

ความหนาแน่นและประเภทของไมโครพลาสติกในดินตะกอน
บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออก
Density and types of microplastics in sediments
along the coast of the eastern Gulf of Thailand

เบญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล¹, อุมามพร พลายระหาร², ชลี ไพบูลย์กิจกุล¹
Benjamas Paibulkichakul¹, Aumaporn Phlayrahan², Chalee Paibulkichakul¹

¹คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

²คณะอัญมณี มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

¹Faculty of Marine Technology, Burapha University Chanthaburi Campus, Chanthaburi Province

²Faculty of Gems, Burapha University Chanthaburi Campus, Chanthaburi Province

Corresponding author: benjamas@buu.ac.th

Received: Aug 10, 2023

Revised: Aug 16, 2023

Accepted: Aug 24, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นและประเภทของไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกในฤดูร้อนและฤดูฝน ระหว่างเดือนเมษายน – กรกฎาคม พ.ศ. 2564 ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินสถานีละ 3 ซ้ำจากจังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี โดยจังหวัดชลบุรีและระยอง เก็บตัวอย่างจังหวัดละ 3 สถานี ส่วนจังหวัดจันทบุรีเก็บ 4 สถานี เก็บตัวอย่างดินตะกอนห่างจากชายฝั่งทะเล 1 กิโลเมตร โดยใช้ Petersen grab ทำการสกัดไมโครพลาสติกออกจากดินตะกอนด้วยวิธี Masura *et al.* (2015) จำแนกลักษณะรูปร่างด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 40X ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZX7 และจำแนกประเภทโพลีเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยใช้ FT-IR

ผลการศึกษาพบว่า ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกในดินตะกอนสถานีจังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี เท่ากับ 31.13 ± 10.97 , 64.6 ± 57.18 และ 37.71 ± 12.27 ขึ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ ไมโครพลาสติกสถานีจังหวัดระยองมีความหนาแน่นสูงกว่าบริเวณจังหวัดชลบุรีและจันทบุรีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกในดินตะกอนระหว่างฤดูร้อน (86.20 ± 38.00 ขึ้นต่อตารางเมตร) และฤดูฝน (31.10 ± 25.20 ขึ้นต่อตารางเมตร) มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ลักษณะรูปร่างของไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นลักษณะเส้นใย (61.0%) สำหรับประเภทโพลีเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบในดินตะกอนได้แก่ Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS) และพลาสติกประเภทอื่น ๆ ในสัดส่วน 47.5, 16.4, 4.9 และ 31.1% ตามลำดับ จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าความหนาแน่นของไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกมีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชายฝั่งทะเลของหลายประเทศ

คำสำคัญ: ความหนาแน่นไมโครพลาสติก, ประเภทไมโครพลาสติก, ดินตะกอน, ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออก

Abstract

The objective of this research was to examine the density and types of microplastics present in the coastal sediment along the eastern coast of the Gulf of Thailand in the summer and the rainy seasons during April to July, 2021. Sediment samples were collected with three replicates per station from Chonburi, Rayong, and Chanthaburi Provinces. Chonburi and Rayong collected three stations per province, while Chanthaburi collected four stations. The samples were collected 1 kilometer away from the coastline using a Petersen grab. The microplastics were extracted using the method described by Masura *et al.* (2015). The morphological characteristics were analyzed using an Olympus SZX7 microscope at 40X magnification, and the polymer types of microplastics were identified using FT-IR.

The study demonstrated that the density of microplastics in the sediment of Chonburi, Rayong, and Chanthaburi Provinces was 31.13 ± 10.97 , 64.6 ± 57.18 , and 37.71 ± 12.27 item m^{-2} , respectively. Rayong Province exhibited significantly higher microplastic density than Chonburi and Chanthaburi Provinces ($p < 0.05$). The density of microplastics in the sediment varied between the summer season (86.20 ± 38.00 item m^{-2}) and the rainy season (31.10 ± 25.20 item m^{-2}), but the difference was not statistically significant ($p > 0.05$). The majority of microplastics had a fibrous shape (61.0%). Analysis of the polymer types of microplastics in the coastal sediment revealed the presence of polyethylene (PE), polypropylene (PP), polystyrene (PS), and other plastic types in proportions of 47.5, 16.4, 4.9 and 31.1%, respectively. Overall, the study suggests that the density of microplastics along the coastal sediment of the eastern coast of the Gulf of Thailand was relatively low compared to coastal areas in other countries.

Keywords: Density of microplastic, Type of microplastic, Sediment, The Eastern Gulf of Thailand

บทนำ

พลาสติกได้ถูกนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวัน คาดว่าจะมีแนวโน้มการใช้พลาสติกเพิ่มขึ้นในอนาคต (PlasticsEurope, 2018; Jambeck *et al.*, 2015) ขยะไมโครพลาสติกหมายถึง ขยะที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร แบ่งที่มาได้เป็น 2 ประเภท คือ ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Primary microplastics) ผลิตมาจากโรงงานอุตสาหกรรมตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น สครับขัดผิว และไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary microplastics) เกิดจากพลาสติกขนาดใหญ่ที่แตกหัก ผุกร่อนจนกลายเป็นขยะที่มีขนาดเล็กซึ่งมีได้หลายรูปแบบ เช่น เส้นใย (Fiber) ฟิล์ม (Film) และชิ้นส่วน (Fragment) เป็นต้น (GESAMP, 2016)

มีรายงานว่าไมโครพลาสติกที่มีพื้นผิวขนาดเล็กนี้ สามารถตกค้างในสิ่งแวดล้อมซึ่งก่อให้เกิดการสะสมพิษต่าง ๆ ในห่วงโซ่อาหารได้ (Persistent bio-accumulative and toxic substances; PBTs) เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) ซึ่งละลายในน้ำได้ยากและไม่รวมตัวกับน้ำแต่จะเป็นอนุภาคที่เป็นแกนในการดูดซับสารที่อยู่ในแหล่งน้ำรวมถึงโลหะที่ละลายอยู่ในน้ำ และสารรบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อ สารอินทรีย์ที่มีการตกค้างยาวนาน (Persistent Organic Pollutants; POPs) และไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เช่น

Polychlorinated Biphenyls (PCBs) (Cole *et al.*, 2011) ไมโครพลาสติกสามารถสะสมในตัวกลางที่หลากหลาย ในสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นในน้ำ ตะกอนดินและในสัตว์น้ำ เนื่องจากไมโครพลาสติกมีขนาดอนุภาคเล็ก น้ำหนักเบา และลอยน้ำได้จึงมักหลุดรอดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียและไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (Kittipongvises *et al.*, 2019) และสะสมในดินตะกอน (Jones *et al.*, 2020) สิ่งมีชีวิตที่อาศัยในทะเลได้รับผลกระทบเนื่องจากการกลืนกิน ไมโครพลาสติกซึ่งพบแนวโน้มว่าส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลและชายฝั่ง (Hale *et al.*, 2020) และยังคงผล ทำให้เกิดการสะสมสารพิษชนิดต่าง ๆ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตและยังสามารถถ่ายทอดไปในห่วงโซ่อาหาร (Setälä *et al.*, 2018) ทำให้มนุษย์ที่ได้บริโภคสัตว์น้ำเหล่านั้นจะมีโอกาสได้รับสารพิษที่มีการปนเปื้อนร่วมอยู่ด้วยกับไมโครพลาสติกซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในที่สุด (Campanale *et al.*, 2020)

กิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งทะเลทำให้มีแนวโน้มพบการสะสมของ ไมโครพลาสติกมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมการประมง การคมนาคมทางทะเล การขยายตัวของชุมชนเมือง และการท่องเที่ยว (Akkajit *et al.*, 2019) เมื่อมีไมโครพลาสติกทั้งที่เป็นประเภทพลาสติกและทุติยภูมิเกิดขึ้นในบริเวณ ทะเลและที่ใกล้เคียงจะสามารถถูกกระแสน้ำ คลื่น และลมในทะเลพัดพาอนุภาคขนาดเล็ก ตะกอนดิน และขยะไมโคร พลาสติกในรูปแบบต่าง ๆ ไปสะสมในบริเวณชายฝั่งทะเลได้ (Pa'suya *et al.*, 2015) ในประเทศไทยมีการศึกษาความ หนาแน่นของไมโครพลาสติกในบริเวณชายฝั่งทะเล ซึ่ง Department of Marine and Coastal Resources (2019) ศึกษาปริมาณไมโครพลาสติกในตะกอนดินทะเลอ่าวไทยและอันดามัน โดยเก็บตัวอย่างบริเวณตะกอนทรายบริเวณ ชายหาด 18 จังหวัด (ได้แก่ ตรัง จันทบุรี ระยอง ชลบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี นราธิวาส ระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล) เก็บตัวอย่างปีละ 2 ครั้ง ในฤดูร้อนและฤดูฝน ผลการศึกษาพบว่า ในฤดูร้อนพบความหนาแน่นของไมโครพลาสติกในช่วง 53 – 2,102 ชิ้นต่อตารางเมตร ขณะที่ใน ฤดูฝนพบในช่วง 0 – 974 ชิ้นต่อตารางเมตร และเมื่อนำข้อมูลมาพิจารณาโดยเฉพาะของบริเวณหาดเจ้าหลาว จังหวัด จันทบุรี พบปริมาณของไมโครพลาสติกเฉลี่ยในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 636.6 และ 262.3 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ จังหวัดระยอง บริเวณชายหาดเกาะมันในมีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ยในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 1,698 และ 498 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ และบริเวณเกาะขาม จังหวัดชลบุรี มีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ยในฤดูร้อน และฤดูฝนเท่ากับ 1,182 และ 799 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ ในขณะที่หาดพลอยแดง จังหวัดตรัง มีปริมาณ ไมโครพลาสติกเฉลี่ยในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 1,171 และ 0 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ

พื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกมีกิจกรรมที่ทำให้เกิดรายได้หลากหลายรูปแบบ อาทิ เป็นพื้นที่การ ท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมจากชาวต่างชาติและนักท่องเที่ยวชาวไทย เช่น จังหวัดชลบุรีในพื้นที่เมืองพัทยา สำหรับ จังหวัดระยองมีพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ซึ่งโรงงานภายในนิคมอุตสาหกรรมเป็นโรงงานฝ่ายผลิตทั้ง อุตสาหกรรมปิโตรเคมี กลั่นน้ำมัน เคมีภัณฑ์และของเหลว เหล็กและไฟฟ้า (Industrial Estate Authority of Thailand, 2020) จังหวัดจันทบุรีมีชายหาดเจ้าหลาวเป็นพื้นที่ที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวแม้ว่าจะไม่มากนักเมื่อ เปรียบเทียบกับพื้นที่พัทยา จากที่กล่าวมาข้างต้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นและประเภท ของไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกในฤดูร้อนและฤดูฝนในบริเวณจังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี เพื่อเป็นการประเมินความหนาแน่นและประเภทของไมโครพลาสติกซึ่งเป็นข้อมูลประกอบที่นำไปสู่ แนวทางในการบริหารจัดการเพื่อลดปัญหาขยะทะเล อีกทั้งยังเป็นการรักษาภาพลักษณ์ที่ดีของประเทศไทยในแง่

การรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของสหประชาชาติที่ว่าด้วยเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDG)

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างดินตะกอนจากสถานีจังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี โดยจังหวัดชลบุรีและระยองเก็บตัวอย่างจังหวัดละ 3 สถานี (สถานีละ 3 ซ้ำ) ส่วนจังหวัดจันทบุรีเก็บ 4 สถานี (สถานีละ 3 ซ้ำ) พิกัดสถานีเก็บตัวอย่างดัง Table 1 และ Figure 1

Table 1 Position of sampling station at 3 Province in the eastern coast of the Gulf of Thailand.

Station	Site - Province	Easting	Northing
CBI1	North-Pattaya, Chonburi	12.98071	100.90408
CBI2	Central-Pattaya, Chonburi	12.93295	100.87155
CBI3	South-Pattaya, Chonburi	12.82695	100.89831
RYG1	Phayun Beach, Rayong	12.67006	101.0684
RYG2	Map Ta Phut Industrial Estate, Rayong	12.66307	101.18002
RYG3	Laem Charoen, Rayong	12.65076	101.2747
CTI1	Kung Krabaen Bay, Chanthaburi	12.58796	101.89377
CTI2	Laem Sadet, Chanthaburi	12.56284	101.89783
CTI3	Chao Lao Beach, Chanthaburi	12.54504	101.91963
CTI4	Khaem Nu Estuaries, Chanthaburi	12.53442	101.95291

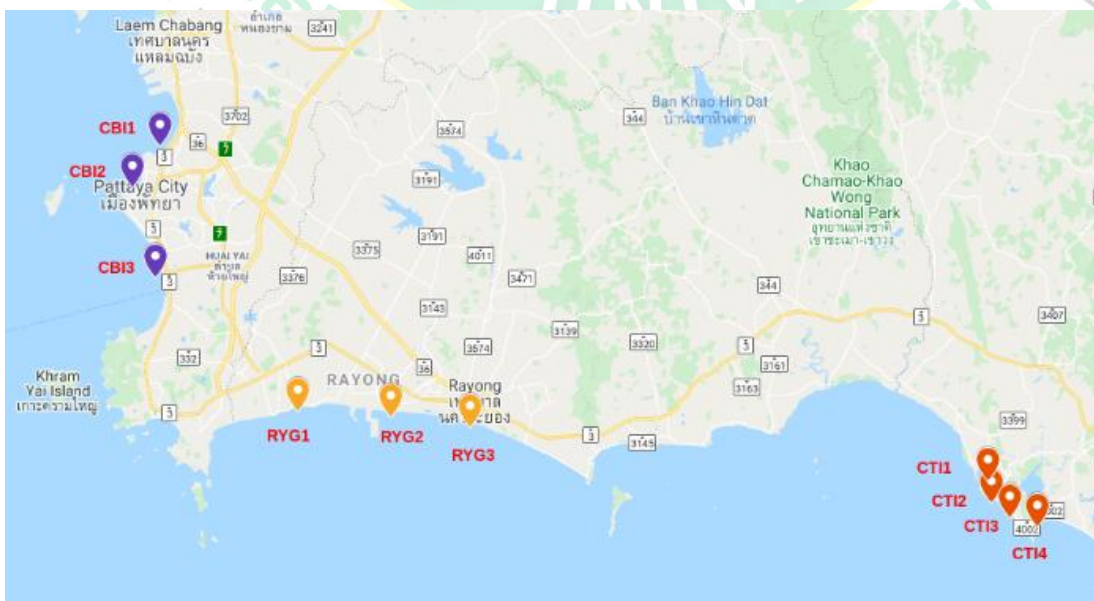


Figure 1 The location of the sediment sampling in the eastern coast of the Gulf of Thailand.

2. การเก็บตัวอย่างดินตะกอน

ใช้ Petersen grab เก็บตัวอย่างดินตะกอนที่อยู่ห่างจากชายฝั่งประมาณ 1 กิโลเมตร น้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก โดยเก็บในฤดูร้อน (เมษายน 2564) และฤดูฝน (กรกฎาคม 2564) จากนั้นนำดินไปตากจนแห้งแล้วนำร่อนผ่าน Sieve เบอร์ 4 แล้วนำดินไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนกว่าดินจะแห้งสนิท

3. การสกัดไมโครพลาสติกในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนการคัดแยกและการสกัดไมโครพลาสติกออกจากตะกอนดินดัดแปลงจาก Masura *et al.* (2015) โดยอาศัยหลักการความหนาแน่นโดยการเติมสารละลายเกลือ (NaCl) นำน้ำใส่เทผ่านผ้ากรองขนาด 300 ไมโครเมตร จากนั้นนำมาย่อยสารอินทรีย์ ด้วยวิธีออกซิเดชันเปอร์ออกไซด์ (Wet Peroxide Oxidation; WPO) โดยการเติมสารละลาย 0.05 M Fe (II) แล้วเติม 30% H₂O₂ ให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลาประมาณ 10 นาที เติม NaCl จำนวน 6 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร และคนจนกว่า NaCl จะละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 20 - 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นให้นำสารละลายไมโครพลาสติกที่อยู่ในบีกเกอร์เทออกมารองลงในกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตรโดยใช้ Suction pump ปลอ่ยให้กระดาษกรองแห้งสนิท แล้วปิดด้วยฟอยล์อลูมิเนียมทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อนับปริมาณและสังเกตรูปร่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์กล้องสเตอริโอไมโครสโคปกำลังขยาย 40X ยี่ห้อ Olympus รุ่น SZX7 จำแนกประเภทโพลีเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยใช้ FT-IR

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตรวจสอบความหนาแน่นของไมโครพลาสติกที่แตกต่างกันในระหว่างฤดูกาล และสถานีเก็บตัวอย่าง โดยการตรวจสอบการกระจายของข้อมูลว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติหรือผิดปกติด้วยวิธี Shapiro Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในกรณีข้อมูลมีการกระจายแบบปกติทำการตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มด้วย Bartlett's Test ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ตรวจสอบความแตกต่างของความหนาแน่นไมโครพลาสติกที่พบด้วยวิธี T-Test และ Analysis of variance และวิเคราะห์ความแตกต่าง ค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ถ้าข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติทำการวิเคราะห์ ข้อมูลด้วยวิธี Wilcoxon rank sum test และ Kruskal-Wallis Test และวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ด้วยวิธี Benjamini-Hochberg ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม R (Borcard *et al.*, 2011)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ไมโครพลาสติกในดินตะกอนจำแนกตามสถานีที่เก็บตัวอย่างพบความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 31.13±10.97 - 64.65±7.18 ชิ้นต่อตารางเมตร โดยความหนาแน่นที่พบมากที่สุดที่จังหวัดระยองเท่ากับ 64.6±7.18 ชิ้นต่อตารางเมตร และน้อยที่สุดที่จังหวัดชลบุรีเท่ากับ 31.13±10.97 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ (Table 2) ความหนาแน่นของค่าเฉลี่ยไมโครพลาสติกจำแนกตามรายจังหวัดพบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละพื้นที่ (p-value of Analysis of variance = 0.0134, p-value of Shapiro-Wilk test = 0.8218, p-value of Bartlett's test = 0.7718) โดยพบว่าไมโครพลาสติกบริเวณจังหวัดระยองมีความหนาแน่นสูงกว่าพื้นที่อื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ในขณะที่ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกบริเวณจังหวัดชลบุรี และจังหวัดจันทบุรีมีความหนาแน่นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) การที่สถานีจังหวัดระยองมีความหนาแน่นของไมโครพลาสติกมากกว่าอีก 2 สถานีอาจเนื่องจากว่าจังหวัดระยองมี

กิจกรรมบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมมากกว่าพื้นที่อื่นจึงอาจเป็นสาเหตุทำให้พบความหนาแน่นสูงกว่าพื้นที่อื่นอย่างมีนัยสำคัญ

Table 2 The average density of microplastics on Chonburi, Rayong and Chanthaburi Province from the eastern coast of the Gulf of Thailand.

Station	Density (Item m ⁻²)
Chonburi	31.13±10.97 ^b
Rayong	64.65±7.18 ^a
Chanthaburi	37.71±12.27 ^b

*The same letters are not significant difference (p>0.05).

ความหนาแน่นไมโครพลาสติกที่พบจากการศึกษาครั้งนี้ต่ำกว่าจากการรายงานของการศึกษาที่ผ่านมา เช่น การศึกษาของ Department of Marine and Coastal Resources (2019) เก็บตัวอย่างที่จังหวัดชลบุรี ระยอง และ จันทบุรีพบความหนาแน่นไมโครพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 990.5, 1098.0 และ 449.45 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ และน้อยกว่าการศึกษาของ Pat-iam *et al.* (2022) ที่บริเวณเกาะยอ จังหวัดสงขลา เก็บทั้งหมด 6 สถานี พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นไมโครพลาสติกมากที่สุด และน้อยที่สุดเท่ากับ 1,748±310.59 และ 281±526.34 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในแต่ละสถานี (p>0.05) ในต่างประเทศพบว่าความหนาแน่นของไมโครพลาสติกค่อนข้างจะมากกว่าในประเทศไทย อาทิ ในบริเวณชายฝั่งโปรตุเกสพบเฉลี่ย 185.1 ชิ้นต่อตารางเมตร (Martins and Sobral 2011) บริเวณชายหาดในอ่าวเม็กซิโกพบเฉลี่ย 133 ชิ้นต่อตารางเมตร (Alvarez-Zeferino *et al.*, 2020)

ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกจำแนกตามฤดูกาล พบว่าฤดูร้อนพบเท่ากับ 86.20±38.00 ชิ้นต่อตารางเมตร ในขณะที่ฤดูฝนพบเท่ากับ 31.10±25.20 ชิ้นต่อตารางเมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของไมโครพลาสติกระหว่างฤดูกาล พบว่าฤดูร้อนมีความหนาแน่นของไมโครพลาสติกสูงกว่าฤดูฝนอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p-value of T-test= 0.0839, p-value of Shapiro-Wilk test= 0.7838, p-value of Variance test= 0.6407) ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกเมื่อจำแนกตามสถานีเก็บตัวอย่างและฤดูกาล พบว่า บริเวณสถานีชลบุรีไม่พบตัวอย่างไมโครพลาสติกในฤดูฝน ส่วนในฤดูร้อนพบความหนาแน่นเท่ากับ 31.13±10.97 ชิ้นต่อตารางเมตร สถานีระยองพบไมโครพลาสติกในฤดูฝนเท่ากับ 26.34±27.20 ชิ้นต่อตารางเมตร ฤดูร้อนพบไมโครพลาสติกเท่ากับ 38.31±20.74 ชิ้นต่อตารางเมตร และสถานีจันทบุรีพบไมโครพลาสติกในฤดูฝน 14.37±0.00 ชิ้นต่อตารางเมตร และฤดูร้อนพบเท่ากับ 34.12±12.27 ชิ้นต่อตารางเมตร (Table 3)

Table 3 The average density of microplastics on Chonburi, Rayong and Chanthaburi Province.

Province	Density (Item m ²)	
	Rainy	Summer
Chonburi	0.00 ± 0.00	31.13 ± 10.97
Rayong	26.34 ± 27.20	38.31 ± 20.74
Chanthaburi	14.37 ± 0.00	34.12 ± 12.27

ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าความหนาแน่นไมโครพลาสติกสะสมในฤดูร้อนมากกว่าฤดูฝน อาจเนื่องจากในฤดูร้อนมีปริมาณน้ำฝนไหลลงสู่บริเวณชายฝั่งทะเลน้อยจึงอาจทำให้เกิดการสะสมของไมโครพลาสติกในบริเวณดังกล่าวมากกว่าในฤดูฝน ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับการศึกษาของ Department of Marine and Coastal Resources (2019) ศึกษาที่จังหวัดชลบุรีพบไมโครพลาสติกในฤดูร้อนและฝนเท่ากับ 1,182 และ 799 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ จังหวัดระยองพบไมโครพลาสติกในฤดูร้อนและฝนเท่ากับ 1,698 และ 498 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ จังหวัดจันทบุรีพบไมโครพลาสติกในฤดูร้อนและฝนเท่ากับ 636.6 และ 262.3 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ Kreekrinut *et al.* (2019) พบว่าไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณชายหาดอ่าวไทยตอนล่างทั้ง 5 สถานีในฤดูแล้ง (566.2 ชิ้นต่อตารางเมตร) พบได้ความหนาแน่นมากกว่าในฤดูฝน (364.8 ชิ้นต่อตารางเมตร) และ Jualaong *et al.* (2021) พบว่าความหนาแน่นไมโครพลาสติกในดินตะกอนฤดูแล้ง (1,698 ชิ้นต่อตารางเมตร) มากกว่าในฤดูฝน (799 ชิ้นต่อตารางเมตร) การที่พบความหนาแน่นไมโครพลาสติกในดินตะกอนในบางพื้นที่และบางช่วงเวลานั้นไม่ได้บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของชายหาดอย่างถาวรเนื่องจากไมโครพลาสติกสามารถถูกทำให้เคลื่อนที่ได้ด้วยกระแสน้ำ คลื่น น้ำขึ้นน้ำลง และกระบวนการกัดเซาะชายฝั่งซึ่งล้วนส่งผลต่อไมโครพลาสติกที่พบ (Jualaong *et al.*, 2021)

ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าลักษณะรูปร่างของไมโครพลาสติกในดินตะกอนส่วนใหญ่เป็นเส้นใย (Fiber) เท่ากับ 61.6 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นลักษณะอื่น ๆ เช่น แผ่นหน้าทึบ (Fragment) ก้อน (Sphere) แผ่นบางใส (Film) และแท่ง (Rod) เท่ากับ 10.6, 10.3, 9.4 และ 7.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสถานีจังหวัด ชลบุรีพบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยสูงสุด (62.0%) รองลงมาได้แก่แผ่นหน้าทึบ (15.0%) และก้อน (15.0%) สถานีจังหวัดระยองพบลักษณะรูปร่างของไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ได้แก่ เส้นใย (52.0%) แท่ง (19.0%) และแผ่นบางใส (11.0%) และบริเวณสถานีจังหวัดจันทบุรี พบไมโครพลาสติกส่วนใหญ่มีรูปร่างเส้นใย (71.0%) รองลงมาได้แก่ แผ่นบางใส (9.5%) และแผ่นหน้าทึบ (9.5%) ผลการศึกษาค้นคว้าเมื่อพิจารณาในแต่ละฤดูกาลพบว่าในฤดูร้อนส่วนใหญ่พบรูปร่างเส้นใย (67.0%) ก้อน (12.0%) แผ่นหน้าทึบ (10.0%) และ แผ่นบางใส (10.0%) ในขณะที่ฤดูฝนพบรูปร่างแท่ง (46.0%) เส้นใย (38.0%) แผ่นหน้าทึบ (7.7%) และแผ่นบางใส (7.7%)

ดังนั้นจากผลการศึกษาค้นคว้า พบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยมากที่สุด ซึ่งเป็นแนวโน้มที่พบคล้ายกับการศึกษาที่ผ่านมา เช่น Pat-iam *et al.* (2022) ศึกษาในตะกอนดินบริเวณเกาะยอ จังหวัดสงขลา พบว่าส่วนใหญ่มี 2 รูปร่าง คือ เส้นใยและพลาสติกที่เป็นเศษแตกหัก (Fragment) แต่พบรูปร่างเส้นใยได้มากกว่า Kreekrinut (n.d.) พบว่าในตะกอนดินบริเวณชายหาดอ่าวไทยตอนล่างพบไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างแบบเส้นใย ขึ้นส่วนไว้รูปแบบ และรูปร่างแบบแผ่น เท่ากับ 70%, 26% และ 4% ตามลำดับ Jang *et al.* (2014) ศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกใน

ตะกอนดินบริเวณชายหาดในประเทศเกาหลีใต้พบว่าส่วนใหญ่มีรูปร่างเส้นใย (55%) แผ่นหนาทึบ (16%) รูปทรงโคม (12%) แผ่นบางใส (11%) และรูปทรงอื่น ๆ (6%) Donsomchit *et al.* (2020) พบว่าไมโครพลาสติกในดินตะกอนมีรูปร่างเส้นใย แผ่นหนาทึบ และโคม เท่ากับ 34%, 44% และ 16% ตามลำดับ Jualoong *et al.* (2021) พบว่าไมโครพลาสติกในดินตะกอนพบรูปร่างเส้นใยมากที่สุดอยู่ระหว่าง 46.9 – 100% ซึ่งเช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Qiu *et al.* (2015) และ Mathalon and Hill (2014)

การที่พบไมโครพลาสติกรูปร่างหลากหลายอาจมาจากแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุที่แตกต่างกัน เช่น รูปร่างเส้นใยอาจมาจากเศษเสื้อผ้าของมนุษย์ที่มีการซักเสื้อผ้า หรือเครื่องมือ – อุปกรณ์ที่ทำการประมง เช่น เชือก ตาข่าย เ็น อวน แห กระชัง เป็นต้น (Cardia and Lovatelli, 2015) รวมถึงเศษเชือกจากเรือท่องเที่ยว (Green *et al.*, 2018) ในขณะที่รูปร่างแผ่นหนาทึบซึ่งอาจมาจากแหล่งกำเนิดประเภทขวดน้ำหรือพลาสติกชิ้นใหญ่ที่แตกหักกลายเป็นชิ้นเล็ก ๆ การที่พบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยเป็นลักษณะเด่นของหลายพื้นที่การศึกษาเนื่องมาจากพลาสติกกลุ่มนี้มีความหนาแน่นต่ำทำให้ลอยตัวอยู่เสมอจึงถูกคลื่นลมพัดพาไปได้ในระยะไกล (Kooi *et al.*, 2016) สำหรับการสะสมไมโครพลาสติกในตะกอนดินนั้นในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันซึ่งเกิดได้จากหลายปัจจัยและมีความซับซ้อนแตกต่างกัน (Woodall *et al.*, 2014) ซึ่งไมโครพลาสติกเหล่านี้มีความหนาแน่นแตกต่างกันจึงถูกพัดพาโดยกระแสน้ำ คลื่น ลมและปะปนเปื้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้แตกต่างกัน (Habib *et al.*, 1998)

พลาสติกบางประเภทสามารถนำมารีไซเคิลซึ่งต้องเป็นพลาสติกจำพวก Thermoplastic แบ่งได้เป็น 7 ประเภทตั้งแต่ประเภทที่ 1 ถึง 7 ดังนี้ PET (Polyethylene terephthalate), HDPE (High density polyethylene หรือ PE), PVC (Polyvinyl chloride), LDPE (Low density polyethylene), PP (Polypropylene), PS (Polystyrene) และ Other (ประเภทอื่น ๆ หรือเรียกว่าประเภทที่ 7) ซึ่ง Other ได้แก่ พลาสติกนอกเหนือจาก 6 ประเภทที่กล่าวมานี้ (Thai Plastic Industries Association, 2021) ซึ่งเมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับผลการศึกษาคั้งนี้พบว่าประเภทของไมโครพลาสติกในดินตะกอนได้แก่ PE, PP, PS และ พลาสติกประเภทอื่น ๆ ในสัดส่วนเท่ากับ 47.5, 16.4, 4.9 และ 31.1% ตามลำดับ เมื่อจำแนกประเภทไมโครพลาสติกตามสถานีเก็บตัวอย่างพบว่า สถานีจังหวัดชลบุรีและระยองพบไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นประเภท PE และตามด้วยพลาสติกประเภทอื่น ซึ่งชลบุรีและระยองพบพลาสติกประเภท PE เท่ากับ 47.6 และ 55.6% ตามลำดับ อีกทั้งพลาสติกประเภทอื่น ๆ ที่พบในจังหวัดชลบุรีและระยองเท่ากับ 23.8% และ 29.6% ตามลำดับ (Table 4) ส่วนสถานีจังหวัดจันทบุรี พบไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ได้แก่ประเภทอื่น ๆ และ PE โดยพลาสติกในประเภทอื่น ๆ ที่พบบริเวณจังหวัดชลบุรีได้แก่ Nylon, Polyester, Polytetrafluoroethylene (PTFE) และ Polyvinylidene chloride (PVDC) สถานี จังหวัดระยองพบพลาสติกประเภทอื่น ๆ ได้แก่ Nylon, Polyester, Polytetrafluoroethylene (PTFE), Polyvinylidene chloride (PVDC), Polyvinyl alcohol (PVA) และ Polyethylenimine (PEI) และสถานี จังหวัดจันทบุรีพบพลาสติกประเภทอื่น ๆ ได้แก่ Nylon, Polyester, Polytetrafluoroethylene (PTFE) และ Polyvinylidene chloride (PVDC)

Table 4 Percent of microplastics separated by types in sediment on Chonburi, Rayong and Chanthaburi Province

Type	Chonburi	Rayong	Chanthaburi	Total
PE	47.6	55.6	30.8	47.5
PP	14.3	14.8	23.1	16.3
PS	14.3	0.0	0.0	4.9
Other	23.8	29.6	46.2	31.2

ประเภทของไมโครพลาสติกในดินตะกอนจำแนกตามฤดูกาลพบว่าในฤดูร้อนเท่ากับ 78.7% และฤดูฝนเท่ากับ 21.3% เมื่อพิจารณาทั้งสองฤดูกาลพบว่าประเภทของไมโครพลาสติกในดินตะกอนส่วนใหญ่ได้แก่ PE และพลาสติกประเภทอื่น ๆ โดยจากการศึกษาพบว่าในฤดูร้อนพบประเภท PE 47.9% , PP 20.8%, PS 4.2% และประเภทอื่น ๆ 27.1% ตามลำดับ ในขณะที่ฤดูฝนพบพลาสติกประเภท PE 46.2%, PS 7.7% และ Other 46.2% (Table 5)

Table 5 Percent of microplastics separated by types in sediment in summer and rainy seasons.

Types	Summer	Rainy
PE	47.9	46.2
PP	20.8	0.0
PS	4.2	7.7
Other	27.1	46.2

เมื่อสำรวจผลการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับประเภทของไมโครพลาสติกในดินตะกอนทั้งในและต่างประเทศพบว่า ส่วนใหญ่พบ PE, PP และ PS อาทิ Department of Marine and Coastal Resources (2019) รายงานว่าพบประเภทของไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ได้แก่ PE, PET, PS, PP โดยแต่ละสถานีพบการแพร่กระจายแตกต่างกัน เช่น บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกในฤดูร้อนพบว่ามีไมโครพลาสติกประเภท PET (28.99%), PP (16.53%) และ PS (7.30%) ตามลำดับ ในขณะที่ในฤดูฝนพบประเภท Nylon (39.50%), PET (31.60%) และ PE (6.93%) ตามลำดับ Kreekrinut *et al.* (2019) ศึกษาไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณชายหาดอ่าวไทยตอนล่างทั้ง 5 สถานี พบว่าประเภทของไมโครพลาสติกที่พบเรียงจากมีมากไปน้อย ได้แก่ PET, PE, PVC, PP, PS และ PA ตามลำดับ

Karthik *et al.* (2018) ศึกษาประเภทไมโครพลาสติกในตะกอนทรายชายหาดประเทศอินเดียบริเวณชายฝั่งของ Tamil Nadu เก็บตัวอย่างทั้งหมด 25 สถานี ผลการศึกษาพบว่าไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นประเภท PE (45.98%), PP (19.41%) และ PS (17.41%) ที่เหลือเป็นประเภทอื่น ๆ และยังมีการศึกษาไมโครพลาสติกในตะกอนดินบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดย Ta and Babel (2020) พบว่าประเภทเฉลี่ยของไมโครพลาสติกที่พบทั้งในเขตที่ 1 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการทำเกษตรกรรมและชุมชนอยู่กันแบบไม่หนาแน่นได้แก่ บริเวณเขตอำเภอป่าโมกข์ จังหวัดอ่างทอง และในเขตที่ 2 เป็นพื้นที่เขตชุมชนเมืองซึ่งมีประชากรอยู่กันแบบหนาแน่นได้แก่ บริเวณท่าพระจันทร์ กรุงเทพมหานคร พบไมโครพลาสติกประเภท PE (50%) PP (22.5%) นอกจากนั้นจะเป็นประเภทอื่นอีก 27.5% เช่น co-polymer

การศึกษาของ Alvarez-Zeferino *et al.* (2020) ศึกษาประเภทไมโครพลาสติกในตะกอนทรายชายหาดของประเทศ Mexico พบว่า ไมโครพลาสติกที่พบดังนี้ PE (56 %), PP (21 %), PS (12 %) และประเภทอื่น ๆ (11%)

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณจังหวัดชลบุรี ระยอง และจันทบุรี มีความหนาแน่นเท่ากับ 31.13 ± 10.97 , 64.65 ± 7.18 และ 37.71 ± 12.27 ขึ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ ไมโครพลาสติกสถานี้จังหวัดระยองมีความหนาแน่นสูงกว่าบริเวณจังหวัดชลบุรีและจันทบุรีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ความหนาแน่นของไมโครพลาสติกในระหว่างฤดูร้อนและฤดูฝนแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ลักษณะรูปร่างของไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ได้แก่ เส้นใย (61.0%) ไมโครพลาสติกในดินพบประเภท PE, PP, PS และพลาสติกประเภทอื่น ๆ ในสัดส่วน 47.5%, 16.4%, 4.9% และ 31.1% ตามลำดับ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าความหนาแน่นไมโครพลาสติกในดินตะกอนบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกอยู่ในระดับต่ำกว่าในหลายประเทศ ข้อเสนอแนะคืออาจต้องมีการติดตามตรวจสอบความหนาแน่นไมโครพลาสติกที่สะสมอยู่ในสัตว์น้ำที่ลากหลายชนิดพันธุ์ และในหลายพื้นที่ในบริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตะวันออกเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน จากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงาน คณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี สำหรับสถานที่ในการทำวิจัยบางส่วน

เอกสารอ้างอิง

- Akkajit, P., Thongnonghin, S., Sriraksa, S. and Pumsri, S. 2019. Preliminary study of distribution and quantity of plastic-debris on beaches along the coast at Phuket Province. *Applied Environmental Research*. 42: 54–62.
- Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A. A., Martínez-Salvador, C. and Vázquez-Morillas, A. 2020. Microplastics in Mexican beaches. *Resources, Conservation and Recycling*. 155:104633.
- Borcard, D., Gillet, F. and Legendre, P. 2011. *Numerical ecology with R*. New York: Springer.
- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. and Uricchio, V. 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: 1212-1238.
- Cardia, F. and Lovatelli, A. 2015. *Aquaculture operations in floating HDPE cages: a field handbook*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 593 p.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., and Galloway, T.S. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*. 62: 2588-2597.

- Department of Marine and Coastal Resources. 2019. Annual report. 120 p. [in Thai]
- Donsomchit, P., Prarat, P., Hongswat, P. and Chouychai, B. 2020. Distribution of microplastics in seawater and sediment along the Coast of Rayong Province. pp. 1–10. In Proceedings 2nd National Conference in Science, Technology and Innovation (NCST). Loei Rajaphat University. [in Thai]
- GESAMP. 2016. Source, fate, and effects of microplastics in the marine environment: Part two of a global assessment, Kershaw, P.J., and Rochman, C.M. (Eds.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/ UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93: 220 p.
<http://www.gesamp.org/publications>.
- Green, D. S., Kregting, L., Boots, B., Blockley, D. J., Brickle, P., Da Costa, M., and Crowley, Q. 2018. A comparison of sampling methods for seawater microplastics and a first report of the microplastic litter in coastal waters of Ascension and Falkland Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 137: 695-701.
- Habib, D., Locke, D.C., and Cannone, L.J. 1998. Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water, Air, and Soil Pollution*.103: 1–8.
- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., and Zeng, E.Y. 2020. A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research Oceans*. 125, e2018JC014719.
- Industrial Estate Authority of Thailand. 2020. Data about Maptaphut area. Available:
<https://www.ieat.go.th/investment/about-industrial-estates/industrial-estates-in-thailand> [in Thai]
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., and Law, K., 2015. Marine pollution: Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*. 347: 768 – 771.
- Jang, Y.C., Lee, J., Hong, S., Lee, J.S., Shim, W.J. and Song, Y.K. 2014. Sources of plastic marine debris on beaches of Korea: More from the ocean than the land. *Ocean Science Journal*. 49(2): 151-162.
- Jones, K.L., Hartl, M.G., Bell, M.C. and Capper, A. 2020. Microplastic accumulation in a *Zostera marina* L. bed at Deerness Sound, Orkney, Scotland. *Marine Pollution Bulletin*. 152: 110883.
- Jualaong, S., Pransilpa, M., Pradit, S. and 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: 1402 – 1419.
- Karthik, R., Robin, R.S., Purvaja, R., Ganguly, D., Anandavelu, I., Raghuraman, R., Hariharan, G., Ramakrishna, A. and Ramesh, R. 2018. Microplastics along the beaches of southeast coast of India. *Science of the Total Environment*. 645: 1388-1399.

- Kittipongvises, S., Phetrak, A., Lohwacharin, J. and Polprasert, J. 2019. Microplastic pollution in raw wastewater and wastewater treatment systems. *Environmental Journal*. 23(1): 1 – 10. [in Thai]
- Kooi, M., Reisser, J., Slat, B., Ferrari, F, Schmid, M., Cunsolo, S., Brambini, R., Noble, K., Sirks, L., Linders, T., Schoeneich-Argent, R., and Koelmans, A. 2016. The effect of particle properties on the depth profile of buoyant plastics in the ocean. *Scientific Report*. 6(33882): 1–10.
- Kreekrinut, T., Puttapreecha, R., Suksuwan, R., Chomanee, R. and Hawae, N. n.d. The contamination of microplastics in sediment beach area, Lower Gulf of Thailand. 9 p. [in Thai]
- Kreekrinut, T., Puttapreecha, R., Suksuwan, R., Tangjai, R., and Saisahat, R. 2019. The contamination of microplastics in sediment beach area, Lower Gulf of Thailand. Available: <https://www.dmcr.go.th/detailLib> [in Thai]
- Martins, J. and Sobral, P. 2011. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: A matter size?. *Marine Pollution Bulletin*. 62(12): 2649-2653.
- Masura, J., Baker, J. Foster, G., and Arthur, C. 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
- Mathalon, A. and Hill, P. 2014. Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor, Nova Scotia. *Marine Pollution Bulletin*. 81: 69–79.
- Pa'suya, M.F., Peter, B., Md Din, A.H. and Omar, K. 2015. Sea Surface current in the Gulf of Thailand based on nineteen years altimetric data and GPS tracked drifting buoy. The 36th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2015). Fostering Resilient Growth in Asia. Lagmay, A.M. (Eds.). Asian Association on Remote Sensing.
- Pat-iam, S., Wichachucherd, B. and Rodcharoen, E. 2022. An Accumulation of microplastics in sediment and benthic fauna at Koh Yo, Songkhla Province. *Burapha Science Journal*. 27(1): 451– 466. [in Thai]
- PlasticsEurope. 2018. Plastics – The Facts 2018: An Analysis of European Plastic Production, Demand and Waste Data. www.plasticseurope.org. 60 pdf.
- Qiu, Q.; Peng, J.; Yu, X.; Chen, F.; Wang, J.; and Dong, F. 2015. Occurrence of microplastics in the coastal marine environment: First observation on sediment of China. *Marine Pollution Bulletin*. 98: 274–280.
- Setälä, O., Lehtiniemi, M., Coppock, R., and Cole, M. 2018. Microplastics in marine food webs. In *Microplastic contamination in aquatic environments* (pp. 339-363). Elsevier.
- Ta, A. and Babel, S. 2020. Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Chao Phraya River Estuary, Thailand. *Marine Pollution Bulletin*. 161: 111747.

Thai Plastic Industries Association. 2021. Types of plastics. Available:

<https://www.tpia.org/index.php/book/e-journal> [in Thai]

Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J, Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy, B.E., and Thompson, R.C. 2014. The deep sea is a major sink for microplastic debris. Royal Society Open Science. 1: 1–8.

