมควบคุมมลพิษ (2564) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนัก

โลหะหนัก	เกณฑ์คุณภาพดินตะกอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ปรอท (Hg)	≤ 0.4
แคดเมียม (Cd)	≤ 2.0
โครเมียม (Cr)	≤ 42.0
ตะกั่ว (Pb)	≤ 52.0
ทองแดง (Cu)	≤ 25.0
สังกะสี (Zn)	≤ 102.0
สารหนู (As)	≤ 7.0

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2558)

2.4.1 ผลกระทบของโลหะหนัก

โลหะหนักส่งผลกระทบต่ออวัยวะภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เช่น ตับ ไต หรือเกิดความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายในเซลล์ ความเสียหายของดีเอ็นเอ ส่งผลให้มีอายุที่สั้นลง ซึ่งในมนุษย์อาจทำให้เกิดโรคไต โรคตับ โรคแทรกซ้อนในปอด และมะเร็งบางชนิดได้ (Bandara et al., 2022) โดยความเป็นพิษของโลหะหนัก ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ความเป็นพิษจากโลหะหนัก

โลหะหนัก	ความเป็นพิษ	อาการเมื่อได้รับสาร	ค่าความเป็นพิษ
ตะกั่ว (Pb)	- ร่างกายเกิดความผิดปกติ โดยจะทำลายกระดูก สมอง ไต และต่อมไทรอยด์	- พิษเฉียบพลัน เมื่อเกิดการสะสมในกระดูกและเส้นผม ทำให้ร่างกายอ่อนแอ วิงเวียนศีรษะ อาเจียน กล้ามเนื้อกระดูก	ปลาเรนโบว์เทราต์ (<i>Oncorhynchus mykiss</i>): LC50 = 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร – 96 ชั่วโมง

โลหะหนัก	ความเป็นพิษ	อาการเมื่อได้รับสาร	ค่าความเป็นพิษ
	- ทำให้เด็กมีสติปัญญาต่ำกว่าเด็กทั่วไป	- พิษเรื้อรัง ก่อให้เกิดโรคโลหิตจาง ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ กระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำลายระบบประสาท ทำให้สมองบวม สมองเสื่อม เป็นต้น	สาหร่าย (<i>Skeletonema costatum</i>): EC50 = 7.94 มิลลิกรัมต่อลิตร – 10 วัน (Sigma-Aldrich, 2021)
ปรอท (Hg)	- ระบบประสาทผิดปกติ	- ก่อให้เกิดโรคมินามาตะ มีรอยแผลไหม้เกรียม เกิดอาการปวดท้อง ท้องเสียรุนแรง สายตาพร่ามัวถึงขั้นมองไม่เห็น และทำให้ความจำเสื่อม	แพลงก์ตอนสัตว์ (<i>Daphnia magna</i>): EC50 = 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร – 48 ชั่วโมง แบคทีเรีย (<i>Pseudomonas putida</i>): EC50 = 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร – 6 ชั่วโมง (Merck, 2017)
แคดเมียม (Cd)	- ก่อให้เกิดพิษต่อร่างกาย ทำให้เอนไซม์หลายชนิดไม่ทำงาน ทำให้ระบบย่อยอาหารเผาผลาญพลังงานทำงานบกพร่อง ขัดขวางการสร้างเม็ดเลือดแดง	- ทำให้ร่างกายซูบผอม อ่อนเพลีย ร่างกายหนาวสั่น มีไข้ และความดันเลือดสูง เกิดภาวะโปรตีนในปัสสาวะสูง ส่งผลให้ไตทำงานผิดปกติ - โรคไต-ฮิไต มีอาการปวดตามข้อกระดูก ตาพร่ามัว ท้องร่วง อาเจียน ตับวาย และอาจทำให้เสียชีวิต	- ปลาซิวหัวโต (<i>Pimephales promelas</i>): LC50 = 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร - 96 ชั่วโมง - สาหร่าย (<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>): EC50 = 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร – 72 ชั่วโมง (Sigma-Aldrich, 2023)

ที่มา: ชีรนาถ (2563)

2.4.2 การดูดซับโลหะหนักบนไมโครพลาสติก

การดูดซับโลหะหนักบนไมโครพลาสติก เกิดขึ้นได้จากมีลักษณะพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนัก เช่น มีรูพรุนขนาดเล็ก และไม่ละลายน้ำ จึงง่ายต่อการดูดซับสารเคมีที่ปนเปื้อนในระบบนิเวศทางน้ำ จากรายงานวิจัยของ Ashton et al. (2010) ที่ทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนักของเม็ดโพลีเอทิลีนบริสุทธิ์ (PE) โดยนำไปลอยไว้บริเวณท่าเรือเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าเม็ด PE สามารถดูดซับโลหะหนักได้ 5 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว, เหล็ก,

แมงกานีส, ทองแดง และ เงิน เช่นเดียวกันกับการรายงานของ Liu et al. (2022) ที่ทำการศึกษา การดูดซับโลหะหนักของโพลิไวนิลคลอไรด์บริสุทธิ์ (PVC) และโพลิโพรพิลีน (PP) จำนวน 3 จุด ตามแนวชายฝั่งของประเทศจีน ภายในระยะเวลา 6 เดือน ผลการศึกษาพบว่า PVC และ PP สามารถดูดซับโลหะหนักได้ 5 ชนิด ได้แก่ โครเมียม, แคดเมียม, ทองแดง, ตะกั่ว และ แมงกานีส และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santos-Echeandía et al. (2020) ที่ทำการศึกษาความสามารถ ในการดูดซับปรอท ของพลาสติกที่เก็บได้บริเวณชายฝั่งเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศสเปน โดยพบ ปริมาณปรอทบนชิ้นพลาสติกที่เกิดการแตกเป็นส่วนมากกว่าชิ้นพลาสติกที่ไม่เกิดการแตกเป็นส่วน ทั้งนี้ยังพบโลหะหนักชนิดอื่น ๆ เช่น นิกเกิลด้วย กล่าวได้ว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะหนัก ของพลาสติกบริเวณชายหาดนั้นสูงกว่าระบบนิเวศทางน้ำ เนื่องจากปัจจัยทางกายภาพและทาง เคมีของพลาสติกที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนัก และยังเพิ่มการปลดปล่อยสารเติมแต่งใน พลาสติกออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

2.4.3 โลหะหนักที่พบในทะเลประเทศไทย

จากการรายงานปริมาณโลหะหนักในตะกอนดินบริเวณอ่าวไทยตอนใน บริเวณ จังหวัดชลบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ด้วยวิธี Flame atomic absorption spectrophotometer (FAAS) พบว่ามีปริมาณค่าเฉลี่ยของ ตะกั่วอยู่ในช่วง $18.8 \pm 4.9 - 10.3 \pm 3.7$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดงอยู่ในช่วง $18.0 \pm 9.4 - 8.9 \pm 5.1$ มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสีอยู่ในช่วง $46.2 \pm 19.3 - 27.6 \pm 16.7$ มิลลิกรัมต่อลิตร โดย ปริมาณแคดเมียมมีค่าต่ำกว่าระดับที่วิธีสามารถตรวจวัดได้ ซึ่งพบว่าสังกะสีมีค่าเกินเกณฑ์ มาตรฐานตะกอนดินชายฝั่งทะเลที่ 52 มิลลิกรัมต่อลิตร (ณัฐวร, 2563) และงานวิจัยของ Pradit et al. (2022) ที่รายงานปริมาณโลหะหนักบริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ บริเวณจังหวัดพัทลุง ด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) พบว่ามีปริมาณ ค่าเฉลี่ยโลหะหนักในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนของตะกั่วอยู่ที่ 16.35 และ 7.41 มิลลิกรัมต่อลิตร สารหนูอยู่ในช่วง 3.94 และ 2.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และทองแดงอยู่ในช่วง 0.25 และ 0.48 มิลลิกรัม ต่อลิตร ตามลำดับ และการศึกษาปริมาณโลหะหนักในสัตว์ทะเลหายาก (เต่าทะเล พะยูน และ โลมา) ที่เกยตื้น บริเวณชายฝั่งตะวันออกของทะเลอ่าวไทย พบโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ สารหนู แคดเมียม ตะกั่ว และปรอท โดยจะพบสารหนู และตะกั่วในเต่าทะเลมากที่สุดอยู่ในช่วง 1.70 - 6.85 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.15 - 5.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แคดเมียมพบในพะยูน

มากที่สุดอยู่ในช่วง 31.38 - 66.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรอทพบในโลมามากที่สุดอยู่ในช่วง 21.10 - 32.23 มิลลิกรัมต่อลิตร (สุเทพ et al., 2557)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสารมลพิษบนชิ้นไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม อาทิ Saliu et al. (2019) รายงานปริมาณสารพทาเลตเอสเทอร์บนไมโครพลาสติกในแพลงก์ตอนและปะการัง จำนวน 12 แห่ง รอบเกาะมาดากัสการ์ ของประเทศมัลดีฟส์ พบไมโครพลาสติก 5 ชนิด (PE, PP, PA, PS และ PU) 3 ลักษณะ (ชิ้น ฟิล์ม และเส้นใย) ในปริมาณ 0.46 ± 0.15 และ 0.12 ± 0.09 ชิ้นต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำมาวิเคราะห์สารพทาเลตเอสเทอร์ด้วยเครื่อง LC-MS พบสารพทาเลตเอสเทอร์ 6 ชนิด ได้แก่ DEP, DMP, Mono (2-ethylhexyl) Phthalate (MEHP), DBP, DEHP และ BBzP ที่มีปริมาณสารพทาเลตเอสเทอร์ในแพลงก์ตอนรวมอยู่ในช่วง 58.3 ± 40.5 - 176.2 ± 82.5 นาโนกรัมต่อกรัม และในปะการังเขากวางอยู่ในช่วง 9.4 ± 2.3 - 16.5 ± 5.4 นาโนกรัมต่อกรัม

Benson & Fred-Ahmadu (2020) ศึกษาปริมาณสารพทาเลตเอสเทอร์และโลหะหนักที่ถูกดูดซับบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาด 5 แห่งตามแนวอ่าวกินี ทำการสกัดไมโครพลาสติกโดยใช้สารละลาย NaCl (358.9 กรัมต่อลิตร) ได้ไมโครพลาสติกที่มีขนาด 1 - 5 มิลลิเมตร นำมาจำแนกชนิดด้วยวิธี ATR-FTIR จากนั้นนำมาวิเคราะห์สารพทาเลตเอสเทอร์จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Dimethyl phthalate (DMP), Diethyl phthalate (DEP), Dibutyl phthalate (DnBP), Benzyl butyl phthalate (BBZP), Di (ethyl hexyl) phthalate (DEHP) และ Di n-octyl phthalate (DNOP) ด้วยวิธี GC-MS พบไมโครพลาสติก 4 ลักษณะ ได้แก่ ชิ้นโฟม ชิ้นแข็ง เม็ด และเส้นใย โดยลักษณะที่พบมากที่สุดคือ ชิ้นโฟม และชนิดที่พบส่วนใหญ่เป็น PP, PE และ PS ตามลำดับ โดยสารพทาเลตเอสเทอร์ส่วนใหญ่ที่พบคือ DEHP, DnBP และ DMP ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.00 - 164.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และจากการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศของสารพทาเลตเอสเทอร์เบื้องต้นพบว่า DEHP และ DnBP อาจมีความเสี่ยงระดับปานกลางถึงสูงต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล

Gugliandolo et al. (2020) ศึกษาปริมาณสารพทาเลตเอสเทอร์ (PAEs) และพลาสติกไฮดรอกซีที่ไมใช่พทาเลต (NPPs) ที่ปลดปล่อยออกมาจากไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทะเลและปลา บริเวณชายฝั่งเขตการปกครองมาห์เดียของประเทศตูนิเซีย ทำการสกัดสาร PAEs และ NPPs ด้วย SPE C18 cartridges โดยตลอดระยะเวลาการศึกษาพบสาร PAEs จำนวน 6 ชนิด ได้แก่ DEP, DprP, DBP, DiBP, BBP และ DEHP ซึ่งสารที่พบส่วนใหญ่คือ DEHP อยู่ในช่วง 0.071 - 4.594 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร DEHT อยู่ในช่วง 0.634 - 2.424 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีปริมาณ PAEs รวมอยู่ในช่วง 1.416 - 5.581 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในส่วนของ NPPs พบ

2 ชนิด ได้แก่ Diethylhydroxylamine (DEHA) และ Bis(2-ethylhexyl) terephthalate (DEHT) รวมตลอดการศึกษาอยู่ในช่วง 9.191 - 26.296 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบสารกลุ่ม PAEs ในปลาชนิด *Sparus aurata* เฉลี่ย 5.581 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ NPPs เฉลี่ย 26.296 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และเมื่อนำผลที่ได้มาประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาพบสาร PAEs จำนวน 5 ชนิด (DEP, DpP, DBP, DiBP, BBP และ DEHP) และ NPP จำนวน 2 ชนิด (DEHA และ DEHT) และเมื่อนำมาประเมินค่าความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตพบว่าสาร DEP, DBP และ DiBP ในน้ำทะเลมีระดับความเสี่ยงต่ำต่อสิ่งมีชีวิต ยกเว้น DiBP ที่อาจก่อให้เกิดระดับความเสี่ยงปานกลางสำหรับปลา

Li et al. (2020) ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักบนไมโครพลาสติก เก็บตัวอย่างตะกอนบริเวณ 6 แห่ง ในประเทศฮ่องกง ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม 2561 จำแนกไมโครพลาสติกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และทำการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES ผลการศึกษาพบไมโครพลาสติก 5 ลักษณะ คือ ขี้ผึ้ง เส้นใย โฟม ฟิล์ม และเม็ด เมื่อนำมาวิเคราะห์ FT-IR พบจำนวน 6 ชนิด คือ PE, PP, PS, PET, PA, PVC และอื่น ๆ ในส่วนของโลหะหนักพบ 7 ชนิด โดยพบสารหนูน้อยกว่า 0.00828 มิลลิกรัมต่อกรัม แคดเมียมน้อยกว่า 0.00063 มิลลิกรัมต่อกรัม ทองแดง 0.89 ± 0.89 มิลลิกรัมต่อกรัม เหล็ก 302 ± 224 มิลลิกรัมต่อกรัม แมงกานีส 18.6 ± 12.7 มิลลิกรัมต่อกรัม, นิกเกิล 0.15 ± 0.13 มิลลิกรัมต่อกรัม และสังกะสี 19.6 ± 11.4 มิลลิกรัมต่อกรัม

Kumkar et al. (2022) ศึกษาปริมาณสาร DEP บนไมโครพลาสติก บริเวณแม่น้ำมูลา ประเทศอินเดีย เก็บตัวอย่างตะกอนดิน นำมาสกัดไมโครพลาสติก ผลการศึกษาพบไมโครพลาสติกทั้งหมด 5 ลักษณะ ได้แก่ ขี้ผึ้ง ฟิล์ม โฟม เส้นใย และเม็ด โดยเมื่อนำมาจำแนกชนิดด้วยวิธี ATR-FTIR ชนิดที่พบ ได้แก่ HDPE, LDPE, PE, PES, PET, PP, PVA และ PVC จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาโลหะหนักด้วยวิธี FE-SEM พบโลหะหนัก 4 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว นิกเกิล และปรอท และจากการวิเคราะห์ด้วย GC-MS ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าไมโครพลาสติกเป็นอีกหนึ่งแหล่งที่มาของสาร DEP อีกทั้งยังมีการศึกษาถึงความเป็นพิษของสาร DEP ที่ทำให้ปลา *Lepidocephalichthys thermalis* และ *Indoreonectes evezardi* ตายร้อยละ 50 ในปริมาณ 44.53 และ 34.64 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 เครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือ

- 1) เครื่องตรวจจับไอออกไนเซชันเปลวไฟโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography Flame Ionization Detector; GC-FID) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 6890N
- 2) เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy; ICP-OES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Optima 7300DV
- 3) เครื่องวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางโครงสร้างเคมีของสาร (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FT-IR) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Spectrum Two FT-IR Spectrometer
- 4) เครื่องย่อยแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave digestion) ยี่ห้อ Anton Paar รุ่น Multiwave 3000
- 5) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNE500
- 6) เครื่องชั่ง (Balance) ทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BSA224S-CW และ BSA3202S-CW ตามลำดับ
- 7) กล้องสเตอริโอ (Stereomicroscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZ61
- 8) เครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic Cleaner) ยี่ห้อ GT Sonic รุ่น D9
- 9) เครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็กพร้อมให้ความร้อน (Hotplate magnetic stirrers) ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS7
- 10) เครื่องตรวจวัดพารามิเตอร์แบบพกพา ยี่ห้อ WTW รุ่น MULTI 3630 IDS

3.1.2 วัสดุ และอุปกรณ์

- 1) กระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 1.2 ไมโครเมตร
- 2) ตะแกรงสแตนเลสขนาด 5 และ 1 มิลลิเมตร
- 3) ชุดกรองสุญญากาศ
- 4) ออโตปิเปตต์ (Auto pipette) ขนาด 0.1, 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 5) ปิเปตต์ทิป (Pipette tips) ขนาด 0.1, 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 6) เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ปีกเกอร์ (Beaker) เป็นต้น

7) อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1.3 สารเคมี

- 1) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; NaCl)
- 2) กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 (Hydrochloric acid 37% w/w; HCl)
- 3) กรดไนตริก ความเข้มข้นร้อยละ 65 (Nitric acid 65% w/w; HNO₃)
- 4) ไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane; C₆H₁₂)
- 5) เอทิลอะซิเตต (Ethyl acetate; C₄H₈O₂)
- 6) สารมาตรฐานพลาสติกไซเซออร์ อาทิ กลุ่ม Phthalates และ Bisphenol A
- 7) สารมาตรฐานโลหะหนัก อาทิ แมงกานีส สังกะสี และสารหนู
- 8) สารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.2 สถานที่ศึกษา

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณคาบสมุทรอินโด-แปซิฟิก และคาบสมุทรมาลายู มีทะเล 2 ชายฝั่ง คือ ฝั่งอ่าวไทยมีเขตติดต่อกับทะเลจีนใต้ บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกมีลักษณะเป็นทะเลกึ่งปิด และฝั่งอันดามันมีลักษณะเป็นทะเลเปิดออกสู่มหาสมุทรอินเดีย ส่วนมากมีลักษณะชายหาดเป็นหาดทราย หาดทรายปนโคลน หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นพื้นที่รองรับน้ำและขยะบางส่วนจากแม่น้ำสายหลักหลายสาย อาทิ เจ้าพระยา กระบุรี และจากกิจกรรมบริเวณชายหาด (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2566; กรมอุทยานแห่งชาติ, 2538) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดและปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งมีชีวิต งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งชุมชน การท่องเที่ยว การทำประมง บริเวณปากแม่น้ำ และแหล่งอุตสาหกรรม บริเวณชายหาดอ่าวไทยจำนวน 7 จังหวัด (ได้แก่ ตรัง จันทบุรี ระยอง ชลบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และชุมพร) และบริเวณชายหาดอันดามันจำนวน 4 จังหวัด (ได้แก่ ระนอง พังงา ภูเก็ต และกระบี่) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทรายรวม 11 จังหวัด จำนวน 3 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ปี เพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละฤดูกาล (ช่วงเวลาและพิกัดจุดเก็บตัวอย่างดังตาราง 12 - 13 และภาพประกอบ 4)

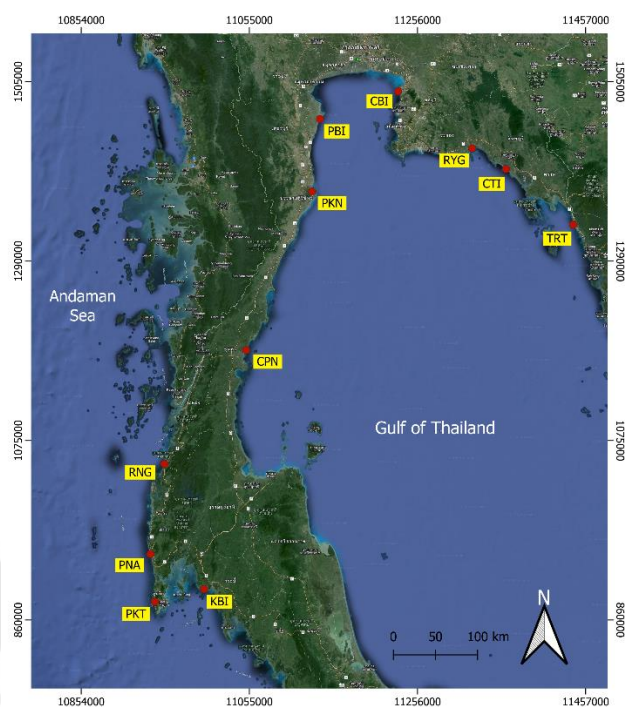
ตาราง 12 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

แหล่งเก็บตัวอย่าง	จังหวัด	รหัส	ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง
หาดบานชื่น	ตราด	TRT	
หาดแหลมสิงห์	จันทบุรี	CTI	ฤดูหนาว: มกราคม 2566
หาดแหลมสน	ระยอง	RYG	ฤดูร้อน: พฤษภาคม 2566
อ่าวไทย หาดบางแสน	ชลบุรี	CBI	ฤดูฝน: ตุลาคม 2566
หาดเจ้าสำราญ	เพชรบุรี	PBI	
หาดสามร้อยยอด	ประจวบคีรีขันธ์	PKN	
หาดทุ่งวัวแล่น	ชุมพร	CPN	
หาดประพาส	ระนอง	RNG	ฤดูหนาว: พฤศจิกายน 2565
หาดท้ายเหมือง	พังงา	PNA	ฤดูร้อน: มีนาคม 2566
อินคาหมื่น หาดป่าตอง	ภูเก็ต	PKT	ฤดูฝน: กรกฎาคม 2566
หาดอ่าวนาง	กระบี่	KBI	

ตาราง 13 พิกัดจุดเก็บตัวอย่าง

ชายหาด	สถานที่	รหัส	Latitude	Longitude	ลักษณะกิจกรรม
หาดบานชื่น	จ.ตราด	TRT	11.89298	102.78862	- ร้านอาหาร รีสอร์ท - แหล่งท่องเที่ยว - ประมงพื้นบ้าน - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
หาดแหลมสิงห์	จ.จันทบุรี	CTI	12.47777	102.07000	- ร้านอาหาร รีสอร์ท - แหล่งท่องเที่ยว - ปากแม่น้ำ - ประมงพื้นบ้าน
อ่าวไทย หาดแหลมสน	จ.ระยอง	RYG	12.69611	101.70127	- ร้านอาหาร - แหล่งท่องเที่ยว - ปากแม่น้ำ - ประมงพื้นบ้าน
หาดบางแสน	จ.ชลบุรี	CBI	13.28351	100.91513	- ร้านอาหาร โรงแรม - แหล่งท่องเที่ยว - ปากแม่น้ำ

ชายหาด	สถานที่	รหัส	Latitude	Longitude	ลักษณะกิจกรรม
					- ประมงพื้นบ้าน - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
	หาดเจ้าสำราญ จ.เพชรบุรี	PBI	13.00514	100.06568	- ร้านอาหาร โรงแรม - สถานที่ท่องเที่ยว - ประมงพื้นบ้าน - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
	หาดสามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์	PKN	12.24327	099.98411	- ร้านอาหาร รีสอร์ท - สถานที่ท่องเที่ยวในเขตอุทยาน แห่งชาติ - ประมงพื้นบ้าน - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
	หาดทุ่งวัวแล่น จ.ชุมพร	CPN	10.57118	099.27483	- ร้านอาหาร โรงแรม - สถานที่ท่องเที่ยว - ประมงพื้นบ้าน
	หาดประพาส จ.ระนอง	RNG	09.36811	098.39566	- ร้านอาหาร - สถานที่ท่องเที่ยวในเขตอุทยาน แห่งชาติ - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
	หาดท้ายเหมือง จ.พังงา	PNA	08.40330	098.24567	- ร้านอาหาร - สถานที่ท่องเที่ยว - ประมงพื้นบ้าน - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง
อันดามัน	หาดป่าตอง จ.ภูเก็ต	PKT	07.89619	098.29541	- ร้านอาหาร โรงแรม - สถานที่ท่องเที่ยว - ประมงพื้นบ้าน
	หาดอ่าวนาง จ.กระบี่	KBI	08.0292	098.82403	- ร้านอาหาร โรงแรม - สถานที่ท่องเที่ยว - ประมงพื้นบ้าน - ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

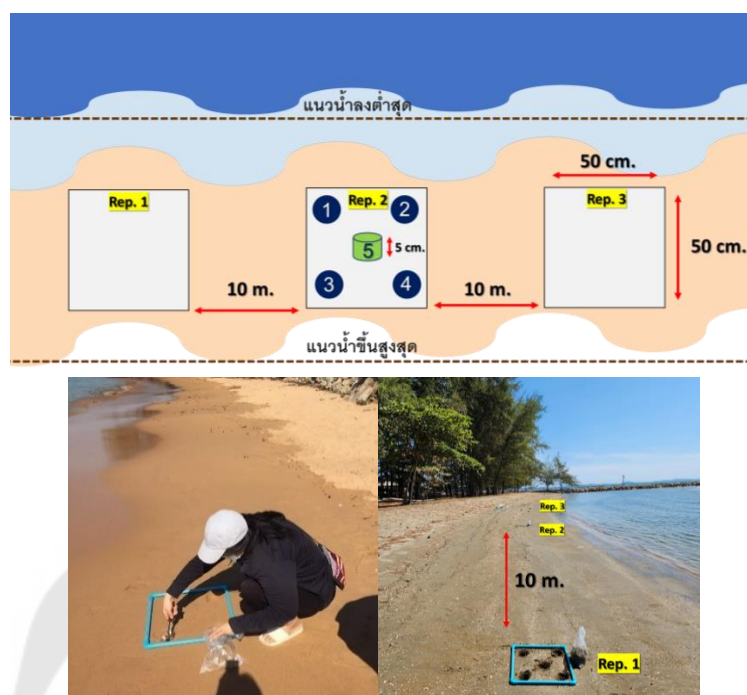


ภาพประกอบ 4 แหล่งเก็บตัวอย่างทรายบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเก็บตัวอย่าง การสกัด และการจำแนกลักษณะ

สุ่มเก็บตัวอย่างโดยวางแปลงขนาด 50×50 เซนติเมตร บริเวณน้ำทะเลท่วมถึงสูงสุด จำนวน 3 จุด แต่ละจุดห่างกันประมาณ 10 เมตร ที่ระดับความลึกประมาณ 5 เซนติเมตร (ภาพประกอบ 5) ตักทรายด้วยช้อนสแตนเลสและเก็บใส่ถุงซิปล็อค ที่น้ำหนักต่อถุงประมาณ 2 - 3 กิโลกรัม ตรวจวัดสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ อุณหภูมิอากาศและน้ำ ความเค็ม และความเป็นกรด-เบส ของน้ำทะเล (ตาราง 14) คัดแยกไมโครพลาสติกโดยนำตัวอย่างทรายมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เมื่อแห้งแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงสแตนเลสขนาด 5 และ 1 มิลลิเมตร (Besley et al., 2017)



ภาพประกอบ 5 การเก็บตัวอย่างทราย

ตาราง 14 วิธีการตรวจวัดสมบัติเบื้องต้น

พารามิเตอร์	เครื่องมือวิเคราะห์
1. อุณหภูมิอากาศ	Hygrometer
2. อุณหภูมิน้ำทะเล	MULTI 3630 IDS
3. ความเค็ม	MULTI 3630 IDS
4. ความเป็นกรด-เบส	MULTI 3630 IDS

สกัดไมโครพลาสติกด้วยสารละลายเกลือเข้มข้น โดยชั่งสารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ปริมาณ 358.9 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร กวนสารละลายที่ 600 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง GF/C เริ่มการสกัดไมโครพลาสติกโดยชั่งทราย 100 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร เติมสารละลายเกลือเข้มข้นปริมาตร 400 มิลลิลิตร กวนสารละลายที่ 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาให้นำสารละลายที่ได้มากรองผ่านกระดาษกรอง GF/C และทำการสกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง จากนั้นนำกระดาษกรองมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Besley et al. (2017)

ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการสกัดที่ระบุในมาตรฐาน ISO/TR 21960 (2020) จากนั้นสังเกตปริมาณ และลักษณะของไมโครพลาสติกภายใต้กล้องสเตอริโอ โดยจำแนกออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ เส้นใย ขึ้น เม็ด ฟิล์ม และโฟม สืบแบ่งตามที่พบในธรรมชาติ ในส่วนของขนาดของไมโครพลาสติกแบ่งออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ 1.001 – 5 มิลลิเมตร 0.501 – 1 มิลลิเมตร 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร และน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร ตามวิธีของ Panida & Parnuch (2022)

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

คัดแยกไมโครพลาสติกที่มีขนาด 1 - 5 มิลลิเมตร ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงสแตนเลสขนาด 5 และ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) ร่วมกับ Diamond attenuated total reflectance (ATR) ที่ช่วงสเปกตรัม 600 - 4000 cm^{-1} ความละเอียด 4 cm^{-1} ทำการสแกนจำนวน 8 ครั้ง และนำค่าสเปกตรัมที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลในโปรแกรม ซึ่งจะยอมรับค่าความคลายกันของพลาสติกที่มากกว่าร้อยละ 70 ขึ้นไป ตามวิธีของ Jung et al. (2017)

3.3.3 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารพลาสติกไฮเซอร และโลหะหนัก

ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ เลือกจากปริมาณไมโครพลาสติกทั้งหมดที่พบบนกระดาดาชกรองในแต่ละซ้ำของจุดเก็บตัวอย่าง (เก็บ 3 ซ้ำต่อจุด) โดยซ้ำที่พบปริมาณไมโครพลาสติกมากที่สุดจะนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์สารพลาสติกไฮเซอร และปริมาณรองลงมาจะนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นอย่างน้อย 30 นาที ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก โดยค่าความแตกต่างของน้ำหนักตัวอย่างที่ยอมรับได้จะต้องไม่เกิน ± 0.005 มิลลิกรัม

3.3.4 การวิเคราะห์สารพลาสติกไฮเซอร

สกัดสารพลาสติกไฮเซอรจากไมโครพลาสติกโดยประยุกต์ใช้วิธีการของ Benson & Fred-Ahmadu (2020) โดยชั่งน้ำหนักกระดาดาชกรอง 0.25 - 0.50 กรัม ลงในหลอดบรรจุตัวอย่างเติมสารละลายผสม Cyclohexene กับ Ethyl acetate ในอัตราส่วน 1:1 ให้มีปริมาตรรวม เป็น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำมาสกัดด้วยเครื่อง Ultrasonic Bath เป็นเวลา 20 นาที และนำมาเขย่าด้วยเครื่อง Incubator Shaker เป็นเวลา 1 คืน ทำซ้ำกับตัวอย่างเดิมจนครบ 3 ครั้ง

นำตัวอย่างที่ได้มาระเหยและปรับปริมาตรด้วยสารละลายผสมของ Cyclohexene กับ Ethyl acetate อัตราส่วน 1:1 ให้มีปริมาตรสุดท้ายเป็น 2 มิลลิลิตร จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาวิเคราะห์หาสารพลาสติกไซเซอร์จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Dibutyl phthalate (DBP), Bisphenol A (BPA), Benzyl butyl phthalate (BBP) และ Di-n-octyl phthalate (DNOP) ด้วยเครื่อง GC-FID ตามวิธีของ Omid et al. (2023) โดยสภาวะการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 สภาวะการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-FID

Item	Condition
Injection Temp.	10:1 at 300 °C
Column	HP-5 (30 m × 0.25 mm I.D., 0.25 µm)
Column Temp.	60 – 270 °C (20 °C/min) remained at 270°C for 2 min 270 – 290 °C (50 °C/min) 7 min staining
Injection Mode	Split less
Carrier Gas	High purity nitrogen
Purge Flow	0.29 mL/min
Injection Volume	1 µL

3.3.5 การวิเคราะห์โลหะหนัก

สกัดโลหะหนักจากตัวอย่างไมโครพลาสติกด้วยวิธีที่อ้างอิงตาม US EPA (2015) หัวข้อ EPA 3051 A โดยชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง 0.1 – 0.5 กรัม ลงในหลอดบรรจุตัวอย่าง เติมกรดไนตริกความเข้มข้นร้อยละ 65 ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทั้งให้เกิดปฏิกิริยาประมาณ 10 นาที ภายในตู้ดูดควัน และนำมาสกัดด้วยเครื่องย่อยแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กรองสารละลายผ่านกระดาษกรองและปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) ซีลีเนียม (Se) โมลิบดีนัม (Mo) ตะกั่ว (Pb) โคบอลต์ (Co) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และปรอท (Hg) ด้วยเครื่อง ICP-OES

3.3.6 การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้น

ประยุกต์ใช้วิธีการประเมินดัชนีความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นของโลหะหนักในตะกอนดินที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเนื้อเยื่อและเยื่อหุ้มเซลล์ รวมถึงการสร้างฮอร์โมนและโปรตีนของสิ่งมีชีวิต จากค่าความเป็นอันตรายของโลหะหนักทางเคมี โดยไม่คำนึงถึงสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของสารประกอบนั้น ตามวิธีของ Hakanson (1980) โดยคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์มลพิษของสารเป้าหมายจากปริมาณไมโครพลาสติก สารพลาสติกไซเซอร์ หรือ โลหะหนักที่วิเคราะห์ได้เทียบกับปริมาณสารเป้าหมายที่มีการรายงานมาก่อนหน้า (ค่าอ้างอิง) ดังสมการที่ (1) และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษจากค่าความเสี่ยงของสารเป้าหมายเทียบ (ตาราง 15) กับปริมาณของสารเป้าหมายที่พบ ดังสมการที่ (2) จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการที่ (1) และ (2) มาคำนวณหาค่าของดัชนีความเสี่ยงความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาที่อาจเกิดขึ้น ดังสมการที่ (3) (Y. Li et al., 2021) จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาของ Z. Lin & Bingyu (2019) ดังแสดงในตาราง 16

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (1)$$

โดยที่	C_f^i	ค่าสัมประสิทธิ์มลพิษของสารเป้าหมาย
	C_i	ปริมาณสารเป้าหมายที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมด
	C_n^i	เนื่องจากไม่พบข้อมูลปริมาณสารเป้าหมายก่อนยุคอุตสาหกรรมในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จึงปรับมาใช้ค่าปริมาณสารเป้าหมายที่พบน้อยที่สุดในแต่ละพื้นที่มาใช้ในการคำนวณ

$$T_r^i = \sum_{n=1}^n \frac{P_n}{C_i} \times S_n \quad (2)$$

โดยที่	T_r^i	ค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษ
	P_n	ปริมาณของสารเป้าหมายที่พบ
	S_n	ค่าคะแนนความเสี่ยงของสารเป้าหมาย ดังแสดงในตาราง 16

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (3)$$

โดยที่ E_r^i ดัชนีความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาที่อาจเกิดขึ้น
 เกณฑ์ดังแสดงในตาราง 17

$$RI = \sum E_r^i \quad (4)$$

โดยที่ RI ดัชนีความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาที่อาจเกิดขึ้น
 ของสารเป้าหมายหลายชนิดดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 16 ค่าความเสี่ยงของสารเป้าหมาย

Type	Item	Hazard score (highest level)
Polymer	PP	1
	PE	11
	LDPE	11
	PS	30
	Nylon	50
	PVC	10,551
Heavy metal	AS	10
	Cd	30
	Cr	2
	Cu	5
	Pb	5
	Ni	5
Plasticizer	Benzyl butyl phthalate (BBP)	11,100
	Bisphenol A (BPA)	1,210

ที่มา: Lithner et al. (2011)

ตาราง 17 เกณฑ์ความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา

E_r^i	RI	ระดับความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา
< 40	< 150	ความเสี่ยงต่ำ
> 40 - 80	> 150 - 300	ความเสี่ยงปานกลาง
> 80 - 160	> 300 - 600	ความเสี่ยงสูง
> 160 - 320	> 600 - 1,200	ความเสี่ยงสูงมาก
> 320	> 1,200	ความเสี่ยงรุนแรง

หมายเหตุ ระดับความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา หมายถึง ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นของสารเป้าหมายต่อการทำงานของเนื้อเยื่อ เยื่อหุ้มเซลล์ และการสร้างฮอร์โมนหรือโปรตีนของสิ่งมีชีวิตจากการกลืนกินไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนบริเวณชายหาด โดยความเสี่ยงรุนแรง หมายถึง สารเป้าหมายนั้นอาจเป็นภัยคุกคามที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ที่มา: Lin & Bingyu (2019)

3.3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ค่าเฉลี่ยของผลที่วิเคราะห์ได้มาประมวลผลด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics 26 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างคู่ (Independent-Samples; T-Test) และวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA; F-Test) โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test (DMRT) เพื่อหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยชนิดและปริมาณของไมโครพลาสติก รวมถึงปริมาณสารพลาสติกไฮเซอร์และโลหะหนักในเชิงพื้นที่และเวลา

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษาศารปนเปื้อนพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทรายบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามันของประเทศไทย จำนวน 11 จังหวัด ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนตุลาคม 2566 เพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละช่วงเวลา โดยผลการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

- 4.1 สภาวะแวดล้อม
- 4.2 ปริมาณ ลักษณะ และองค์ประกอบของไมโครพลาสติก
- 4.3 พลาสติกไฮเซอรบนไมโครพลาสติก
- 4.4 โลหะหนักบนไมโครพลาสติก
- 4.5 การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ

4.1 สภาวะแวดล้อม

จากการตรวจวัดสมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลทั้ง 2 แหล่ง ได้แก่ ชายหาดอ่าวไทย และชายหาดอันดามัน จำนวน 3 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ปี (ตาราง 12) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 32.07 ± 3.47 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลอยู่ในช่วง 31.23 ± 2.02 องศาเซลเซียส ความเค็มอยู่ในช่วง 28.38 ± 4.54 Part Per thousand (ppt) และความเป็นกรด-เบสของน้ำทะเลอยู่ในช่วง 7.87 ± 0.35 เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยสมบัติเบื้องต้นของน้ำธรรมชาติทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ และความเป็นกรด-เบส บริเวณชายหาดอ่าวไทย และค่าความเป็นกรด-เบส บริเวณชายหาดอันดามันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตาราง 18 - 20

ตาราง 18 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลชายหาดอ่าวไทย

สมบัติเบื้องต้น	ชายหาดอ่าวไทย			F-test ^{/1}
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
1. อุณหภูมิอากาศ (°C)	35.69 ^b ± 2.17	32.10 ^a ± 2.57	30.77 ^a ± 3.57	**
2. อุณหภูมิน้ำ (°C)	30.79 ± 2.57	32.27 ± 2.36	31.97 ± 1.82	ns
3. ความเค็ม (ppt)	30.04 ± 2.26	29.16 ± 2.86	23.97 ± 7.62	ns
4. ความเป็นกรด-เบส	8.01 ^b ± 0.06	7.40 ^a ± 0.50	8.00 ^b ± 0.21	**

หมายเหตุ^{/1} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 19 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลชายหาดอันดามัน

สมบัติเบื้องต้น	ชายหาดอันดามัน			F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
1. อุณหภูมิอากาศ (°C)	27.73 ± 3.33	33.48 ± 4.22	31.73 ± 5.33	ns
2. อุณหภูมิน้ำ (°C)	29.38 ± 0.48	31.70 ± 2.26	31.08 ± 1.93	ns
3. ความเค็ม (ppt)	28.75 ± 2.50	29.35 ± 3.18	30.55 ± 0.84	ns
4. ความเป็นกรด-เบส	7.92 ^a ± 0.10	7.95 ^a ± 0.05	8.11 ^b ± 0.06	**

หมายเหตุ^{/1} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 20 สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน

สมบัติเบื้องต้น	ชายหาดอ่าวไทย	ชายหาดอันดามัน	T-test ^{/1}
1. อุณหภูมิอากาศ (°C)	32.85 ± 3.43	30.98 ± 4.68	ns
2. อุณหภูมิน้ำ (°C)	31.68 ± 2.25	30.72 ± 1.88	ns
3. ความเค็ม (ppt)	27.72 ± 5.38	29.55 ± 2.30	ns
4. ความเป็นกรด-เบส	7.80 ± 0.42	8.00 ± 0.11	ns

หมายเหตุ^{/1} ns = not significant

4.2 ปริมาณ ลักษณะ และองค์ประกอบของไมโครพลาสติก

4.2.1 ปริมาณไมโครพลาสติก

จากการศึกษาพบปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ยบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน 766.67 ± 378.71 และ 752.78 ± 259.25 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณไมโครพลาสติกที่พบทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยอ่าวไทยพบมากที่สุดบริเวณ ชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี รองลงมาคือชายหาดทุ่งวัวแล่น จังหวัดชุมพร และชายหาดบ้านหิน จังหวัดตราด พบไมโครพลาสติก 934.44 ± 338.40 , 878.89 ± 540.18 และ 811.11 ± 488.83 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ตามลำดับ ทางด้านชายหาดอันดามันพบมากบริเวณชายหาดท้ายเหมือง จังหวัดพังงา รองลงมาคือชายหาดอ่าวนาง จังหวัดกระบี่ และชายหาดประพาส จังหวัดระนอง พบไมโครพลาสติก 841.11 ± 351.84 , 731.11 ± 130.70 และ 721.11 ± 257.86 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าทั้ง 2 แหล่ง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566) จะพบปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม 2566) ดังแสดงในตาราง 21 - 23

ตาราง 21 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย

แหล่ง เก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.) ¹			F-test ²
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
TRT	$726.67^b \pm 60.28$	$1,336.67^c \pm 240.07$	$370.00^a \pm 75.50$	**
CTI	$513.33^a \pm 81.45$	$866.67^b \pm 178.98$	$340.00^a \pm 52.92$	**
RYG	$1,223.33^b \pm 417.65$	$653.33^a \pm 155.03$	$223.33^a \pm 55.08$	**
CBI	$1,276.67^c \pm 153.73$	$926.67^b \pm 73.71$	$600.00^a \pm 96.44$	**
PBI	$1,150.00^c \pm 121.24$	$316.67^a \pm 80.83$	$570.00^b \pm 111.36$	**
PKN	826.67 ± 193.99	830.00 ± 147.31	713.33 ± 208.41	ns
CPN	$710.00^a \pm 157.16$	$1,483.33^b \pm 213.62$	$443.33^a \pm 76.38$	**
F-test ²	**	**	**	

หมายเหตุ: ¹ Particles/kg D.W. (อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง), ² ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 22 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน

แหล่ง เก็บตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยปริมาณไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.) ^{/1}			F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
RNG	776.67 ^b ± 125.83	946.67 ^b ± 152.75	440.00 ^a ± 78.10	**
PNA	1,010.00 ^b ± 305.12	1,076.67 ^b ± 96.09	436.67 ^a ± 106.93	**
PKT	760.00 ± 252.39	930.00 ± 282.13	463.33 ± 11.55	ns
KBI	853.33 ± 140.48	746.67 ± 37.86	595.33 ± 125.83	ns
F-test ^{/2}	ns	ns	ns	

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/kg D.W. (อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 23 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอำเภอไทยและอันดามัน

ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ยปริมาณไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.) ^{/1}		T-test ^{/2}
	ชายหาดอำเภอไทย	ชายหาดอันดามัน	
หนาว	918.10 ^b ± 328.16	850.00 ^b ± 213.63	ns
ร้อน	916.19 ^b ± 399.81	925.00 ^b ± 189.04	ns
ฝน	465.71 ^a ± 185.51	483.33 ^a ± 102.99	ns
F-test ^{/2}	**	**	

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/kg D.W. (อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในสดมภ์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.2 ลักษณะของไมโครพลาสติก

4.2.2.1 รูปร่าง

การศึกษครั้งนี้ พบไมโครพลาสติกทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่ เส้นใย (Fiber) ชิ้น (Fragment) เม็ด (Pellet) ฟิล์ม (Film) และโฟม (Foam) ซึ่งประเภทที่พบมากที่สุดในทุกพื้นที่ ได้แก่ เส้นใย (ร้อยละ 69.9) รองลงมาคือ ชิ้น (ร้อยละ 27.4) ฟิล์ม (ร้อยละ 1.9) โฟม (ร้อยละ 0.5) และเม็ด (ร้อยละ 0.4) ตามลำดับ ซึ่งรูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยชายหาดอ่าวไทยพบเส้นใยมากที่สุดในปริมาณร้อยละ 74.2 รองลงมาคือ ชิ้น ฟิล์ม เม็ด และ โฟม ร้อยละ 23.2, 2.1, 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับชายหาดอันดามันที่พบเส้นใยมากที่สุดร้อยละ 74.3 รองลงมาได้แก่ ชิ้น ฟิล์ม โฟม และเม็ด ที่ร้อยละ 23.4, 1.4, 0.7 และ 0.1 ตามลำดับ เมื่อนำมาพิจารณาช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 แหล่ง พบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยและชิ้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเส้นใยจะพบมากในช่วงฤดูฝน และชิ้นจะพบมากในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ดังแสดงในตาราง 24 - 26

ตาราง 24 รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทย

รูปร่าง	รูปร่างของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
เส้นใย	63.7 ± 17.2	(69.4 ^a %)	63.6 ± 39.3	(69.3 ^a %)	43.4 ± 16.4	(93.3 ^b %)	**
ชิ้น	25.7 ± 17.6	(28.0 ^b %)	25.3 ± 11.4	(27.6 ^b %)	2.3 ± 1.3	(4.9 ^a %)	**
เม็ด	0.4 ± 0.8	(0.5%)	0.4 ± 0.5	(0.5%)	0.0 ± 0.0	(0.0%)	ns
ฟิล์ม	2.0 ± 2.2	(2.2%)	2.0 ± 1.8	(2.2%)	0.9 ± 0.7	(1.8%)	ns
โฟม	0.0 ± 0.0	(0.0 ^a %)	0.4 ± 0.5	(0.5 ^b %)	0.0 ± 0.0	(0.0 ^a %)	**

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 25 รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน

รูปร่าง	รูปร่างของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
เส้นใย	71.3± 9.7	(83.6 ^b %)	53.3± 7.3	(57.4 ^a %)	43.8± 6.3	(90.7 ^b %)	**
ชิ้น	12.3± 8.0	(14.4 ^a %)	37.0± 8.9	(39.9 ^b %)	3.8± 1.7	(7.8 ^a %)	**
เม็ด	0.0 ± 0.0	(0.0%)	0.3 ± 0.5	(0.4%)	0.0 ± 0.0	(0.0%)	ns
ฟิล์ม	1.3 ± 1.0	(1.5%)	1.3 ± 1.1	(1.4%)	0.5 ± 0.6	(1.0%)	ns
โฟม	0.5 ± 1.0	(0.6%)	0.9 ± 1.1	(1.0%)	0.3 ± 0.5	(0.5%)	ns

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 26 รูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน

รูปร่าง	รูปร่างของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}				T-test ^{/2}
	ชายหาดอ่าวไทย		ชายหาดอันดามัน		
เส้นใย	56.9 ± 11.7	(74.2%)	56.1 ± 14.0	(74.3%)	ns
ชิ้น	17.8 ± 13.4	(23.2%)	17.7 ± 17.3	(23.4%)	ns
เม็ด	0.3 ± 0.2	(0.4%)	0.1 ± 0.2	(0.1%)	ns
ฟิล์ม	1.6 ± 0.7	(2.1%)	1.0 ± 0.5	(1.4%)	ns
โฟม	0.1 ± 0.2	(0.2%)	0.6 ± 0.3	(0.7%)	ns

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ns = not significant

4.2.2.2 ขนาด

จำแนกขนาดของไมโครพลาสติกออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ (1) 1.001 – 5 มิลลิเมตร (2) 0.501 – 1 มิลลิเมตร (3) 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร และ (4) น้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร โดยขนาดที่พบมากที่สุดในทุกพื้นที่ได้แก่ ขนาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร รองลงมาได้แก่ ขนาด 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร 0.501 – 1 มิลลิเมตร และ 1.001 – 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งขนาดของไมโครพลาสติกที่พบทั้ง 2 แหล่ง มีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60.9, 28.1, 6.6 และ 4.3 ตามลำดับ และเมื่อนำมาพิจารณาตามพื้นที่พบว่าขนาดของไมโครพลาสติกทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยชายหาดอ่าวไทยจะพบความหลากหลายของขนาดมากกว่าชายหาดอันดามัน และเมื่อพิจารณา

ตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าขนาดของไมโครพลาสติกทั้ง 2 แหล่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งทั้ง 2 แหล่ง จะพบไมโครพลาสติกขนาดน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร มากในช่วงฤดูร้อน และขนาด 0.1 – 5 มิลลิเมตร มากในช่วงฤดูหนาว ดังแสดงในตาราง 27 – 29

ตาราง 27 ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทย

ขนาด (mm)	ขนาดของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
1.001 – 5	9.1 ± 7.0	(10.0 ^b %)	0.0 ± 0.1	(0.1 ^a %)	0.0 ± 0.0	(0.0 ^a %)	**
0.501 – 1	12.6 ± 8.4	(13.7 ^b %)	0.3 ± 0.6	(0.4 ^a %)	0.0 ± 0.0	(0.0 ^a %)	**
0.1 - 0.5	29.1 ± 8.7	(31.7%)	21.4 ± 12.8	(23.3%)	15.3 ± 6.0	(32.8%)	ns
<0.1	41.0 ± 17.0	(44.6 ^a %)	70.0 ± 28.3	(76.3 ^b %)	31.3 ± 13.7	(67.2 ^b %)	**

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 28 ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน

ขนาด (mm)	ขนาดของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
1.001 – 5	0.0 ± 0.0	(0.0%)	0.0 ± 0.0	(0.0%)	0.0 ± 0.0	(0.0%)	-
0.501 – 1	2.3 ± 0.5	(2.6 ^c %)	1.1 ± 0.7	(1.2 ^b %)	0.0 ± 0.0	(0.0 ^a %)	**
0.1 - 0.5	39.0 ± 6.5	(45.7 ^b %)	21.3 ± 3.7	(23.1 ^a %)	14.8 ± 5.9	(30.6 ^a %)	**
<0.1	44.0 ± 8.3	(51.6 ^a %)	70.1 ± 13.8	(75.8 ^b %)	33.5 ± 3.3	(69.4 ^b %)	**

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 29 ขนาดของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน

ขนาด (mm)	ขนาดของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}				T-test ^{/2}
	ชายหาดอ่าวไทย		ชายหาดอันดามัน		
1.001 – 5	3.1 ± 5.3	(4.0%)	0.0 ± 0.0	(0.0%)	ns
0.501 – 1	4.3 ± 7.2	(5.6%)	1.1 ± 1.1	(1.5%)	ns
0.1 - 0.5	21.9 ± 6.9	(28.6%)	25.0 ± 12.5	(33.2%)	ns
<0.1	47.4 ± 20.1	(61.8%)	49.2 ± 18.8	(65.3%)	ns

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.2.2.3 สี

สามารถจำแนกสีของไมโครพลาสติกได้ทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ ฟ้ำ แดง ขาว เขียว เหลือง ใส และม่วง ปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 45, 9, 4, 29, 1, 6, 5 และ 1 ตามลำดับ โดยตลอดระยะเวลาการศึกษาพบสีดำมากที่สุดในทุกพื้นที่ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าสถิติพบว่าสีของไมโครพลาสติกทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นสีดำที่จะพบบริเวณชายหาดอ่าวไทยมากกว่าชายหาดอันดามัน และเมื่อนำมาพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าบริเวณชายหาดอันดามันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยไมโครพลาสติกสีฟ้าจะพบมากในช่วงฤดูฝน ในขณะที่สีขาวพบมากในช่วงฤดูหนาว ดังแสดงในตาราง 30 - 32

ตาราง 30 สีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทย

สี	สีของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
ดำ	38.7 ± 14.8	(42.1%)	47.2 ± 27.6	(51.5%)	22.3 ± 8.9	(47.9%)	ns
ฟ้า	7.0 ± 6.1	(7.6%)	5.4 ± 2.5	(5.9%)	8.4 ± 3.0	(18.1%)	ns
แดง	7.4 ± 7.0	(8.1%)	3.9 ± 2.2	(4.3%)	1.4 ± 1.3	(3.1%)	ns
ขาว	28.0 ± 8.8	(30.5%)	24.5 ± 11.1	(26.7%)	6.6 ± 5.3	(14.1%)	ns
เขียว	1.6 ± 1.5	(1.7%)	1.5 ± 0.6	(1.7%)	0.4 ± 0.5	(0.9%)	ns
เหลือง	4.6 ± 2.8	(5.0%)	5.4 ± 3.1	(5.9%)	3.1 ± 2.4	(6.7%)	ns

สี	สีของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
ใส	3.1 ± 1.7	(3.4%)	3.0± 1.8	(3.3%)	3.9 ± 1.6	(8.3%)	ns
มัว	1.4 ± 1.6	(1.6%)	0.7 ± 0.7	(0.8%)	0.4 ± 0.5	(0.9%)	ns

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 31 สีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอันดามัน

สี	สีของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ^{/1}						F-test ^{/2}
	ฤดูหนาว		ฤดูร้อน		ฤดูฝน		
ดำ	31.8 ± 9.5	(37.2%)	41.2 ± 7.2	(44.5%)	19.0 ± 2.0	(47.9%)	ns
ฟ้า	7.0 ± 2.7	(8.2 ^a %)	4.7 ± 1.6	(5.0 ^a %)	9.0 ± 2.6	(18.1 ^b %)	**
แดง	1.3 ± 1.0	(1.5%)	2.8 ± 1.7	(3.0%)	2.8 ± 2.4	(3.1%)	ns
ขาว	36.8 ± 3.6	(43.1 ^c %)	28.7 ± 6.0	(31.0 ^b %)	8.8 ± 3.4	(14.1 ^a %)	**
เขียว	0.8 ± 1.0	(0.9%)	1.0 ± 0.6	(1.1%)	0.3 ± 0.5	(0.9%)	ns
เหลือง	3.3 ± 3.6	(3.8%)	8.5 ± 4.1	(9.2%)	4.0 ± 2.7	(6.7%)	ns
ใส	2.3 ± 1.5	(2.6 ^a %)	5.6 ± 2.2	(6.0 ^{ab} %)	4.3 ± 2.1	(8.3 ^b %)	**
มัว	2.3 ± 1.5	(2.6%)	0.3 ± 0.3	(0.3%)	0.3 ± 0.5	(0.9%)	ns

หมายเหตุ: ^{/1} Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 32 สีของไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน

สี	สีของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ¹				T-test ²
	ชายหาดอ่าวไทย		ชายหาดอันดามัน		
ดำ	36.1 ± 12.7	(47.0%)	31.7 ± 9.4	(42.4%)	**
ฟ้า	6.9 ± 1.5	(9.0%)	6.7 ± 1.9	(9.0%)	ns
แดง	4.3 ± 3.0	(5.5%)	1.8 ± 0.8	(2.4%)	ns
ขาว	19.7 ± 11.5	(25.7%)	24.0 ± 15.6	(32.1%)	ns
เขียว	1.2 ± 0.6	(1.5%)	0.7 ± 0.3	(1.0%)	ns
เหลือง	4.4 ± 1.2	(5.7%)	5.0 ± 3.1	(6.6%)	ns

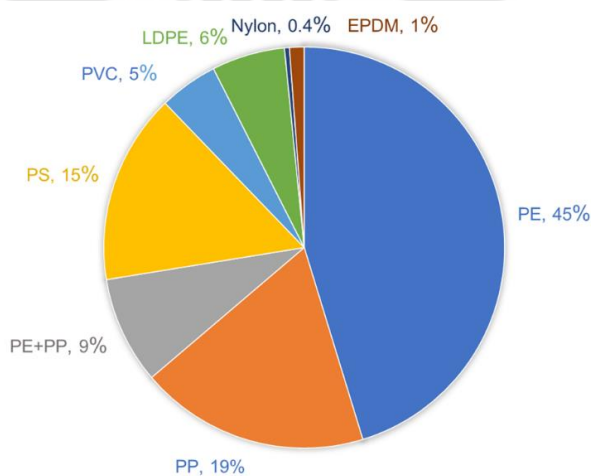
สี	สีของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.) ¹				T-test ²
	ชายหาดอ่าวไทย		ชายหาดอันดามัน		
ใส	3.3 ± 0.4	(4.4%)	3.9 ± 1.7	(5.2%)	ns
มัว	0.9 ± 0.5	(1.1%)	0.5 ± 1.1	(1.3%)	ns

หมายเหตุ: ¹ Particles/0.1 kg D.W. (อนุภาคต่อ 0.1 กิโลกรัมทรายแห้ง), ² ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant

4.2.3 องค์ประกอบของไมโครพลาสติก

องค์ประกอบของไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงสแตนเลสขนาด 5 และ 1 มิลลิเมตร ตลอดระยะเวลาการศึกษา 1 ปี พบไมโครพลาสติกที่มีขนาด 1 - 5 มิลลิเมตร จำนวน 254 ชิ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค ATR-FTIR ผลการศึกษาพบไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 ชนิด ได้แก่ Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), PE + PP, Polystyrene (PS), Polyvinyl Chloride (PVC), Low-density polyethylene (LDPE), Nylon และ Ethylene Propylene Diene monomer (EPDM) ดังแสดงในภาพประกอบ 6

โดยชายหาดอ่าวไทยพบไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 ชนิด PE เป็นชนิดที่พบมากที่สุด จำนวน 102 ชิ้น รองลงมาคือ PP จำนวน 42 ชิ้น และ PS จำนวน 37 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 45, 18, และ 16 ตามลำดับ ในส่วนของชายหาดอันดามันพบไมโครพลาสติกทั้งหมด 6 ชนิด ชนิดที่พบมากที่สุดได้แก่ PE จำนวน 13 ชิ้น รองลงมาคือ PP จำนวน 5 ชิ้น และ LDPE จำนวน 3 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 50, 19, และ 12 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 33



ภาพประกอบ 6 ร้อยละองค์ประกอบของไมโครพลาสติกที่พบภายในระยะเวลา 1 ปี

ตาราง 33 องค์ประกอบของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน

องค์ประกอบของไมโครพลาสติก	ค่าเฉลี่ยจำนวนไมโครพลาสติกที่พบ (ชิ้น)	
	ชายหาดอ่าวไทย	ชายหาดอันดามัน
Polyethylene (PE)	34.00 ± 51.16	4.33 ± 3.06
Polypropylene (PP)	14.00 ± 15.87	1.67 ± 1.53
PE + PP	7.00 ± 11.27	0.33 ± 0.58
Polystyrene (PS)	12.33 ± 4.93	0.67 ± 0.58
Polyvinyl Chloride (PVC)	3.33 ± 3.21	0.67 ± 1.15
Low-density polyethylene (LDPE)	4.00 ± 3.00	1.00 ± 1.73
Nylon	0.33 ± 0.58	-
Ethylene Propylene Diene monomer (EPDM)	1.00 ± 1.73	-

4.3 พลาสติกไฮเซอรันไมโครพลาสติก

การศึกษาปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรันไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Dibutyl phthalate (DBP), Bisphenol A (BPA), Benzyl butyl phthalate (BBP) และ Di-n-octyl phthalate (DNOP) ด้วยเครื่อง GC-FID พบปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรันเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการศึกษาอยู่ในช่วง 6.23 ± 4.93 , 9.96 ± 5.99 , 0.02 ± 0.11 และ 0.47 ± 1.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณสารพลาสติกไฮเซอรันที่พบเมื่อนำมาพิจารณาตามพื้นที่และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้นสาร DBP โดยสารพลาสติกไฮเซอรันแต่ละชนิดจะพบบริเวณชายหาดอันดามันมากกว่าอ่าวไทย และพบมากในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนตุลาคม 2566 ในทุกพื้นที่ ยกเว้นสาร DNOP ที่พบบริเวณชายหาดอ่าวไทยมากกว่าอันดามัน โดยจะพบในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566) มากกว่าช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม 2566) ดังแสดงในตาราง 34 – 36

ตาราง 34 ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์บนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย

พลาสติกไซเซอร์	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			F-test ^{/1}
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
DBP	1.36 ^a ± 2.09	5.47 ^b ± 2.52	7.14 ^b ± 4.44	**
BPA	6.66 ± 4.71	9.36 ± 7.29	9.37 ± 4.87	ns
BBP	0.03 ± 0.08	ND	ND	ns
DNOP	1.61 ± 4.25	0.17 ± 0.46	0.14 ± 0.38	ns

หมายเหตุ: ^{/1} ND = Not Detected, ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$),

ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 35 ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์บนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน

พลาสติกไซเซอร์	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			F-test ^{/1}
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
DBP	4.21 ^a ± 1.11	6.88 ^a ± 0.66	15.81 ^b ± 3.18	**
BPA	9.14 ± 2.34	13.95 ± 8.58	14.57 ± 5.32	ns
BBP	0.15 ± 0.29	ND	ND	ns
DNOP	0.50 ± 0.17	ND	ND	ns

หมายเหตุ: ^{/1} ND = Not Detected, ^{/2} ** = significantly different ($p < 0.05$),

ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 36 ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์บนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดทั้ง 2 แห่ง

พลาสติกไซเซอร์	ค่าเฉลี่ยปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		T-test ^{/1}
	ชายหาดอ่าวไทย	ชายหาดอันดามัน	
DBP	4.66 ± 3.91	8.97 ± 5.48	**
BPA	8.47 ± 5.60	12.55 ± 5.97	ns
BBP	0.01 ± 0.05	0.05 ± 0.17	ns
DNOP	0.64 ± 2.45	0.17 ± 0.48	ns

หมายเหตุ: ^{/1} ** = significantly different ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4 โลหะหนักบนไมโครพลาสติก

การศึกษาปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ตลอดระยะเวลาการศึกษา 1 ปี พบโลหะหนักจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) ซีลีเนียม (Se) โมลิบดีนัม (Mo) ตะกั่ว (Pb) โคบอลต์ (Co) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และปรอท (Hg) ในปริมาณเฉลี่ย 1.21 ± 1.88 , 0.84 ± 2.32 , 3.41 ± 5.64 , 1.52 ± 2.76 , 3.79 ± 6.46 , 1.10 ± 1.17 , 48.42 ± 111.04 , 44.33 ± 68.09 , 1.63 ± 3.53 , 87.81 ± 160.16 และ 0.04 ± 0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่พบทั้ง 2 แหล่ง มีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลตามประกาศกรมควบคุมมลพิษปี 2558 และเมื่อพิจารณาตามพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างพบว่า โมลิบดีนัม (Mo) และแมงกานีส (Mn) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 แหล่ง พบว่า สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และแมงกานีส (Mn) มีนัยสำคัญทางสถิติตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง ($p < 0.05$) โดยจะพบมากในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง ดังแสดงในตาราง 37 – 39

ตาราง 37 ปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย

โลหะหนัก	เกณฑ์ ¹	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			F-test ¹
		ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
As	≤ 7.0	$0.24^a \pm 0.31$	$0.78^a \pm 1.83$	$3.01^b \pm 2.82$	**
Se	-	1.51 ± 2.37	ND	0.55 ± 3.80	ns
Mo	-	2.30 ± 4.48	0.53 ± 0.81	2.75 ± 3.80	ns
Pb	≤ 52.0	ND	ND	4.06 ± 2.24	-
Co	-	ND	ND	12.77 ± 5.52	-
Cd	≤ 2.0	$0.18^a \pm 0.29$	$0.51^a \pm 0.38$	$2.15^b \pm 0.23$	**
Ni	-	13.51 ± 32.92	4.02 ± 9.49	83.23 ± 110.69	ns
Cr	≤ 42.0	31.14 ± 56.39	6.52 ± 14.08	63.65 ± 71.61	ns
Cu	≤ 25.0	1.75 ± 2.99	ND	1.26 ± 1.28	ns
Mn	-	$64.21^a \pm 71.21$	$25.73^a \pm 32.16$	$303.00^b \pm 244.03$	**
Hg	≤ 0.4	ND	ND	0.18 ± 0.49	-

หมายเหตุ: ¹ เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ

^{/2} ND = Not Detected, ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 38 ปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน

โลหะหนัก	เกณฑ์ ^{/1}	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			F-test ^{/1}
		ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
As	≤ 7.0	$0.30^a \pm 0.54$	$0.49^a \pm 0.74$	$2.18^b \pm 0.90$	**
Se	-	ND	ND	3.31 ± 5.66	ns
Mo	-	9.12 ± 10.54	0.92 ± 1.76	8.36 ± 6.86	ns
Pb	≤ 52.0	ND	ND	5.44 ± 4.35	-
Co	-	ND	ND	8.88 ± 7.46	-
Cd	≤ 2.0	$0.37^a \pm 0.55$	$0.87^a \pm 0.81$	$2.85^b \pm 1.67$	**
Ni	-	14.02 ± 16.86	7.13 ± 14.26	202.02 ± 242.08	ns
Cr	≤ 42.0	63.03 ± 74.45	16.74 ± 29.04	108.66 ± 120.17	ns
Cu	≤ 25.0	0.41 ± 0.52	1.81 ± 2.85	5.98 ± 8.36	ns
Mn	-	$5.50^a \pm 10.88$	ND	$31.25^b \pm 15.87$	**
Hg	≤ 0.4	ND	ND	ND	-

หมายเหตุ: ^{/1} เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ

^{/2} ND = Not Detected, ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 39 ปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน

โลหะหนัก	เกณฑ์ ^{/1}	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		T-test ^{/2}
		ชายหาดอ่าวไทย	ชายหาดอันดามัน	
As	≤ 7.0	1.34 ± 2.22	0.99 ± 1.11	ns
Se	-	0.69 ± 1.52	1.10 ± 3.38	ns
Mo	-	1.86 ± 3.39	6.13 ± 7.68	**
Pb	≤ 52.0	1.35 ± 2.31	1.81 ± 3.51	ns
Co	-	4.26 ± 6.87	2.96 ± 5.85	ns

โลหะหนัก	เกณฑ์ ¹	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		T-test ²
		ชายหาดอ่าวไทย	ชายหาดอันดามัน	
Cd	≤ 2.0	0.95 ± 0.93	1.36 ± 1.51	ns
Ni	-	33.59 ± 73.06	74.39 ± 158.14	ns
Cr	≤ 42.0	33.77 ± 55.92	62.81 ± 84.95	ns
Cu	≤ 25.0	1.00 ± 1.94	2.73 ± 5.24	ns
Mn	-	130.98 ± 188.39	12.25 ± 17.42	**
Hg	≤ 0.4	0.06 ± 0.28	ND	-

หมายเหตุ: ¹ เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ

² ND = Not Detected, ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$), ns = not significant, ตัวอักษรที่เหมือนกันในแถวเดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.5 การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ

การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติก รวมถึงสารปนเปื้อนพลาสติกไฮโดรคาร์บอนและโลหะหนักบนไมโครพลาสติก โดยประยุกต์ใช้วิธีการของ Hakanson (1980) ร่วมกับ Lithner et al. (2011) มีผลการประเมินดังนี้

4.5.1 ไมโครพลาสติก

การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามัน ซึ่งบางพื้นที่ไม่พบชิ้นไมโครพลาสติกที่มีขนาดมากกว่า 1 - 5 มิลลิเมตร จึงทำให้ไม่สามารถประเมินความเสี่ยงได้ โดย Lithner et al. (2011) ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษของพอลิเมอร์ที่ตรงกับชนิดที่พบจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ PE, PP, PS, PVC และ LDPE ในส่วนของ PE+PP ไม่พบค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษจึงใช้ค่าของ PE มาคำนวณแทนเนื่องจากเป็นค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษที่สูงที่สุด ผลการประเมินตลอดระยะเวลาการศึกษา 1 ปี พบว่าบริเวณอ่าวไทยมีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับรุนแรง และอันดามันมีความเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งทั้ง 2 แหล่ง จะพบค่าความเสี่ยงในช่วงฤดูฝนมากกว่าช่วงฤดูแล้ง ดังแสดงในตาราง 40 - 41

ตาราง 40 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทย

ชนิดของพอลิเมอร์	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
PE	11	39	512	187
PP	1	4	16	7
PE + PP	11	0	220	77
PS	33	30	60	41
PVC	73,857	21,102	10,551	35,170
LDPE	11	77	44	44
Nylon	0	0	50	17
RI	73,924	21,252	11,453	35,543

หมายเหตุ: RI < 150 = ต่ำ, >150 - 300 = ปานกลาง, >300 - 600 = สูง, >600 - 1,200 = สูงมาก, > 1,200 = รุนแรง

ตาราง 41 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอันดามัน

ชนิดของพอลิเมอร์	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
PE	77	11	55	48
PP	1	0	2	1
PE + PP	0	0	11	4
PS	0	30	30	20
PVC	10,551	0	0	3,517
LDPE	0	0	11	4
Nylon	0	0	0	0
RI	10,629	41	109	3,593

หมายเหตุ: RI < 150 = ต่ำ, >150 - 300 = ปานกลาง, >300 - 600 = สูง, >600 - 1,200 = สูงมาก, > 1,200 = รุนแรง

4.5.2 พลาสติกไซเซอร

การประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากพลาสติกไซเซอรบนไมโครพลาสติก โดย Lithner et al. (2011) ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษของพลาสติกไซเซอรที่ตรงกับชนิดที่พบจำนวน 2 ชนิด ได้แก่ BPA และ BBP ในส่วนของ DBP และ DNOP ไม่พบค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษจึงไม่สามารถประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยผลการประเมินภายในระยะเวลา 1 ปี พบว่าชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันมีระดับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากพลาสติกไซเซอรบนไมโครพลาสติกอยู่ในระดับรุนแรง โดยในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนมกราคม 2566 จะพบระดับความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของทั้ง 2 แหล่ง สูงกว่าช่วงอื่น สาเหตุมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวพบสาร BBP ที่มีค่าคะแนนความเป็นพิษสูง ดังแสดงในตาราง 42 - 43

ตาราง 42 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของพลาสติกไซเซอรบริเวณชายหาดอ่าวไทย

พลาสติกไซเซอร	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
BPA	1,210	1,705	1,702	1,539
BBP	11,100	0	0	3,700
RI	12,310	1,705	1,702	5,239

หมายเหตุ: RI < 150 = ต่ำ, >150 - 300 = ปานกลาง, >300 - 600 = สูง, >600 - 1,200 = สูงมาก, > 1,200 = รุนแรง

ตาราง 43 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของพลาสติกไซเซอรบริเวณชายหาดอันดามัน

พลาสติกไซเซอร	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
BPA	1,210	1,846	1,928	1,661
BBP	11,100	0	0	3,700
RI	12,310	1,846	1,928	5,361

หมายเหตุ: RI < 150 = ต่ำ, >150 - 300 = ปานกลาง, >300 - 600 = สูง, >600 - 1,200 = สูงมาก, > 1,200 = รุนแรง

4.5.3 โลหะหนัก

การประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากโลหะหนักบนไมโครพลาสติก โดย Lithner et al. (2011) ได้ระบุค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษของโลหะหนักที่ตรงกับชนิดที่พบจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ สารหนู(As) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) และ ทองแดง (Cu) ในส่วนของ ซีลีเนียม (Se) โมลิบดีนัม (Mo) โคบอลต์ (Co) แมงกานีส (Mn) และปรอท (Hg) ไม่พบค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นพิษจึงทำให้ไม่สามารถนำมาประเมินความเสี่ยงได้ ผลการประเมินภายในระยะเวลา 1 ปี พบว่าค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากโลหะหนักบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและอันดามันอยู่ในระดับปานกลาง โดยทั้ง 2 แหล่ง จะมีระดับความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง ซึ่งสารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และนิกเกิล (Ni) ถือเป็นชนิดหลักที่ทำให้ค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง ดังแสดงในตาราง 44 – 45

ตาราง 44 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของโลหะหนักบริเวณชายหาดอ่าวไทย

โลหะหนัก	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
As	10	33	127	57
Pb	0	0	5	2
Cd	30	83	349	154
Ni	17	5	103	42
Cr	10	2	20	10
Cu	7	0	5	4
RI	73	123	609	268

หมายเหตุ: RI < 150 = ต่ำ, >150 - 300 = ปานกลาง, >300 - 600 = สูง, >600 - 1,200 = สูงมาก, > 1,200 = รุนแรง

ตาราง 45 ความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของโลหะหนักบริเวณชายหาดอันดามัน

โลหะหนัก	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
As	10	16	72	33
Pb	0	0	5	2
Cd	30	71	233	111

โลหะหนัก	ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น (E_r^i)			ค่าเฉลี่ย
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	
Ni	10	5	142	52
Cr	8	2	13	8
Cu	5	22	73	33
RI	62	116	538	239

หมายเหตุ: RI < 150 = ต่ำ, >150 - 300 = ปานกลาง, >300 - 600 = สูง, >600 - 1,200 = สูงมาก, > 1,200 = รุนแรง



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการปนเปื้อนของพลาสติกไฮดรอกซีและโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย บริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ประเทศไทย ทั้ง 11 จังหวัด ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึง ตุลาคม 2566 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การศึกษาสภาวะแวดล้อมเบื้องต้นพบค่าอุณหภูมิอากาศอยู่ในช่วง 23.10 - 38.80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 28.00 - 35.80 องศาเซลเซียส ความเค็มอยู่ในช่วง 11.00 - 33.50 ppt และความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วง 6.94 - 8.28

2. การศึกษาปริมาณ ลักษณะ และองค์ประกอบของไมโครพลาสติก ผลการศึกษาพบปริมาณไมโครพลาสติกอยู่ในช่วง 160 - 1,730 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง และจัดจำแนกลักษณะได้ทั้งหมด 5 ประเภท โดยเส้นใยเป็นลักษณะที่พบมากที่สุด ขนาดของไมโครพลาสติกพบทั้งหมด 4 ขนาด ซึ่งจะพบขนาดไม่เกิน 1 มิลลิเมตรมากที่สุด ในการศึกษาครั้งนี้พบสีทั้งหมด 8 สี โดยพบเป็นสีดำประมาณร้อยละ 45 ของปริมาณทั้งหมด และผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย ATR-FTIR พบไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 ชนิด โดยพบ PE มากที่สุด

3. การศึกษาปริมาณสารพลาสติกไฮดรอกซีทั้ง 4 ชนิด บนไมโครพลาสติกด้วย GC-FID ซึ่งผลการศึกษาพบปริมาณ Dibutyl phthalate (DBP) อยู่ในช่วง 0 - 19.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Bisphenol A (BPA) อยู่ในช่วง 0 - 20.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Benzyl butyl phthalate (BBP) อยู่ในช่วง 0 - 0.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ Di-n-octyl phthalate (DNOP) อยู่ในช่วง 0 - 11.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพบว่า BPA เป็นชนิดที่พบมากที่สุดในทุกพื้นที่

4. การศึกษาปริมาณโลหะหนักบนไมโครพลาสติกจำนวน 11 ชนิด ด้วย ICP-OES ผลการศึกษาพบปริมาณสารหนู (As) อยู่ในช่วง 0 - 8.37 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซีลีเนียม (Se) อยู่ในช่วง 0 - 11.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โมลิบดีนัม (Mo) อยู่ในช่วง 0 - 22.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่ว (Pb) อยู่ในช่วง 0 - 11.58 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โคบอลต์ (Co) อยู่ในช่วง 0 - 24.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคดเมียม (Cd) อยู่ในช่วง 0 - 5.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นิกเกิล (Ni) อยู่ในช่วง 0 - 559.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โครเมียม (Cr) อยู่ในช่วง 0 - 283.74 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทองแดง (Cu) อยู่ในช่วง 0 - 18.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีส (Mn) อยู่ในช่วง 0 - 630.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปรอท (Hg) อยู่ในช่วง 0 - 1.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดย แมงกานีส (Mn) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด

5. การประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นจากไมโครพลาสติก และสารปนเปื้อนพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักบนไมโครพลาสติก โดยประยุกต์ใช้วิธีการของ Hakanson (1980) ร่วมกับ Lithner et al. (2011) ผลการศึกษาพบค่าความเสี่ยงจากไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันอยู่ในระดับรุนแรง ซึ่งความเป็นพิษที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลักมาจากพลาสติกประเภท PVC ในส่วนของสารพลาสติกไฮเซอรและโลหะหนักมีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยช่วงฤดูฝนเป็นช่วงที่มีค่าระดับความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นสูงกว่าช่วงฤดูแล้งในทุกชุดข้อมูล ยกเว้นสารพลาสติกไฮเซอรพบว่าในช่วงฤดูแล้งมีระดับความเสี่ยงสูงกว่าช่วงฤดูฝน ที่เป็นเช่นนี้เพราะในช่วงฤดูแล้งจะสาร BBP ที่มีค่าคะแนนความเสี่ยงที่สูง จึงทำให้ในช่วงฤดูแล้งมีระดับความเสี่ยงสูงกว่าช่วงฤดูฝน

5.2 อภิปรายผล

1. จากการตรวจติดตามสมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2565 ถึง กรกฎาคม 2566 พบว่า สมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลทั้ง 2 แหล่ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศและน้ำ ความเค็ม รวมถึงค่าความเป็นกรด-เบส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อนำมาพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง พบว่าค่าสมบัติเบื้องต้นบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันได้แก่ อุณหภูมิอากาศและความเป็นกรด-เบส มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากอิทธิพลทางธรรมชาติ เช่น แสงแดด กระแสน้ำ กระแสลม และปริมาณน้ำฝน (ฉลวย และคณะ, 2557) ที่ส่งผลให้ค่าสมบัติเบื้องต้นบางประการของน้ำทะเลมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลประเภทที่ 1 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ) ประเภทที่ 4 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อนันทนาการ) และประเภทที่ 5 (คุณภาพน้ำทะเลเพื่อการอุตสาหกรรมและท่าเรือ) ตามประกาศของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2564 พบว่าค่าสมบัติเบื้องต้นของน้ำทะเลทั้ง 2 แหล่งมีค่าผ่านตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

2. จากการสำรวจปริมาณและลักษณะของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันรวม 11 จังหวัด ภายในระยะเวลา 1 ปี พบปริมาณไมโครพลาสติกอยู่ในช่วง 160 - 1,730 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ซึ่งมีปริมาณสอดคล้องกันกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (ตารางที่ 46) และเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติในเชิงพื้นที่พบว่าปริมาณไมโครพลาสติกทั้ง 2 แหล่ง ตลอดระยะเวลาการศึกษาไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยพบมากที่สุดบริเวณชายหาดบางแสน

จังหวัดชลบุรี ชายหาดแหลมสน จังหวัดระยอง และ ชายหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี ในปริมาณใกล้เคียงกันที่ $1,217 \pm 64$ อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ซึ่งแหล่งเก็บตัวอย่างทั้ง 3 จังหวัดนี้เป็นพื้นที่ที่อาจได้รับอิทธิพลจากปากแม่น้ำสายหลักของประเทศไทย ได้แก่ ปากแม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำบางปะกง และแม่น้ำประแสร์ อีกทั้งยังเป็นแหล่งท่องเที่ยวและแหล่งอุตสาหกรรมหลักของประเทศ จึงอาจเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้บริเวณดังกล่าวพบปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าบริเวณอื่น (Jualaong et al., 2021; Jungtrak et al., 2018; Pradit et al., 2020) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่ามีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยในฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนมีนาคม 2566) จะพบปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2566) อาจเนื่องมาจากในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้ำท่าที่ลดลงทำให้ไมโครพลาสติกที่สะสมอยู่ในตะกอนบริเวณปากแม่น้ำเกิดการฟุ้งกระจายและถูกพัดพามาสะสมบริเวณชายหาดจากการขนส่งทางน้ำ อีกทั้งในช่วงฤดูฝนยังมีกระแสน้ำที่มีความแปรปรวนสูงทำให้ไมโครพลาสติกกล่อลอยและเกิดการเจือจางลง (Wang et al., 2021; Xia et al., 2021) และพบว่าในช่วงฤดูหนาวจะมีการสะสมของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ชายหาดแหลมสน จังหวัดระยอง และ ชายหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี มากกว่าแหล่งอื่น อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีทิศทางกระแสน้ำบริเวณอ่าวไทยแบบวนเข็มนาฬิกาจากอ่าวไทยฝั่งตะวันออกไปทางฝั่งตะวันตก กลับกันในฤดูร้อน (เดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2566) จะมีทิศทางกระแสน้ำแบบวนเข็มนาฬิกา จากอ่าวไทยฝั่งตะวันตกไปทางฝั่งตะวันออก และไหลเลียบขึ้นไปทางฝั่งตะวันตกของอ่าว ทำให้ในช่วงเวลานั้นพบปริมาณไมโครพลาสติกมากบริเวณชายหาดบ้านฉาง จังหวัดตราด และ ชายหาดทุ่งวัวแล่น จังหวัดชุมพร มากกว่าบริเวณอื่นในปริมาณ $1,410 \pm 104$ อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง และช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม 2566) เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมกระแสน้ำจะเริ่มเปลี่ยนทิศโดยไหลเข้าทางด้านตะวันออกและไหลออกทางด้านใต้ของอ่าว ทำให้พบปริมาณไมโครพลาสติกมากบริเวณชายหาดสามร้อยยอด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในปริมาณ 713 ± 208 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง (ปริญ, 2558) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Jualaong et al. (2021) และ ทวีศักดิ์ และคณะ (2562) ที่พบปริมาณไมโครพลาสติกในช่วงฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน ในปริมาณ 0 - 33 และ 148 - 1,099 ชิ้นต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ตามลำดับ

ตาราง 46 การศึกษาปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในทราย

สถานที่ศึกษา	ช่วงเวลาที่ ทำการศึกษา	ปริมาณไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.)	อ้างอิง
ชายหาดอ่าวไทย 5 พื้นที่ หาดมหาราช, หาดแหลมสนอ่อน หาดตะโละกะโปร์, หาดปานาเระ และหาดค่ายจุฬาภรณ์	มี.ค. - ก.ค. 2561	62 - 1,144	ทวีศักดิ์ และคณะ (2562)
เกาะลันตา จ. ตรัง	พ.ค. - ก.ค. 2562	44 - 108	Pradit et al. (2020)
ชายหาดอ่าวไทย 4 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี, ระยอง, จันทบุรี และ ตราด	มี.ค. - ก.ค. 2561	0 - 33	Jualaong et al. (2021)
ชายหาดจังหวัดระยอง 6 พื้นที่ ได้แก่ หาดพลา, หาดสุขาตา, ปากแม่น้ำ ระยอง, หาดแม่รำพึง, เขาแหลมหญ้า และ หาดบ้านเพ	ส.ค. - ก.ย. 2562	74 - 604	Panida & Parnuch (2022)
- ชายหาดอ่าวไทย 7 จังหวัด ได้แก่ ตราด, จันทบุรี, ระยอง, ชลบุรี, เพชรบุรี, ประจวบคีรีขันธ์ และชุมพร - ชายหาดอันดามัน 4 จังหวัด ได้แก่ ระนอง, พังงา, กระบี่ และภูเก็ต	พ.ย. 2565 - ก.ค. 2566	160 - 1,730	การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

ในส่วนของการจำแนกลักษณะของไมโครพลาสติกทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่ เส้นใย (Fiber) ชิ้น (Fragment) เม็ด (Pellet) ฟิล์ม (Film) และโฟม (Foam) โดยประเภทที่พบมากที่สุดในทุกพื้นที่ ได้แก่ เส้นใย เนื่องจากไมโครพลาสติกประเภทเส้นใยส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมด้านการประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์สิ่งทอสังเคราะห์ ซึ่งเส้นใยเหล่านี้มีขนาดเล็กพอที่จะหลุดรอดระหว่างกระบวนการซัก หรือปนเปื้อนมากับน้ำที่อยู่ในแม่น้ำและลำธารปนเปื้อนลงสู่ทะเล และพบขนาดที่น้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร มากที่สุด ถึงร้อยละ 61 โดยจะพบมากที่สุดในช่วงฤดูร้อนซึ่งคาดว่าอาจเกิดจากปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและรังสีอัลตราไวโอเลตที่ส่งผลต่ออัตราการแตกเป็นส่วนทางชีวภาพของพลาสติก รวมถึงการหลุดรอดจากกระบวนการจัดการขยะหรือระบบบำบัดน้ำเสีย ที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม (Alava et al., 2021; Aoki & Furue, 2021; Pabortsava & Lampitt, 2020) และในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ พบไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 สี โดยสีดำเป็นสีที่พบมากที่สุดประมาณร้อยละ 45 ของปริมาณ

ทั้งหมด เนื่องจากพลาสติกสีดำเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร สินค้าในครัวเรือน และส่วนประกอบของยานยนต์ อีกทั้งสีดำยังมีความสามารถในการสะท้อนแสงที่ต่ำจึงทำให้หลุดรอดจากการบวกรวมการจัดการขยะได้ง่ายกว่าพลาสติกสีอื่น ๆ (Huang & Xu, 2022) สอดคล้องกับการศึกษาของคริสมาส และจรียาวดี (2564) ที่พบไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณอ่าวสัตหีบ ปริมาณ 14 - 103 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง และพบเส้นใยร้อยละ 67 เป็นสีดำน้อยละ 58 ของปริมาณที่พบทั้งหมด ทั้งนี้เมื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างพบว่าบริเวณชายหาดอันดามันมีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยไมโครพลาสติกสีฟ้าจะพบมากในช่วงฤดูฝน ในขณะที่สีขาวพบมากในช่วงฤดูหนาว เนื่องจากในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม 2566) เป็นช่วงเปิดอ่าวอันดามันในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต พังงา กระบี่ และตรัง หลังจากการปิดอ่าวเพื่อควบคุมการทำประมง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำประมงมักผลิตมาจากพลาสติกเป็นหลัก (อาทิ อวน แห กับดัก และทุ่นลอยน้ำ) ด้วยเหตุนี้การทำประมงอาจเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้พบไมโครพลาสติกสีฟ้ามากในช่วงเวลาดังกล่าว และน้ำทิ้งครัวเรือน จากกระบวนการซักล้าง (เช่น โรงแรม และรีสอร์ต) ซึ่งอาจเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้พบไมโครพลาสติกสีขาวมากในช่วงฤดูหนาว โดยชนิดหลักของไมโครพลาสติกที่พบทั้ง 2 แหล่ง ได้แก่ Polyethylene (PE) ซึ่งจะพบในปริมาณร้อยละ 45 ของไมโครพลาสติกที่พบทั้งหมด เนื่องจาก PE ได้รับความนิยมสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต Single use plastics เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร (de Sá et al., 2018) อีกทั้ง PE ยังใช้ระยะเวลาในการแตกสลายทางชีวภาพที่ต่ำกว่าพลาสติกชนิดอื่น คืออยู่ในช่วง 20 – 500 ปี ในขณะที่พลาสติกชนิดอื่นมีระยะเวลาอยู่ในช่วง 100 – 1,000 ปี (Ethique, 2023) ซึ่งอาจเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ทำให้พบไมโครพลาสติกชนิด PE ตกค้างในสิ่งแวดล้อมมาก โดยไมโครพลาสติกอีก 7 ชนิด จะพบในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 0.4 – 8.7 สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Panida & Parnuch (2022) ที่พบไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดจังหวัดระยองในปริมาณ 74 - 604 อนุภาคต่อกิโลกรัมทรายแห้ง ซึ่งน้อยกว่าการศึกษาในครั้งนี้ แต่ลักษณะและขนาดที่พบมีผลใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังพบ PE มากที่สุดร้อยละ 75 ของชนิดที่พบทั้งหมด

3. การศึกษาปริมาณสารพลาสติกไฮดรอกซีทั้ง 4 ชนิด บนไมโครพลาสติกตลอดระยะเวลาการศึกษา 1 ปี พบปริมาณอยู่ในช่วง 0 - 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดย Bisphenol A (BPA) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด ประมาณร้อยละ 60 ของปริมาณที่พบทั้งหมด ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะ BPA เป็นสารพลาสติกไฮดรอกซีที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดน้ำ ภาชนะบรรจุอาหาร แก้วน้ำ รวมถึงใช้เป็นสารเคลือบในกระป๋องอะลูมิเนียม จึงอาจเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้พบการ

ปนเปื้อนของ BPA สูงบนไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดทั้ง 2 แห่ง (Campanale et al., 2020; Huffstetler, 2023) และเมื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ทั้ง 4 ชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเชิงพื้นที่และช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง ($p > 0.05$) ยกเว้น Dibutyl phthalate (DBP) ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงฤดูฝน ($p < 0.05$) อีกทั้งยังพบว่า DBP และ BPA จะมีปริมาณสูงในช่วงฤดูฝน เนื่องจากเป็นสารที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดย DBP เป็นสารที่ได้รับความนิยมใช้เป็นสารประกอบในผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย เช่น น้ายาทาเล็บ เป็นตัวทำละลายในสี และเป็นส่วนผสมในน้ำหอม (Nutrition, 2022) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้อาจปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำจากน้ำทิ้งครัวเรือน โรงบำบัดน้ำเสีย หรือการไหลบ่าของน้ำ ทำให้เกิดการสะสมในตะกอนและไหลลงสู่ทะเลในช่วงฤดูฝน สอดคล้องกับรายงานของ Lin et al. (2022) ที่พบการปนเปื้อนของพลาสติกไซเซอร์ในตะกอน บริเวณต้นน้ำถึงกลางของแม่น้ำเพิงซาน ประเทศไต้หวัน มีปริมาณสูงในช่วงฤดูแล้งและลดลงในช่วงฤดูฝน กลับกันบริเวณปากแม่น้ำจะพบในช่วงฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้ง โดยปริมาณที่พบมีค่าอยู่ในช่วง 4.90 - 40.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการรายงานของ Chen et al. (2022) ที่พบปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ในตะกอน บริเวณแม่น้ำเกลือ ประเทศไต้หวัน ช่วงฤดูฝนในปริมาณ 2.82 - 12.04 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในช่วงฤดูแล้งปริมาณ 0.53 - 6.65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4. การศึกษาปริมาณโลหะหนักทั้ง 11 ชนิด บนไมโครพลาสติกในระยะเวลา 1 ปี ผลการศึกษาพบปริมาณโลหะหนักมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 630 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อนำค่าที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตะกอนชายฝั่งทะเลตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ ปี 2558 พบว่าปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) และปรอท (Hg) มีค่าผ่านตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด โดยแมงกานีส (Mn) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด ประมาณร้อยละ 45 ของปริมาณที่พบทั้งหมด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากแมงกานีส (Mn) เป็นธาตุที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และมีการนำมาใช้เพื่อเป็นส่วนผสมเพิ่มความแข็งแรง ของเหล็กในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการหลุดรอดของแมงกานีส (Mn) จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงาน อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น (Chejadmin, 2023) อย่างไรก็ตาม เฉพาะบริเวณชายหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี ที่เดียวที่พบปรอท (Hg) ช่วงฤดูฝนในปริมาณ 1.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากบริเวณนั้นได้รับอิทธิพลจากปากแม่น้ำเพชรบุรีที่มีการทำกิจกรรมที่อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนลงทะเล อาทิ การทำเหมืองแร่ การทำเกษตรกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำประมง และแหล่งชุมชน (จิตติสุตา และคณะ, 2567) สอดคล้องกับการศึกษาของ

Gao et al. (2019) แสดงให้เห็นว่าพลาสติกที่ล่องลอยอยู่ในทะเลสามารถดูดซับแมงกานีส (Mn) ได้ดีกว่าโลหะหนักอีก 5 ชนิด ได้แก่ โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และ ตะกั่ว (Pb) และพบว่าพลาสติกประเภท PP มีความสามารถในการดูดซับมลพิษในน้ำทะเลได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่นประมาณ 10 เท่า และเมื่อนำผลที่ได้มาพิจารณาตามพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างพบว่าปริมาณโลหะหนักที่พบบนไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดทั้ง 2 แห่ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ยกเว้น โมลิบดีนัม (Mo) ที่จะพบมากในบริเวณชายหาดอันดามัน และแมงกานีส (Mn) ที่พบมากบริเวณชายหาดอ่าวไทย แต่เมื่อพิจารณาตามช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง พบว่า สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และแมงกานีส (Mn) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยจะพบมากในช่วงฤดูฝน เนื่องจากในช่วงฤดูฝนอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากกระบวนการฟุ่กร่อนตามธรรมชาติ คริวเรือน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม เหมืองแร่ และน้ำชะขยะจากการจัดการขยะที่ไม่เหมาะสมลงสู่แหล่งน้ำและไหลออกสู่ทะเล ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาของ Cheang et al. (2021) ที่พบปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี (Zn) ตะกั่ว (Pb) ทองแดง (Cu) และแคดเมียม (Cd) ในตัวอย่างน้ำบริเวณอ่างเก็บน้ำจันทนาล ประเทศกัมพูชา ในฤดูฝนอยู่ในช่วง 1.31 - 219.88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และฤดูแล้งอยู่ในช่วง 1.19 - 62.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

5. การประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นของไมโครพลาสติก พลาสติกไซเซฮอร์ และโลหะหนัก โดยคำนวณจากค่าคะแนนความเป็นอันตรายทางเคมีของสารเป้าหมาย ทั้งนี้ เมื่อสารเป้าหมายปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อมอาจมีการเปลี่ยนรูปของสารประกอบภายใน อาจทำให้มีระดับความเป็นอันตรายที่ลดลง ซึ่งการรายงานในครั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้น อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้มาซึ่งผลที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยผลการประเมินพบว่าความเสี่ยงของไมโครพลาสติก บริเวณชายหาดอ่าวไทยมีค่าสูงกว่าชายหาดอันดามัน เนื่องจากบริเวณชายหาดอ่าวไทยพบปริมาณและชนิดไมโครพลาสติกที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงสแตนเลสขนาด 5 และ 1 มิลลิเมตร มากกว่าชายหาดอันดามัน ซึ่ง PVC ถือเป็นชนิดหลักที่ส่งผลให้บริเวณชายหาดอ่าวไทยมีค่าความเสี่ยงฯ สูงกว่าบริเวณชายหาดอันดามัน อีกทั้งบริเวณชายหาดอ่าวไทยยังเป็นพื้นที่รองรับน้ำจากแม่น้ำสายสำคัญ และเป็นแหล่งอุตสาหกรรมหลักของประเทศ อีกทั้งยังมีการไหลเวียนของกระแสน้ำแบบวงวน (ปริณ, 2558) จึงทำให้บริเวณอ่าวไทยพบปริมาณไมโครพลาสติกสูงกว่าอันดามัน และส่งผลให้ค่าความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นจากไมโครพลาสติกสูงกว่าบริเวณชายหาดอันดามัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Y. Li et al. (2021) ที่พบความเสี่ยงต่อระบบนิเวศที่อาจเกิดขึ้นของ

ไมโครพลาสติกบริเวณแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอยู่ในช่วงความเสี่ยงต่ำถึงรุนแรง โดยมีค่าดัชนีความเสี่ยงอยู่ในช่วง 29 – 10,590 ในส่วนของสารพลาสติกไฮเซอริมีค่าอยู่ในระดับที่อาจเป็นภัยคุกคามที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยความเสี่ยงที่เกิดขึ้นมาจากสาร BBP เป็นหลัก เนื่องจากมีค่าคะแนนความเสี่ยงอยู่ที่ 11,100 ซึ่งต่อให้พบในปริมาณที่น้อยมากก็สามารถทำให้ค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับรุนแรงได้ และอีกหนึ่งสาเหตุอาจมาจาก BBP สามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์ประเภททากว น้ำหอม สเปรย์ฉีดผม และเป็นส่วนผสมในพลาสติกประเภท PVC ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่พบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อมทางทะเล (European Commission, 2024) เช่นเดียวกันกับค่าความเสี่ยงของโลหะหนักที่อยู่ในระดับปานกลาง โดย As, Cd และ Ni เป็นชนิดหลักที่ทำให้ชายหาดทั้ง 2 แหล่งมีค่าความเสี่ยงที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจาก As และ Cd มีคะแนนความเป็นอันตรายที่สูงกว่าชนิดอื่น เช่นเดียวกันกับ Ni ที่มีค่าความเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลางแต่พบในปริมาณมากจึงส่งผลให้ค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นของโลหะหนักอยู่ในระดับปานกลาง โดยสารทั้ง 2 ประเภท จะพบค่าความเสี่ยงสูงในช่วงฤดูฝน ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงฤดูฝนอาจเกิดการปนเปื้อนของกระแสน้ำ ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ส่งผลให้สารมลพิษดังกล่าวถูกพัดพามาสะสมอยู่บริเวณชายหาดก่อนจะถูกดูดซับโดยไมโครพลาสติกหรือปลดปล่อยสารประกอบที่อยู่บนไมโครพลาสติกออกมา เมื่อถูกบริโภคโดยสิ่งมีชีวิตในทะเลจะเกิดการสะสมบริเวณเนื้อเยื่อ และเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางลำดับห่วงโซ่อาหาร Chheang et al. (2021) จากรายงานของ (Pattira & Wipavee, 2021) พบว่าปลาน้ำจืดจำนวน 8 ชนิด ที่พบบริเวณแม่น้ำชี ประเทศไทย ปนเปื้อนไมโครพลาสติกร้อยละ 73 หรือปริมาณเฉลี่ย 1.76 ± 0.97 อนุภาคต่อตัว เช่นเดียวกับรายงานของพันธุ์ทิพย์ และคณะ (2563) ที่พบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสัตว์ทะเลที่เป็นอาหารจำนวน 25 ชนิด ในปริมาณเฉลี่ย 2.0 – 6.6 ชิ้นต่อตัว โดยพบในหอยเสียบมากที่สุดปริมาณเฉลี่ย 6.6 ± 2.61 ชิ้นต่อตัว ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากหอยเสียบมีถิ่นที่อยู่อาศัยตามบริเวณชายหาดที่น้ำทะเลท่วมถึงสูงสุด ซึ่งบริเวณนี้ทำการศึกษา มีการตกค้างของขยะพลาสติกในปริมาณมาก เมื่อเกิดการแตกเป็นส่วนจนกลายเป็นไมโครพลาสติก และอาจถูกบริโภคโดยการกรอกกินตามธรรมชาติของหอยเสียบเวลาน้ำขึ้น สอดคล้องกับรายงานของ Thushari et al. (2017) ที่แสดงให้เห็นว่าการปนเปื้อนของพลาสติกบริเวณชายหาดมีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนในทรายและสิ่งมีชีวิตในทะเล

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การศึกษาองค์ประกอบของไมโครพลาสติกควรใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูงขึ้น เช่น μ ATR-FTIR หรือ Py-GC-MS เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

5.3.2 ศึกษาชนิดของสารพลาสติกไฮเซอรด์ด้วยเครื่อง GC-FID ซ้ำด้วยเครื่อง GC-MS และนำผลชนิดที่ได้เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลในโปรแกรม เพื่อให้ได้ผลที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

5.3.3 ขยายระยะเวลาและพื้นที่ อื่นๆ เช่น ป่าชายเลน ปากแม่น้ำ หรือแหล่งน้ำทะเล เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่หลากหลาย อีกทั้งยังเป็นฐานข้อมูลในการตรวจติดตามปริมาณไมโครพลาสติก สารพลาสติกไฮเซอรด์และโลหะหนักที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ



บรรณานุกรม

- Akkajit, P., Thongnonghin, S., Sriraksa, S., & Pumsri, S. (2019). Preliminary Study of Distribution and Quantity of Plastic-debris on Beaches Along the Coast at Phuket Province. *Applied Environmental Research*, 41, 54–62.
<https://doi.org/10.35762/AER.2019.41.2.5>
- Alava, J. J., Kazmiruk, T. N., Douglas, T., Schuerholz, G., Heath, B., Flemming, S. A., Bendell, L., & Drever, M. C. (2021). Occurrence and size distribution of microplastics in mudflat sediments of the Cowichan-Koksilah Estuary, Canada: A baseline for plastic particles contamination in an anthropogenic-influenced estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 173, 113033.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113033>
- Aminot, Y., Lanctôt, C., Bednarz, V., Robson, W. J., Taylor, A., Ferrier-Pagès, C., Metian, M., & Tolosa, I. (2020). Leaching of flame-retardants from polystyrene debris: Bioaccumulation and potential effects on coral. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110862. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110862>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Aoki, K., & Furue, R. (2021). A model for the size distribution of marine microplastics: A statistical mechanics approach. *PLoS ONE*, 16(11), e0259781.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259781>
- Ashton, K., Holmes, L., & Turner, A. (2010). Association of metals with plastic production pellets in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 60(11), 2050–2055.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.07.014>
- Baloyi, N. D., Tekere, M., Maphangwa, K. W., & Masindi, V. (2021). Insights Into the Prevalence and Impacts of Phthalate Esters in Aquatic Ecosystems. *Frontiers in Environmental Science*, 9.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.684190>

- Bandara, K. R. V., Manage, P. M., Bandara, K. R. V., & Manage, P. M. (2022). *Heavy Metal Contamination in the Coastal Environment and Trace Level Identification*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106653>
- Benson, N. U., & Fred-Ahmadu, O. H. (2020). Occurrence and distribution of microplastics-sorbed phthalic acid esters (PAEs) in coastal psammitic sediments of tropical Atlantic Ocean, Gulf of Guinea. *Science of The Total Environment*, 730, 139013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139013>
- Besley, A., Vijver, M. G., Behrens, P., & Bosker, T. (2017). A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 77–83. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.055>
- Bowley, J., Baker-Austin, C., Porter, A., Hartnell, R., & Lewis, C. (2021). Oceanic Hitchhikers – Assessing Pathogen Risks from Marine Microplastic. *Trends in Microbiology*, 29(2), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.06.011>
- Browne, M. A., Niven, S. J., Galloway, T. S., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2013). Microplastic Moves Pollutants and Additives to Worms, Reducing Functions Linked to Health and Biodiversity. *Current Biology*, 23(23), 2388–2392. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.012>
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1212. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Chejadmin. (2023, February 6). Manganese. *The Center for Health, Environment & Justice*. <https://chej.org/manganese>
- Chen, C.-F., Ju, Y.-R., Lim, Y. C., Wang, M.-H., Patel, A. K., Singhania, R. R., Chen, C.-W., & Dong, C.-D. (2022). The effect of heavy rainfall on the exposure risks of sedimentary phthalate esters to aquatic organisms. *Chemosphere*, 290, 133204. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133204>

- Chen, Q., Allgeier, A., Yin, D., & Hollert, H. (2019). Leaching of endocrine disrupting chemicals from marine microplastics and mesoplastics under common life stress conditions. *Environment International*, 130, 104938. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104938>
- Chen, Q., Reisser, J., Cunsolo, S., Kwadijk, C., Kotterman, M., Proietti, M., Slat, B., Ferrari, F. F., Schwarz, A., Levivier, A., Yin, D., Hollert, H., & Koelmans, A. A. (2018). Pollutants in Plastics within the North Pacific Subtropical Gyre. *Environmental Science & Technology*, 52(2), 446–456. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b04682>
- Chheang, L., Thongkon, N., Sriwiriya, T., & Thanasupsin, S. P. (2021). Heavy Metal Contamination and Human Health Implications in the Chan Thnal Reservoir, Cambodia. *Sustainability*, 13(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/su132413538>
- Cole, M., Webb, H., Lindeque, P. K., Fileman, E. S., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2014). Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific Reports*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/srep04528>
- Coolmag. (2022, March 9). *What is polymer degradation?* Coolmag. <https://coolmag.net/what-is-polymer-degradation/>
- Cutroneo, L., Reboa, A., Geneselli, I., & Capello, M. (2021). Considerations on salts used for density separation in the extraction of microplastics from sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112216. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112216>
- de Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., & Futter, M. N. (2018). Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of The Total Environment*, 645, 1029–1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
- DIN EN ISO 24187. (2022). *Principles for the analysis of plastics and microplastics present in the environment*.
- Du, Y., Liu, X., Dong, X., & Yin, Z. (2022). A review on marine plastisphere: Biodiversity, formation, and role in degradation. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 20, 975–988. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.02.008>

- ECHA. (2021, November). *Phthalates—ECHA*. <https://echa.europa.eu/hot-topics/phthalates>
- Ethique. (2023, December 18). *How Long Does Plastic Take to Decompose: The 400-Year Reality*. Ethique. <https://ethique.com/blogs/behind-the-scenes/it-takes-400-years-for-plastic-to-break-down>
- European Commission. (2024). *Glossary: Benzyl butyl phthalate (BBP)*. <https://ec.europa.eu/health/opinions/en/phthalates-school-supplies/glossary/abc/bbp-benzyl-butyl-phthalate.htm>
- Fries, E., Dekiff, J. H., Willmeyer, J., Nuelle, M.-T., Ebert, M., & Remy, D. (2013). Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1949–1956. <https://doi.org/10.1039/C3EM00214D>
- Gao, F., Li, J., Sun, C., Zhang, L., Jiang, F., Cao, W., & Zheng, L. (2019). Study on the capability and characteristics of heavy metals enriched on microplastics in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 144, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.039>
- Godwin, A. D. (2011). 28—Plasticizers. In M. Kutz (Ed.), *Applied Plastics Engineering Handbook* (pp. 487–501). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-3514-7.10028-5>
- Gugliandolo, E., Licata, P., Crupi, R., Albergamo, A., Jebara, A., Lo Turco, V., Potortì, A. G., Mansour, H. B., Cuzzocrea, S., & Di Bella, G. (2020). Plasticizers as Microplastics Tracers in Tunisian Marine Environment. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.589398>
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14(8), 975–1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- Harley, C. D. G., Randall Hughes, A., Hultgren, K. M., Miner, B. G., Sorte, C. J. B., Thornber, C. S., Rodriguez, L. F., Tomanek, L., & Williams, S. L. (2006). The

- impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9(2), 228–241. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>
- Hinojosa, I. A., & Thiel, M. (2009). Floating marine debris in fjords, gulfs and channels of southern Chile. *Marine Pollution Bulletin*, 58(3), 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.10.020>
- Huang, Y., & Xu, E. G. (2022). Black microplastic in plastic pollution: Undetected and underestimated? *Water Emerging Contaminants & Nanoplastics*, 1(3), null-null. <https://doi.org/10.20517/wecn.2022.10>
- Huffstetler, E. (2023). *Learn How to Tell If Plastic Is BPA-Free*. The Spruce Eats. <https://www.thespruceeats.com/how-to-tell-if-plastic-is-bpa-free-1388309>
- ISO/TR 21960. (2020). *Plastics—Environmental aspects—State of knowledge and methodologies*.
- Jualaong, S., Pransilpa, M., Pradit, S., & Towatana, P. (2021). Type and Distribution of Microplastics in Beach Sediment along the Coast of the Eastern Gulf of Thailand. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/jmse9121405>
- Jung, M., Horgen, D., Orski, S., C., V., Beers, K., Balazs, G., Jones, T., Work, T., Brignac, K., Royer, S.-J., Hyrenbach, D., Jensen, B., & Lynch, J. (2017). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.061>
- Jungrak, L., Rongprakhon, S., Sutthacheep, M., Aunkhongthong, W., Pengsakun, S., Wongsuryrat, M., Thummasan, M., & Sutthacheep, T. (2018). Microplastics accumulation by spionid polychaetes in Thai waters. *Ramkhamhaeng International Journal of Science and Technology*, 1(3), Article 3.
- Keswani, A., Oliver, D. M., Gutierrez, T., & Quilliam, R. S. (2016). Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Marine Environmental Research*, 118, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.04.006>

- Koelmans, A. A., Bakir, A., Burton, G. A., & Janssen, C. R. (2016). Microplastic as a Vector for Chemicals in the Aquatic Environment: Critical Review and Model-Supported Reinterpretation of Empirical Studies. *Environmental Science & Technology*, 50(7), 3315–3326. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b06069>
- Kumkar, P., Pise, M., Verma, C. R., Khare, T., Petrtyl, M., & Kalous, L. (2022). Micro-contaminant, but immense impact: Source and influence of diethyl phthalate plasticizer on bottom-dwelling fishes. *Chemosphere*, 306, 135563. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135563>
- La Nasa, J., Biale, G., Mattonai, M., & Modugno, F. (2021). Microwave-assisted solvent extraction and double-shot analytical pyrolysis for the quali-quantitation of plasticizers and microplastics in beach sand samples. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123287. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123287>
- Langer, E., Bortel, K., Waskiewicz, S., & Lenartowicz-Klik, M. (2020). 2—Classification of Plasticizers. In E. Langer, K. Bortel, S. Waskiewicz, & M. Lenartowicz-Klik (Eds.), *Plasticizers Derived from Post-Consumer PET* (pp. 13–44). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46200-6.00002-7>
- Li, C., Jiang, B., Guo, J., Sun, C., Shi, C., Huang, S., Liu, W., Wu, C., & Zhang, Y. (2022). Aging Process of Microplastics in the Aquatic Environments: Aging Pathway, Characteristic Change, Compound Effect, and Environmentally Persistent Free Radicals Formation. *Water*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/w14213515>
- Li, D., Liu, K., Li, C., Peng, G., Andrady, A. L., Wu, T., Zhang, Z., Wang, X., Song, Z., Zong, C., Zhang, F., Wei, N., Bai, M., Zhu, L., Xu, J., Wu, H., Wang, L., Chang, S., & Zhu, W. (2020). Profiling the Vertical Transport of Microplastics in the West Pacific Ocean and the East Indian Ocean with a Novel in Situ Filtration Technique. *Environmental Science & Technology*, 54(20), 12979–12988. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02374>
- Li, W., Lo, H.-S., Wong, H.-M., Zhou, M., Wong, C.-Y., Tam, N. F.-Y., & Cheung, S.-G. (2020). Heavy metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong.

Marine Pollution Bulletin, 153, 110977.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110977>

Li, Y., Chen, G., Xu, K., Huang, K., & Wang, J. (2021). Microplastics Environmental Effect and Risk Assessment on the Aquaculture Systems from South China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1869.

<https://doi.org/10.3390/ijerph18041869>

Lin, K.-N., Chen, C.-W., Chen, C.-F., Lim, Y. C., Kao, C.-M., & Dong, C.-D. (2022).

Seasonal Variation of Phthalate Esters in Urban River Sediments: A Case Study of Fengshan River System in Taiwan. *Sustainability*, 14(1), Article 1.

<https://doi.org/10.3390/su14010347>

Lin, Z., & Bingyu, C. (2019). Study on distribution characteristics of chromium and nickel in root soils around a typical abandoned alunite mining area. *E3S Web of Conferences*, 136, 07027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913607027>

Lithner, D., Larsson, Å., & Dave, G. (2011). Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of The Total Environment*, 409(18), 3309–3324.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.04.038>

Liu, S., Huang, J., Zhang, W., Shi, L., Yi, K., Yu, H., Zhang, C., Li, S., & Li, J. (2022).

Microplastics as a vehicle of heavy metals in aquatic environments: A review of adsorption factors, mechanisms, and biological effects. *Journal of Environmental Management*, 302, 113995. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113995>

Mai, L., Sun, X., & Zeng, E. Y. (2023). Country-specific riverine contributions to marine plastic pollution. *Science of The Total Environment*, 874, 162552.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162552>

Manlikanin, S. (2023). ประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลายได้. <https://www.mtec.or.th/bio-plastic/plastics-degradation/degradable-plastic-type.html>

Markets, R. and. (2022, November 9). *Plastic Products Global Market Report 2022*.

<https://www.prnewswire.com/news-releases/plastic-products-global-market-report-2022-301673024.html>

- Maršić-Lučić, J., Lušić, J., Tutman, P., Bojanić Varezić, D., Šiljić, J., & Pribudić, J. (2018). Levels of trace metals on microplastic particles in beach sediments of the island of Vis, Adriatic Sea, Croatia. *Marine Pollution Bulletin*, 137, 231–236.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.10.027>
- Merck. (2017). เอกสารข้อมูลความปลอดภัยปรอท. <https://www.dt.mahidol.ac.th/th/wp-content/uploads/2019/09/241-Mercuric-chloride.pdf>
- Munjal, D. (2023, March 18). *Explained | Why have plastic rocks been found on the remote Brazilian island of Trindade? - The Hindu*. Patchaiyappan
- National Geographic Society. (2022, May 20). *Microplastics*.
<https://education.nationalgeographic.org/resource/microplastics>
- Nutrition, C. for F. S. and A. (2022). Phthalates in Cosmetics. *FDA*.
<https://www.fda.gov/cosmetics/cosmetic-ingredients/phthalates-cosmetics>
- OECD. (2022, February 22). *Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD*. UNEP
- Ogunola, O., & Palanisami, T. (2016). Microplastics in the Marine Environment: Current Status, Assessment Methodologies, Impacts and Solutions. *Journal of Pollution Effects & Control*, 04. <https://doi.org/10.4172/2375-4397.1000161>
- omid, A., Khaloo, S., Zende del, R., Ravannakhjavani, F., Khodakarim, S., & kakavandi, M. (2023). *GC-FID based analysis of trace phthalates with a novel nanocomposite by polar-nonpolar properties in plastic bottled water*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2741303/v1>
- Pabortsava, K., & Lampitt, R. (2020). High concentrations of plastic hidden beneath the surface of the Atlantic Ocean. *Nature Communications*, 11, 4073.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17932-9>
- Panida, P., & Parnuch, H. (2022). Microplastic pollution in surface seawater and beach sand from the shore of Rayong province, Thailand: Distribution, characterization, and ecological risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113200.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113200>

- Patchaiyappan, A., ZakiAhmed, S., Dowarah, K., Khadanga, S. S., Singh, T., Jayakumar, S., Thirunavukkarasu, C., & Devipriya, S. P. (2021). Prevalence of microplastics in the sediments of Odisha beaches, southeastern coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112265. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112265>
- Pattira, K., & Wipavee, T. (2021). MICROPLASTICS INGESTION BY FRESHWATER FISH IN THE CHI RIVER, THAILAND. *GEOMATE Journal*, 18(67), Article 67.
- Pradit, S., Towatana, P., Nitiratsuwan, T., Jualaong, S., Jirajarus, M., Sornplang, K., Noppradit, P., Darakai, Y., & Weerawong, C. (2020). Occurrence of microplastics on beach sediment at Libong, a pristine island in Andaman Sea, Thailand. *ScienceAsia*, 46, 336. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2020.042>
- Rani, M., Shim, W. J., Han, G. M., Jang, M., Al-Odaini, N. A., Song, Y. K., & Hong, S. H. (2015). Qualitative Analysis of Additives in Plastic Marine Debris and Its New Products. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(3), 352–366. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0224-x>
- Ross, P. S., Chastain, S., Vassilenko, E., Etemadifar, A., Zimmermann, S., Quesnel, S.-A., Eert, J., Solomon, E., Patankar, S., Posacka, A. M., & Williams, B. (2021). Pervasive distribution of polyester fibres in the Arctic Ocean is driven by Atlantic inputs. *Nature Communications*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20347-1>
- Sajorne, R. E., Cayabo, G. D. B., Gajardo, L. J. A., Mabuhay-Omar, J. A., Creencia, L. A., & Bacosa, H. P. (2022). Disentangling Microplastic Pollution on Beach Sand of Puerto Princesa, Palawan Island, Philippines: Abundance and Characteristics. *Sustainability*, 14(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/su142215303>
- Saliu, F., Montano, S., Leoni, B., Lasagni, M., & Galli, P. (2019). Microplastics as a threat to coral reef environments: Detection of phthalate esters in neuston and scleractinian corals from the Faafu Atoll, Maldives. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 234–241. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.043>
- Santos-Echeandía, J., Rivera-Hernández, J. R., Rodrigues, J. P., & Moltó, V. (2020). Interaction of mercury with beached plastics with special attention to zonation,

- degradation status and polymer type. *Marine Chemistry*, 222, 103788.
<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2020.103788>
- Sheela, A. M., Manimekalai, B., & Dhinakaran, G. (2022). Review on the distribution of microplastics in the oceans and its impacts: Need for modeling-based approach to investigate the transport and risk of microplastic pollution. *Environmental Engineering Research*, 27(4). <https://doi.org/10.4491/eer.2021.243>
- Sigma-Aldrich. (2021). เอกสารข้อมูลความปลอดภัยตะกั่ว.
 file:///C:/Users/PC/Downloads/112067_SDS_TH_TH.PDF
- Sigma-Aldrich. (2023). เอกสารข้อมูลความปลอดภัยแคดเมียม.
https://www.merckmillipore.com/Web-JP-Site/ja_JP/-/JPY/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-109960&DocumentType=MSD&DocumentId=109960_SDS_TH_TH.PDF&DocumentUID=406003&Language=TH&Country=TH&Origin=PDP
- Singh, N., Mondal, A., Bagri, A., Tiwari, E., Khandelwal, N., Monikh, F. A., & Darbha, G. K. (2021). Characteristics and spatial distribution of microplastics in the lower Ganga River water and sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111960.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111960>
- Statista Research Department. (2023, March 13). *Plastic production worldwide 2021*. Statista. <https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/plastics-and-biodiversity/>
- Sukrita, P. ส., & Prasongsom, P. ป. (2019). ไมโครพลาสติก: จุดกำเนิด ผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อม การปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และ วิธีการจัดการ MICROPLASTICS : ORIGIN, ENVIRONMENTAL IMPACT, ENVIRONMENTAL CONTAMINATION AND MANAGEMENT METHODS. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 15(2), Article 2.
- Thushari, G. G. N., Senevirathna, J. D. M., Yakupitiyage, A., & Chavanich, S. (2017). Effects of microplastics on sessile invertebrates in the eastern coast of Thailand: An approach to coastal zone conservation. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 349–355. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.010>

- UNEP, U. N. E. P. (2021, October 21). *Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics*. UNEP - UN Environment Programme.
<http://www.unep.org/resources/report/drowning-plastics-marine-litter-and-plastic-waste-vital-graphics>
- US EPA, O. (2015, December 8). *SW-846 Test Method 3052: Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices* [Other Policies and Guidance]. <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based>
- Vedolin, M. C., Teophilo, C. Y. S., Turra, A., & Figueira, R. C. L. (2018). Spatial variability in the concentrations of metals in beached microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 129(2), 487–493. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.10.019>
- Wang, G., Lu, J., Li, W., Ning, J., Zhou, L., Tong, Y., Liu, Z., Zhou, H., & Xiayihazi, N. (2021). Seasonal variation and risk assessment of microplastics in surface water of the Manas River Basin, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111477. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111477>
- Wright, R. J., Bosch, R., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2020). Plasticizer Degradation by Marine Bacterial Isolates: A Proteogenomic and Metabolomic Characterization. *Environmental Science & Technology*, 54(4), 2244–2256. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05228>
- Xia, F., Yao, Q., Zhang, J., & Wang, D. (2021). Effects of seasonal variation and resuspension on microplastics in river sediments. *Environmental Pollution*, 286, 117403. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117403>
- Xie, Q., Li, H.-X., Lin, L., Li, Z.-L., Huang, J., & Xu, X.-R. (2021). Characteristics of expanded polystyrene microplastics on island beaches in the Pearl River Estuary: Abundance, size, surface texture and their metals-carrying capacity. *Ecotoxicology*, 30(8), 1632–1643. <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02329-7>
- Yadav, M., Gupta, R., & Sharma, R. K. (2019). Chapter 14—Green and Sustainable Pathways for Wastewater Purification. In S. Ahuja (Ed.), *Advances in Water*

- Purification Techniques* (pp. 355–383). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00014-4>
- Yuan, Z., Nag, R., & Cummins, E. (2022). Human health concerns regarding microplastics in the aquatic environment—From marine to food systems. *Science of The Total Environment*, 823, 153730. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153730>
- Zhang, Z.-M., Yang, G.-P., Zhang, H.-H., Shi, X.-Z., Zou, Y.-W., & Zhang, J. (2020). Phthalic acid esters in the sea-surface microlayer, seawater and sediments of the East China Sea: Spatiotemporal variation and ecological risk assessment. *Environmental Pollution*, 259, 113802. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113802>
- Zhang, Z.-M., Zhang, H.-H., Li, J.-L., & Yang, G.-P. (2017). Determination of Phthalic Acid Esters in Seawater and Sediment by Solid-phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 45(3), 348–356. [https://doi.org/10.1016/S1872-2040\(17\)60999-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2040(17)60999-X)
- Zhao, S., Danley, M., Ward, J., Li, D., & Mincer, T. (2016). An approach for extraction, characterization and quantitation of microplastic in natural marine snow using Raman microscopy. *Anal. Methods*, 9. <https://doi.org/10.1039/C6AY02302A>
- Zhou, Q., Zhang, H., Fu, C., Zhou, Y., Dai, Z., Li, Y., Tu, C., & Luo, Y. (2018). The distribution and morphology of microplastics in coastal soils adjacent to the Bohai Sea and the Yellow Sea. *Geoderma*, 322, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.015>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2021, June 10). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเล – Pollution Control Department. <https://www.pcd.go.th/laws/15123>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์คุณภาพตะกอนดินชายฝั่งทะเล – Pollution Control Department. <https://www.pcd.go.th/laws/4812>
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2013, November 7). ความหมายของขยะทะเล—ระบบฐานข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. https://km.dmcr.go.th/c_260
- กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2022). ขยะทะเล—ระบบฐานข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง.

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2023). *สัญญาณชายฝั่ง*.

https://km.dmcr.go.th/c_56/s_77/d_2766

กรมอุทยานแห่งชาติ. (1995). *การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติทางทะเล*.

<http://www.rspg.org/anurak/anurak4.htm>

กรรมนิภา หวังฤทธิไกรกุล, ศุภกร เทพวิไล, สกลวรรณ ชาวไชย และราฟาเอล บิสเซน. (2564).

บทความ: ไมโครพลาสติกบนตะกอนชายหาดของประเทศไทย. ERIC.

<http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6140/320>

คริสมาส พัฒนสิรินนท์ และจริยวดี สุริยพันธุ์. (2564). *การสะสมของไมโครพลาสติกในดินตะกอนในแนวหน้าทะเล (Halodule uninervis) อ่าวสัตหีบ จังหวัดชลบุรี*.

[https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=34Fis04_P_Accepted-](https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=34Fis04_P_Accepted-%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2.pdf&id=4380&keeptrack=-1)

[%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2.pdf&id=4380&keeptrack=-1](https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename=34Fis04_P_Accepted-%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B2.pdf&id=4380&keeptrack=-1)

เจนวิทย์ ธรรมวิจารณ์, กมลวรรณ มั่นยากาศ, จิราวรรณ มานะกิจ และวรัญญา นุ่มนวล. (2559).

การศึกษาปริมาณ ชนิด และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดขยะทะเลบริเวณหาดราชมงคล จังหวัดตรัง และอ่าวตังเกี๋ย จังหวัดภูเก็ต. [https://www.dmcr.go.th/upload/pc/file/file-](https://www.dmcr.go.th/upload/pc/file/file-941650390.pdf)

[941650390.pdf](https://www.dmcr.go.th/upload/pc/file/file-941650390.pdf)

ฉลวย มุสิกะ, วันชัย วงศ์ดาววรรณ, อาวุธ หมั่นหาผล และแววตา ทองระอา (2557). *คุณภาพน้ำในแหล่งท่องเที่ยวทางทะเล จังหวัดชลบุรี*. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 19(1), Article 1.

ณัฐวร ชันธิกุล, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, นิศรา ถาวรโสตร์, และสราวุธ ศรีทองอุทัย. (2563). *การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโลหะหนักในดินตะกอนตามฤดูกาลและพื้นที่บริเวณพื้นที่อ่าวไทยตอนใน* [บทความ]. *วารสารวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)*

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 1739–1749.

ทวีศักดิ์ กริไกรนุช , รัชนี พุทธิปรีชา , รัตรี สุขสุวรรณ , รัฐชัย ตั้งใจ และรชยา สายสหัส. (2562).

การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในตะกอนดิน บริเวณชายหาดอ่าวไทยตอนล่าง—กรม

ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง Department of Marine and Coastal Resources,

Thailand. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

<https://www.dmcr.go.th/detailLib/4536>

- ธิษัมพร บุญชัย และ ไชยพิพัฒน์ ปกป้อง. (2566). การสำรวจปริมาณขยะและจำแนกชนิดขยะบนชายหาดบางแสน | สิ่งแวดล้อมสรรค์สร้างวินิจัย. <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/arch-kku/article/view/261057>
- ธีรนาถ สุวรรณเรือง. (2563). โลหะหนักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม และผลกระทบต่อสุขภาพ. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/RDHSJ/article/view/254803>
- ธีรวัตร เปรมปรี, ธนตร วรณรังษี, ธันยพัศ ศิริชัยเศรษฐ, และวรินธา วคินะเมสินทร์. (2562). ขยะพลาสติกที่พบบริเวณปากแม่น้ำ อ่าวไทยตอนบน—กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง *Department of Marine and Coastal Resources, Thailand*. กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. <https://www.dmcr.go.th/detailLib/4547>
- ธิดิสุตา ณ สงขลา, วัชรพงษ์ วาระรัมย์, อรอนงค์ ผิวนิล และนฤชิต ดำปิ่น. (2567). ผลของกิจกรรมของมนุษย์ต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในแม่น้ำเพชรบุรี. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ (Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning), 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.14456/jstel.2024.6>
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2561). ไมโครพลาสติก: ปัญหาในระบบนิเวศแหล่งน้ำ. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/download/240856/166060/>
- ปริญ หล่อพิทยากร. (2558). รูปแบบการไหลเวียนกระแสน้ำในอ่าวไทยจากแบบจำลอง. *Thai Science and Technology Journal*, 446–465.
- ผกาทิพย์ รื่นระเรงศักดิ์. (2564). ผลต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของไมโครพลาสติกและนาโนพลาสติก. <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/565/ไมโครพลาสติก-นาโนพลาสติก/>
- พันธุ์ทิพย์ วิเศษพงษ์พันธ์, อภิญา ชาติทวีสุข และวชิระ ใจงาม. (2563). การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสัตว์ทะเลที่เป็นอาหาร.
- เมธาสิทธิ์. (2565). ปริมาณการใช้พลาสติกและขยะพลาสติกทั่วโลก จะเพิ่มขึ้น 3 เท่าภายในปี 2603. <https://www.thaipost.net/abroad-news/154844/>
- วิชชุดา ประสาทแก้ว. (2564). การศึกษาชนิดและปริมาณขยะทะเลบริเวณสถานตากอากาศบางปู อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 23(2), Article 2.

- สุจิตรา วาสนาดำรงดี. (2562). บทความ: ภาพรวมมาตรการลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง
ในต่างประเทศ. ERIC. <http://www.ej.eric.chula.ac.th/content/6114/151>
- สุเทพ เจือละออง, ชลาทิพ จันทร์ขมภู, ชชาติชาย เพ็ญเพียร, ศักดา อิงเอนุ และณัฐกฤตพรรณ พึ่ง
สำราญ. (2557). การสะสมของสารโลหะหนักในสัตว์ทะเลหายากเกยตื้นบริเวณอ่าวไทยฝั่ง
ตะวันออก. <https://www.dmcr.go.th/upload/pc/file/file-702609591.pdf>
- อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์. (2566). Additives.
<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sanongn1/additives.pdf>
- อาดาม รอดานา. (2561). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำบริเวณชุมชนประมงบา
เละฮิลเล จังหวัดนราธิวาส.
[file:///C:/Users/PC/Downloads/detdanai,+Journal+manager,+Untitled17%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/PC/Downloads/detdanai,+Journal+manager,+Untitled17%20(2).pdf)





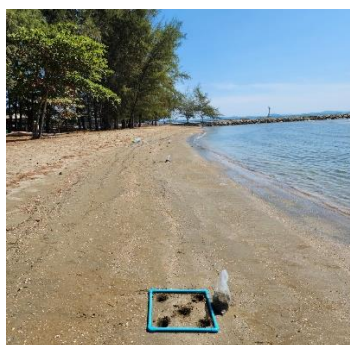




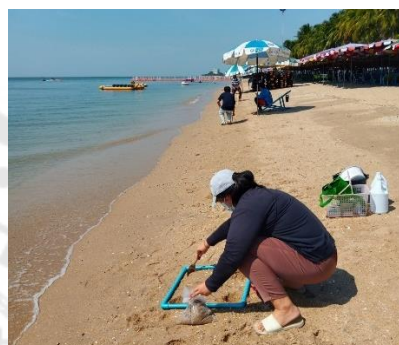
1) หาดบานชื่น จ.ตราด



2) หาดแหลมสิงห์ จ.จันทบุรี



3) หาดแหลมสน จ.ระยอง



4) หาดบางแสน จ.ชลบุรี



5) หาดเจ้าสำราญ จ.เพชรบุรี



6) หาดสามร้อยยอด จ.ประจวบคีรีขันธ์



7) หาดทุ่งวัวแล่น จ.ชุมพร

ภาพประกอบ 7 สถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณชายหาดอ่าวไทย



1) หาดประพาส จ.ระนอง



2) หาดท้ายเหมือง จ.พังงา



3) หาดป่าตอง จ.ภูเก็ต



4) หาดอ่าวนาง จ.กระบี่

ภาพประกอบ 8 สถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณชายหาดอันดามัน



1. สภาวะแวดล้อม

ตาราง 47 สมบัติเบื้องต้นบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 1

รหัส	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	ความเค็ม (ppt)	ความเป็นกรด-เบส
TRT	33.80	29.00	31.00	8.06
CTI	36.60	31.00	31.00	8.03
RYG	32.60	30.00	30.00	8.00
CBI	36.70	28.00	31.00	8.10
PBI	34.30	29.00	25.00	7.92
PKN	38.80	34.90	31.40	8.01
CPN	37.00	33.60	30.90	7.94
RNG	28.90	30.00	25.00	7.89
PNA	31.10	29.50	30.00	8.01
PKT	27.70	29.00	30.00	8.00
KBI	23.20	29.00	30.00	7.79

ตาราง 48 สมบัติเบื้องต้นบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 2

รหัส	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	ความเค็ม (ppt)	ความเป็นกรด-เบส
TRT	34.10	35.80	30.70	7.00
CTI	36.30	35.20	31.20	6.99
RYG	31.90	31.20	30.20	6.94
CBI	32.50	32.40	31.10	7.06
PBI	30.80	31.30	30.90	8.01
PKN	30.80	30.00	25.00	7.95
CPN	28.30	30.00	25.00	7.82
RNG	28.90	30.00	25.00	7.89
PNA	31.10	29.50	29.00	8.01
PKT	35.80	33.50	32.10	7.96
KBI	38.10	33.80	31.30	7.95

ตาราง 49 สมบัติเบื้องต้นบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 3

รหัส	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิน้ำ (°C)	ความเค็ม (ppt)	ความเป็นกรด-เบส
TRT	32.00	30.90	22.60	7.92
CTI	32.80	31.60	27.30	8.06
RYG	23.10	29.80	11.00	7.61
CBI	31.10	30.40	19.00	8.28
PBI	32.20	32.70	23.30	7.94
PKN	33.90	34.90	33.50	8.15
CPN	30.30	33.50	31.10	8.02
RNG	36.10	33.20	29.30	8.04
PNA	34.80	30.30	30.80	8.13
PKT	24.20	28.80	31.00	8.19
KBI	31.80	32.00	31.10	8.08

2. ไมโครพลาสติก

ตาราง 50 ปริมาณไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน

รหัส	ปริมาณไมโครพลาสติก (Particles/ 0.1 kg D.W.)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
TRT	72.7	133.7	37.0
CTI	51.3	86.7	34.0
RYG	122.3	65.3	22.3
CBI	127.7	92.7	60.0
PBI	115.0	31.7	57.7
PKN	82.7	83.0	71.3
CPN	71.0	148.3	44.3
RNG	77.7	94.7	44.0
PNA	101.0	107.7	43.7
PKT	76.0	93.0	46.3
KBI	86.3	74.7	59.3

ตาราง 51 รูปร่างของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 1

รหัส	รูปร่างของไมโครพลาสติก (Particles/ 0.1 kg D.W.)				
	เส้นใย (Fiber)	ชิ้น (Fragment)	เม็ด (Pellet)	ฟิล์ม (Film)	โฟม (Foam)
TRT	50	22	1	0	0
CTI	36	14	0	1	0
RYG	69	45	2	6	0
CBI	91	34	0	3	0
PBI	64	50	0	1	0
PKN	71	9	0	3	0
CPN	65	6	0	0	0
RNG	73	5	0	0	0
PNA	78	21	0	2	0
PKT	57	17	0	2	0
KBI	77	6	0	1	2

ตาราง 52 รูปร่างของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 2

รหัส	รูปร่างของไมโครพลาสติก (Particles/ 0.1 kg D.W.)				
	เส้นใย (Fiber)	ชิ้น (Fragment)	เม็ด (Pellet)	ฟิล์ม (Film)	โฟม (Foam)
TRT	119	14	1	0	0
CTI	48	34	1	4	0
RYG	33	26	0	5	1
CBI	49	42	0	1	1
PBI	23	8	0	1	0
PKN	54	27	0	2	0
CPN	119	26	1	1	1
RNG	51	44	0	0	0
PNA	64	41	1	2	0
PKT	50	39	0	2	2
KBI	48	24	0	1	2

ตาราง 53 รูปร่างของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 3

รหัส	รูปร่างของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.)				
	เส้นใย (Fiber)	ชิ้น (Fragment)	เม็ด (Pellet)	ฟิล์ม (Film)	โฟม (Foam)
TRT	32	3	0	2	0
CTI	34	0	0	0	0
RYG	20	2	0	0	0
CBI	57	2	0	1	0
PBI	55	2	0	1	0
PKN	66	4	0	1	0
CPN	40	3	0	1	0
RNG	41	2	0	0	1
PNA	39	4	0	1	0
PKT	42	3	0	1	0
KBI	53	6	0	0	0

ตาราง 54 ขนาดของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 1

รหัส	ขนาดของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.)			
	1.001 – 5 mm	0.501 – 1 mm	0.1 - 0.5 mm	<0.1 mm
TRT	9	16	26	22
CTI	9	12	13	17
RYG	13	19	26	64
CBI	17	20	38	53
PBI	16	19	29	51
PKN	0	2	37	44
CPN	0	0	35	36
RNG	0	2	34	42
PNA	0	2	43	56
PKT	0	2	33	41
KBI	0	3	46	37

ตาราง 55 ขนาดของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 2

รหัส	ขนาดของไมโครพลาสติก (Particles/0.1 kg D.W.)			
	1.001 – 5 mm	0.501 – 1 mm	0.1 - 0.5 mm	<0.1 mm
TRT	0	0	32	102
CTI	0	0	22	65
RYG	0	0	9	56
CBI	0	0	12	81
PBI	0	0	8	24
PKN	0	1	24	58
CPN	0	1	42	104
RNG	0	2	25	68
PNA	0	1	18	89
PKT	0	2	24	67
KBI	0	0	18	56

ตาราง 56 ขนาดของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 3

รหัส	ขนาดของไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.)			
	1.001 – 5 mm	0.501 – 1 mm	0.1 - 0.5 mm	<0.1 mm
TRT	0	0	21	16
CTI	0	0	11	23
RYG	0	0	6	16
CBI	0	0	22	38
PBI	0	0	18	40
PKN	0	0	18	53
CPN	0	0	11	33
RNG	0	0	10	34
PNA	0	0	10	34
PKT	0	0	17	29
KBI	0	0	22	37

ตาราง 57 สีของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 1

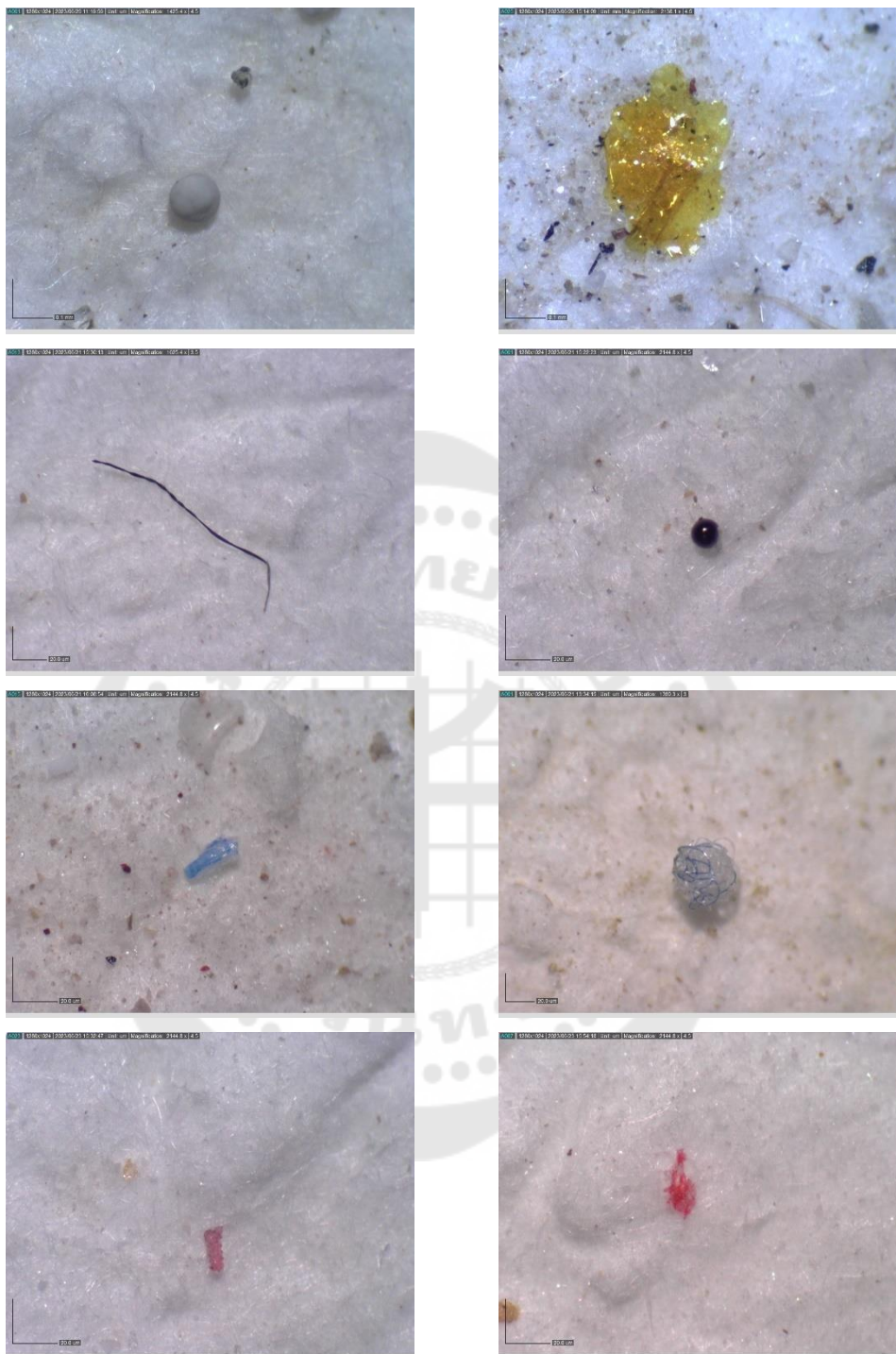
รหัส	สีของไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.)							
	ดำ	ฟ้า	แดง	ขาว	เขียว	เหลือง	ใส	ม่วง
TRT	32	5	9	18	0	6	3	0
CTI	25	3	2	15	0	3	2	1
RYG	41	11	22	36	3	5	2	2
CBI	58	19	6	29	4	6	6	0
PBI	60	6	8	26	2	9	4	0
PKN	29	4	3	36	1	2	4	4
CPN	26	1	2	36	1	1	1	3
RNG	26	11	1	36	0	0	1	3
PNA	45	6	2	34	2	8	3	1
PKT	24	5	2	35	1	4	4	1
KBI	32	6	0	42	0	1	1	4

ตาราง 58 สีของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 2

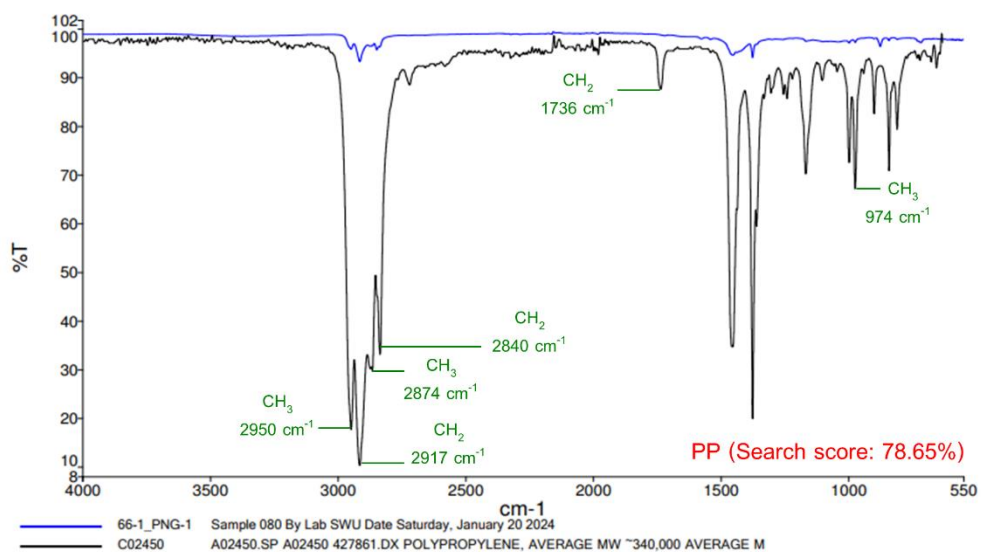
รหัส	สีของไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.)							
	ดำ	ฟ้า	แดง	ขาว	เขียว	เหลือง	ใส	ม่วง
TRT	81	6	8	35	1	1	2	0
CTI	32	4	5	27	2	10	6	1
RYG	26	5	3	17	1	7	4	2
CBI	50	10	3	17	2	6	4	1
PBI	15	2	1	9	2	2	1	0
PKN	39	5	4	25	1	6	1	1
CPN	88	6	4	41	1	6	3	0
RNG	40	5	2	24	2	14	8	0
PNA	52	3	5	35	1	7	5	0
PKT	36	7	3	33	0	8	6	1
KBI	37	5	1	23	1	5	3	0

ตาราง 59 สีของไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามัน ครั้งที่ 3

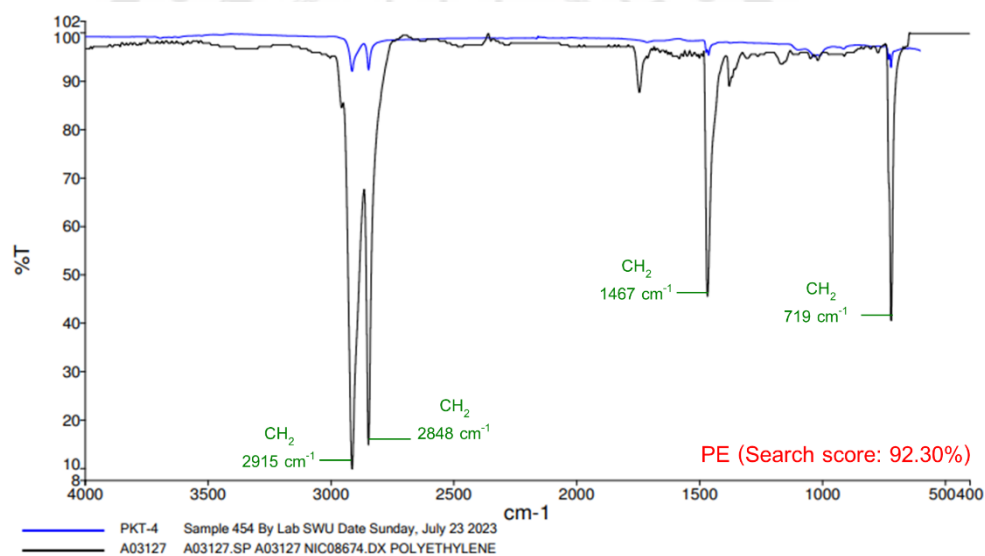
รหัส	สีของไมโครพลาสติก (Particles/kg D.W.)							
	ดำ	ฟ้า	แดง	ขาว	เขียว	เหลือง	ใส	ม่วง
TRT	17	8	1	3	0	5	3	0
CTI	16	6	0	6	0	1	5	0
RYG	11	6	1	2	0	0	1	1
CBI	29	11	2	5	1	6	5	1
PBI	30	14	1	5	1	1	5	1
PKN	35	6	4	18	0	5	3	0
CPN	18	8	1	7	1	4	5	0
RNG	22	6	1	6	1	2	6	0
PNA	18	8	6	6	0	3	3	0
PKT	18	12	1	10	0	3	2	0
KBI	18	10	3	13	0	8	6	1



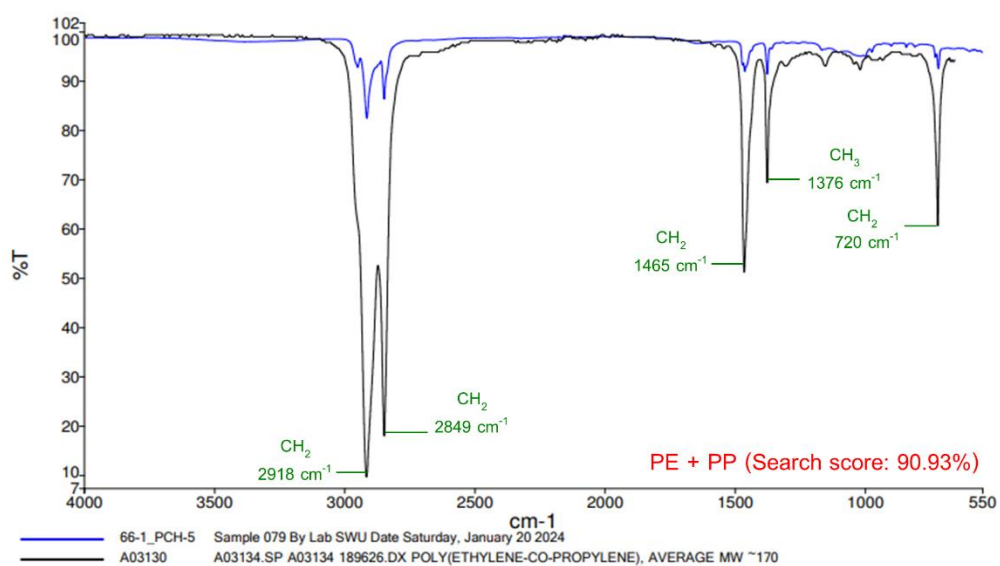
ภาพประกอบ 9 ลักษณะไมโครฟอสซิล



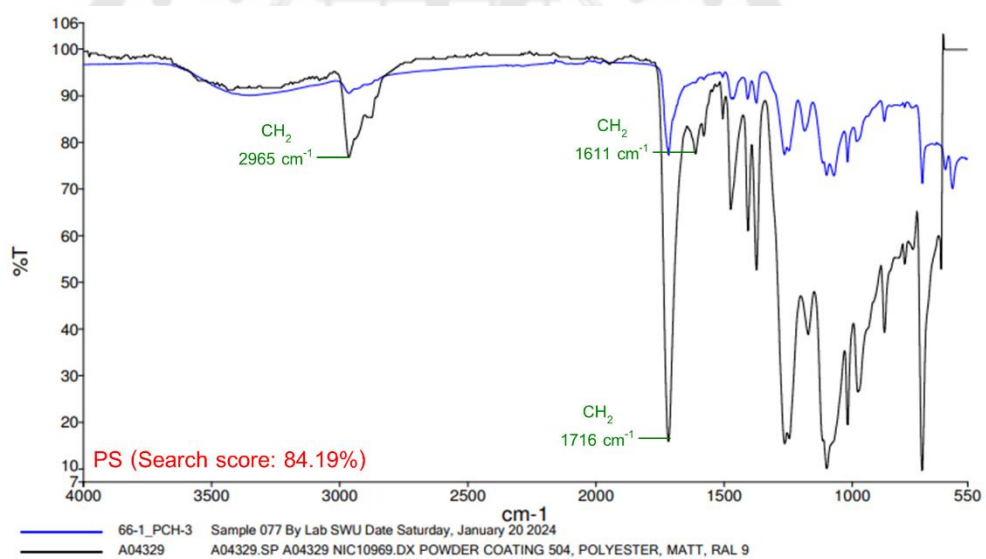
ภาพประกอบ 10 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PE



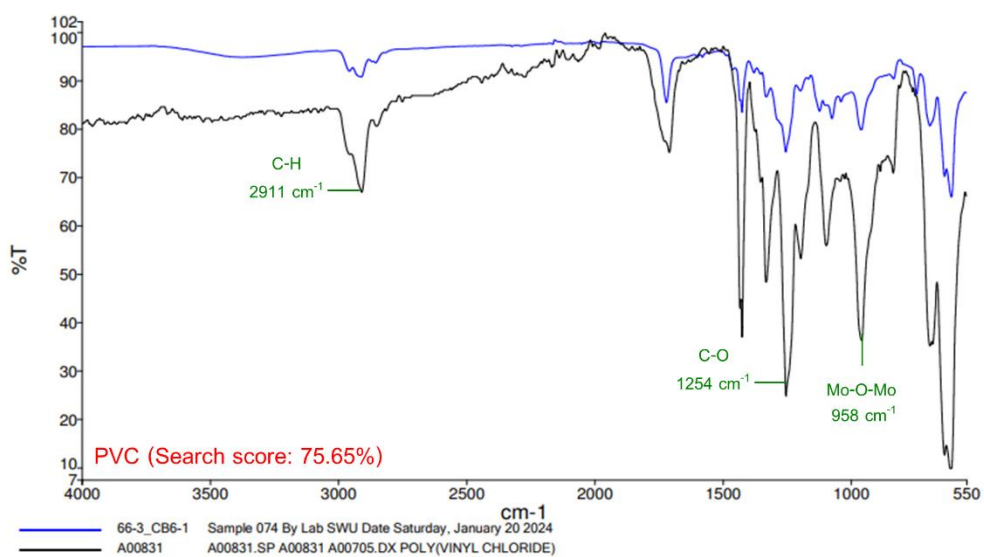
ภาพประกอบ 11 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PP



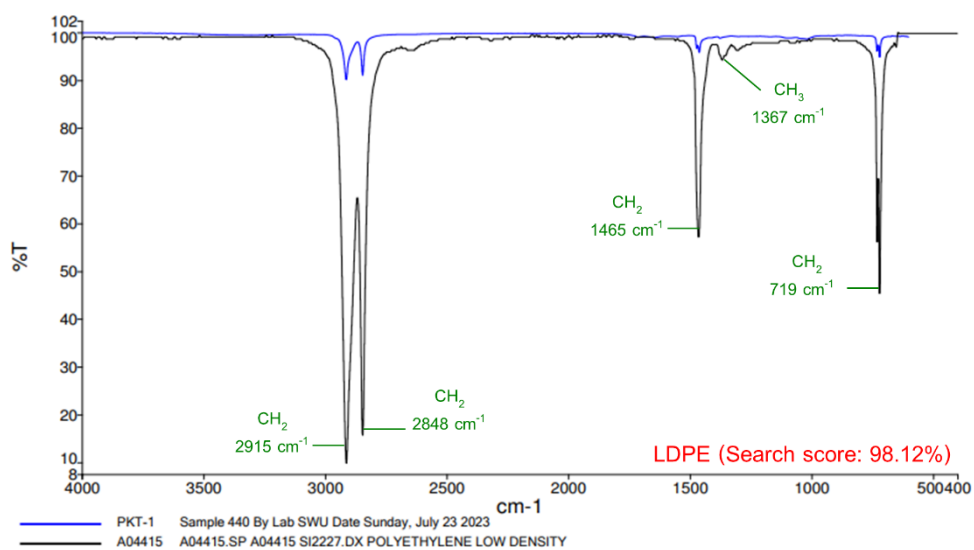
ภาพประกอบ 12 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PE+PP



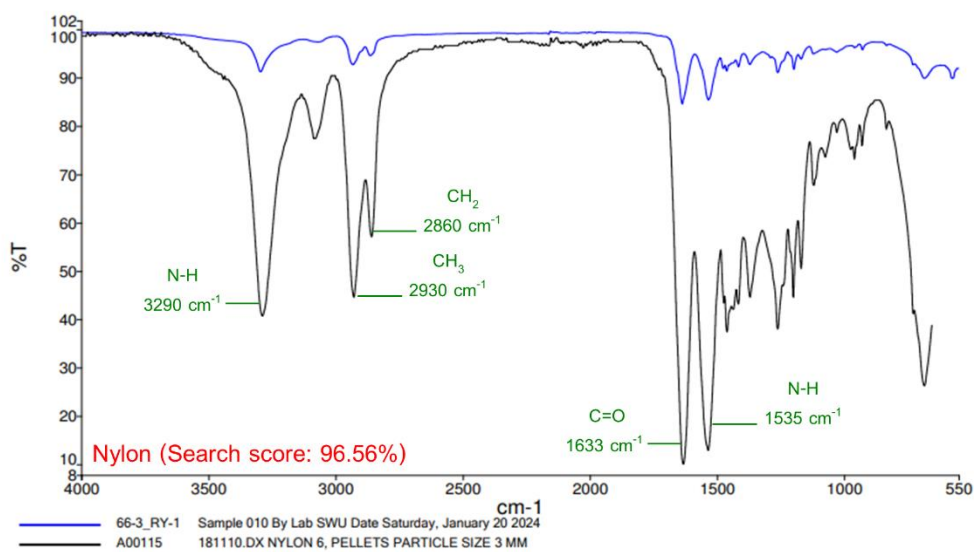
ภาพประกอบ 13 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PS



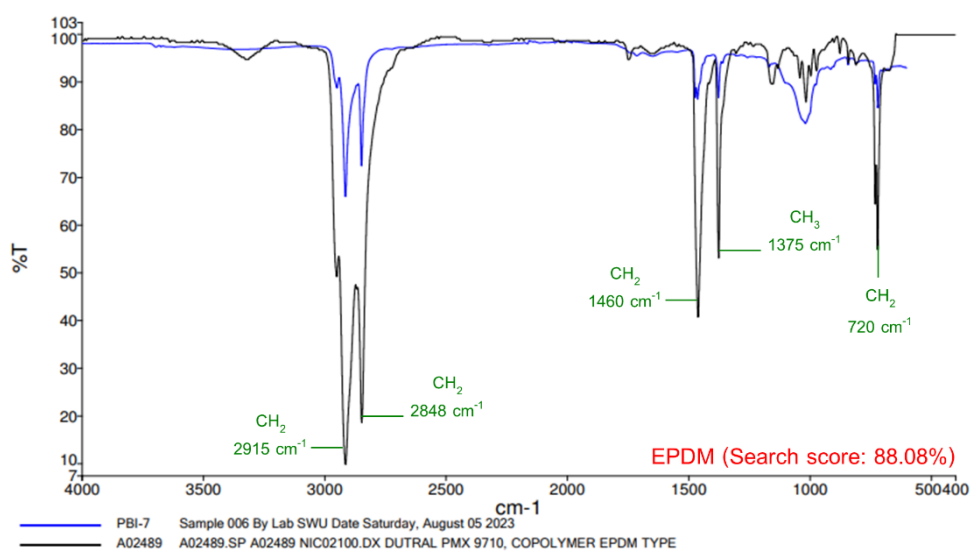
ภาพประกอบ 14 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ PVC



ภาพประกอบ 15 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ LDPE



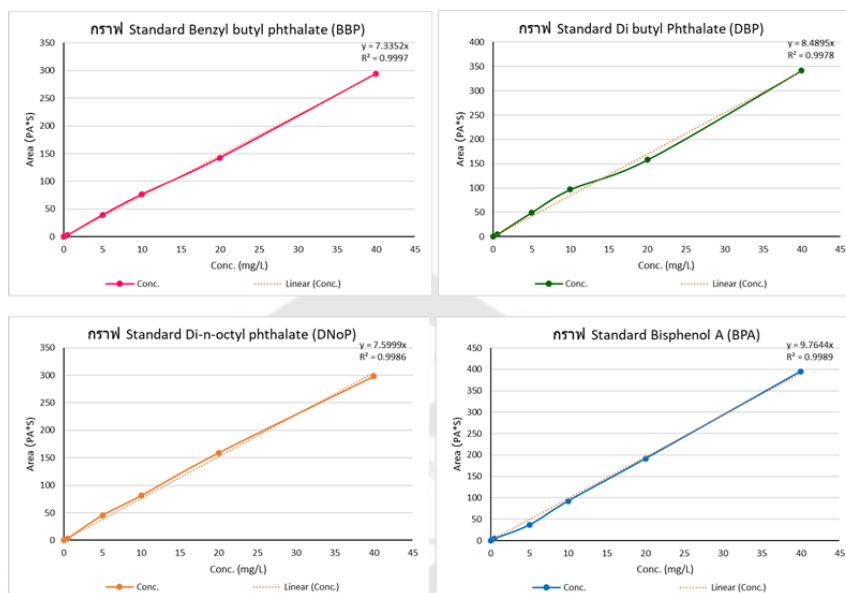
ภาพประกอบ 16 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ Nylon



ภาพประกอบ 17 ผลวิเคราะห์ FT-IR ของ EPDM

3. พลาสติกไซเซอร

ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานพลาสติกไซเซอร 4 ชนิด ที่ 6 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.5, 5, 10, 20, และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 18



ภาพประกอบ 18 กราฟสารมาตรฐานพลาสติกไซเซอร 5 ความเข้มข้น

ตาราง 60 ปริมาณสารพลาสติกไซเซอรบริเวณชายหาดอำเภอไทยและหาดอันดามันครั้งที่ 1

รหัส	ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร (mg/kg)			
	DBP	BPA	BBP	DNOP
TRT	0.00	5.41	0.21	0.00
CTI	0.16	9.35	0.00	0.00
RYG	1.08	7.97	0.00	11.25
CBI	0.00	0.00	0.00	0.00
PBI	0.00	3.22	0.00	0.00
PKN	2.85	5.91	0.00	0.00
CPN	5.46	14.77	0.00	0.00
RNG	3.19	6.21	0.58	0.31
PNA	4.65	11.43	0.00	0.00
PKT	5.56	10.54	0.00	0.00
KBI	3.42	8.38	0.00	1.67

ตาราง 61 ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์บริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 2

รหัส	ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ (mg/kg)			
	DBP	BPA	BBP	DNOP
TRT	3.28	5.47	0.00	0.00
CTI	5.78	18.19	0.00	0.00
RYG	7.17	12.88	0.00	0.00
CBI	1.23	0.76	0.00	1.21
PBI	8.38	0.00	0.00	0.00
PKN	5.07	12.74	0.00	0.00
CPN	7.41	15.69	0.00	0.00
RNG	6.77	20.01	0.00	0.00
PNA	7.78	20.37	0.00	0.00
PKT	6.77	2.01	0.00	0.00
KBI	6.20	13.41	0.00	0.00

ตาราง 62 ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์บริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 3

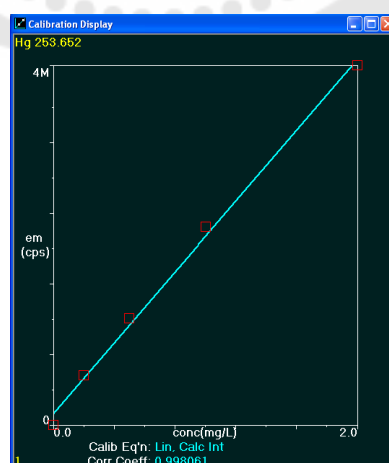
รหัส	ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ (mg/kg)			
	DBP	BPA	BBP	DNOP
TRT	9.29	11.66	0.00	0.00
CTI	4.61	12.03	0.00	0.00
RYG	5.87	14.97	0.00	0.00
CBI	5.69	8.84	0.00	0.00
PBI	0.00	0.00	0.00	1.00
PKN	12.31	6.80	0.00	0.00
CPN	12.22	11.30	0.00	0.00
RNG	13.57	16.27	0.00	0.00
PNA	12.68	20.42	0.00	0.00
PKT	17.74	7.70	0.00	0.00
KBI	19.25	13.88	0.00	0.00

4. โลหะหนัก

ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานโลหะหนัก 11 ชนิด ที่ 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0, 0.2, 0.4, 0.8 และ 12.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย Hg มีความเข้มข้นของสารมาตรฐานอยู่ที่ 0, 0.2, 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพประกอบที่ 19 – 20



ภาพประกอบ 19 กราฟสารมาตรฐานโลหะหนัก 10 ชนิด



ภาพประกอบ 20 กราฟสารมาตรฐาน Hg

ตาราง 63 ปริมาณโลหะหนักบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 1

รหัส	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)										
	As	Se	Mo	Pb	Co	Cd	Ni	Cr	Cu	Mn	Hg
TRT	0.00	5.26	11.99	0.00	0.00	0.19	87.95	146.38	6.11	18.60	0.00
CTI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RYG	0.32	0.00	0.46	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	98.91	0.00
CBI	0.04	4.64	3.63	0.00	0.00	0.00	6.62	66.43	6.16	35.91	0.00
PBI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41	0.00
PKN	0.52	0.68	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	196.51	0.00
CPN	1.11	0.00	1.09	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	21.83	0.00
RNG	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PNA	0.00	0.00	13.25	0.00	0.00	0.02	22.25	106.90	1.09	0.00	0.00
PKT	0.00	0.00	22.12	0.00	0.00	0.12	33.81	145.23	0.55	0.19	0.00
KBI	1.11	0.00	1.09	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	21.83	0.00

ตาราง 64 ปริมาณโลหะหนักบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 2

รหัส	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)										
	As	Se	Mo	Pb	Co	Cd	Ni	Cr	Cu	Mn	Hg
TRT	0.00	0.00	0.39	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CTI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.53	0.00
RYG	0.23	0.00	0.24	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.00	56.07	0.00
CBI	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.91	2.75	7.89	0.00	0.00	0.00
PBI	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	62.54	0.00
PKN	4.93	0.00	2.22	0.00	0.00	0.24	25.41	37.75	0.00	0.00	0.00
CPN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RNG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PNA	1.56	0.00	3.57	0.00	0.00	0.21	28.52	60.15	6.00	0.00	0.00
PKT	0.40	0.00	0.13	0.00	0.00	1.29	0.00	5.48	0.00	0.00	0.00
KBI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81	0.00	1.32	1.24	0.00	0.00

ตาราง 65 ปริมาณโลหะหนักบริเวณชายหาดอ่าวไทยและชายหาดอันดามันครั้งที่ 3

รหัส	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)										
	As	Se	Mo	Pb	Co	Cd	Ni	Cr	Cu	Mn	Hg
TRT	0.14	1.48	5.85	1.92	11.61	2.20	185.28	112.52	1.07	39.99	0.00
CTI	8.37	1.97	9.70	4.38	8.00	1.78	277.46	200.76	3.64	356.75	0.00
RYG	4.20	0.00	3.37	2.41	15.13	2.19	102.41	70.73	2.14	564.75	0.00
CBI	0.13	0.00	0.00	2.42	9.80	1.92	0.00	10.00	1.15	31.47	0.00
PBI	2.10	0.00	0.00	3.82	24.01	2.44	0.00	27.59	0.00	630.57	1.29
PKN	3.49	0.43	0.18	8.40	8.53	2.34	3.74	14.10	0.78	370.82	0.00
CPN	2.62	0.00	0.15	5.10	12.30	2.18	13.69	9.84	0.00	126.64	0.00
RNG	3.21	0.00	4.83	1.75	19.31	2.50	22.93	10.38	0.00	35.78	0.00
PNA	1.75	11.74	18.63	11.58	1.67	1.15	559.22	283.74	18.36	47.82	0.00
PKT	1.18	1.48	5.55	5.32	6.60	5.15	124.83	75.63	2.59	9.79	0.00
KBI	2.58	0.00	4.42	3.12	7.94	2.63	101.09	64.87	2.98	31.63	0.00

ประวัติผู้เขียน

