



ปริมาณและลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
ที่ชะละลายจากพลาสติก

โดย

สุดารัตน์ เอี่ยมครอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2567

Quantity and Fluorescence Properties of Dissolved
Organic Matter Leached from Plastics

BY

SUDARAT AIAMKHRONG



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2024

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

สุดาร์ตน์ เอี่ยมครอง

เรื่อง

ปริมาณและลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำ
ที่ชะละลายจากพลาสติก

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

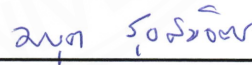
เมื่อ วันที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2568

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไตรเทพ วิชัยโกวิทเพน)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มารุต สุขสมจิตร์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม



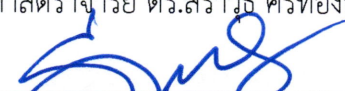
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา ชูอักษร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ ศรีทองอุทัย)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเพชร จิระจกรกุล)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปริมาณและลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ชะละลายจากพลาสติก
ชื่อผู้เขียน	สุภารัตน์ เอี่ยมครอง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มารุต สุขสมจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา ชูอักษร
ปีการศึกษา	2567

บทคัดย่อ

ขยะพลาสติกที่ลงสู่แหล่งน้ำสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้หลากหลายรูปแบบ โดยหนึ่งในผลกระทบที่เกิดขึ้นคือการชะละลายสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM) ออกสู่สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ และลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และ โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate, PET) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ถูกใช้มากในประเทศไทย ด้วยเทคนิค Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy ผลการศึกษาพบว่า DOM ถูกชะละลายออกมาจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ทั้งในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง โดยพลาสติก PP มี DOM ถูกชะละลายออกมามากที่สุดที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 1.54 ± 0.26 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามด้วยพลาสติก LDPE 0.24 ± 0.09 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร และพลาสติก PET 0.02 ± 0.10 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของลักษณะสมบัติของ DOM พบว่าพลาสติกทั้ง 3 ประเภท มีลักษณะสมบัติที่คล้ายคลึงกันทั้งในสถานะที่มีแสง และไม่มีแสง คือมีลักษณะคล้ายสารที่อยู่ในกลุ่ม Aromatic Protein II-Like และ Microbial Byproducts-Like โดยพลาสติก PP พบพีก (Peak) ปรากฏที่ตำแหน่ง Excitation/Emission (Ex/Em) ที่ 300-305/335-340 และ Ex/Em 225-245/335-340 นาโนเมตร พลาสติก LDPE พบพีกปรากฏที่ตำแหน่ง Ex/Em 295-305/335-340 และ Ex/Em 225-245/335-340 นาโนเมตร และพลาสติก PET พบพีกปรากฏที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/335-340 และ Ex/Em 230-245/340-345 นาโนเมตร ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM

ที่จะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท จะเข้าไปมีบทบาทในสิ่งแวดล้อมในด้านการเป็นแหล่งพลังงานให้กับแบคทีเรีย และปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นหนึ่งในก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ละลายน้ำ, PP, LDPE, PET, Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy



Thesis Title	Quantity and Fluorescence Properties of Dissolved Organic Matter Leached from Plastics
Author	Sudarat Aiamkhong
Degree	Master of Science (Environmental Science)
Department/Faculty/University	Environmental Science Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Marut Suksomjit, Ph.D.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Wanida Chooaksorn, Ph.D.
Academic Year	2024

ABSTRACT

Plastic litter that enters water sources has a variety of effects on the ecosystem. One of the effects is the leaching of Dissolved Organic Matter (DOM) into the environment. This study aims to investigate the quantity and Fluorescence properties of DOM leached from three commonly used types of plastic in Thailand i.e. polypropylene (PP), low-density polyethylene (LDPE), and polyethylene terephthalate (PET) using fluorescence excitation-emission matrix (FEEM) spectroscopy. The results showed that all three types of plastics leached DOM under both artificial light and dark conditions. PP plastic leached the most DOM at an average concentration of 1.54 ± 0.26 mg-carbon/L, followed by LDPE plastic 0.24 ± 0.09 mg-carbon/L and PET plastic 0.02 ± 0.10 mg-carbon/L. In terms of DOM properties, the three varieties of plastic were found to have identical properties under both artificial light and dark circumstances. They are similar to Aromatic Protein II-Like and Microbial Byproducts-Like. For PP plastic, the peak appeared at Excitation/Emission (Ex/Em) 300-305/335-340 nm and Ex/Em 225-245/335-340 nm. The peak in LDPE plastic appeared at Ex/Em 295-305/335-340 nm and Ex/Em 225-245/335-340 nm. Similarly, with PET plastic, the peak appeared at Ex/Em 300/335-340 nm and Ex/Em 230-245/340-345 nm. This suggests that DOM leached from the three types of plastic may serve as an energy source for bacteria in

the environment, ultimately being released as carbon dioxide — a greenhouse gas that contributes to global climate change.

Keywords: DOM, PP, LDPE, PET, Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณา และการชี้แนะที่เป็นประโยชน์จากกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไตรเทพ วิษย์โกวิทเทน ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ ศรีทองอุทัย ที่ให้ความกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการผู้ทรงจากภายนอกสถาบัน โดยเฉพาะผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มารุต สุขสมจิตร กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนผู้ช่วยศาสตราจารย์วนิดา ชูอักษร กรรมการและที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่คอยให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และชี้แนะให้คำปรึกษา ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสาขาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อมที่ช่วยอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่มอบทุน บัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ทุนบัณฑิต) (ตามบันทึกข้อตกลงเลขที่ ทบ. 32/2565) ประจำปีการศึกษา 2565

หากผลการศึกษานี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุง แก้ไขในการศึกษาครั้งต่อไป

สุดาร์ตน์ เอี่ยมครอง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
1.4 สมมติฐาน	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารอินทรีย์ (Organic matter, OM)	4
2.1.1 ความหมาย	4
2.1.2 การแบ่งกลุ่มของสารอินทรีย์	4
2.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic matter, DOM)	5
2.2.1 ความหมาย	5
2.2.2 การแบ่งกลุ่มของ DOM	5

2.2.3 บทบาทของ DOM	6
2.2.4 แหล่งที่มาของ DOM	8
2.3 พลาสติก (Plastic)	9
2.3.1 ความหมาย	9
2.3.2 โครงสร้างของพลาสติก	9
2.3.3 ประเภท และโครงสร้างของพลาสติก	10
2.3.4 สารเติมแต่งในพลาสติก	12
2.3.5 พลาสติกที่นิยมใช้ในต่างประเทศ และประเทศไทย	13
2.3.6 สถานการณ์ขยะพลาสติกในประเทศไทย	15
2.3.7 ผลกระทบของขยะพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อม	16
2.4 การชะละลาย DOM จากพลาสติกและปัจจัยที่มีผล	17
2.5 เทคนิค Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy	21
2.5.1 ความหมาย FEEM	21
2.5.2 หลักการทำงาน	22
2.5.3 การระบุชนิดของ DOM ด้วยเทคนิค FEEM	22
2.5.4 การนำเทคนิค FEEM ไปใช้ประโยชน์	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	30
3.1 ประเภทตัวอย่าง	30
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่าง	31
3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง/วิเคราะห์ตัวอย่าง	31
3.5 การเตรียมตัวอย่าง	32
3.6 การศึกษาการชะละลาย	32
3.7 การเก็บตัวอย่าง	33
3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	34
3.8.1 ปริมาณ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก	34

3.8.2 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก	36
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
4.1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง	38
4.1.1 ความเข้มแสงและช่วงแสง	38
4.1.2 อุณหภูมิ	38
4.2 ความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลาย	38
4.2.1 พลาสติก PP	38
4.2.2 พลาสติก LDPE	39
4.2.3 พลาสติก PET	40
4.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการชะละลาย	43
4.3.1 ประเภทของพลาสติก	43
4.3.2 แสง	45
4.4 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM	47
4.4.1 ฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัม	47
4.4.2 ตำแหน่งของพีคที่ปรากฏ	47
4.4.2 ชนิดฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของ DOM	50
4.4.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลง	51
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	54
5.1 ผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
รายการอ้างอิง	56

ประวัติผู้เขียน

68



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของพลาสติกประเภทต่าง ๆ	11
2.2 สารเติมแต่ง และคุณสมบัติของสารเติมแต่ง	13
2.3 ปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งาน และพลาสติกใหม่	20
4.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท	42
4.2 ปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภทเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	45
4.3 ปริมาณฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภทที่ เวลาต่าง ๆ	49



สารบัญภาพ

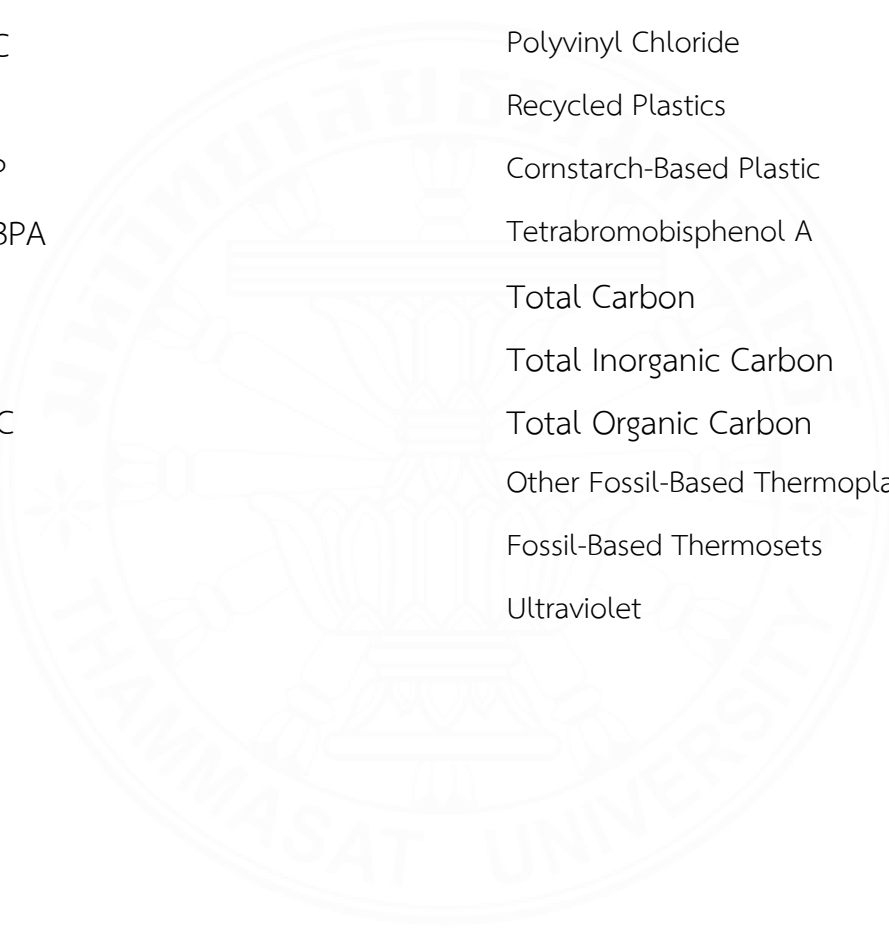
ภาพที่	หน้า
2.1 การแบ่งกลุ่มของ OM ตามลักษณะทางกายภาพ	5
2.2 วัฏจักรชีวธรณีเคมีในแหล่งน้ำ	7
2.3 สัดส่วนของพลาสติกที่จำหน่ายทั่วโลก	14
2.4 ปริมาณการใช้พลาสติกในปี 2018 ของประเทศไทยแยกตามประเภท	15
2.5 ภาพรวมการเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน	18
2.6 โครงสร้างสารที่มีลักษณะเป็นวง	21
2.7 รูปแบบของสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FEEM	22
2.8 การจำแนกประเภทของ DOM จากงานวิจัยในอดีต	23
2.9 สารอินทรีย์ที่พบในแม่น้ำแม่กลองมีลักษณะสมบัติคล้ายสารกลุ่ม Protein-Like, Humic-Like และ Microbial Byproducts-Like	24
2.10 ลักษณะสมบัติของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก	24
3.1 รายละเอียดแผนภาพการทดลอง และการเก็บตัวอย่าง	33
3.2 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่าง	34
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสารอินทรีย์รวม	35
4.1 รูปแบบการชะละลาย DOC จากพลาสติก PP ในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง	39
4.2 รูปแบบการชะละลาย DOC ในพลาสติก LDPE ในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง	40
4.3 รูปแบบการชะละลาย DOC ในพลาสติก PET ในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง	41
4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกต่อพื้นที่ผิว ในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง ในพลาสติก 2 ประเภท	47
4.5 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสงที่ตำแหน่งของฟิคโนโซนต่าง ๆ ของวันที่ 21	51
4.6 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PP ในสถานะที่มีแสงเทียม และในสถานะที่ไม่มีแสง ในวันที่ 1 และ 21	52

4.7 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก LDPE	52
ในสภาวะที่มีแสงเทียม และในสภาวะที่ไม่มีแสง ในวันที่ 1 และ 21	
4.8 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PET	53
ในสภาวะที่มีแสงเทียม และในสภาวะที่ไม่มีแสง ในวันที่ 1 และ 21	



รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม
BHT	Butylated Hydroxytoluene
BP	Bio-Based/Bio-Attributed Plastics
BPA	Bisphenol A
DEHP	Di (2-ethylhexyl) phthalate
DI	Deionized Water
DOC	Dissolved Organic Carbon
DOM	Dissolved Organic Matter
DON	Dissolved Organic Nitrogen
DOP	Dissolved Organic Phosphorus
Em	Emission
EPS	Expanded Polystyrene
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
Ex	Excitation
F.I.	Fluorescence Intensity
HALS	Hindered Amine Light Stabilizers
HDPE	High Density Polyethylene
IR	Infrared
LDPE	Low Density Polyethylene
OM	Organic Matter
PC	Polycarbonate
PCBs	Polychlorinated Biphenyls
PE	Polyethylene
PET	Polyethylene Terephthalate
PLA	Polylactic Acid



PMMA	Poly(Methyl Methacrylate)
POM	Particulate Organic Matter
PP	Polypropylene
PS	Polystyrene
PTFE	Polytetrafluoroethylene
PUR	Polyurethane
PVC	Polyvinyl Chloride
RP	Recycled Plastics
SBP	Cornstarch-Based Plastic
TBBPA	Tetrabromobisphenol A
TC	Total Carbon
TIC	Total Inorganic Carbon
TOC	Total Organic Carbon
TP	Other Fossil-Based Thermoplastics
TS	Fossil-Based Thermosets
UV	Ultraviolet

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

DOM เป็นสารประกอบที่โมเลกุลมีความซับซ้อน ประกอบไปด้วยธาตุต่าง ๆ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น (Halewood et al., 2022) DOM สามารถพบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ทะเล มหาสมุทร เป็นต้น แหล่งที่มาของ DOM มีทั้งที่มาจากธรรมชาติ และมนุษย์ โดยส่วนใหญ่ DOM ในธรรมชาติมาจากการย่อยสลายของพืช แบคทีเรีย และ สาหร่าย (Dittmar & Stubbins, 2016) นอกจากนี้แพลงก์ตอนสัตว์ เช่น โคพีพอด ยังเป็นแหล่งปลดปล่อย DOM จากกระบวนการกินอาหาร (Sloppy Feeding) เช่น อาหารมีขนาดใหญ่ไม่สามารถถูกกลืนโดยแพลงก์ตอนสัตว์ได้หมดเพราะฉะนั้นจะมีบางส่วนที่หลุดรอดออกมา อีกทั้งแพลงก์ตอนสัตว์สามารถปลดปล่อย DOM ออกมาผ่านกระบวนการขับถ่าย (Møller, 2007; Saba et al., 2011) ในส่วนของ DOM ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์มีแหล่งที่มาจากน้ำทิ้งที่ระบายจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม กิจกรรมการเกษตร เช่น ฟาร์มปศุสัตว์ นาข้าว บ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หรือมาจากการชะล้างซากพืช ซากสัตว์บนแผ่นดินลงสู่แหล่งน้ำโดยน้ำฝน (มารุต สุขสมจิตร และคณะ, 2564) นอกเหนือจากแหล่งที่มาที่กล่าวไปข้างต้นมีการศึกษาวิจัยระบุว่าพบ DOM ถูกชะละลายจากพลาสติก

ปัจจุบันมีการศึกษาการชะละลาย DOM จากพลาสติกเป็นจำนวนมาก เช่น การศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2018) ระบุว่าพบ DOM ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) โพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) และ PP ทั้งในสถานะที่มีแสง และไม่มีแสง นอกจากนี้การศึกษาของ Lee et al. (2020b) ระบุว่าพบ DOM ถูกชะละลายจากพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) และพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) การศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022a) ระบุว่าพลาสติกชะละลาย DOM ออกมาในสถานะที่มีแสงมากกว่าในสถานะที่ไม่มีแสง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Zhu et al. (2020) ที่ระบุว่าพบ DOM ถูกชะละลายจากพลาสติกเก่า และพลาสติกใหม่ โดยในสถานะที่มีแสงพบ DOM ถูกชะละลายออกมามากกว่าในสถานะที่ไม่มีแสง การศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2018) พบว่าปริมาณของ DOM ที่ชะละลายออกมาขึ้นอยู่กับประเภทของพลาสติก นอกจากนี้ยังได้ประเมินภาพรวมปริมาณ DOM ที่ปล่อยออกมาในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon, DOC) จากพลาสติกทั่วโลก โดยพบว่า DOC อาจมีปริมาณมากถึง 23,600

เมตริกตัน/ปี เช่นเดียวกับ Egea et al. (2024) ที่ประเมินว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกมากถึง 21,000 เมตริกตัน/ปี

DOM ถือว่ามีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ เนื่องจาก DOM เป็นแหล่งพลังงาน (Energy Source) ที่สำคัญให้กับแบคทีเรีย โดย Song et al. (2022) ระบุว่า DOM จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นแหล่งพลังงาน และปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับคืนสู่บรรยากาศ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมามีความเชื่อมโยงกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ที่กำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ DOM ยังมีความเกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวธรณีเคมีของคาร์บอน ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำอีกด้วย (Wang et al., 2020) โดย Romera-Castillo et al. (2018) ระบุว่าในอนาคตปริมาณขยะพลาสติกที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของ DOM เพิ่มขึ้นตาม โดยการเพิ่มขึ้นของ DOM อาจส่งผลกระทบต่อแบคทีเรีย และระบบนิเวศของแหล่งน้ำ Sheridan et al. (2022) ระบุว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกจะเข้าไปมีผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตาม Fellman et al. (2010) ระบุว่าบทบาทของ DOM ในระบบนิเวสดังกล่าวข้างต้นขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของ DOM นั้น

แม้ว่าจะมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการชะละลาย DOM จากพลาสติกในต่างประเทศ แต่ข้อมูลดังกล่าวในประเทศไทยยังมีอยู่จำกัด ประกอบกับการใช้พลาสติกในประเทศไทยยังมีปริมาณมาก และพลาสติกบางส่วนถูกทิ้งลงสู่แหล่งน้ำกลายเป็นขยะ ซึ่งขยะพลาสติกที่พบมักเป็นพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียว (Single-Used Plastic) ไม่นิยมนำกลับมารีไซเคิล โดยประเภทของขยะพลาสติกที่พบมากในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ PP, LDPE, PET อย่างไรก็ตามปริมาณ และบทบาทของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกที่จัดจำหน่ายในประเทศไทยยังไม่เป็นที่ทราบ จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณ และลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก 3 ประเภท ได้แก่ PP, LDPE, และ PET

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PP, LDPE, และ PET

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PP, LDPE, และ PET

1.2.3 เปรียบเทียบปริมาณ และลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PP, LDPE, และ PET

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกที่ใช้ในการศึกษานี้มีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ PP, LDPE, และ PET ซึ่งมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

1.3.2 สภาวะการทดลอง

ศึกษาการชะละลาย DOM ในพลาสติกทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และสภาวะไม่มีแสง นอกจากนี้มีการควบคุมปริมาณแบคทีเรียเบื้องต้น โดยวิธีการนึ่งฆ่าเชื้อ (Autoclaved)

1.3.3 รูปแบบของ DOM ที่ทำการศึกษา คือศึกษาในรูปของ DOC

1.4 สมมติฐาน

1.4.1 พลาสติกทั้ง 3 ประเภท ที่ทำการศึกษาเป็นแหล่งปลดปล่อย DOM

1.4.2 ปริมาณของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท แตกต่างกัน

1.4.3 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท มีความแตกต่างกัน

1.4.4 แสงเทียมมีผลต่อการชะละลาย DOM จากพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณ และลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของสารอินทรีย์ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ข้อมูลที่ได้เหล่านี้จะทำให้ทราบถึงบทบาทของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกต่อระบบนิเวศ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปต่อยอดในผู้ที่สนใจศึกษาการคำนวณปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากขยะพลาสติก

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

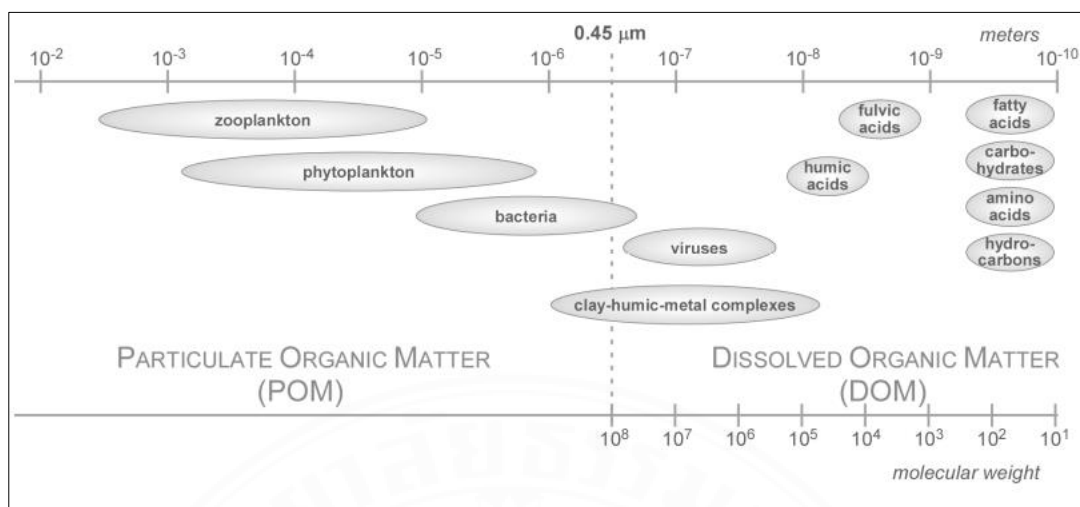
2.1 สารอินทรีย์ (Organic Matter, OM)

2.1.1 ความหมาย

สารอินทรีย์ คือสารประกอบที่มีธาตุคาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก และมีธาตุอื่นเป็นองค์ประกอบร่วม เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ ธาตุในหมู่ที่ 7 เป็นต้น เมื่ออะตอมของธาตุดังกล่าวจับกันด้วยพันธะในลักษณะต่างกันจะทำให้เกิดสารต่างชนิดกัน โดยสารอินทรีย์สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยได้มาจากพืชหรือสัตว์ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ สารอินทรีย์สามารถถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยมนุษย์ (อุดม ก๊กผล, โสภณ เรืองสำราญ และอมร เพชรสม, 2547; สุนันทา วิบูลย์จันทร์, 2548)

2.1.2 การแบ่งกลุ่มของสารอินทรีย์

การแบ่งกลุ่มสารอินทรีย์สามารถแบ่งได้หลากหลายกลุ่ม เช่น แบ่งตามสภาพขั้วของโมเลกุล (Polar/Non-Polar) แบ่งตามโครงสร้างของโมเลกุล (Structure) แบ่งตามความสามารถในการถูกใช้โดยแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อม (Labile/Semi-Labile/Non-Labile) หรือแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ (Physical) เป็นต้น (กิตติ อมรรักษ์, 2532; Asaoka et al., 2020) โดยในการศึกษานี้ จะแบ่งสารอินทรีย์ออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สารอินทรีย์แขวนลอย (Particulate organic matter, POM) และ DOM (จรงพันธ์ มุสิกะวงศ์, 2555) โดย POM และ DOM สามารถแยกออกจากกันได้จากขนาดของโมเลกุลที่มีความสามารถในการผ่านแผ่นกรองที่มีรูพรุนขนาด 0.45 ไมครอน POM จะไม่สามารถผ่านแผ่นกรองดังกล่าวได้และติดอยู่บนแผ่นกรอง ในขณะที่ DOM สามารถผ่านแผ่นกรองดังกล่าวได้ POM ประกอบไปด้วยแพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ แบคทีเรีย เป็นต้น ในขณะที่ DOM ประกอบไปด้วย แบคทีเรีย ไวรัส กรดฟุลวิก กรดไขมัน กรดอะมิโน คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 2.1 (Docter et al., 2015; Vincent et al., 2021)



ภาพที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มของ OM ตามลักษณะทางกายภาพ (Vincent et al., 2021)

2.2 สารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Matter, DOM)

2.2.1 ความหมาย

DOM คือโมเลกุลของสารอินทรีย์ประกอบไปด้วยธาตุต่าง ๆ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน เป็นต้น (Hartnett, 2018) DOM มีความสามารถในการผ่านแผ่นกรองที่มีรูพรุน ขนาด $0.45 \mu\text{m}$ ไมครอน (Vincent et al., 2021) โมเลกุลของ DOM มีทั้งน้ำหนักโมเลกุลสูง และน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สารประกอบขนาดใหญ่ เป็นต้น (Nebbioso & Piccolo, 2012)

2.2.2 การแบ่งกลุ่มของ DOM

DOM สามารถแบ่งได้หลายกลุ่ม เช่น พณวรรณ ทองช่วง (2559) อธิบายว่า DOM แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่เป็นฮิวมิก (Humic Substance) และกลุ่มที่ไม่ใช่ฮิวมิก (Non-Humic Substance) กลุ่มที่เป็นฮิวมิกจะมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มีโครงสร้างแบบอะโรมาติก อะลิฟาติก และมีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ เช่น เอไมด์ (Amide), คาร์บอกซิล (Carboxyl), คีโตน (Ketone) เป็นต้น ฮิวมิกสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กรดฮิวมิก (Humic Acid) กรดฟูลวิก (Fulvic Acid) และฮิวมิน (Humin) กรดฮิวมิกจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ละลายน้ำในช่วง pH ที่จำกัด ส่วนฟูลวิกสามารถละลายน้ำได้ในทุกช่วง pH ในขณะที่ฮิวมินไม่สามารถละลายน้ำได้ (Marhaba & Pu, 2000; Pagano et al., 2014) ในส่วนของกลุ่มที่ไม่ใช่ฮิวมิก จะมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (Laird & Koskinen, 2008) นอกจากการแบ่งกลุ่ม DOM ข้างต้นแล้ว Ochiai et al. (1980) ได้มีการแบ่งกลุ่ม DOM ตามคุณสมบัติการย่อยสลายของแบคทีเรียออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ถูกแบคทีเรียย่อยสลายได้ง่าย (Labile) และกลุ่มที่

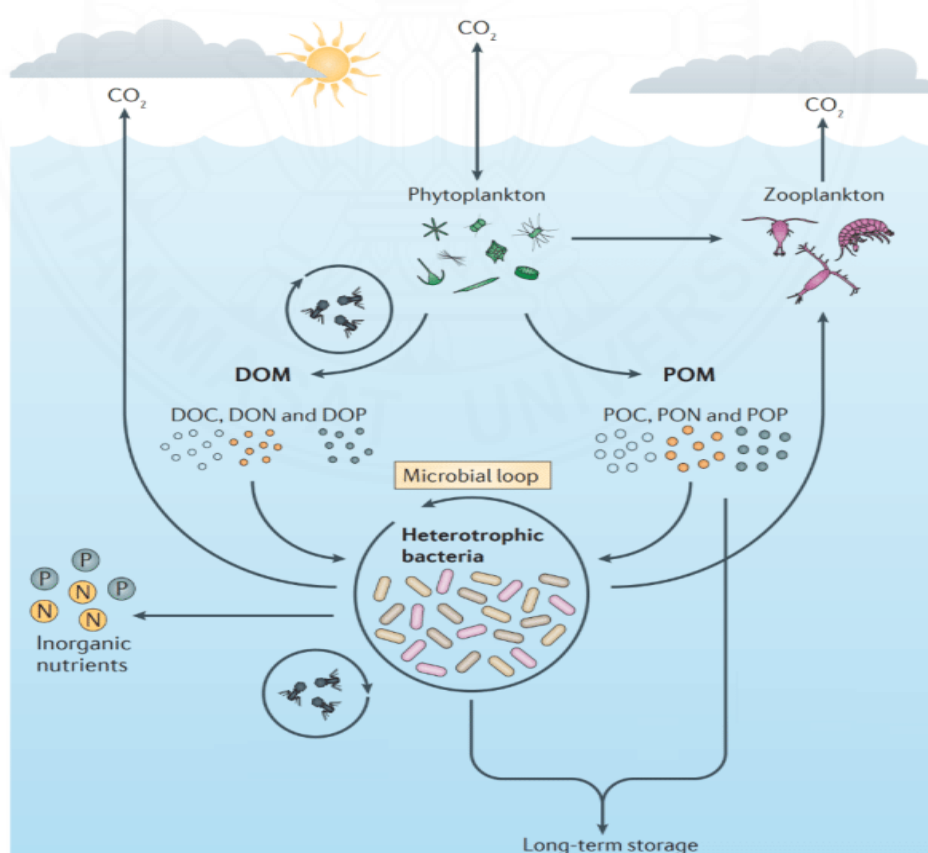
แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้ (Non-Labile/Refractory) กลุ่มของ DOM ที่ถูกแบคทีเรียย่อยสลายได้ง่ายจะใช้ระยะเวลาสั้นประมาณนาฬิกาไปจนถึงวัน ในขณะที่ DOM ที่แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสลายได้จะถูกสะสม และอยู่ในแหล่งน้ำเป็นเวลานาน (Osterholz et al., 2015)

การวิเคราะห์หา DOM ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยตรงจำเป็นต้องหาวิธีทางอ้อม ซึ่งหนึ่งในวิธีที่นิยมศึกษาคือการศึกษากายในองค์ประกอบของ DOM โดยหลัก ๆ จะศึกษาในธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก และมีบทบาทในสิ่งแวดล้อมมาก เช่น การศึกษาของ Kobayashi et al. (2017) ที่ได้มีการแบ่งกลุ่ม DOM ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ DOC ไนโตรเจนอินทรีย์ละลาย (Dissolved Organic Nitrogen, DON) และ ฟอสฟอรัสอินทรีย์ละลาย (Dissolved Organic Phosphorus, DOP) โดย Pagano et al. (2014) ระบุว่าเมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบของ DOM พบว่า DOC มีองค์ประกอบมากที่สุดเมื่อเทียบกับ DON และ DOP เช่นเดียวกับ Qualls et al. (2013) และ Dittmar & Stubbins (2016) ที่ระบุว่าครึ่งหนึ่งของ DOM ประกอบไปด้วยคาร์บอน (DOC)

2.2.3 บทบาทของ DOM

DOM มีบทบาทที่สำคัญต่อระบบนิเวศทางน้ำ Havas et al. (2023) และ Lønborg et al. (2019) ระบุว่า DOM เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรียในห่วงโซ่อาหาร นอกจากนี้ DOM ยังเข้าไปเกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวธรณีเคมี (Biogeochemical Cycle) ของคาร์บอนในแหล่งน้ำ (Wang et al., 2020) เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชมีการสร้างอาหารผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นคือสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล กลูโคส ซึ่งแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria) สามารถใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์ดังกล่าวได้ แบคทีเรียสามารถใช้ประโยชน์จาก DOM ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น DOC DON หรือ DOP สำหรับใช้เป็นแหล่งพลังงาน เมื่อแบคทีเรียมีการใช้ประโยชน์จาก DOM ก็จะปลดปล่อยออกมาในรูปแบบของสารอาหารอนินทรีย์ (Inorganic Nutrients) อย่างไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส ซึ่งจะกลายเป็นสารอาหารให้แพลงก์ตอนพืชในเวลาต่อมา นอกจากการปลดปล่อยสารอาหารออกมาแล้วนั้น Pontiller et al. (2020) ระบุว่าแบคทีเรียสามารถใช้ประโยชน์จาก DOM ในแหล่งน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อแบคทีเรียใช้ DOM เป็นแหล่งพลังงานก็จะปล่อยออกมาในรูปแบบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการหายใจ (Alleson et al., 2020) เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำอย่าง แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ หรือสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเช่นเดียวกัน อีกทั้งกระบวนการย่อยสลายเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลงไปก็ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 2.2 โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีส่วนร่วม และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก

DOM มีบทบาทที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่ง (Algae Bloom) จะเกิดขึ้นเมื่อในแหล่งน้ำมีปริมาณของธาตุอาหารอย่างไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูง และเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการสะพรั่งของสาหร่าย เนื่องจากอุณหภูมิจะเป็นตัวกระตุ้นให้สาหร่ายเกิดการเจริญเติบโตได้ดี (ชนุดม ศาลารักษ์ และ ศิวา แก้วปลั่ง, 2562) โดยปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่งจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำในบริเวณนั้น เนื่องจากแบคทีเรียจะย่อยสลาย DOM ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน ประกอบกับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำจะใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ ส่งผลให้ปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ในแหล่งน้ำลดต่ำลง ทำให้แหล่งน้ำบริเวณนั้นเกิดการเน่าเสีย และส่งกลิ่นเหม็นสร้างความรำคาญ (Wang et al., 2024) อีกทั้งหากในแหล่งน้ำมีสาหร่ายปกคลุมบริเวณผิวน้ำจะทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถละลายน้ำ หรือละลายได้ต่ำ ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นอกจากนี้อาจนำไปสู่สภาวะ Hypoxia หรือการขาดออกซิเจนในแหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทำให้สิ่งมีชีวิตตายลง (Joyce, 2000) อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์สาหร่ายสะพรั่งที่เกิดขึ้นหากเป็นสาหร่ายที่มีพิษ (Harmful Algal Blooms, HABs) อย่างไซยาโนแบคทีเรียก็จะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และร่างกายของมนุษย์หากได้รับสารพิษดังกล่าวเข้าไป



ภาพที่ 2.2 วัฏจักรชีวธรณีเคมีในแหล่งน้ำ (Aguilar, 2019)

2.2.4 แหล่งที่มาของ DOM

DOM สามารถพบได้ทั่วไปตามแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำ ทะเล มหาสมุทร เป็นต้น (Dittmar & Stubbins, 2016) DOM ที่พบในแหล่งน้ำมีทั้งที่มาจากธรรมชาติ (Autochthonous) และมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (Allochthonous) DOM ที่มาจากธรรมชาติสามารถมาได้จากการพัดพาสารอินทรีย์จากแผ่นดินลงสู่แหล่งน้ำ (Terrestrial Input) เช่น การชะล้างซากพืช ซากสัตว์บนแผ่นดิน ลงสู่แหล่งน้ำโดยน้ำฝน (มารุต สุขสมจิตร และคณะ, 2564) หรือการชะละลาย DOM จากใบไม้ (Meyer et al., 1998) กิ่ง และรากไม้ (Xu et al., 2021) นอกจากนี้ Thornton (2014) ระบุว่าแพลงก์ตอนพืช ปลดปล่อย DOM ออกมาประมาณร้อยละ 2-50 จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง อีกทั้งยังพบว่ามี DOM รั่วไหลออกมาผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ Møller (2007) และ Saba et al. (2011) ระบุว่าการกินของ โคพีพอดสปีชีส์ต่าง ๆ เช่น *Acartia tonsa*, *Centropages typicus*, *Temora longicornis* เป็น แหล่ง DOM โดยผ่านกระบวนการกินแบบ Sloppy Feeding อีกส่วนหนึ่งจะปลดปล่อยจากการชะละลายของเสีย โดยกระบวนการกิน และการขับถ่ายจะปลดปล่อย DOM ออกมาร้อยละ 20 และ 80 ตามลำดับ นอกจากนี้ DOM สามารถมาได้จากกระบวนการย่อยสลายของซากพืช ซากสัตว์ แบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ (Nebbioso & Piccolo, 2012; Dittmar & Stubbins, 2016) ซึ่ง Nebbioso & Piccolo (2012) ระบุว่า DOM ที่มาจากการย่อยสลายของพืช ร้อยละ 30-50 เป็นคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 10 เป็นโปรตีน และร้อยละ 15-25 เป็นลิพิด ในส่วนของ DOM ที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งจากโรงบำบัดน้ำเสียของชุมชนพบว่ามีค่า DOM สูง (Liu et al., 2020) Daniel et al. (2001) รายงานว่ามากกว่าร้อยละ 50 ของน้ำเสียจากชุมชน เมือง และอุตสาหกรรมทำให้แหล่งรับน้ำมีค่าออกซิเจนต่ำ แต่มีค่า DOM ที่สูง Niloy et al. (2021) รายงานว่าน้ำฝนบริเวณอุตสาหกรรมมีค่า DOM สูงกว่าชุมชนเมือง เนื่องจากการผลิตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการปล่อยคาร์บอนอินทรีย์ในพื้นที่อุตสาหกรรมมากขึ้นตาม นอกจากนี้กิจกรรมการเกษตร เช่น ฟาร์มปศุสัตว์ นาข้าว ป่าเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (มารุต สุขสมจิตร และคณะ, 2564) เป็นอีกหนึ่งกิจกรรมที่ชะละลาย DOM ออกมา นอกจากนี้แหล่งที่มาข้างต้นมีรายงานการศึกษาพบว่ามี DOM ถูกชะละลายออกมาจากพลาสติก Romera-Castillo et al. (2018) ได้ประเมินว่าในแต่ละปีจะมี DOC ถูกชะละลายออกมาจากขยะพลาสติกในทะเลมากถึง 23,600 เมตริกตัน เช่นเดียวกับ Romera-Castillo et al. (2022b) ที่ประเมินไว้ว่าในแต่ละปีจะมี DOC ถูกชะละลายออกมาจากขยะพลาสติกมากถึง 57,000 เมตริกตัน เช่นเดียวกับ Egea et al. (2024) ที่ประเมินว่าในแต่ละปีจะมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกประมาณ 21,000 เมตริกตัน

2.3 พลาสติก (Plastic)

2.3.1 ความหมาย

พลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น และเป็นที่นิยมใช้กันมากตั้งแต่ในปี ค.ศ.1950 จนถึงปัจจุบัน (Chen et al., 2024) พลาสติกจัดเป็นสารประกอบในกลุ่มไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบไปด้วยโมเลกุลของมอนอเมอร์เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว หรือที่เรียกว่าโพลิเมอร์ ซึ่งภายในโมเลกุลของพลาสติกประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีธาตุไนโตรเจน ฟลูออรีน คลอรีน และกำมะถัน เป็นองค์ประกอบรอง (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, ม.ป.ป.) โดยพลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้ในปัจจุบันผลิตจากปิโตรเลียมอย่างน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ (Plastic Europe, 2022) นอกจากนี้วัสดุทางธรรมชาติอย่างฟางข้าว ชังข้าวโพด มันฝรั่ง สามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพเพื่อเป็นทางเลือกที่มีมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Chadijah et al., 2022; Gawande et al., 2024)

2.3.2 โครงสร้างของพลาสติก

พลาสติกที่ผลิตขึ้นในปัจจุบันมีรูปแบบที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของถุงพลาสติก กล่องพลาสติก ตะกร้าพลาสติก ขวดพลาสติก เป็นต้น ต่างก็มีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้างการเรียงตัวของมอนอเมอร์บนสายโซ่ของโพลิเมอร์ โครงสร้างของพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้ (สมพงศ์ จันทรโพธิ์ศรี, 2553)

แบบที่ 1 โครงสร้างแบบเส้น (Linear Polymer) เกิดจากการเรียงตัวของมอนอเมอร์เป็นเส้นตรงที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน โครงสร้างนี้จะเรียงชิดติดกันมากส่งผลให้มีจุดหลอมเหลวสูง มีคุณสมบัติที่แข็งแรง และเหนียวมากกว่าโครงสร้างอื่น พลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ PP, PS, PVC, PET เป็นต้น

แบบที่ 2 โครงสร้างแบบกิ่ง (Branch Polymer) เกิดจากการเรียงตัวของมอนอเมอร์ที่แตกกิ่งก้านออกไปจากโซ่หลัก ทำให้การยึดจับกันของโมเลกุลมอนอเมอร์ไม่ได้แน่นเหมือนโครงสร้างแบบแรก ส่งผลให้โพลิเมอร์มีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวต่ำ พลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ LDPE เป็นต้น

แบบที่ 3 โครงสร้างร่างแห (Cross-Linked Polymer) เกิดจากการเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน 3 หมู่ เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสายโซ่ที่มีลักษณะเป็นร่างแห และมีกิ่งมาก ส่งผลให้โพลิเมอร์มีความแข็งแรงทนทาน ไม่หลอมเหลว ไม่ยืดหยุ่น เช่น เบคไลต์ เป็นต้น

2.3.3 ประเภท และโครงสร้างของพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมใช้มาก เนื่องจากราคาถูก น้ำหนักเบา มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อแรงกระแทก ทนต่อสารเคมี อีกทั้งยังสามารถดัดแปลงเปลี่ยนรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย (PlasticsEurope, 2022) โดยพลาสติกแต่ละประเภทจะมีการจัดเรียงของโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกัน เช่น การจัดเรียงแบบโซ่ตรงอย่างพลาสติก HDPE หรือการจัดเรียงแบบโซ่กึ่งอย่างพลาสติก LDPE โดยตารางที่ 2.1 แสดงประเภท และโครงสร้างของพลาสติก พลาสติกแม้จะมีหลายประเภทแต่พลาสติกที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 6 ประเภท (เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์, 2556; แคทลียา ปัทมพรหม, 2557) ได้แก่

ประเภทที่ 1 PP พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะทนต่อความร้อน ทนต่อสารเคมี ทนต่อแรงดึง และมีความหนาแน่นต่ำที่สุดในบรรดาพลาสติกทั้ง 6 ประเภท พลาสติกประเภทนี้นิยมนำมาทำถุงพลาสติกร้อน ขาม จาน เป็นต้น

ประเภทที่ 2 LDPE พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะที่นิ่มกว่า HDPE ขึ้นรูปง่าย ทนต่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส พลาสติกประเภทนี้นิยมนำมาทำถุงพลาสติกเย็นสำหรับบรรจุอาหาร เป็นต้น

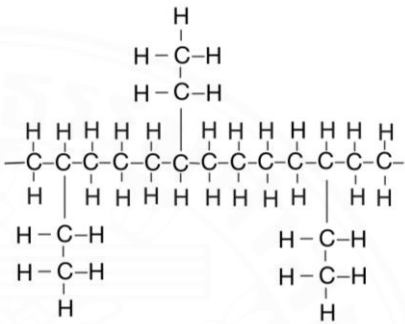
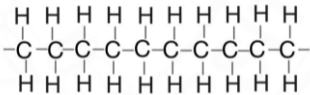
ประเภทที่ 3 PET พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะค่อนข้างแข็งและเหนียว ทนต่อสารเคมี ทนกรด-ด่าง ไม่แตกหักง่าย และยืดหยุ่นได้ดี พลาสติกประเภทนี้นิยมนำมาทำขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำมัน เป็นต้น

ประเภทที่ 4 HDPE พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะค่อนข้างนิ่มแต่เหนียว มีความแข็งแรงสูง ทนอุณหภูมิสูง ไม่แตกหักง่าย ทนต่อสารเคมี และขึ้นรูปได้ง่าย พลาสติกประเภทนี้นิยมนำมาทำกล่อง ภาชนะบรรจุ ขวดนม ขวดแชมพู เป็นต้น

ประเภทที่ 5 PVC พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะแข็งแรงแต่เปราะ ติดไฟยาก สามารถผสมกับสารอื่นได้ง่าย พลาสติกประเภทนี้นิยมนำมาทำท่อน้ำ แผ่นกันเสียง แผ่นกระเบื้องยาง เป็นต้น

ประเภทที่ 6 PS พลาสติกประเภทนี้มีลักษณะใส แข็งแต่เปราะ พลาสติกประเภทนี้นิยมนำมาทำช้อน ส้อม เครื่องเขียน เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างของพลาสติกประเภทต่าง ๆ

ประเภทพลาสติก	สูตรโครงสร้าง
PP	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \end{array} \right)_n$
LDPE	
PET	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \text{O} - \text{C} - \text{C} - \text{O} - \text{C} - \text{C} \\ \quad \quad \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \quad \text{O} \end{array} \right)_n$
HDPE	
PVC	$\left(\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\ \quad \\ -\text{C} - \text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$
PS	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}_n$

2.3.4 สารเติมแต่งในพลาสติก

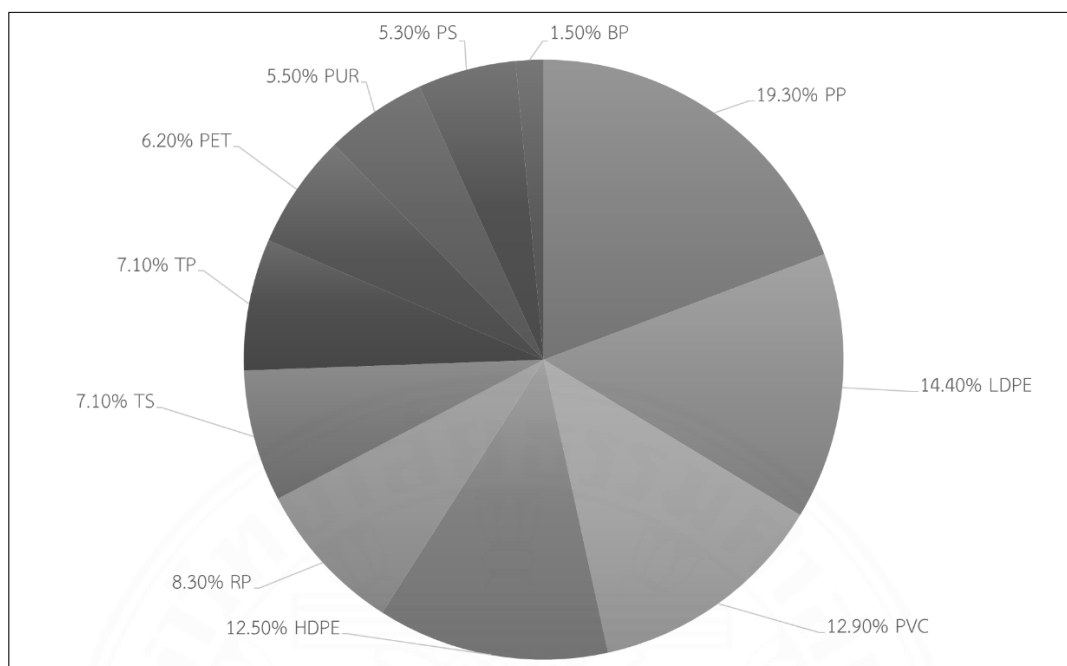
ในกระบวนการผลิตพลาสติกผู้ผลิตมีการเติมสารเติมแต่งทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ เพื่อปรับปรุงให้พลาสติกมีคุณลักษณะตามต้องการ เช่น ทำให้พลาสติกมีความแข็งแรง ทนทาน ขึ้นรูปได้ง่าย เป็นต้น สารเติมแต่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกมีหลากหลายประเภท เช่น พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) สารหน่วงไฟ (Flame Retardants) สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidants) สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) สารหล่อลื่น (Lubricants) สารป้องกันไฟฟ้าสถิต (Antistatic Agents) เป็นต้น โดยสารเติมแต่งที่เติมลงไปจะทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.2 (เดือนเพ็ญ วณิชพิมลอนันต์, 2544; อรุษา สรวารี, 2546; แคทลียา ปัทมพรหม, 2557; Hahladakis et al., 2018) ซึ่งในประเภทของสารเติมแต่งที่เติมลงไปพบว่ามีสาร หลากหลายชนิด สารเติมแต่งประเภทพลาสติไซเซอร์ ได้แก่ ไดบิวทิลพทาเลต (Dibutyl Phthalate, DBP) สารประกอบได-(2-เอทิลเฮกซิล)พทาเลต (Di-(2-ethylhexyl)Phthalate, DEHP) เป็นต้น (Watson et al., 2009; Erythropel et al., 2014) สารเติมแต่งประเภทสารหน่วงไฟ เช่น โพลีคลอริเนตเต็ดไบฟีนีล (Polychlorinated Biphenyls, PCBs) เตตระโบรมบิสฟีนอลเอ (Tetrabromobisphenol A, TBBPA) เป็นต้น (Strakova et al., 2022) สารป้องกันออกซิเดชัน เช่น บิวทิลไฮดรอกซีโทลูอิน (Butylated Hydroxytoluene, BHT) อินเดอร์เรดเฟินอลิก (Hindered Phenolic Antioxidants) ซึ่งสารเติมแต่งนี้ถูกเติมลงในกระบวนการผลิตพลาสติก LDPE และ พลาสติก PP (Choulis, 2007; Li et al., 2023) สารเพิ่มความคงตัว เช่น เบนโซไตรอะโซล (Benzotriazoles, BTA) อินเดอร์ดเอมมีนไลต์สเตบิลไลเซอร์ส (Hindered Amine Light Stabilizers, HALS) ถูกเติมลงไปในการกระบวนการผลิตพลาสติก PP (Tan et al., 2024) สารหล่อลื่น เช่น โพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene, PTFE) สารป้องกันไฟฟ้าสถิต เช่น ไพริดีเนียม (Pyridinium) เกลือของไพเพอริดีเนียม (Piperidinium Salts) เป็นต้น (Balasubramanian & Keay, 1996) สารกันจุลินทรีย์ เช่น นาโนซิลเวอร์ (Nano-Silver) เป็นต้น (Mast et al., 2023) สารฟิลเลอร์ เช่น แคลเซียม คาร์บอเนต (Calcium Carbonate) (Chakir et al., 2024) สารช่วยขึ้นรูป เช่น เอรูคาไมด์ (Erucamide) ถูกเติมลงไปเพื่อช่วยให้พลาสติกไหลเข้าสู่กระบวนการฉีดขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น (Watson et al., 2009)

ตารางที่ 2.2 สารเติมแต่ง และคุณสมบัติของสารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง	คุณสมบัติ
พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)	เพิ่มความยืดหยุ่น
สารหน่วงไฟ (Flame Retardants)	ลดการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนติดไฟได้ยาก
สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidants)	ชะลอการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน
สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer)	ป้องกันการสลายตัว เช่น จากแสงยูวี (Ultraviolet, UV) ความร้อน เป็นต้น
สารหล่อลื่น (Lubricants)	ลดการเสียดสีในกระบวนการขึ้นรูป
สารป้องกันไฟฟ้าสถิต (Antistatic Agents)	ลดการสะสมของประจุไฟฟ้า
สารกันจุลินทรีย์ (Biocides)	ป้องกันจุลินทรีย์ และการเกิดกลิ่น
ฟิลเลอร์ (Filler)	เพิ่มความแข็งแรง เพิ่มปริมาตร ลดต้นทุน
สารสี (Colorants)	เพิ่มสีให้กับพลาสติก
สารช่วยขึ้นรูป (Processing Aids)	ช่วยให้พลาสติกขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น
สารลดการเกิดฟอง (Antifoams)	ลดการเกิดฟอง
สารประสาน (Coupling Agents)	ช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาทางกายภาพ และเคมีในโพลิเมอร์
สารเชื่อมโยง (Cross)	ช่วยเพิ่มการเชื่อมขวาง และพันธะระหว่างโซ่โพลิเมอร์ พลาสติกจะมีความยืดหยุ่น แข็งแรง

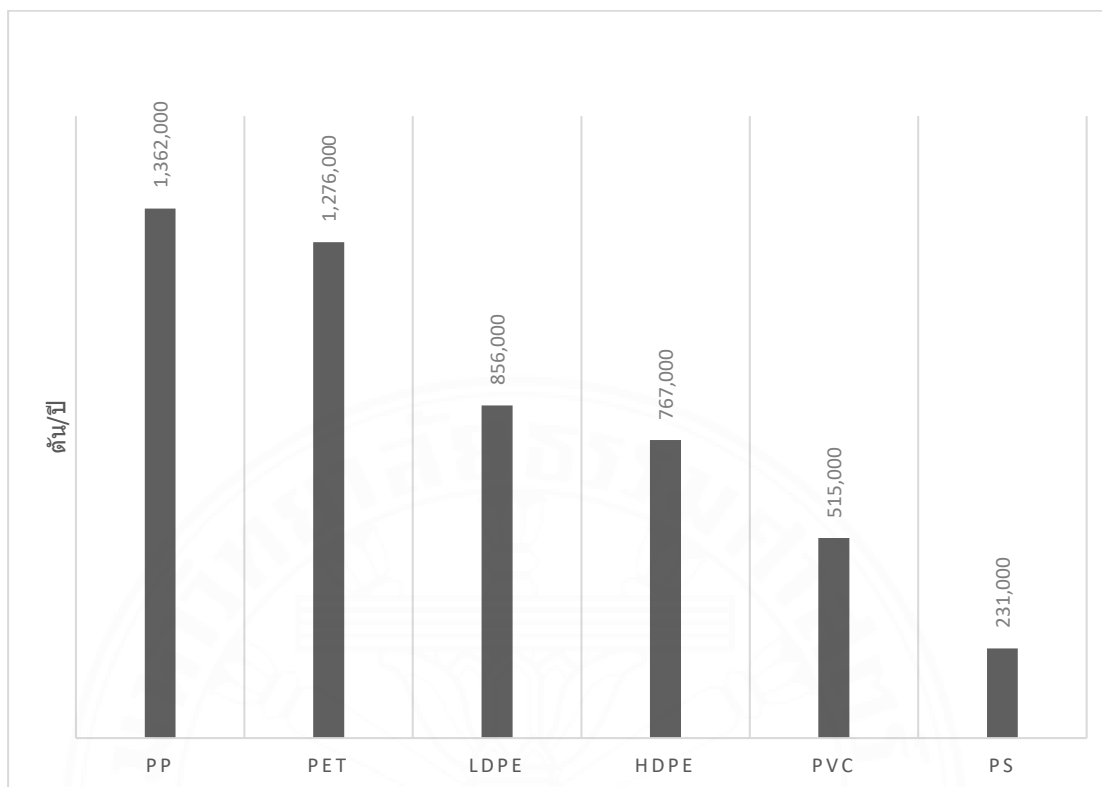
2.3.5 พลาสติกที่นิยมใช้ในต่างประเทศ และประเทศไทย

Plastic Europe (2022) รายงานว่าในตลาดโลกมีการจัดจำหน่ายพลาสติกเป็นจำนวนมาก แสดงดังภาพที่ 2.3 โดยพลาสติกประเภท PP เป็นพลาสติกที่ถูกใช้มากที่สุด ร้อยละ 19.3 รองลงมาด้วยพลาสติก LDPE ร้อยละ 14.4 PVC ร้อยละ 12.9 HDPE ร้อยละ 12.5 พลาสติกรีไซเคิล (Recycled Plastics, RP) ร้อยละ 8.3 พลาสติกประเภทเทอร์โมเซตที่ทำมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil-Based Thermosets; TS) ร้อยละ 7.1 พลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่ทำมาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Other Fossil-Based Thermoplastics, TP) ร้อยละ 7.1 PET ร้อยละ 6.2 PUR ร้อยละ 5.5 PS ร้อยละ 5.3 และพลาสติกชีวภาพ (Bio-Based/Bio-Attributed Plastics, BP) ร้อยละ 1.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.3 สัดส่วนของพลาสติกที่จำหน่ายทั่วโลก (Plastic Europe, 2022)

ในส่วนในประเทศไทย ข้อมูลจาก The World Bank Group ได้รายงานไว้ในปี 2018 ประเทศไทยมีการใช้พลาสติก PP มากที่สุด ประมาณ 1,362,000 ตัน/ปี รองลงมาคือพลาสติก PET 1,276,000 ตัน/ปี LDPE 856,000 ตัน/ปี HDPE 767,000 ตัน/ปี PVC 515,000 ตัน/ปี และ PS 231,000 ตัน/ปี ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 2.4 สุจิตรา ดำรงดี (2562) รายงานว่าพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวันมากกว่าครึ่งเป็นพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียว



ภาพที่ 2.4 ปริมาณการใช้พลาสติกในปี 2018 ของประเทศไทยแยกตามประเภท (The World Bank Group, 2021)

2.3.6 สถานการณ์ของขยะพลาสติกในประเทศไทย

กรมควบคุมมลพิษ (2565) รายงานว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีการใช้มีการผลิต และนำเข้าพลาสติกเป็นจำนวนมาก โดยพลาสติกที่ถูกผลิตขึ้นส่วนใหญ่เป็นพลาสติกประเภทบรรจุภัณฑ์ ในปี พ.ศ. 2564 พลาสติกประเภทบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหิ้ว ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีมาตรการให้ประชาชนทำงานอยู่ที่บ้าน (Work From Home) เพื่อยับยั้งการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ส่งผลให้ประชาชนนิยมหันมาสั่งอาหาร และสินค้าออนไลน์มากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2564 พบว่ามีขยะพลาสติกเกิดขึ้นทั้งหมด 2.76 ล้านตัน ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ประมาณ 0.55 ล้านตัน/ปี นำไปจัดการอย่างถูกวิธีประมาณ 2.13 ล้านตัน/ปี และตกค้างในสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.08 ล้านตัน/ปี กรมควบคุมมลพิษ (2566) ได้รายงานปริมาณขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2565 ว่าพลาสติกที่เกิดขึ้นทั้งหมดร้อยละ 11 เป็นพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียว ประมาณ 2.83 ล้านตัน ขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นถูกนำไปใช้ประโยชน์ 0.71 ล้านตัน/ปี นำไปจัดการอย่างถูกวิธีประมาณ 2.04 ล้านตัน/ปี และตกค้างในสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.08 ล้านตัน/ปี และข้อมูลในปี พ.ศ. 2566 กรมควบคุมมลพิษ (2567) รายงานว่าพลาสติก

ประเภทใช้ครั้งเดียวมีปริมาณ 3.03 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 ถึง 0.2 ล้านตัน ขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นถูกนำไปใช้ประโยชน์ 0.75 ล้านตัน นำไปจัดการอย่างถูกวิธีประมาณ 2.18 ล้านตัน/ปี และตกค้างในสิ่งแวดล้อมประมาณ 0.09 ล้านตัน/ปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณของขยะที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 ประมาณ 0.01 ล้านตัน/ปี แม้จะมีการนำขยะพลาสติกไปใช้ประโยชน์ และนำไปจัดการอย่างถูกวิธีมากขึ้นก็ตาม แต่ปริมาณของขยะพลาสติกที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมกลับเพิ่มมากขึ้น Rellán et al. (2023) ระบุว่าขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งทั้งทางตรงและทางอ้อมจะลงสู่มหาสมุทรเกือบร้อยละ 10 ของขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นทั้งหมด

2.3.7 ผลกระทบของขยะพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อม

ขยะพลาสติกที่ไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมจะหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่ออย่างยาวนาน เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติที่ยากต่อการย่อยสลายสามารถคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้หลายร้อยปี โดยขยะพลาสติกเหล่านี้เมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะส่งผลกระทบต่าง ๆ ต่อระบบนิเวศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.) สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำกินขยะพลาสติกเข้าไปเพราะเข้าใจผิดคิดว่าเป็นอาหาร เช่น เต่าทะเลกินพลาสติกเข้าไปเพราะเข้าใจผิดคิดว่าเป็นแมงกระพุน หรือกุ้งทะเลที่เข้าใจผิดคิดว่าเป็นปลา ขยะพลาสติกที่สิ่งมีชีวิตกินเข้าไปจะส่งผลกระทบต่อระบบย่อยอาหาร เนื่องจากพลาสติกจะไปขัดขวางกระบวนการย่อยอาหาร ส่งผลให้สิ่งมีชีวิตมีอาการอดอาหาร ขาดสารอาหาร จากนั้นจะตายลงไปในที่สุด (Schuyler et al., 2014) นอกจากผลกระทบในเรื่องของการกินพลาสติกแล้ว ยังมีผลกระทบที่เกิดจากการถูกพลาสติกกัดพันบริเวณร่างกายในสิ่งมีชีวิต เช่น นก เต่า ปลา พะยูน เป็นต้น สิ่งมีชีวิตข้างต้นเมื่อถูกพลาสติกกัดพันบริเวณร่างกายจะส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของสิ่งมีชีวิตนั้น นอกจากนี้พลาสติกประเภทแห หรืออวนที่ถูกทิ้งจากกิจกรรมการประมงสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศปะการัง

2.) สารเติมแต่งที่ถูกเติมเข้าไปในกระบวนการผลิตพลาสติกถูกชะละลายออกมา Cui et al. (2024) ระบุว่าสารเติมแต่งในพลาสติกอย่างโพลีคลอริเนตเตเตไบฟีนิล (Polychlorinated Biphenyls, PCBs) สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายของมนุษย์ที่ได้รับสารเหล่านี้จากสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารที่ต่ำกว่า ซึ่งสารประเภทนี้มีความสามารถในการคงตัว และคงอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้อย่างยาวนาน อีกทั้งยังสามารถแพร่กระจายออกไปได้ไกล นอกจากสารเติมแต่งข้างต้นแล้ว Gao et al. (2015) ระบุว่าสารเติมอย่างบิสฟีนอล เอ (Bisphenol A, BPA) สามารถส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ อีกทั้งยังพบว่าสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ได้อีกด้วย

นอกจากผลกระทบที่กล่าวไปข้างต้นมีการศึกษาวิจัยระบุว่าพลาสติกสามารถชะละลาย DOM ออกมา โดย DOM ที่ถูกชะละลายออกมาสามารถถูกใช้ประโยชน์โดยแบคทีเรีย และ

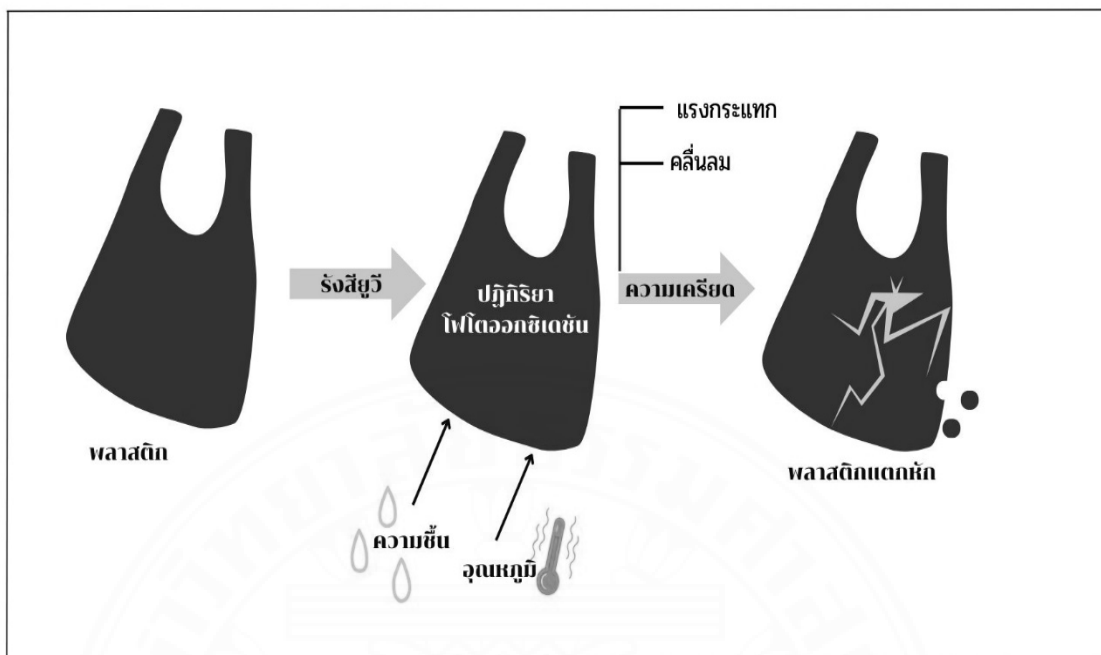
ปลดปล่อยออกมาในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเข้าไปมีผลกระทบต่อวัฏจักรคาร์บอน และเข้าไปมีส่วนร่วมต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก (Egea et al., 2024) นอกจากนี้ Yan et al. (2024) ระบุว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากไมโครพลาสติก สามารถเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนอิสระ ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) (มารีนี โด และคณะ, 2554) ซึ่ง THMs ถูกระบุว่าเป็นสารที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ โดยเป็นสารก่อมะเร็งที่จะส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ระบบตับ ระบบไหลเวียนโลหิต ระบบทางเดินอาหาร อีกทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพที่ไม่ใช่โรคมะเร็ง เช่น ซีสต์ในตับ เป็นต้น (Parveen & Goel, 2023) ซึ่ง Ta et al. (2020) Oo et al. (2021) และ Teeratitayangkul et al. (2023) รายงานผลการสำรวจพบไมโครพลาสติกจำนวนมากในแม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำปิง โดยไมโครพลาสติกที่พบมีทั้ง PP, PE, PS, PET, และไนลอน

2.4 การชะละลาย DOM จากพลาสติกและปัจจัยที่มีผล

พลาสติกที่หลุดรอดออกสู่สิ่งแวดล้อมสามารถส่งผลกระทบต่าง ๆ หนึ่งในผลกระทบที่เกิดคือการชะละลาย DOM จากพลาสติก โดยปัจจัยที่ทำให้ DOM ถูกชะละลายออกมามีรายละเอียดดังนี้

(1) แสง

แสงเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้พลาสติกเสื่อมสภาพ เนื่องจากแสงมี UV ซึ่งจะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (Photooxidation) โดยปฏิกิริยานี้จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไป เช่น พลาสติกมีลักษณะเปราะ หรือแตกหักได้ง่าย เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 2.5 Wayman & Niemann (2021) และ Andrady et al. (2022) ระบุว่าในกระบวนการสังเคราะห์พลาสติกจะมีการเติมสารเติมแต่งลงไปหลายชนิด ซึ่งหนึ่งในสารเติมแต่งที่เติมลงไปอาจจะมี ความไวต่อแสง เมื่อสัมผัสกับแสง UV จากแสงแดดจะส่งผลให้พันธะเคมีที่เชื่อมต่อกันในโพลิเมอร์แตกหัก และกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free Radical) เมื่ออนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จะกลายเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) และเมื่อไฮโดรเปอร์ออกไซด์สัมผัสกับแสง UV ความร้อน จะเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ RO• และไฮดรอกซิลเรดิคัล (•OH) ที่ไม่เสถียร ซึ่งจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะเคมีในตำแหน่งคาร์บอนของสายโพลิเมอร์ ส่งผลให้โพลิเมอร์เกิดการแตกหัก น้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป และสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรง แรงดึง ความต้านทานการกระแทก เป็นต้น (ศุภสิทธิ์ ยอดเมือง, 2559)



ภาพที่ 2.5 ภาพรวมการเกิดปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชัน (ดัดแปลงจาก Andrady et al., 2022)

(2) ความร้อน (Thermal)

กระบวนการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน (Thermal Degradation) จะคล้ายกับกระบวนการของโฟโตออกซิเดชัน แตกต่างกันตรงที่กระบวนการเสื่อมสภาพด้วยความร้อน จะเกิดปฏิกิริยากับโพลิเมอร์ทั้งหมดแทนที่จะเกิดขึ้นบนพื้นผิว โดยกระบวนการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนจะต้องอาศัยแสง UV เข้ามาเกี่ยวข้อง พลาสติกที่ได้รับความร้อนจะนำไปสู่การแตกตัวของอนุโมลอิสระ และเกิดการแตกหักในพลาสติก (Gilani et al., 2023) Delre et al. (2023) ศึกษากระบวนการโฟโตออกซิเดชันภายใต้สภาวะต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือการศึกษากระบวนการเสื่อมสภาพด้วยความความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่ากระบวนการเสื่อมสภาพด้วยความร้อนเพียงอย่างเดียวสามารถชะละลาย DOM ออกมามากถึงร้อยละ 35-66

(3) ประเภทของพลาสติก (Type of plastic)

การศึกษาจำนวนมากพบว่ามี DOM ถูกชะละลายจากพลาสติกแต่ละประเภทในปริมาณที่ต่างกัน เช่น การศึกษาของ Zhu et al. (2020) ระบุว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกโฟม (Expandable Polystyrene, EPS) อยู่ที่ 68.2 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน พลาสติก PP อยู่ที่ 39.1 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน และ PE อยู่ที่ 1.1 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน Romera-Castillo et al. (2018) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE อยู่ในช่วง 6.67-8.92 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร พลาสติก HDPE อยู่ในช่วง 2.79-6.28 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร พลาสติก PE อยู่ในช่วง 0.26-

0.31 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และพลาสติก PP อยู่ในช่วง 1.61-2.17 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร หรือในการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022a) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE มากกว่าในพลาสติก PS และ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA)

(4) การใช้งานของพลาสติก (Aged/New plastic)

การศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022b) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมากกว่าพลาสติกใหม่ โดย DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งาน (ขยะพลาสติกที่เก็บจากทะเล) อยู่ที่ 125.67 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเซนติเมตร ส่วนพลาสติกใหม่ (LDPE) มี DOC ถูกชะละลายอยู่ที่ 0.71 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเซนติเมตร ซึ่งปริมาณของ DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมากกว่าในพลาสติกใหม่หลายเท่า เนื่องจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานน่าจะเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับพลาสติกใหม่ซึ่งไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน นอกเหนือจากการศึกษาข้างต้นยังมีอีกหลายการศึกษาที่พบว่าผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เช่น การศึกษาของ Zhu et al. (2020) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานในปริมาณที่สูง เช่น EPS มีค่าอยู่ที่ 68.2 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน PP มีค่าอยู่ที่ 39.1 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน และ PE มีค่าอยู่ที่ 1.1 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน การศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022a) พบว่า DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานมีปริมาณมากกว่าพลาสติกใหม่ถึง 100 เท่า รายละเอียดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งาน และพลาสติกใหม่

ประเภทของพลาสติก	การใช้งาน	ปริมาณ DOC ที่ชะละลาย	อ้างอิง
EPS	พลาสติกที่ผ่านการใช้งาน	68.2 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน	Zhu et al. (2020)
PP	พลาสติกที่ผ่านการใช้งาน	39.1 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน	
PE	พลาสติกที่ผ่านการใช้งาน	1.1 มิลลิกรัม/กรัม-คาร์บอน	
EPS	พลาสติกใหม่	0.72±0.01 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเซนติเมตร	Romera-Castillo et al. (2022a)
PS	พลาสติกใหม่	0.46 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเซนติเมตร	
LDPE	พลาสติกที่ผ่านการใช้งาน	125.67 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเซนติเมตร	

(5) แบคทีเรีย (Bacteria)

พลาสติกสามารถถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพที่มาจากกิจกรรมของแบคทีเรีย โดยกระบวนการย่อยสลายพลาสติกของแบคทีเรียสามารถแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการดังนี้

กระบวนการที่ 1 แบคทีเรียจะก่อตัวบริเวณพื้นผิวของพลาสติกมีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์ม เรียกว่าไบโอฟิล์ม (Biofilms) การก่อตัวของไบโอฟิล์มสามารถเกิดขึ้นทั้งในดิน และในน้ำ การเกิดไบโอฟิล์มจะทำให้ความยืดหยุ่นในพลาสติกลดลง และทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ

กระบวนการที่ 2 แบคทีเรียที่เกาะบนพื้นผิวของพลาสติกจะปล่อยเอนไซม์สำหรับย่อยพลาสติกออกมา เช่น ไลเปส (Lipase) ไฮโดรจีเนส (Hydrogenase) โปรตีนเอส (Proteinase) ออกซิเดส (Oxidases) อะมิเดส (Amidases) เปอร์ออกซิเดส (Peroxidase) โปรเนส (Pronase) เพพทิเดส (PETase) ไฮดรอกซิเลส (Hydroxylase) เป็นต้น เอนไซม์เหล่านี้จะทำให้คาร์บอนบนสายโพลิเมอร์เกิดการแตกหัก ส่งผลให้โพลิเมอร์เสถียร ไม่เสถียร และสุดท้ายจะแตกตัวเป็นมอนอเมอร์

กระบวนการที่ 3 เยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียจะดูดซับโมเลกุลของมอนอเมอร์ที่ปล่อยออกมา และนำเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนรูปเพื่อให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่เผาผลาญได้ง่าย ซึ่งจะถูกใช้เป็นแหล่งคาร์บอน สารอาหาร และพลังงานให้กับแบคทีเรีย

กระบวนการที่ 4 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายโอนภายในผนังเซลล์ และนำไปใช้ภายในเซลล์เพื่อสร้างพลังงานผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน/รีดักชัน จากนั้นพลังงานนี้จะถูกนำไปใช้ใน

กระบวนการเผาผลาญของเซลล์ต่างๆ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการย่อยสลายพลาสติกจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (John et al., 2022; Gilani et al., 2023)

(6) ความเค็ม

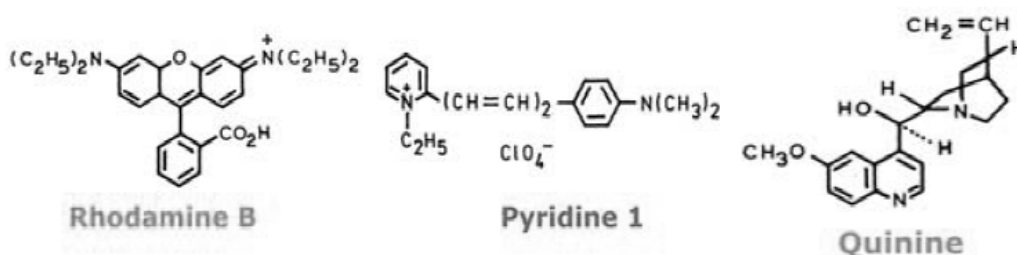
Ranjan & Goel (2019) ได้อธิบายกลไกของความเค็มต่อการชะละลาย DOC ว่าผลึกของเกลือที่ลอยอยู่บนผิวน้ำทะเลจะเป็นตัวกันแสงไม่ให้พลาสติกสัมผัสกับแสงโดยตรง ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้กระบวนการโฟโตออกซิเดชันเกิดขึ้นได้ยาก อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Egea et al. (2024) ระบุว่าไม่พบความแตกต่างของปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้งในน้ำจืด และน้ำเค็ม

2.5 เทคนิค Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy

ฟลูออเรสเซนซ์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานด้านต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยีชีวภาพ การวินิจฉัยทางการแพทย์ การจัดอันดับดีเอ็นเอ และนิติวิทยาศาสตร์ (Lakowicz, 2006) นอกจากนี้ฟลูออเรสเซนซ์ยังได้รับความนิยมในงานด้านสิ่งแวดล้อม ด้วยเทคนิค FEEM ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดสารอินทรีย์ในเชิงคุณภาพ (Duarte & Duarte, 2020) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในเชิงการศึกษาลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ในน้ำ และดิน (Chen et al., 2003) อีกทั้งเทคนิคนี้ทำได้ง่าย รวดเร็ว มีความแม่นยำสูง ไม่ต้องเตรียมตัวอย่าง ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย (Bridgeman et al., 2011) และไม่ทำลายโครงสร้างของสารตัวอย่าง (Pan et al., 2016)

2.5.1 ความหมาย FEEM

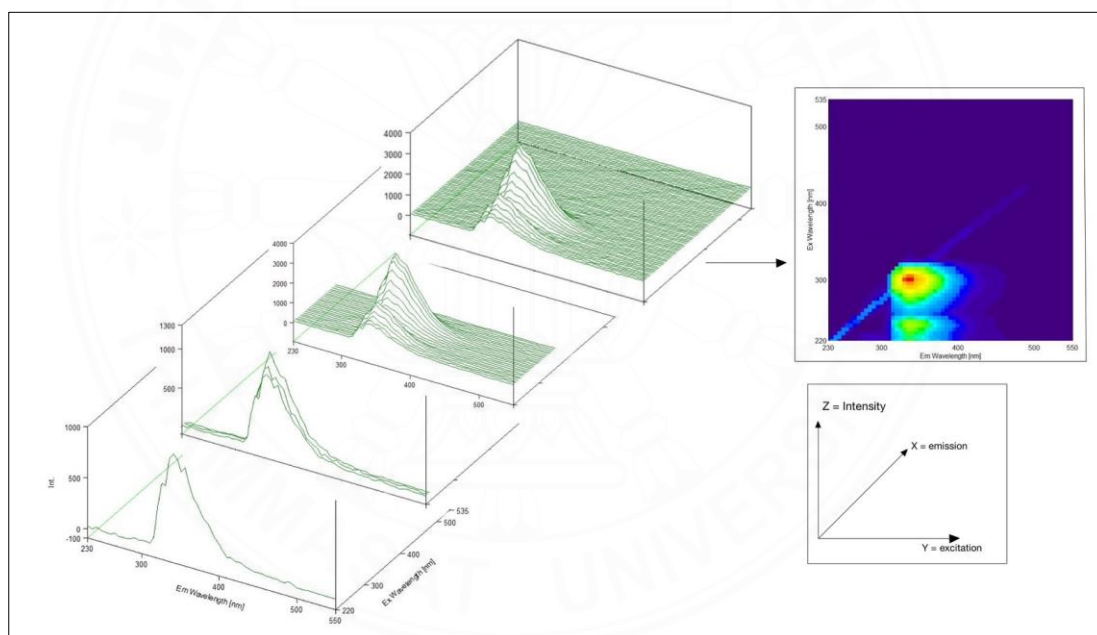
FEEM เป็นเทคนิคการกระตุ้นโมเลกุลของสารที่ระดับพลังงานต่าง ๆ ด้วยพลังงานแสง โมเลกุลที่ถูกกระตุ้นจะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของโฟตอน พลังงานที่กระตุ้นและพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาจะมีความเฉพาะเจาะจงกับโครงสร้างโมเลกุลของสารนั้น Lakowicz (2006) ระบุว่าเทคนิคการตรวจวัดนี้จะตรวจวัดเฉพาะสารที่มีโครงสร้างเป็นวง (Aromatic Compound) เช่น ไพริดีน โรดามีนบี คิวินิน เป็นต้น แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างสารที่มีลักษณะเป็นวง (Lakowicz, 2006)

2.5.2 หลักการทำงาน

หลักการของเทคนิค FEEM Spectroscopy คือเมื่ออิเล็กตรอนภายในโมเลกุลของสารได้รับพลังงานกระตุ้น (Excitation) จะขึ้นไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงขึ้น (Excited State) และปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของแสง (Emission) เพื่อกลับสู่สถานะพื้น (Ground State) โดยพลังงานที่กระตุ้น (Excitation) และพลังงานที่ปล่อยออกมา (Emission) จะเฉพาะเจาะจงกับโครงสร้างของโมเลกุลของสารนั้น (มารุต สุขสมจิตร, ไตรเทพ วิชัยโกวิทเพน, และ กฤติภูมิ์สุตา ภู่นาค, 2559) ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาสร้างเป็น 3-Dimensional Excitation Emission Fluorescence Spectrum ด้วยซอฟต์แวร์ของเครื่องมือ โดยกำหนดให้แกน X เป็นค่า Emission Wavelength แกน Y เป็นค่า Excitation Wavelength มีหน่วยเป็นนาโนเมตร (nm) และแกน Z เป็นค่า ความเข้มข้นฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence Intensity, F.I.) (ไม่มีหน่วย) ค่าที่ได้จะแสดงออกมาในรูปแบบของคอนทัวร์ (Contour) แสดงดังภาพที่ 2.7

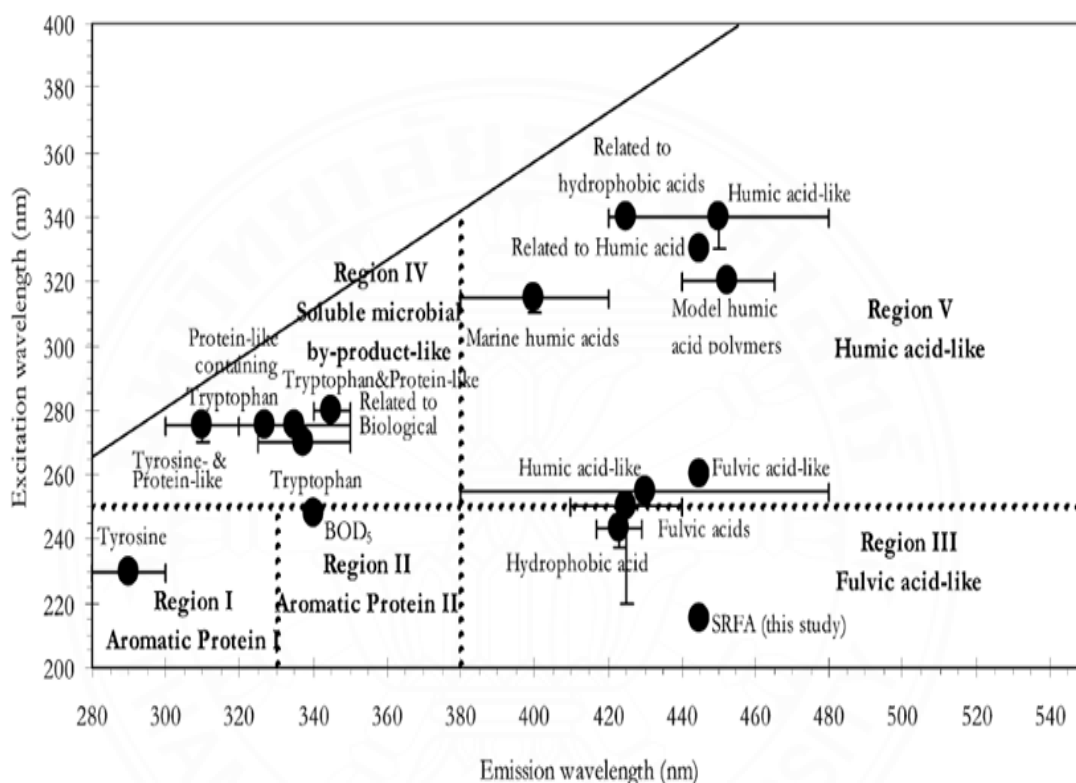


ภาพที่ 2.7 รูปแบบของสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FEEM

2.5.3 การระบุชนิดของ DOM ด้วยเทคนิค FEEM

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FEEM จะสามารถระบุชนิดของ DOM ได้จากเปรียบเทียบตำแหน่งของพีคที่ได้กับตำแหน่งของพีคที่มีการศึกษาไว้ในอดีต ในการศึกษาของ Chen et al. (2003) ได้มีการแบ่งชนิดของ DOM ที่ตรวจพบด้วยเทคนิค FEEM ออกเป็น 5 กลุ่ม แสดงดังภาพที่ 2.8 ได้แก่ กลุ่มที่ 1 Aromatic Proteins I-Like (Ex 220–250 nm, Em 280–332 nm) เช่น Tyrosine กลุ่มที่ 2 Aromatic Proteins II-Like (Ex 220–250 nm, Em 332–380 nm) เช่น Tryptophan กลุ่มที่ 3

Fulvic Acid-Like (Ex 220–250 nm, Em 380–580 nm) กลุ่มที่ 4 Microbial Byproducts-Like (Ex 250–470 nm, Em 280–380 nm) และกลุ่มที่ 5 Humic Acid-Like (Ex 250–470 nm, Em 380–580 nm) อย่างไรก็ตามการตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้จะไม่สามารถระบุชนิดของสารได้โดยตรง เพียงแต่บอกให้ทราบว่าตัวอย่างมีลักษณะคล้ายคลึงกับสารกลุ่มใดที่มีการศึกษาไว้ในอดีต (Chen et al., 2003; Pan et al., 2016)

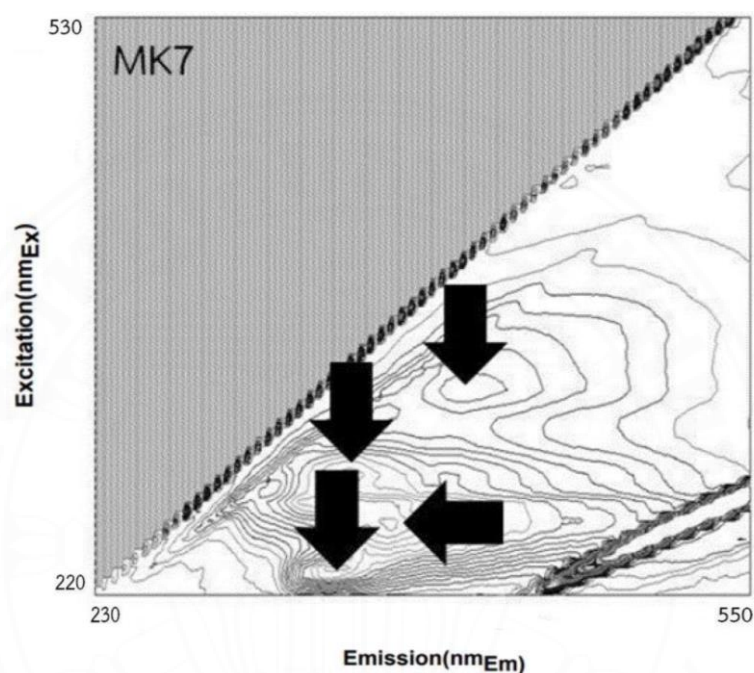


ภาพที่ 2.8 การจำแนกประเภทของ DOM จากงานวิจัยในอดีต (Chen et al., 2003)

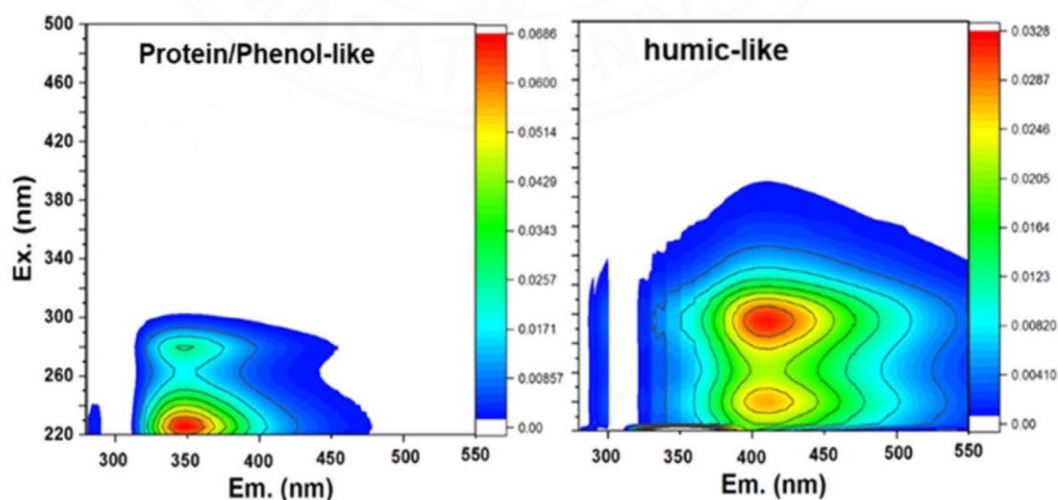
2.5.4 การนำเทคนิค FEEM ไปใช้ประโยชน์

การศึกษาลักษณะสมบัติของ DOM ส่วนใหญ่มักใช้เทคนิค FEEM ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Chen et al. (2003) ใช้เทคนิค FEEM ในการระบุแหล่งที่มาของ DOM ในแหล่งน้ำทะเล น้ำจืด และดิน หรือจากกิจกรรมของมนุษย์ (มารุต สุขสมจิตร, ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน และ กฤติฎ์สุตา ภู่นาค, 2559) Hur et al. (2014) ใช้เทคนิค FEEM ในการตรวจวัดลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ ซึ่งพบว่ามีลักษณะสมบัติคล้ายสารในกลุ่ม Microbial Humic-Like, Tryptophan-Like นอกจากนี้ มารุต สุขสมจิตร, ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน, และ กฤติฎ์สุตา ภู่นาค (2559) ศึกษาลักษณะของน้ำบริเวณแม่น้ำแม่กลอง พบว่ามีลักษณะสมบัติคล้ายสารกลุ่ม Humic-Like, Protein-Like, และสารกลุ่ม Microbial Byproducts-Like แสดงดังภาพที่ 2.9 มารุต

สุขสมจิตร และ ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน (2559) ศึกษาลักษณะสมบัติของอาหารกุ้ง และปุยคอก พบว่ามีลักษณะสมบัติคล้ายสารกลุ่ม Tyrosine-Like, Tryptophan-Like, และ Humic-Like นอกจากนี้ Lee et al. (2020) ศึกษาลักษณะสมบัติของพลาสติก PP, PVC, และ EPS พบว่ามีลักษณะสมบัติคล้ายสารกลุ่ม Protein-Like และ Humic-Like แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.9 สารอินทรีย์ที่พบในแม่น้ำแม่กลองมีลักษณะสมบัติคล้ายสารกลุ่ม Protein-Like, Humic-Like และ Microbial Byproducts-Like (มารุต สุขสมจิตร, ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน และ กฤติภูมิ์สุตา ภู่านาค, 2559)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะสมบัติของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก (Lee et al., 2020b)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Romera-Castillo et al. (2018) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติกทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ LDPE, HDPE, PE, และ PP โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 และ 30 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสงยูวีเอ (UV-A) ยูวีบี (UV-B) และช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible Light) อุณหภูมิของน้ำควบคุมให้อยู่ที่ 23 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำทะเลเทียมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทุกประเภทที่ทำการศึกษา และจะมากที่สุดในช่วงแรกที่พลาสติกสัมผัสกับน้ำ จากนั้นค่อย ๆ ลดลงในวันที่ 8 (ประมาณ 45%) และหลังจากการแช่พลาสติกนาน 30 วัน พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE และ HDPE ในสภาวะที่มีแสงเทียมมากกว่าไม่มีแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดย DOC ที่ถูกชะละลายมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.67-8.92 และ 2.79-6.28 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่พลาสติก PE และ PP ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างในสภาวะที่มีแสงเทียมและไม่มีแสง โดย DOC ที่ชะละลายมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.26-0.31 และ 1.61-2.17 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และในการศึกษานี้ได้มีการคาดการณ์ปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกว่าอาจมีปริมาณมากถึง 23,600 ล้านตัน/ปี

Romera-Castillo et al. (2022a) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติก 4 ประเภท ได้แก่ LDPE, PS, EPS, และ PLA โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 6 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV-A, UV-B, และ Visible Light อุณหภูมิของน้ำควบคุมให้อยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำทะเลเทียมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกในสภาวะที่มีแสงเทียมมากกว่าในสภาวะที่ไม่มีแสง โดยปริมาณ DOC ที่ชะละลายออกมาอยู่ในช่วง (-0.03)-1.27 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร พลาสติก LDPE พบว่ามีปริมาณ DOC ถูกชะละลายออกมามากที่สุด โดยในสภาวะที่มีแสงเทียมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.27 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขณะที่พลาสติกประเภทเดียวกันในสภาวะที่ไม่มีแสงมี DOC ถูกชะละลายออกมามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.35 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร เช่นเดียวกับพลาสติก EPS ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับพลาสติก LDPE โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.34 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขณะที่พลาสติก PS และ PLA ในสภาวะที่มีแสงเทียม พบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมาน้อยที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.46 และ 0.2 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

Romera-Castillo et al. (2022b) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติก 2 ประเภท ได้แก่ LDPE (พลาสติกใหม่) และ พลาสติกที่ผ่านการใช้งาน (ขยะพลาสติกที่เก็บจากทะเล) ที่มีองค์ประกอบของพลาสติกต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือพลาสติก LDPE ซึ่งมีองค์ประกอบสูงที่สุด โดยทำ

การทดลองเป็นระยะเวลา 6 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV-A, UV-B, และ Visible Light อุณหภูมิของน้ำควบคุมให้อยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำทะเลเทียมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทั้ง 2 ประเภท โดยค่าเฉลี่ยของ DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกใหม่ในสภาวะที่มีแสงเทียมอยู่ที่ 0.71 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ในขณะที่พลาสติกประเภทเดียวกันในสภาวะที่ไม่มีแสงมี DOC ถูกชะละลายมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.09 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร ในส่วนของพลาสติกที่ผ่านการใช้งาน พบค่าเฉลี่ยของ DOC ที่ถูกชะละลายออกมาในสภาวะที่มีแสงเทียมอยู่ที่ 21.50 ± 0.78 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร และในสภาวะที่ไม่มีแสงอยู่ที่ 8.93 ± 0.09 ไมโครกรัม/ตารางเซนติเมตร เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพลาสติกที่ผ่านการใช้งานกับพลาสติกใหม่ พบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมาทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง โดยพลาสติกที่ผ่านการใช้งานชะละลาย DOC ออกมามากกว่าในพลาสติกใหม่หลายเท่า

Delre et al. (2023) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติกใหม่ ได้แก่ LDPE, PP, PS, PET, และพลาสติกที่ผ่านการใช้งานซึ่งเก็บได้จากขยะพลาสติกในทะเล ได้แก่ PE และ PP ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 5 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV-A และ UV-B อุณหภูมิภายในขวดควบคุมให้อยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำทะเลที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทุกประเภทที่ทำการศึกษาในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยในพลาสติกที่ผ่านการใช้งานในสภาวะที่มีแสงเทียมมี DOC ถูกชะละลายออกมามากกว่าพลาสติกใหม่ เป็นผลมาจากการถูกทำลายด้วยปฏิกิริยาโฟโตออกซิเดชันจากแสงแดดทำให้โครงสร้างโพลิเมอร์ที่เป็นคาร์บอนของพลาสติกที่ผ่านการใช้งานเกิดการแตกหักได้ง่ายกว่าพลาสติกใหม่ พลาสติก PP พบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมามากที่สุด ตามมาด้วย LDPE และ PET ซึ่งเป็นผลมาจากประเภทของพลาสติก ขนาดของพลาสติก และสัดส่วนของน้ำต่อพื้นที่ผิวพลาสติก ทำให้มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกในปริมาณที่แตกต่างกัน

Lee et al. (2020a) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติก 2 ประเภท ได้แก่ PE และ PP โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV-A อุณหภูมิของน้ำควบคุมให้อยู่ที่ 25 ± 3 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำจืดที่มีการเติมไอออนและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพลาสติก ปริมาณของ DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกก็จะเพิ่มขึ้นตาม เช่น ความเข้มข้นของพลาสติก PE 0.1 กรัม-คาร์บอน/ลิตร มี DOC ถูกชะละลายออกมา 66.5 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ในขณะที่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของพลาสติกเข้าไปเป็น 2.0 กรัม-คาร์บอน/ลิตร มี DOC ถูกชะละลายออกมา 390.4 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร หลังจากแช่พลาสติกนาน 7 วัน พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PE มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 368

ไมโครกรัม-คาร์บอน/กรัม และมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP อยู่ที่ 93 ไมโครกรัม-คาร์บอน/กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน พบว่าพลาสติกที่อยู่ในสภาวะมีแสงเทียมชะละลาย DOC ออกมามากกว่าในสภาวะที่ไม่มีแสง ซึ่งเป็นผลมาจากแสง UV ที่จะเข้าไปมีบทบาทที่สำคัญต่อการชะละลาย DOC

Lee et al. (2020b) ศึกษาการชะละลาย DOC ในพลาสติก 2 ประเภท ได้แก่ PVC และ PS นอกจากนี้ยังศึกษาสารเติมแต่งในพลาสติกอย่าง BPA และ DEHP โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 24 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV-A น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำจืดที่มีการเติมไอออนและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทั้ง 2 ประเภท นอกจากนี้ยังพบว่า มีสารเติมแต่งถูกชะละลายออกมาภายในระยะเวลาเพียง 7 วัน โดย DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก PS พบว่ามีปริมาณที่มากกว่าพลาสติก PVC ถึง 2 เท่า ซึ่งน่าจะเป็นผลจากสารเติมแต่งที่เติมลงไปในกระบวนการผลิตพลาสติก ซึ่งปริมาณของ DOC ที่ถูกชะละลายออกมาจากพลาสติกทั้ง 2 ประเภท พบว่ามีแนวโน้มการชะละลายเพิ่มขึ้น โดยในวันแรกมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PVC ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 2.2 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร และในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่า มี DOC ถูกชะละลายออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 76.7 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ในส่วนของพลาสติก PS ในวันแรกพบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 1.4 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร และในวันสุดท้ายของการทดลองพบว่า มี DOC ถูกชะละลายออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 11.2 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร

Lee et al. (2021) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติก 3 ประเภท ได้แก่ PP, PVC, และ EPS โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV-A น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำจืดที่มีการเติมไอออนและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท โดยในสภาวะที่มีแสงเทียมมี DOC ถูกชะละลายออกมามากกว่าในสภาวะที่ไม่มีแสง โดยในสภาวะที่มีแสงเทียมมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PVC มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 11.08 มิลลิกรัม-คาร์บอน/กรัม พลาสติก EPS มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 มิลลิกรัม-คาร์บอน/กรัม และพลาสติก PP มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัม-คาร์บอน/กรัม ในขณะที่สภาวะที่ไม่มีแสง DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก PVC และ EPS มีค่ามากกว่าพลาสติก PP ถึง 2 เท่า โดย DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก PVC มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 มิลลิกรัม-คาร์บอน/กรัม พลาสติก EPS มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.13 มิลลิกรัม-คาร์บอน/กรัม และพลาสติก PP มีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัม-คาร์บอน/กรัม ซึ่งเป็นผลมาจากสารเติมแต่งที่ถูกเติมลงไปในกระบวนการผลิตพลาสติก โดยในพลาสติก PVC และ EPS จะมีสารเติมแต่งที่มากกว่าในพลาสติก PP ผลการศึกษานี้ยืนยันว่าปริมาณของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกขึ้นอยู่กับประเภทของพลาสติก และสารเติมแต่งที่เติมลงไปในกระบวนการผลิตพลาสติก

Yu et al. (2024) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติกประเภท PP, PE, PET, และพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพอย่าง PLA และ พลาสติกที่ทำจากแป้งข้าวโพด (Cornstarch-Based Plastic, SBP) โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 21 วัน ภายใต้สภาวะแสงเทียมที่มีแสง UV ควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองอยู่ที่ 18-22 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำประปา ผลการศึกษาพบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทุกประเภทที่ทำการศึกษา โดยพบว่าในสภาวะที่มีแสงเทียมพลาสติก PP, PE, และ PET มีรูปแบบการชะละลายของ DOC ที่ไม่แตกต่างกัน คือมี DOC ถูกชะละลายออกมามากในช่วงแรก และค่อย ๆ ลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง โดยในช่วงวันที่ 7-14 มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PET มากที่สุด ตามด้วย PP และ PE ตามลำดับ เช่นเดียวกับสภาวะที่ไม่มีแสงที่มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP, PE, และ PET โดยมีแนวโน้มการชะละลายของ DOC มากในช่วงแรก และลดลงหลังจากวันที่ 1 อย่างไรก็ตามในพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพอย่าง PLA พบว่าการชะละลายแตกต่างจากกลุ่มแรกคือในวันที่ 7-21 มี DOC ถูกชะละลายออกมามาก ในส่วนของพลาสติก SBP มี DOC ถูกชะละลายมีลักษณะคงที่

Chen et al. (2024) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติก 9 ประเภท ได้แก่ โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC), โฟม (Ethylene Vinyl Acetate, EVA), พอลิเอไมด์ (Polyamide, PA), โพลีเมทิลเมทาคริเลต (Poly(methyl methacrylate, PMMA), PE, PS, PET, PP, และ PVC ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้สภาวะแสงจำลองที่มีแสง UV น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำจืดที่มีการเติมไอออนและผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ ผลการศึกษาพบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทุกประเภทที่ทำการศึกษา โดยในสภาวะที่มีแสงมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทั้ง 9 ประเภท ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 7.28 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ซึ่งมากกว่า DOC ที่ถูกชะละลายจากสภาวะที่ไม่มีแสงที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ 0.86 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร โดยในสภาวะที่มีแสงพบว่า มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP มากที่สุด โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ 22.7 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามด้วย PS 12.9 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร, PA 10.3 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร และ PET 4.03 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ในพลาสติก PC, EVA, PMMA, PE, และ PVC พบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมาเช่นเดียวกันแต่ในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติกทั้ง 4 ประเภทที่กล่าวมา ในขณะที่สภาวะที่ไม่มีแสงพบว่า มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PA มากที่สุด โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยอยู่ที่ 3.71 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ในส่วนของพลาสติกอีก 8 ประเภทมี DOC ถูกชะละลายอยู่ในช่วง 0.42-0.71 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเสื่อมสภาพด้วยแสงที่อาจเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการชะละลาย DOC

Egea et al. (2024) ศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติก 2 ประเภท ได้แก่ LDPE และ PP โดยทำการทดลองเป็นระยะ 17 วัน ภายใต้สภาวะแสงธรรมชาติ อุณหภูมิอยู่ในช่วง

16.3-27.6 องศาเซลเซียส น้ำที่ใช้สำหรับการทดลองเป็นน้ำทะเลเทียมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ และ น้ำกลั่น ผลการศึกษาพบว่า มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกทันทีที่พลาสติกสัมผัสกับน้ำ และมี แนวโน้มการชะละลายเพิ่มมากขึ้นตลอดการทดลอง ในพลาสติก PP สภาวะที่มีแสงเทียมพบว่า มี DOC ถูกชะละลายออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 2.70 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในขณะที่ พลาสติกประเภทเดียวกันสภาวะที่ไม่มีแสงชะละลาย DOC ออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 1.39 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในส่วนของพลาสติก LDPE ในสภาวะที่มีแสงเทียม พบว่ามี DOC ถูกชะละลาย ออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 1.88 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในขณะที่พลาสติกประเภท เดียวกันสภาวะที่ไม่มีแสงชะละลาย DOC ออกมาที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 1.30 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ตาราง เมตร และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงสิ้นสุดการทดลองพบว่าพลาสติก PP และ LDPE ทั้งในสภาวะที่มีแสง เทียม และไม่มีแสง มี DOC ถูกชะละลายออกมาที่ความเข้มข้น 2.85 และ 2.48 ไมโครกรัม-คาร์บอน/ ตารางเมตร ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างระหว่างการชะละลายของ DOC ในน้ำ ทะเลเทียม และน้ำกลั่น อีกทั้งพบว่า DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 2 ประเภทจะถูกใช้ประโยชน์ โดยแบคทีเรีย โดย DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE จะถูกใช้ประโยชน์มากกว่าในพลาสติก PP นอกจากนี้ได้มีการคาดการณ์ปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกว่าอาจมีปริมาณมากถึง 21,000 ล้านตัน/ปี

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 ประเภทตัวอย่าง

- 3.1.1 พลาสติกถุงร้อนประเภท PP (ผลิตปี 2022)
- 3.1.2 พลาสติกถุงเย็นประเภท LDPE (ผลิตปี 2023)
- 3.1.3 กล่องพลาสติกใสบรรจุอาหารประเภท PET (ผลิตปี 2024)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 ขวดดูแรน (Duran Bottle)
- 3.2.2 ขวดแก้วสีชา (Amber Glass Bottle)
- 3.2.3 หลอดฉีดยาทำจากแก้ว (Glass Syringe)
- 3.2.4 ตัวกรองสำหรับใช้กับเข็มฉีดยา (Syringe Filter)
- 3.2.5 กระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/F)
- 3.2.6 ชุดกรองสำหรับใช้กับเข็มฉีดยาทำจากสแตนเลส (Stainless Steel Syringe Filter)
- 3.2.7 ขวดไวแอล (Vial)
- 3.2.8 อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)
- 3.2.9 เตาเผาอุณหภูมิสูง ยี่ห้อ Nabertherm GmbH รุ่น LE 14/11/B150
- 3.2.10 กรรไกร
- 3.2.11 กระบอกตวง (Cylinder)
- 3.2.12 ปิเปตต์ (Pipette)
- 3.2.13 บีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.14 กรวยกรอง (Glass Funnel)
- 3.2.15 เครื่องตัดพลาสติก
- 3.2.16 จุกยางซิลิโคน (สำหรับปิดปากขวดดูแรน)
- 3.2.17 ท่อสแตนเลส

- 3.2.18 หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave)
- 3.2.19 เครื่องเขย่าแบบวงกลม (Orbital Shaker) ยี่ห้อ N-biotek รุ่น NB-101S
- 3.2.20 ตู้จำลองสภาวะแวดล้อม (Incubator) ยี่ห้อ JSR รุ่น JSCC-150CP
- 3.2.21 หลอดไฟ LED (ช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร)
- 3.2.22 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 3.2.23 ตู้แช่แข็ง (สำหรับเก็บรักษาตัวอย่างน้ำที่ได้จากการชะละลายพลาสติก)
- 3.2.24 อุปกรณ์ในการตั้งเวลา (Timer)
- 3.2.25 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 3.2.26 คิวเวตต์ (Cuvette)
- 3.2.27 เครื่องวัดความเข้มแสง (Lux Meter)
- 3.2.28 เครื่องวัดสเปกตรัม (Spectrometer)

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่าง

- 3.3.1 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสารอินทรีย์รวม (TOC Analyzer) ยี่ห้อ Analytik Jena รุ่น Multi N/C 3100 โดยใช้ก๊าซที่มีความบริสุทธิ์ 99.99%
- 3.3.2 สเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) ยี่ห้อ Jasco รุ่น FP-8350 ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Peltier)

3.4 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง/วิเคราะห์ตัวอย่าง

- 3.4.1 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid, HCl)
- 3.4.2 กรดฟอสฟอริก (Phosphoric Acid, H_3PO_4)
- 3.4.3 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate, KHP)
- 3.4.4 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate, Na_2CO_3)
- 3.4.5 โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium Hydrogen Carbonate, $NaHCO_3$)
- 3.4.6 น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water, DI) เกรด 2 ที่มีค่าความต้านทานมากกว่า 1 M Ω .cm แต่น้อยกว่า 18 M Ω .cm

3.5 การเตรียมตัวอย่าง

พลาสติกตัวอย่างที่ศึกษาทั้ง 3 ประเภทจะถูกตัดให้มีขนาด (กว้าง X ยาว) เท่ากับ 0.7×0.7 เซนติเมตร หรือพื้นที่ผิวรวม 1 ตารางเซนติเมตร โดยในระหว่างการตัดมีการสวมถุงมือพลาสติกตลอดระยะเวลา เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากมือของผู้เตรียม หลังจากที่ได้ตัดพลาสติกเรียบร้อยแล้วและเก็บไว้ในอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อรอนำไปใส่ในขวดตัวอย่าง

เครื่องแก้วทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองจะถูกนำไปล้างด้วยน้ำยาล้างเครื่องแก้ว จากนั้นจะล้างด้วยน้ำประปา ตามด้วยน้ำ DI 3 รอบ แล้วนำไปแช่ต่อด้วยสารละลาย 10% HCl เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่อาจต้องค้างในเครื่องแก้ว ตามวิธีการของ Badr et al. (2016) เมื่อครบเวลานำมาล้างต่อด้วยน้ำ DI 3 รอบ ปลอ่ยทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นเก็บใส่ในภาชนะที่ปราศจากฝุ่น

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองในครั้งนี้ทุกประเภทปราศจากพลาสติก ยกเว้นตัวอย่างที่ทำการศึกษา

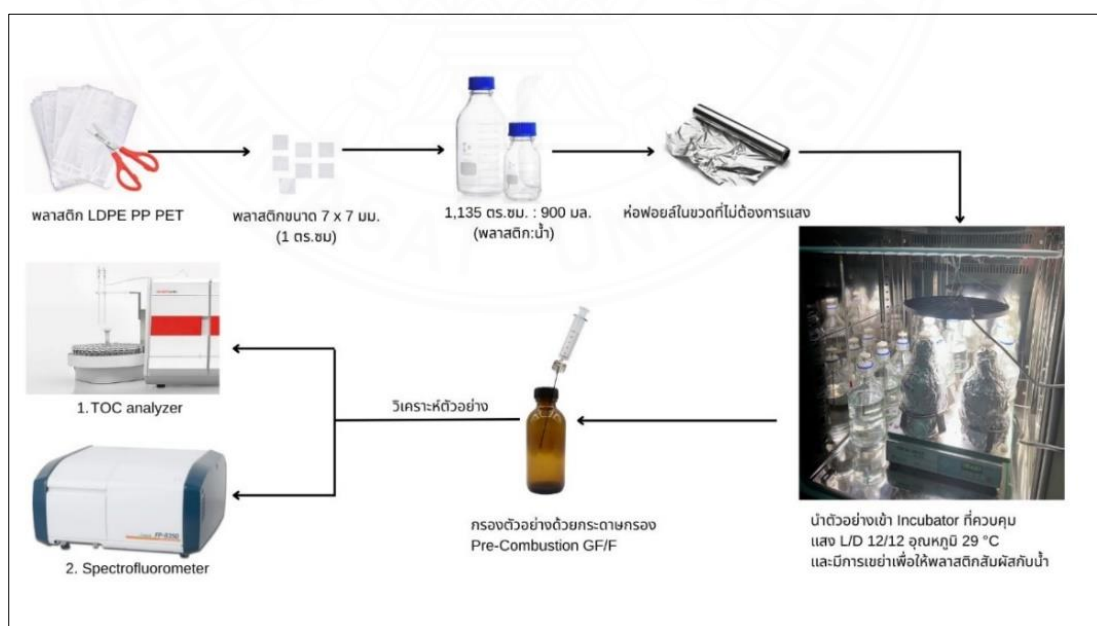
3.6 การศึกษาการชะละลาย

นำพลาสติกที่เตรียมไว้ใส่ลงในขวดดูแรนขนาด 1000 มิลลิลิตร สัดส่วนพลาสติกต่อน้ำอยู่ที่ 1,135 ตารางเซนติเมตร ต่อน้ำ 900 มิลลิลิตร โดยน้ำที่ใช้ในการทดลองจะผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5 บาร์ เป็นเวลา 20 นาที ในส่วนของพลาสติกที่ไม่ต้องการให้สัมผัสกับแสงจะใส่ลงในขวดดูแรนห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ เมื่อใส่พลาสติกครบปิดปากขวดด้วยจุกยางซิลิโคนที่ห่อหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอก หลังจากนั้นนำไปวางบนเครื่องเขย่าแบบวงกลม ซึ่งตั้งอยู่ในตู้จำลองสภาวะแวดล้อม โดยตั้งค่าความเร็วในการเขย่าอยู่ที่ 45 รอบต่อนาที เพื่อให้พลาสติกได้สัมผัสกับน้ำอย่างทั่วถึง และจำลองสภาพให้คล้ายกับสภาพธรรมชาติมากที่สุด โดยภายในตู้จะควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 29 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำควบคุมอยู่ที่ 28-29 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวน้ำในธรรมชาติ (สมยศ หล่อวิทยากร, 2541; วราทิพย์ วงศพิณทุ และคณะ, 2554; ภูภัส ทองจับ, และ ธงทิศ ฉายากุล, 2566; Koad, Jaroensutasinee, & Jaroensutasinee, 2012) ในส่วนของแสงเทียมจะใช้หลอดไฟ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยจะเปิด-ปิดไฟทุก ๆ 12 ชั่วโมง เพื่อจำลองสภาพจริงในธรรมชาติของประเทศไทย และเมื่อนำไปวัดช่วงแสงด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมพบว่ามีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 460-627 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วง Visible Light และไม่มีช่วงแสง UV เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังทำการตรวจวัดความเข้มแสงด้วยเครื่อง Lux Meter พบว่ามีความเข้มแสงประมาณ 80,000 ลักซ์ ซึ่งเป็นความเข้มแสงในพื้นที่เขตร้อนบริเวณเส้นศูนย์สูตร (Zain-Ahmed

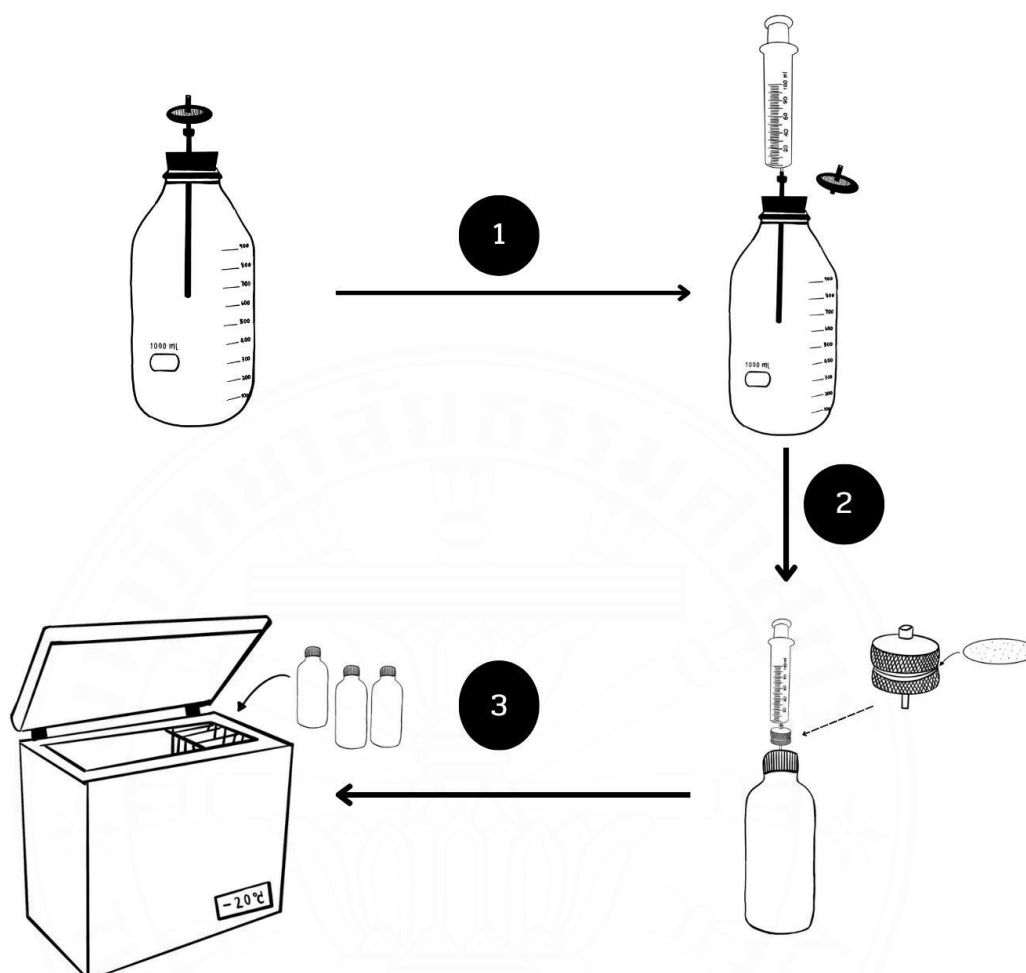
et al., 2002) โดยจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.7 การเก็บตัวอย่าง

สุ่มเก็บตัวอย่างในวันเริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0) 1 2 3 7 14 และ 21 เมื่อครบเวลาทำการเก็บตัวอย่างด้วยหลอดฉีดยาทำจากแก้วดูดตัวอย่างขึ้นมาปริมาตร 25 มิลลิลิตร สัดส่วนการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำกับพลาสติกในการเก็บตัวอย่างจะไม่เกินร้อยละ 20 ของปริมาตรน้ำตัวอย่างทั้งหมด เมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้วจะปิดทอัสเตนเลสด้วยตัวกรองสำหรับใช้กับเข็มฉีดยา ขนาด 0.45 ไมครอน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนจากภายนอก นำตัวอย่างที่ดูดขึ้นมารองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว(Whatman GF/F) ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่อาจตกค้างในแผ่นกรอง โดยจะกรองผ่านชุดกรองสำหรับใช้กับเข็มฉีดยาทำจากสแตนเลส จากนั้นใส่ตัวอย่างที่กรองลงในขวดแก้วสีชาปิดฝาแล้วนำไปเก็บในตู้แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป โดยตัวอย่างน้ำจะไม่เก็บนานเกิน 1 สัปดาห์ ภาพรวมรายละเอียดการศึกษาการชะละลาย และการเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 3.1 และขั้นตอนการเก็บตัวอย่างแบบละเอียดแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 รายละเอียดแผนภาพการทดลอง และการเก็บตัวอย่าง



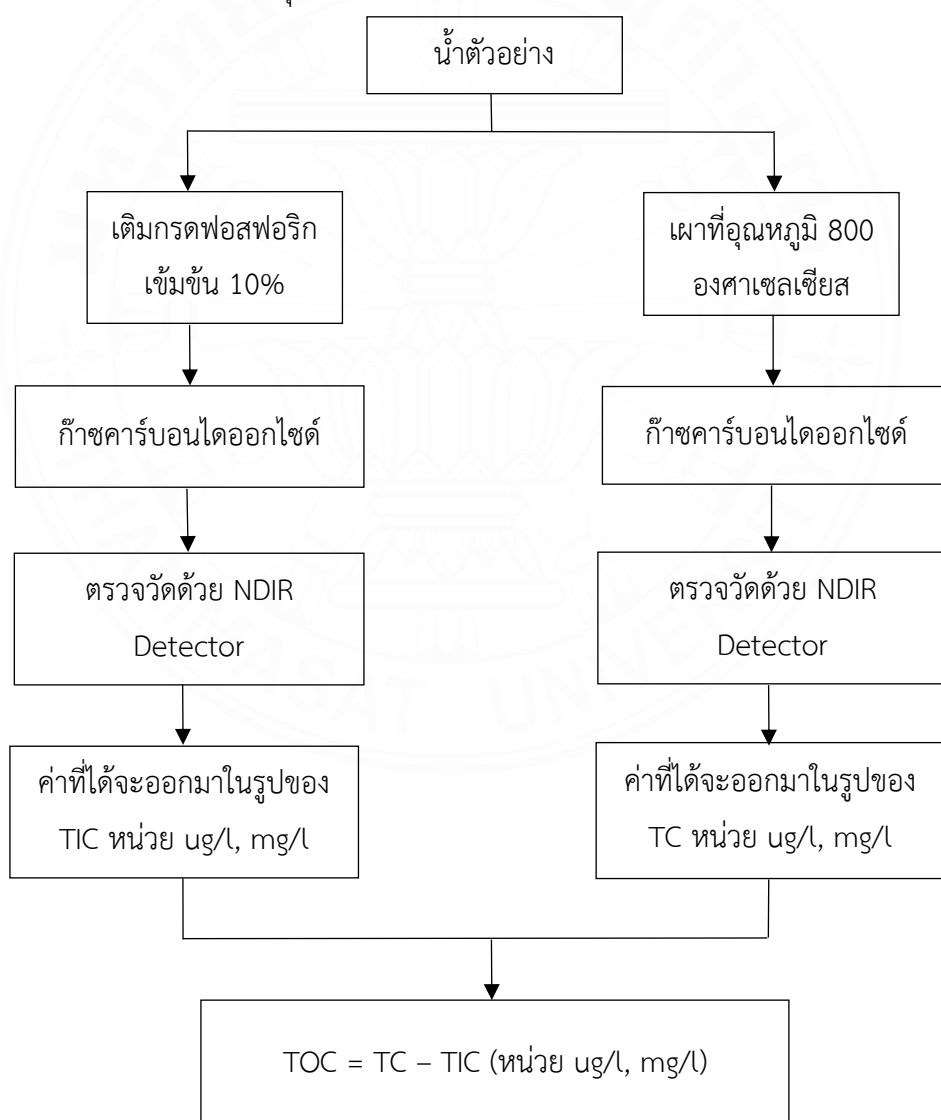
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่าง โดยขั้นตอนที่ 1.) ดูดตัวอย่างด้วยหลอดฉีดยาทำจากแก้ว 2.) กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรองซึ่งใส่ไว้ข้างในชุดกรองสำหรับใช้กับเข็มฉีดยาทำจากสแตนเลส 3.) นำตัวอย่างที่กรองได้เก็บไว้ในตู้แช่แข็ง

3.8 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.8.1 ปริมาณ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก

การวิเคราะห์ปริมาณ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนสารอินทรีย์รวม (TOC Analyzer) ยี่ห้อ Analytik Jena รุ่น Multi N/C 3100 หลักการวิเคราะห์ TOC (Total Organic Carbon) จำเป็นต้องกำจัดคาร์บอนอนินทรีย์สาร (Total Inorganic Carbon, TIC) โดยการเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 10% เพื่อเปลี่ยนสารอนินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดกลืนด้วยแสงอินฟราเรด

(Infrared, IR) จาก Non-Dispersive Infrared Detector (NDIR Detector) โดยวัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นตอนนี้ TIC จะถูกกำจัดออกไปจนหมด ส่วนที่เหลือที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับกรด จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส และมี Platinum Catalyze เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากการเผาจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดกลืนด้วยแสง IR จาก NDIR Detector โดยวัดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และได้ค่าคาร์บอนรวม (Total Carbon, TC) หลังจากนั้นเครื่องมือจะทำการคำนวณโดยนำค่า TC – TIC ค่าที่ได้จะออกมาในรูปแบบของ TOC ทำให้ทราบถึงปริมาณของ DOC ที่ชะละลายออกมา (ภาพที่ 3.3) โดยค่า DOC ที่ตรวจวัดได้จะถูกนำไปหักลบกับค่า DOC ในขวดควบคุม



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม

3.8.2 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก

การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนส์ของ DOM ด้วยเทคนิค FEEM ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) ยี่ห้อ Jasco รุ่น FP-8350 โดยกำหนดค่าความยาวคลื่นที่ตรวจวัดอยู่ระหว่าง 220-550 นาโนเมตร และเปลี่ยนความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 นาโนเมตร ตั้งค่าความเร็วในการตรวจวัดที่ 1,000 นาโนเมตรต่อนาที ตั้งค่าการควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยก่อนการตรวจวัดจะทำการทดสอบสภาพและสถานะการทำงานของเครื่องมือก่อนทำการตรวจวัดทุกครั้ง โดยใช้ DI เป็น Blank ถ้าตรวจวัดแล้วไม่พบฟลักปรากฏแสดงว่าเครื่องมืออยู่สถานะที่พร้อมใช้งาน จากนั้นนำตัวอย่างใส่ลงในคิวเวตต์ที่ทำจาก quartz ขนาด 1.0 เซนติเมตร ใส่ลงในเครื่องมือ เครื่องมือก็จะรอให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิตามที่ตั้งไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ตั้งไว้เครื่องมือจะเริ่มทำการวิเคราะห์โดยจะปล่อยพลังงานออกมาตามค่าที่ตั้งไว้ เมื่อสแกนเสร็จซอฟต์แวร์จะเปลี่ยน Ex ทุก ๆ 5 นาโนเมตร แล้วจะทำแบบเดิมซ้ำ ๆ จนกว่าจะถึงช่วงที่ตั้งไว้ที่ 220-550 นาโนเมตร จากนั้นเครื่องมือจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่น Ex/Em และความเข้มข้นฟลูออเรสเซนส์ (Fluorescence Intensity, F.I.) ที่อ่านได้ก่อนนำมาสร้างเป็น 3-Dimensional Excitation Emission Fluorescence Spectrum ด้วยซอฟต์แวร์ของเครื่องมือ โดยกำหนดให้แกน X เป็นค่า Emission Wavelength แกน Y เป็นค่า Excitation Wavelength มีหน่วยเป็นนาโนเมตร และแกน Z เป็นค่า F.I. (ไม่มีหน่วย) ข้อมูลที่ได้จะออกมาในรูปของฟลักโดยจะสามารถระบุชนิดของ DOM ได้จากเปรียบเทียบตำแหน่งของฟลักที่ได้กับตำแหน่งของฟลักที่มีการศึกษาไว้ในอดีตตามวิธีการของ มาร์ต สุขสมจิตร และ ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน (2559)

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.9.1 วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกต่อพื้นที่ผิวในพลาสติกทั้ง 3 ประเภท โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS Version 29.0.1.0 (171) หากพบว่าปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภทมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ทำการวิเคราะห์หาคู่ที่แตกต่างกันโดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test: Unequal Variances) ด้วยการทดสอบทั้งหมด 3 คู่ โดย คู่แรกคือ PP กับ LDPE คู่ที่ 2 PP กับ PET และคู่ที่ 3 LDPE กับ PET ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

3.9.2 วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคู่ของพลาสติกในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรม SPSS หากพบความแตกต่างระหว่างในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสงในพลาสติกทั้ง 3 ประเภท จะทำการวิเคราะห์หาคู่ที่แตกต่างกันโดยใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (t-test: Unequal Variances) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2016

3.9.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงคุณภาพ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้เปรียบเทียบกับการศึกษาที่เคยมีในอดีต



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 สภาพแวดล้อมในการทดลอง

4.1.1 ความเข้มแสงและช่วงแสง

ผลการสุ่มวัดความเข้มแสงในตู้จำลองสภาวะแวดล้อม พบว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยเท่ากับ $83,900 \pm 24$ ลักซ์ ในส่วนของช่วงแสงที่ใช้ในการทดลอง พบว่ามีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 460-627 นาโนเมตร

4.1.2 อุณหภูมิ

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิในขวดที่รับแสงมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 28.8 ± 0.87 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิในขวดที่ไม่ได้รับแสงพบว่ามีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 28.2 ± 0.93 องศาเซลเซียส

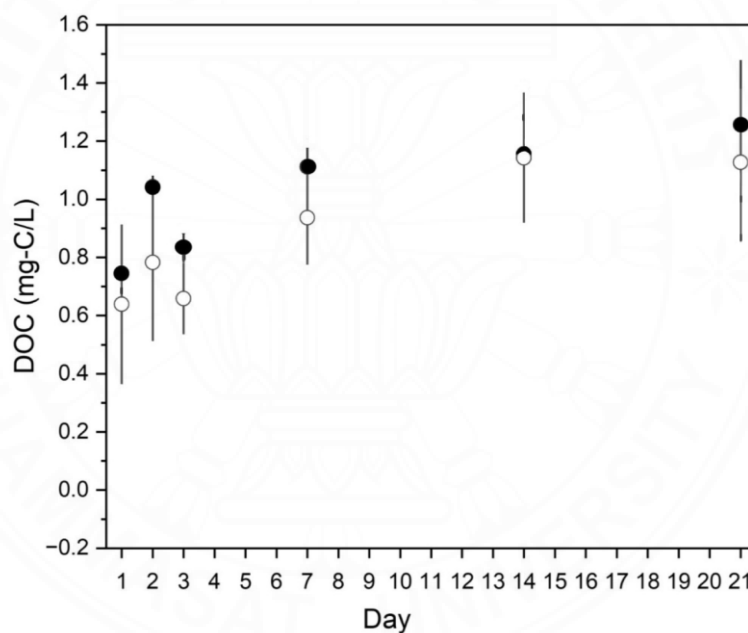
4.2 ความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลาย

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกตัวอย่างทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ PP LDPE และ PET ซึ่งเป็นตัวแทนของพลาสติกที่ใช้มากในประเทศไทย ตลอดระยะเวลาการทดลองนาน 21 วัน มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 พลาสติก PP

ความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก PP ภายใต้สภาวะที่มีแสงเทียม ในวันที่ 1, 2, 3, 7, 14 และ 21 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.64 ± 0.27 , 0.78 ± 0.27 , 0.66 ± 0.12 , 0.94 ± 0.16 , 1.14 ± 0.22 และ 1.13 ± 0.25 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกประเภทเดียวกันภายใต้สภาวะที่ไม่มีแสง พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.75 ± 0.05 , 1.04 ± 0.07 , 0.83 ± 0.05 , 1.11 ± 0.07 , 1.16 ± 0.12 และ 1.26 ± 0.22 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP โดยการชะละลายจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และยังคงมีการชะละลายอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง รูปแบบการชะละลายนี้พบได้ทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง แสดงดังภาพที่ 4.1 โดยรูปแบบการชะละลายของ DOC จากพลาสติก PP ที่กล่าวไปข้างต้นไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Egea et al.

(2024) ที่พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP อย่างรวดเร็วตั้งแต่ในช่วงแรกที่พลาสติกสัมผัสกับน้ำ และยังคงมีการชะละลายอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง อีกทั้งยังไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Zhu et al. (2020) ที่พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ที่ผ่านการใช้งาน โดยจะชะละลาย DOC ออกมาตั้งแต่วันแรก และยังคงมีการชะละลายอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง โดยในช่วงท้ายของการทดลองพบว่ามีความเข้มข้นของ DOC มากที่สุด อีกทั้งยังไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Romera-Castilo et al. (2018) ที่พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกตั้งแต่วันแรก นอกจากนี้ยังไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Lee et al. (2024) ที่พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ในช่วงแรกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 84-90 ของ DOC ตลอดการทดลอง ซึ่งมีความใกล้เคียงกับในการศึกษานี้ที่พบว่าในช่วงแรกชะละลาย DOC มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 68-77 ของ DOC ตลอดการทดลอง

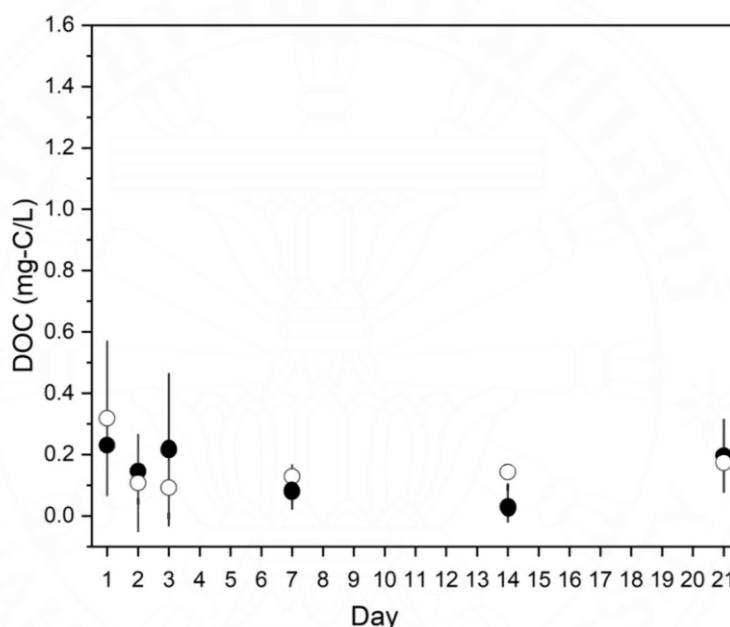


ภาพที่ 4.1 รูปแบบการชะละลาย DOC จากพลาสติก PP ในสภาวะที่มีแสงเทียม (○) และไม่มีแสง (●), ○● หมายถึง ค่าเฉลี่ย, | หมายถึง 1 S.D.

4.2.2 พลาสติก LDPE

ความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก LDPE ภายใต้สภาวะที่มีแสงเทียม ในวันที่ 1, 2, 3, 7, 14 และ 21 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.32 ± 0.25 , 0.11 ± 0.16 , 0.09 ± 0.09 , 0.13 ± 0.04 , 0.14 ± 0.02 และ 0.17 ± 0.03 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกประเภทเดียวกันภายใต้สภาวะที่ไม่มีแสง พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.23 ± 0.08 , 0.15 ± 0.09 , 0.22 ± 0.25 , 0.08 ± 0.06 , 0.03 ± 0.05 และ 0.20 ± 0.12 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE โดยการชะละลายจะเกิดขึ้นในวันแรก และไม่สามารถสังเกตการเพิ่มขึ้นของ DOC จนสิ้นสุดการทดลอง รูปแบบการชะละลายนี้พบได้ทั้งในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง แสดงดังภาพที่ 4.2 โดยรูปแบบการชะละลายของ DOC จากพลาสติก LDPE ที่กล่าวไปข้างต้นไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Romera-Castilo et al. (2022a) ที่พบว่า มี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE มากที่สุดในวันแรกที่พลาสติกสัมผัสกับน้ำ และหลังจากนั้น ความเข้มข้นของ DOC จะค่อย ๆ ลดลงจนไม่สามารถสังเกตการเพิ่มขึ้นของ DOC จนสิ้นสุดการทดลอง โดยได้ระบุว่าปัจจัยที่ทำให้ความเข้มข้นของ DOC ลดลงเป็นผลจากการดูดกลับไปยังพื้นที่ผิวของพลาสติก และการระเหยออกไป

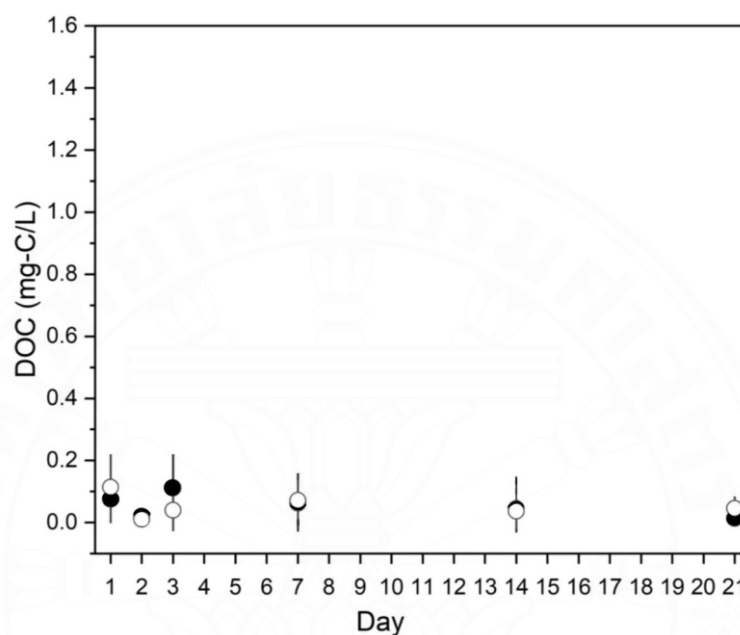


ภาพที่ 4.2 รูปแบบการชะละลาย DOC จากพลาสติก LDPE ในสถานะที่มีแสงเทียม (○) และไม่มีแสง (●), ○● หมายถึง ค่าเฉลี่ย, | หมายถึง 1 S.D.

4.2.3 พลาสติก PET

ความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก PET ภายใต้สถานะที่มีแสงเทียม ในวันที่ 1, 2, 3, 7, 14 และ 21 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.17 ± 0.12 , 0.02 ± 0.01 , 0.12 ± 0.07 , 0.11 ± 0.07 , 0.06 ± 0.07 และ 0.07 ± 0.04 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของความเข้มข้นของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกประเภทเดียวกันภายใต้สถานะที่ไม่มีแสง พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.08 ± 0.05 , 0.02 ± 0.02 , 0.11 ± 0.12 , 0.09 ± 0.09 , 0.04 ± 0.08 และ 0.01 ± 0.02 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมาจากพลาสติก PET อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ DOC ที่ชะละลายออกมาพบว่ามีปริมาณที่น้อยมาก ๆ จนแทบจะไม่สามารถสังเกตเห็นการชะ

ละลาย โดยการชะละลายที่เห็นได้ชัดจะอยู่ในช่วงวันแรก และหลังจากนั้นจะไม่สามารถสังเกตการเพิ่มขึ้นของ DOC จนสิ้นสุดการทดลอง รูปแบบการชะละลายนี้พบได้ทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสงเทียม แสดงดังภาพที่ 4.3 โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่กล่าวไปข้างต้น แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.3 รูปแบบการชะละลาย DOC จากพลาสติก PET ในสภาวะที่มีแสงเทียม (○) และไม่มีแสง (●), ○● หมายถึง ค่าเฉลี่ย, | หมายถึง 1 S.D.

Wang (2016) ระบุว่ากระบวนการชะละลายแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ คือ Advection และ Diffusion โดยกระบวนการ Advection เกิดจากการเคลื่อนที่ทางกายภาพของน้ำที่จะไหลไปรอบ ๆ โครงสร้างของวัตถุ และจะไปชะล้าง (Wash-Off) ส่วนที่อยู่บริเวณพื้นผิวด้านนอกให้หลุดออกมา ในขณะที่กระบวนการ Diffusion เป็นการแพร่ของสารออกจากวัตถุ ซึ่งจะต้องมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การทำลายโครงสร้างของวัตถุ (Wang, 2016) ในการศึกษาการชะละลาย DOC จากพลาสติกในครั้งนี้พบว่า DOC ถูกชะละลายออกมาจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท และ DOC จะถูกชะละลายออกมามากในช่วงแรก ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากกระบวนการ Advection ที่น้ำจะเป็นตัวล้างสิ่งที่ไม่ได้เกาะกันแน่นกับโพลิเมอร์ โดย Gewert et al. (2015) ระบุว่าโพลิเมอร์และสารเติมแต่งไม่ได้จับตัวกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ดังนั้นสารเติมแต่งที่ถูกเติมลงไปสามารถถูกชะละลายออกมาได้ นอกจากนี้ Romera-Castillo et al. (2022a) ระบุว่าสารปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตพลาสติก (Impurity) สามารถถูกชะละลายออกมาได้เช่นเดียวกัน ในขณะที่กระบวนการ Diffusion อาจจะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องมากนักเมื่อเทียบกับกระบวนการ Advection เนื่องจากไม่มีแสง UV ที่จะ

ทำลายโครงสร้างของโพลิเมอร์ ดังนั้น DOC ที่ถูกชะละลายออกจากพลาสติกที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ อาจเป็นส่วนประกอบของสารเติมแต่งที่ถูกเติมลงไปในกระบวนการผลิตพลาสติก และสารปนเปื้อน เช่นเดียวกับในการศึกษาอื่น ๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท

ประเภทของพลาสติก	ระยะเวลา (วัน)	ความเข้มข้นของ DOC (มิลลิกรัม-คาร์บอน/ลิตร)	
		มีแสงเทียม	ไม่มีแสง
PP	1	0.64±0.27	0.75±0.05
	2	0.78±0.27	1.04±0.07
	3	0.66±0.12	0.83±0.05
	7	0.94±0.16	1.11±0.07
	14	1.14±0.22	1.16 ± 0.12
	21	1.13±0.25	1.26±0.22
LDPE	1	0.32±0.25	0.23±0.08
	2	0.11±0.16	0.15±0.09
	3	0.09±0.09	0.22±0.25
	7	0.13±0.04	0.08±0.06
	14	0.14±0.02	0.03±0.05
	21	0.17±0.03	0.20±0.12
PET	1	0.17±0.12	0.08±0.05
	2	0.02±0.01	0.02±0.02
	3	0.12±0.07	0.11±0.12
	7	0.11±0.07	0.09±0.09
	14	0.06±0.07	0.04±0.08
	21	0.07±0.04	0.01±0.02

4.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการชะละลาย

4.3.1 ประเภทของพลาสติก

ผลการคำนวณปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกต่อพื้นที่ผิวในวันที่ 21 แยกตามประเภทของพลาสติก พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ในสถานะที่มีแสงเทียม เท่ากับ 9.93 ± 2.22 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสถานะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 11.07 ± 1.96 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในส่วนของ DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE ในสถานะที่มีแสงเทียมเท่ากับ 1.52 ± 0.25 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสถานะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 1.72 ± 1.07 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในส่วนของ DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก PET ในสถานะที่มีแสงเทียมเท่ากับ 0.60 ± 0.31 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสถานะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 0.12 ± 0.21 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ค่าเฉลี่ยของปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท เมื่อสิ้นสุดการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2

ปริมาณของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก PP ในครั้งนี้พบว่ามีปริมาณที่ไม่แตกต่างจากการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2018) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP อยู่ในช่วง 16.1–21.7 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร อีกทั้งยังไม่แตกต่างจากการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022a) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP อยู่ในช่วง 3.5–12.7 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Egea et al. (2024) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP อยู่ในช่วง 13.9–27 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร อย่างไรก็ตามพบว่าการศึกษากับการศึกษาของ Zhu et al. (2018) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ที่ผ่านการใช้งานอยู่ที่ 391 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร

ปริมาณของ DOC ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE ในครั้งนี้พบว่ามีปริมาณที่แตกต่างจากการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2018) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE อยู่ในช่วง 66.7–89.2 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร อีกทั้งยังแตกต่างจากการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022b) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกที่ผ่านการใช้งานซึ่งมีพลาสติก LDPE เป็นองค์ประกอบหลัก อยู่ในช่วง 89.3–215 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในขณะที่พลาสติก PET ไม่ได้มีการศึกษาใดที่ระบุถึงปริมาณของ DOC ที่ชะละลายออกมาอย่างชัดเจน

นอกเหนือจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภทที่ทำการศึกษา พลาสติกประเภทอื่นอย่าง EPS ถูกพบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมามากถึง 682 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในขณะที่ PE มี DOC ถูกชะละลายอยู่ที่ 11 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร (Zhu et al., 2018) หรือการศึกษา

ของ Romera-Castillo et al. (2018) ที่พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก HDPE อยู่ในช่วง 24.1–27.4 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในขณะที่พลาสติก PE มี DOC ถูกชะละลายอยู่ในช่วง 2.6–3.1 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร นอกจากนี้การศึกษาของ Egea et al. (2024) พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PE อยู่ในช่วง 13.0–18.8 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร

ผลการเปรียบเทียบปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติกในปริมาณที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพบว่าพลาสติก PP ชะละลาย DOC ออกมามากที่สุด ตามมาด้วย LDPE และ PET ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Delre et al. (2023) ที่พบว่า DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP มากที่สุด ตามมาด้วย LDPE และ PET ตามลำดับ อีกทั้งยังไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Chen et al. (2024) ที่ระบุว่าพลาสติก PP ชะละลาย DOC ออกมามากที่สุด และไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Zhu et al. (2020) ที่ระบุว่า DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก PP มีค่ามากกว่าพลาสติก PE โดยสาเหตุที่พลาสติก PP มี DOC ถูกชะละลายออกมามากที่สุดอาจจะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของพลาสติกที่เป็นแบบโซ่ตรงซึ่งถูกทำลายได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้างแบบกิ่งอย่างพลาสติก LDPE และโครงสร้างแบบวงแหวนอย่างพลาสติก PET โดย Zheng et al. (2022) ระบุว่าโครงสร้างของโพลิเมอร์ที่มีการพันกัน (แบบกิ่ง) มีความทนทานต่อการแตกหักที่สูงกว่าโครงข่ายที่ไม่มีการพันกัน (แบบเส้นตรง) นอกจากนี้ Yang et al. (2022) ระบุว่าโครงสร้างแบบวงแหวนมีความเสถียรสูงกว่าโครงสร้างแบบเส้นตรง อีกทั้ง Chen et al. (2024) ระบุว่าโครงสร้างไฮโดรคาร์บอนของพลาสติก PP สามารถถูกย่อยสลายได้ง่าย เช่นเดียวกับกับ Lee et al. (2020a) ที่ระบุว่าพลาสติก PP เมื่อได้รับแสงเป็นเวลานานจะเกิดการแตกตัวของโพลิเมอร์ ซึ่งมีแนวโน้มการเกิดเรดิคัลที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับพลาสติก PE เช่นเดียวกับการศึกษาของ Masry et al. (2021) พบว่ากระบวนการเสื่อมสภาพในพลาสติก PP มีค่าสูง ในขณะที่ PE มีความทนทานต่อการถูกชะละลายสูง ด้วยเหตุนี้โครงสร้างของพลาสติกน่าจะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการชะละลาย DOC จากพลาสติก และนอกเหนือจากนี้อายุของพลาสติกอาจจะเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้พลาสติก PP ชะละลาย DOC ออกมามากที่สุด เนื่องจากอายุของพลาสติกที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ พลาสติก PP มีอายุมากที่สุด รองลงมาด้วย LDPE และ PET ตามลำดับ

ตาราง 4.2 ปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภทเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ประเภทของ พลาสติก	มีแสงเทียม (มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร)	ไม่มีแสงเทียม (มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร)
PP	9.93±2.22	11.07±1.96
	10.5 ^a ±1.97	
LDPE	1.52±0.25	1.72±1.07
	1.62 ^b ±0.70	
PET	0.60±0.31	0.12±0.21
	0.32 ^c ±0.34	

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ (a, b, c) ที่แตกต่างกันในแนวดิ่ง แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01)

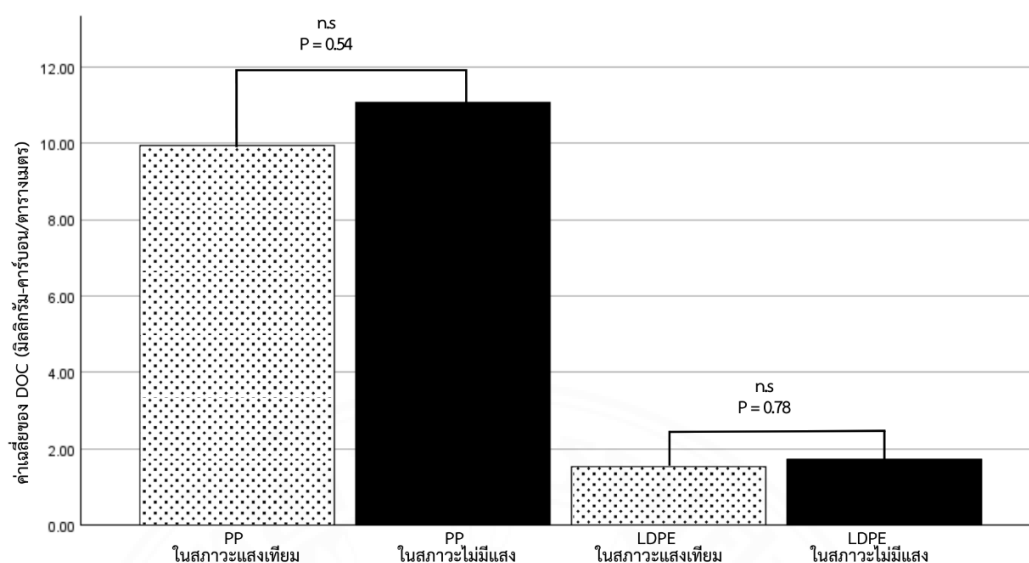
4.3.2 แสง

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสงในพลาสติกแต่ละประเภท พบว่าปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติก PP ในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P=0.54) เช่นเดียวกับพลาสติก LDPE ที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกในสภาวะที่มีแสงเทียมและไม่มีแสง (P=0.78) เช่นเดียวกับพลาสติก PET ที่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกในสภาวะที่มีแสงเทียมและไม่มีแสง (P=0.15) แสดงให้เห็นว่าในการทดลองนี้แสงเทียมไม่มีผลต่อการชะละลาย DOC จากพลาสติก แสดงดังภาพที่ 4.4

ผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากการศึกษาในอดีต เช่น Romera-Castillo et al. (2018) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายออกมาในสภาวะที่มีแสงเทียมมากกว่าสภาวะที่ไม่มีแสง โดยในสภาวะที่มีแสงเทียมมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP เท่ากับ 21.7 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสภาวะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 16.1 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาของ Lee et al. (2020a) ที่พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ในสภาวะที่มีแสงเทียมมากกว่าในสภาวะที่ไม่มีแสง Egea et al. (2024) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ในสภาวะที่มีแสงเทียมเท่ากับ 27 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสภาวะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 13.9 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร Romera-Castillo et al. (2022a) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ในสภาวะที่มีแสงเทียมเท่ากับ 12.7 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสภาวะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 3.5 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร Zhu et al. (2018) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก PP ที่ผ่านการใช้งานในสภาวะ

ที่มีแสงเทียมเท่ากับ 391 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022b) พบว่ามี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE ในสภาวะที่มีแสงเทียมเท่ากับ 7.1 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสภาวะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 0.9 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร ในขณะที่พลาสติกเก่าที่มี DOC ถูกชะละลายออกมาในสภาวะที่มีแสงเทียมเท่ากับ 215 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร และในสภาวะที่ไม่มีแสงเท่ากับ 89.3 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร เช่นเดียวกับการศึกษาของ Yu et al. (2024) ที่พบว่าพลาสติกที่อยู่ในสภาวะที่มีแสงเทียมจะชะละลาย DOC ออกมามากกว่าพลาสติกที่อยู่ในสภาวะที่ไม่มีแสง

โดยสาเหตุที่ทำให้ผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างกับการศึกษาอื่น ๆ อาจจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการชะละลายที่ได้กล่าวไปในข้างต้นที่จะประกอบไปด้วย 2 กระบวนการ คือ Advection และ Diffusion ซึ่งในการศึกษานี้กระบวนการเกิด Diffusion อาจจะเกิดได้น้อยกว่าในการศึกษาอื่น ๆ ที่มีแสง UV เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยแสง UV จะไปทำลายโครงสร้างของโพลิเมอร์ทำให้เกิดการแตกแตกหัก ซึ่งในกระบวนการนี้สารที่อยู่ข้างในโพลิเมอร์จะถูกพาออกมา ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (2020), Lee et al. (2021), และ Egea et al. (2024) ที่ระบุว่าแสง UV เป็นตัวกระตุ้นให้มีการชะละลาย DOC ออกมามากขึ้นประกอบกับ Lin et al. (2020) รายงานว่าโพลิเมอร์ของพลาสติกประเภท PE มีความสามารถในการต้านทานแสง UV-C ได้เป็นอย่างดี โดยแม้จะได้รับในปริมาณสูงแต่พื้นที่ผิวของพลาสติก PE ไม่มีการออกซิเดชันเกิดขึ้น ซึ่งเป็นหลักฐานที่ยืนยันว่าพลาสติก PE มีแนวโน้มการสลายตัวด้วยแสง UV ที่ต่ำ ผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะไม่มีแสง UV เป็นองค์ประกอบก็สามารถมี DOC ถูกชะละลายออกมาได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lee et al. (2020b) ที่พบว่าในสภาวะที่ไม่มีแสงมี DOC ถูกชะละลายจากพลาสติก



ภาพที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบปริมาณของ DOC ที่ชะละลายจากพลาสติกต่อพื้นที่ผิวในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง ในพลาสติก PP และ LDPE ในส่วนของพลาสติก PET พบว่าปริมาณของ DOC ที่ชะละลายออกมามีปริมาณน้อยมากจึงไม่ได้นำมาเปรียบเทียบ, n.s. หมายถึง non-significant ($P > 0.05$)

4.4 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM

4.4.1 ฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัม

ฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง มีลักษณะใกล้เคียงกัน ซึ่งแตกต่างจากฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของน้ำตัวอย่างเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0) ที่ไม่ปรากฏฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัม ภาพที่ 4.5 แสดงฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของน้ำตัวอย่างที่แช่พลาสติก PP, LDPE, และ PET ในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง

4.4.2 ตำแหน่งของฟลูออเรสเซนซ์ที่ปรากฏ

ผลการศึกษาตำแหน่งของฟลูออเรสเซนซ์ที่ปรากฏบนฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน โดยฟลูออเรสเซนซ์สเปกตรัมของพลาสติก PP ในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง พบที่ตำแหน่ง Ex/Em 300-305/335-340 นาโนเมตร และ Ex/Em 225-245/335-340 นาโนเมตร ตามลำดับ ไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Yu et al. (2024) ที่พบว่าในพลาสติก PP พบฟลูออเรสเซนซ์ที่ตำแหน่ง Ex/Em 250-270/350-400 นาโนเมตร ในส่วนของพลาสติก LDPE ในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง พบฟลูออเรสเซนซ์ที่ตำแหน่ง Ex/Em 295-305/335-340 นาโนเมตร และ Ex/Em 225-245/335-340 นาโนเมตร

ไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022b) ที่พบว่าพลาสติกที่เก็บได้จากชายหาดมีองค์ประกอบของพลาสติกต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือพลาสติก LDPE ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก โดยในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง พบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 268/352 นาโนเมตร และ 312/362 นาโนเมตร ตามลำดับ ในส่วนของพลาสติก PET พบว่าทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง พบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/335-340 นาโนเมตร และ Ex/Em 230-245/340-345 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ 4.3 ไม่แตกต่างกับการศึกษาของ Yu et al. (2024) ที่ระบุว่าในพลาสติก PET พบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 250-270/350-400 นาโนเมตร

ตำแหน่งของฟลูออโรกราฟฟี่ในการศึกษานี้พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ Chen et al. (2024) ที่พบว่าสภาวะที่มีแสงเทียมมีตำแหน่งของฟลูออโรกราฟฟี่ในตำแหน่งที่แตกต่างกับสภาวะที่ไม่มีแสง ในสภาวะที่มีแสงเทียม พลาสติก PP พบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 275/325 นาโนเมตร กับ 245/325 นาโนเมตร ในขณะที่สภาวะที่ไม่มีแสงพบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 250/310 นาโนเมตร กับ 245/325 นาโนเมตร ในส่วนของพลาสติก PET ในสภาวะที่มีแสงพบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 275/335 นาโนเมตร ในขณะที่สภาวะที่ไม่มีแสงพบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 250/305 นาโนเมตร จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของฟลูออโรกราฟฟี่มีการเปลี่ยนแปลง Romera-Castillo et al. (2022a) ระบุว่า การเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งฟลูออโรกราฟฟี่มีสาเหตุมาจากการใช้ประโยชน์ของ DOM ในแบคทีเรีย นอกจากนี้ Yu et al. (2024) ระบุว่าลักษณะสมบัติฟลูออโรเรสเซนซ์ของ DOM สามารถถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการโฟโตออกซิเดชันด้วยแสง UV ที่เปลี่ยนลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ให้กลายเป็นไม่มีลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ แต่การศึกษาในครั้งนี้ไม่มีแสง UV เข้ามาเกี่ยวข้องเพราะฉะนั้นตำแหน่งของฟลูออโรกราฟฟี่ที่เกิดขึ้นจึงไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง นอกจากนี้การศึกษานี้ยังพบว่ามีฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่งอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวไปข้างต้นโดยพบฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 220-225/290-295 นาโนเมตร ซึ่งตำแหน่งฟลูออโรกราฟฟี่ที่พบสอดคล้องกับการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022a) ที่พบว่าพลาสติก LDPE มีฟลูออโรกราฟฟี่ที่ตำแหน่ง Ex/Em 250/310 นาโน-เมตร อย่างไรก็ตามฟลูออโรกราฟฟี่ที่พบไม่ชัดเจนเมื่อเทียบกับฟลูออโรกราฟฟี่ทั้ง 2 ที่กล่าวไปข้างต้น

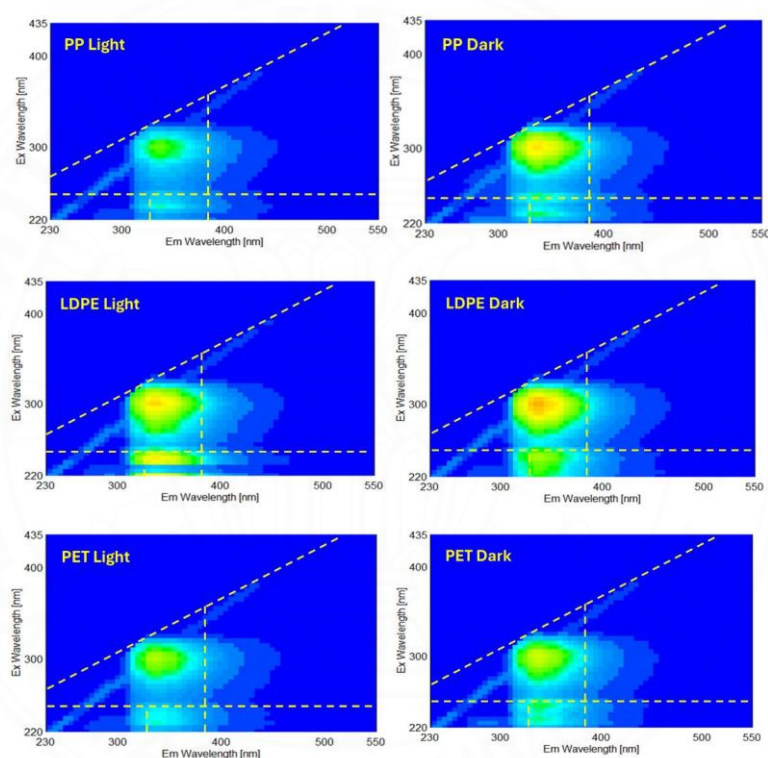
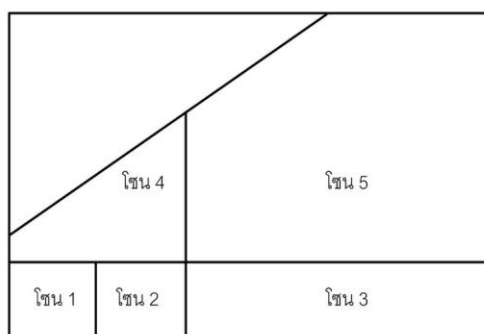
ตารางที่ 4.3 ปริมาณฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภทที่เวลาต่าง ๆ

ประเภทของพลาสติก	วันที่	มีแสงเทียม		ไม่มีแสง	
		Ex (นาโนเมตร)	Em (นาโนเมตร)	Ex (นาโนเมตร)	Em (นาโนเมตร)
PP	1	300 235-240	340 340	300 230-235	340 340
	2	300 240	340 340	300 230-245	340 340
	3	300-305 235-240	340 340	300 225-235	335-340 340
	7	300 240	340 340	300 230-240	340 340
	14	300 235	340 340-345	300 235-240	340 340
	21	300 235-240	335-340 335-340	300 230-245	340 340
LDPE	1	300 240-245	335-340 340	300 225-240	340 340
	2	300-305 240-245	340 340	300-305 240	340 340
	3	300-305 240-245	340 340	300-305 235-245	340 340
	7	295-300 240-245	340 340	300 235-240	335-340 340
	14	300-305 230-245	335-340 340	300 235-240	340 340
	21	295-300 240	340 340	300 235-245	340 340
PET	1	300 235-245	340 340-345	300 240	335-340 340
	2	300 235-240	340 340	300 240	335-340 340
	3	300 240	340 340	300 240-245	340 340
	7	300 230-240	340 340	300 240-245	340 340
	14	300 240	340 340	300 240	335-340 340
	21	300 230-240	340 340	300 235-245	340 340

4.2.3 ชนิดฟลูออเรสเซนต์สเปกตรัมของ DOM

Chen et al. (2003) ใช้เทคนิค Fluorescence Regional Integration (FRI) ในการแบ่งกลุ่มของ DOM โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ สารที่มีลักษณะคล้ายสารในกลุ่ม Aromatic Protein-Like I กลุ่มที่ 2 คือ สารที่มีลักษณะคล้ายสารในกลุ่ม Aromatic Protein-Like II กลุ่มที่ 3 คือ สารที่มีลักษณะคล้ายสารในกลุ่ม Fulvic Acid-Like กลุ่มที่ 4 คือ สารที่มีลักษณะคล้ายสารในกลุ่ม Microbial Byproducts-Like และกลุ่มที่ 5 คือ สารที่มีลักษณะคล้ายสารในกลุ่ม Humic Acid-Like แสดงดังภาพที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท อยู่ในกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มที่ 4 ได้แก่ Aromatic Protein-Like II และ Microbial Byproducts-Like ตามลำดับ ผลการศึกษาในครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2022a) ที่พบว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก PP มีลักษณะสมบัติคล้ายสารในกลุ่ม Aromatic Protein-Like II นอกจากนี้ยังไม่แตกต่างจากการศึกษาของ Chen et al. (2024) ที่พบว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก PP มีลักษณะสมบัติคล้ายสารในกลุ่ม Aromatic Protein-Like II และ Microbial Byproducts-Like Romera-Castillo et al. (2018) ระบุว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติก LDPE มีลักษณะสมบัติคล้ายสารในกลุ่ม Aromatic Protein-Like II

Fellman et al. (2010) ระบุว่าบทบาทของ DOM ในระบบนิเวศขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของ DOM Xiao et al. (2018) ระบุว่า DOM ที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะมีบทบาทที่มีในสิ่งแวดล้อมแตกต่างจาก DOM ที่มีมวลโมเลกุลสูง โดย DOM ที่มีลักษณะคล้ายสารในกลุ่ม Aromatic Protein-Like I, Aromatic Protein-Like II และ Microbial Byproducts-Like ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ จะมีบทบาทในสิ่งแวดล้อมมากแตกต่างจาก DOM ที่มีลักษณะสมบัติคล้ายสารในกลุ่ม Fulvic Acid-Like และ Humic Acid-Like ที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่มีมวลโมเลกุลสูงซึ่งทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพและคงตัวอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลานาน ดังนั้น DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกในการศึกษานี้มีลักษณะสมบัติที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่มีมวลโมเลกุลต่ำ และมีบทบาทในสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Romera-Castillo et al. (2018) ที่ระบุว่า DOM ที่ถูกชะละลายจากพลาสติกร้อยละ 60 จะถูกใช้โดยแบคทีเรียภายในระยะเวลาเพียง 5 วัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Sheridan et al. (2022) ที่ระบุว่าน้ำชะจากพลาสติก LDPE สามารถถูกแบคทีเรียใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่าสารอินทรีย์ในธรรมชาติที่เก็บจากทะเลสาบทั้ง 29 แห่งในสแกนดิเนเวีย



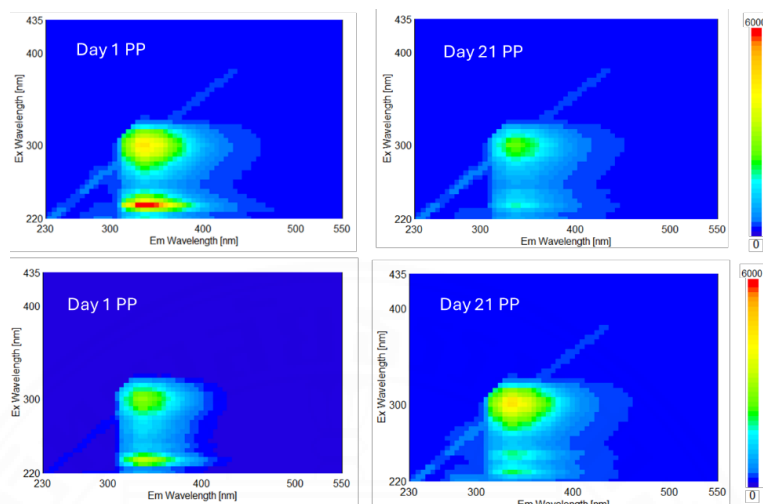
ภาพที่ 4.5 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสงที่ตำแหน่งของพีคในโซนต่าง ๆ ของวันที่ 21

4.4.4 รูปแบบการเปลี่ยนแปลง

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมของพลาสติกที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ประเภท พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

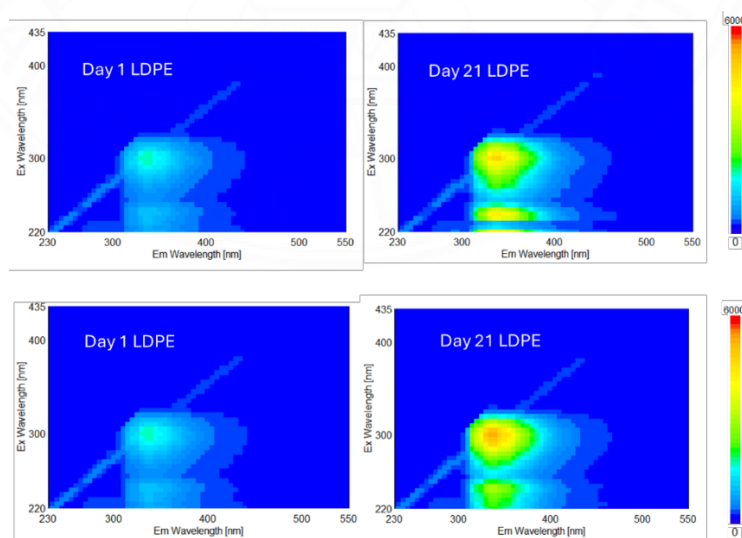
ภาพที่ 4.6 แสดงฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมที่ชะละลายจากพลาสติก PP ในวันที่ 1 และ 21 ทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง โดยในวันที่ 1 พบพีคปรากฏที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/340 และ Ex/Em 230-240/340 เช่นเดียวกับวันที่ 21 ที่พบพีคปรากฏในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน โดยพบที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/335-340 และ Ex/Em 230-245/340 ซึ่งแตกต่างกับการศึกษาของ

Romera-Castillo et al. (2022a) ที่ว่าระบุตำแหน่งของพีคมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีสาเหตุมาจากการใช้ DOM ของแบคทีเรีย



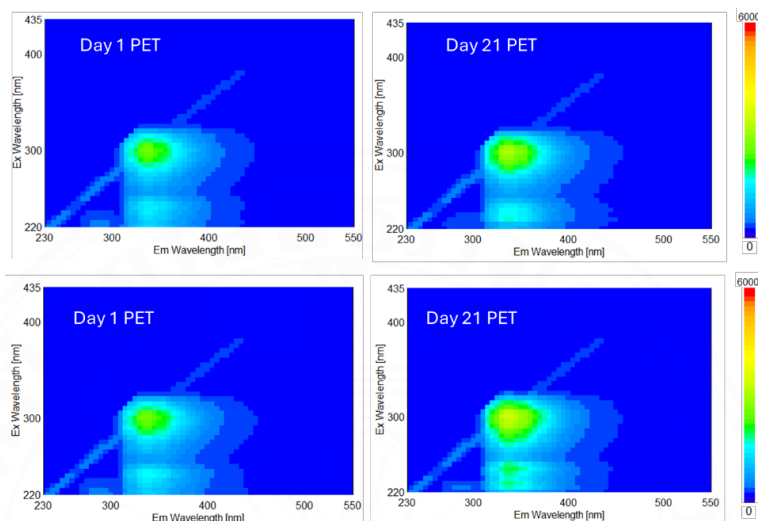
ภาพที่ 4.6 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PP ในสถานะที่มีแสงเทียม (บน) และในสถานะที่ไม่มีแสง (ล่าง) ในวันที่ 1 และ 21

ภาพที่ 4.7 แสดงฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมที่ชะละลายจากพลาสติก LDPE ในวันที่ 1 และ 21 ทั้งในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง โดยในวันที่ 1 พบพีคปรากฏที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/335-340 และ Ex/Em 225-245/340 เช่นเดียวกับวันที่ 21 ที่พบพีคปรากฏในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน โดยพบที่ตำแหน่ง Ex/Em 295-300/340 และ Ex/Em 235-245/340



ภาพที่ 4.7 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก LDPE ในสถานะที่มีแสงเทียม (บน) และในสถานะที่ไม่มีแสง (ล่าง) ในวันที่ 1 และ 21

ภาพที่ 4.8 แสดงฟลูออเรสเซนส์สเปกตรัมที่ชะละลายจากพลาสติก PET ในวันที่ 1 และ 21 ทั้งในสถานะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง โดยในวันที่ 1 พบพีคปรากฏที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/335-340 และ Ex/Em 235-245/340-345 เช่นเดียวกับวันที่ 21 ที่พบพีคปรากฏในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน โดยพบที่ตำแหน่ง Ex/Em 300/340 และ Ex/Em 230-245/340



ภาพที่ 4.8 ลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติก PET ในสถานะที่มีแสงเทียม (บน) และในสถานะที่ไม่มีแสง (ล่าง) ในวันที่ 1 และ 21

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการวิจัย

ผลการศึกษาปริมาณ และลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ PP LDPE และ PET ซึ่งเป็นพลาสติกที่ถูกใช้มากในประเทศไทย พบว่ามี DOM ถูกชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท ในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) โดยพลาสติก PP มี DOM ถูกชะละลายออกมามากที่สุด (10.5 ± 1.97 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร) ตามมาด้วย LDPE (1.62 ± 0.07 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร) และ PET (0.32 ± 0.34 มิลลิกรัม-คาร์บอน/ตารางเมตร) ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าแสงเทียมไม่มีผลต่อการชะละลาย DOM จากพลาสติก กล่าวคือมีแสงเทียม หรือไม่มีแสงก็สามารถมี DOC ถูกชะละลายออกมาได้เช่นเดียวกัน ในส่วนของลักษณะสมบัติฟลูออเรสเซนซ์ของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกทั้ง 3 ประเภท พบว่าทั้งในสภาวะที่มีแสงเทียม และไม่มีแสง ตำแหน่งของพีคไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยตำแหน่งของพีคที่ปรากฏในพลาสติกทั้ง 3 ประเภท พบว่ามีตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ในพลาสติก PP พบที่ตำแหน่ง Ex/Em 300-305/335-340 นาโนเมตร และ Ex/Em 225-245/335-340 นาโนเมตร ในพลาสติก LDPE พบที่ตำแหน่ง Ex/Em 295-305/335-340 นาโนเมตร และ Ex/Em 225-245/335-340 นาโนเมตร และในพลาสติก PET พบที่ตำแหน่ง Ex/Em 275/335 นาโนเมตร และ Ex/Em 250/305 นาโนเมตร จากการเปรียบเทียบตำแหน่งของพีคที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับการศึกษาอื่น ๆ ที่ได้มีการรวบรวมตำแหน่งของพีคและได้มีการแบ่งกลุ่มให้กับ DOM พบว่าตำแหน่งของพีคที่ปรากฏในการศึกษานี้ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของ Aromatic Protein-Like และ Microbial Byproducts-Like ซึ่งทั้ง 2 กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งจะสามารถถูกแบคทีเรียในสิ่งแวดล้อมใช้งานได้ง่าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 อุณหภูมิสำหรับการทดลองอาจเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการชะละลาย DOM จากพลาสติก จึงจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมตลอดระยะเวลาการทดลอง

5.2.2 อายุของพลาสติกอาจจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการชะละลาย DOM จากพลาสติก

5.2.3 การศึกษาในสภาพแวดล้อมจริงสามารถช่วยประมาณปริมาณของ DOM ที่ชะละลายจากพลาสติกได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น



รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- กิตติ อมรรักษ์. (2532). เอกสารประกอบการสอนเคมีอินทรีย์เบื้องต้น, หน้า 1-2.
- เกรียงศักดิ์ วงศ์พร้อมรัตน์. (2556). รอบรู้เรื่องพลาสติก. กรุงเทพฯ: อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันพลาสติก.
- แคลเลีย ปัทมพรหม. (2557). พอลิเมอร์พื้นฐานสำหรับวิศวกรเคมี. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- จรงค์พันธ์ มุสิกวงค์. (2555) ผลของกลุ่มสารอินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์ไนโตรเจนในน้ำดิบจากกลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาต่อโอกาสการก่อตัวของสารเอ็น-ไนโตรโซไดเมทิลลามีนในน้ำประปา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์:ม.ป.ท.
- สุนันทา วิบูลย์จันทร์. (2548). เคมีอินทรีย์ (พิมพ์ครั้งที่ 9). โรงพิมพ์บริษัทเอ็นดับบลิว มีเดีย จำกัด.
- สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี. (2553). เคมีอินทรีย์ เล่ม 2 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒนา.
- อรอุษา สรวารี. (2546). สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดม กักพล, โสภณ เรืองสำราญ และอมร เพชรสม. (2547). อินทรีย์เคมี1 (พิมพ์ครั้งที่ 8). โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Aguilar, P. (2019). Bacterial diversity and community composition in high elevation aquatic ecosystems (unpublished PhD's thesis). Innsbruck University, Faculty of Ecology.
- Dittmar, T., & Stubbins, A. (2016). Dissolved organic matter in aquatic system. Treatise On Geochemistry (Second Edition), 12, 125-156.
- Lakowicz, J. R. (2006). Principles of fluorescence spectroscopy (3rd ed.). Springer.
- Wang, G. C. (2016). The utilization of slag in civil infrastructure construction. Woodhead Publishing.

บทความวารสาร

- เดือนเพ็ญ วณิชพลอนันต์. (2544). สารเติมแต่งในพอลิเมอร์. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 49(156).
- มารินี โด, ซีระวิทย์ รัตนพันธ์, และ ธันวดี สุขสาโรจน์. (2554). ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารไตรฮาโรมีเทนในสระว่ายน้ำ. *journal of public health and development*, 9(2), 208-222.

- มารุต สุขสมจิตร, และ ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน. (2559). คุณลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำจากอาหารกุ้งและปุยคอกโดยใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรสโกปี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 24(3), 423-431.
- มารุต สุขสมจิตร, ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน และ กฤติภูมิสุตา ภู่นาค. (2559). การศึกษาคุณลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำในแม่น้ำแม่กลองโดยใช้เทคนิค Fluorescence spectroscopy. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54 สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (หน้า 1131-1138). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มารุต สุขสมจิตร, กนกวรรณ แยมสมพงษ์, กุลกานต์ ช่วยบำรุง, ณัฏชา สุพานิช และ ไตรเทพ วิชัยโกวิทเทน. (2564). ลักษณะของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ชะละลายจากใบแสมขาวด้วยเทคนิค Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 26, 1642-1654.
- วรทิพย์ วงศพิณทุ, ระวีวรรณ นุชประมูล, และ กนกวรรณ กันทะกิติ. (2544). ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในรอบปีของอ่าวไทยจากการตรวจวัดแบบต่อเนื่องด้วยหุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ระหว่างปี พ.ศ. 2536-2537. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39 สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม (หน้า 307-314). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุจิตรา วาสนาดำรงดี. (2562). ภาพรวมมาตรการลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งในต่างประเทศ. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 23(2).
- Alleson, L., Andersen, T., Dörsch, P., Eiler, A., Wei, J., & Hessen, D. O. (2020). Phosphorus availability promotes bacterial DOC-mineralization, but not cumulative CO₂-production. *Frontiers Microbial*, 11, 1-12.
- Andrady, A. L., Barnes, P. W., Bornman, J. F., Gouin, T., Madronich, S., White, C. C., Zepp, R. G., & Jansen, M. A. K. (2022). Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation. *Science of the Total Environment*, 851(2), 1-9.
- Asaoka, S., Jadoon, W. A., Umehara, A., Takeda, K., Otani, S., Ohno, M., Fujitake, N., Sakugawa, H., & Okamura, H. (2020). Organic matter degradation characteristics of coastal marine sediments collected from the Seto inland sea, Japan. *Marine Chemistry*, 225, 103854.
- Badr E.S.A. (2016). Spatio-temporal variability of dissolved organic nitrogen (DON), carbon

- (DOC), and nutrients in the Nile River, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 580.
- Balasubramanian, M., & Keay, J. G. (1996). Pyridines and their Benzo Derivatives: applications. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry II*, 5, 245-300.
- Bridgeman, J., Bierozza, M., & Baker, A. (2011). Assessment of low pH coagulation performance using fluorescence spectroscopy. *Journal of Environmental Engineering*, 137(12), 1101–1106.
- Chadijah, S., Harianti, Febryanti, A., Alif, A., Maulidiyah, & Umar, A. A. (2022). Synthesis of bioplastics on rice straw cellulose using orange peel extract, chitosan, and sorbitol. *Walisongo Journal of Chemistry*, 5(2), 111-119.
- Chakir, A., Alami, M., Assouag, M., Noureddine, O., & Amarty, F. E. (2024). Effect of Calcium Carbonate as filler on the physicommechanical properties of polypropylene random. *International journal of Engineering Research in Africa*, 69, 1-17.
- Chen, W., Westerhoff, P., Leenheer, J. A., & Booksh, K. (2003). Fluorescence Excitation–Emission Matrix Regional Integration to quantify spectra for dissolved organic matter. *Environmental Science & Technology*, 37(24), 5701–5710.
- Chen, C., Du, R., Tang, J., Wang, B., Li, F., Zhang, Z., & Yu, G. (2024). Characterization of microplastic-derived dissolved organic matter in freshwater: Effects of light irradiation and polymer types. *Environment International*, 185, 108536.
- Choulis, N. H. (2007). Miscellaneous drugs, materials, medical devices, and techniques. *Side Effects of Drugs Annual*. 49, 785–800.
- Cui, M., Zheng, G., Wu, X., Zhang, J., Wang, Z., Pang, Z., Wang, S., Hu, R., & Xu, D. (2024). Microplastics' vector effect on co-bioaccumulation of it and polychlorinated biphenyls in *Crassostrea hongkongensis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 285, 117119.
- Daniel, M. H. B., Montebelo, A. A., Bernardes, M. C., Ometto, J. P. H. B., Camargo, P. B. D. Krusche, A. V., Ballester, M. V., Victoria, R. L., & Martinelli, L. A. (2001). Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic and organic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in The Piracicaba River basin. *Water, Air, and Soil Pollution*, 136, 189–206.

- Delre, A., Goudriaan, M., Morales, V. H., Vaksmaa, A., Ndhlovu, R. T., Baas, M., Keijzer, E., Groot, T. D., Zeghal, E., Egger, M., Röckmann, T., & Niemann, H. (2023). Plastic photodegradation under simulated marine conditions. *Marine Pollution Bulletin*, 187, 114544.
- Docter, D., Westmeier, D., Markiewicz, M., Stolte, S., Knauer, S. K., & Stauber, R. H. (2015). The nanoparticle biomolecule corona: lessons learned-challenge accepted?. *Chemical Society Reviews*, 44, 6094-6121.
- Duarte, R. M. B. O., & Duarte, A. C. (2020). Fluorescence spectroscopy in the characterization of environmental samples. *Multidimensional analytical techniques in environmental research*, 13-14.
- Egea, L. G., Brun, F. G., & Jiménez-Ramos, R. (2024). Dissolved organic carbon leaching from microplastics and bioavailability in coastal ecosystems. *Science of The Total Environment*, 909, 168673.
- Erythropel, H. C., Maric, M., Nicell, J. A., Leask, R. L., & Yargeau, V. (2014). Leaching of the plasticizer di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) from plastic containers and the question of human exposure. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(24), 9967–9981.
- Fellman, J. B., Hood, E., & Spencer, R. G. M. (2010). Fluorescence spectroscopy opens new windows into dissolved organic matter dynamics in freshwater ecosystems: A review. *Limnology and Oceanography*, 55(6), 2452-2462.
- Gao, H., Yang, B. J., Li, N., Feng, L. M., Shi, X. Y., Zhao, W. H., & Liu, S. J. (2015). Bisphenol A: Its health effects and its role in the development of hormone-associated cancers. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 40(2), 1–8.
- Gawande, G. ,Khiratkar, T., Urkude, Y., Bombarde, S., Sonwane, U., Nikhade, S., & Sanap, J. (2024). Bioplastic production from corn and potato starch and its industrial applications, *Research Square*, 1-15.
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science Progresses and Impacts*, 17(9), 1513.
- Gilani, I. E., Sayadi, S., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. (2023). Plastic waste impact and

- biotechnology: exploring polymer degradation, microbial role, and sustainable development implications. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101606.
- Hartnett, H. E. (2018). Dissolved organic matter (DOM). *Encyclopedia of Geo chemistry*, 375–378.
- Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (2018). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 179-199.
- Halewood, E., Opalk, K., Custals, L., Carey, M., Hansell, D. A., & Carlson, C. A. (2022). Determination of dissolved organic carbon and total dissolved nitrogen in seawater using high temperature combustion analysis. *Frontiers in marine*, 9, 1-15.
- Havas, R., Thomazo, C., Iniesto, M., Jézéquel, D., Moreira, D., Tavera, R., caumartin, J., Muller, E., López-García, P., & Benzerara, K. (2023). The hidden role of dissolved organic carbon in the biogeochemical cycle of carbon in modern redox- stratified lakes. *Biogeosciences*, 20, 2405–2424.
- Hur, J., Shin, J., Kang, M., & Cho, J. (2014). Tracking variations in fluorescent-dissolved organic matter in an aerobic submerged membrane bioreactor using excitation–emission matrix spectra combined with parallel factor analysis. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 37, 1487-1496.
- John, J., Nandhini, A. R., Chellam, P. V., & Sillanpää, M. (2021). Microplastics in mangroves and coral reef ecosystems: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20, 397-416.
- Joyce, S. (2000). The dead zones: oxygen-starved coastal waters. *Environmental health perspectives*. 108, 120-125.
- Koad, P., Jaroensutasinee, M., & Jaroensutasinee, K. (2012). Sea surface temperature trends in the Gulf of Thailand and the Andaman Sea. *Natural Science*, 4(6), 370–376.
- Kobayashi, S., Nakada, S., Nakajima, M., Yamamoto, K., Akiyama, S., Fuchi, M., Hayashi, M., & Ishizaka, J. (2017). Visualization of the distribution of dissolved organic matter

- in Osaka Bay using a satellite ocean color sensor (COMS/GOCI). *Journal of Water and Environment Technology*, 15, 55–64.
- Laird, D. A., & Koskinen, W. C. (2008). Triazine soil interactions. *Triazine Herbic.* 50, 275–300.
- Lee, Y. K., Romera-Castillo, C., Hong, S., & Hur, J. (2020a). Characteristics of microplastic polymer-derived dissolved organic matter and its potential as a disinfection byproduct precursor. *Water Research*, 175, 115678.
- Lee, Y. K., Murphy, K. R., & Hur, J. (2020b). Fluorescence signature of dissolved organic matter leached from microplastic: polymers and additives. *Environmental Science and Technology*, 54, 11905-11914.
- Lee, Y. K., Hong, S., & Hur, J. (2021). Copper-binding properties of microplastic-derived dissolved organic matter revealed by fluorescence spectroscopy and two-dimensional correlation spectroscopy. *Water Research*, 190, 116775.
- Li, J., Si, Z., Wang, S., Li, S., Zhou, H., & Liu, J. (2023). Effect of hindered phenolic antioxidants on crosslinking characteristics of low-density polyethylene initiated by peroxide. *Energy Reports*, 9, 159–166.
- Lin, J., Yan, D., Fu, J., Chen, Y., & Ou, H. (2020). Ultraviolet-C and vacuum ultraviolet inducing surface degradation of microplastics. *Water Research*, 186(1), 116360.
- Liu, J., Zhao, M., Duan, C., Yue, P., & Li, T. (2020). Removal characteristics of dissolved organic matter and membrane fouling in ultrafiltration and reverse osmosis membrane combined processes treating the secondary effluent of wastewater treatment plant. *Water Science Technology*, 83, 689–700.
- Lønborg, C., Baltar, F., Carreira, C., & Morán, A. G. (2019). Dissolved organic carbon source influences tropical coastal heterotrophic bacterioplankton response to experimental warming. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1-13.
- Marhaba, T. F., & Pu, Y. (2000). Rapid delineation of humic and non-humic organic matter fractions in water. *Journal of Hazardous Materials*, 73, 221–234.
- Masry, M., Rossignol, S., Gardette, J. L., Therias, S., Bussière, P. O., & Wong-Wah-Chung, P. (2021). Characteristics, fate, and impact of marine plastic debris exposed to sunlight: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 171, 112701.

- Mast, J., Miert, E. V., Sililiani, Cheyins, K., Blaude, M. N., Wouters, C., Waegeneers, N., Bernsen, R., Vleminckx, C., Loco, J. V., & Verleysen, E. (2023). Application of silver-based biocides in face masks intended for general use requires regulatory control. *Science of the Total Environment*, 870, 161889.
- Meyer, J. L., Wallace, B., & Eggert, S. L. (1998). Leaf litter as a source of dissolved organic carbon in streams. *Ecosystems*, 1, 240-249.
- Møller, E. F. (2007). Production of dissolved organic carbon by sloppy feeding in the copepods *Acartia tonsa*, *Centropages typicus*, and *Temora longicornis*. *Limnology and Oceanography*, 52, 79-84.
- Nebbioso, A., & Piccolo, A. (2013). Molecular characterization of dissolved organic matter (DOM): a critical review. *Anal Bioanal Chem*, 405, 109–124.
- Niloy, N. M., Haque, M. M., & Tareq, S. M. (2021). Characterization of dissolved organic matter at urban and industrial rainwater of Bangladesh by fluorescence spectroscopy and EEM-PARAFAC modeling. *Environmental Challenges*, 5, 100250.
- Ochiai, M., Nakajima, T., & Hanya, T. (1980). Chemical composition of labile fractions in DOM. *Hydrobiologia*, 71, 95–97.
- Oo, P. Z., Boontanon, S. K., Boontanon, N., Tanaka, S., & Fujii, S. (2020). Abundance and distribution of suspended microplastics in the surface water of Chao Phraya River estuary. *Thai Environmental Engineering Journal*, 34(2), 57-66.
- Osterholz, H., Niggemann, J., Giebel, H. A., Simon, M., & Dittmar, T. (2015). Inefficient microbial production of refractory dissolved organic matter in the ocean. *Nature Communications*, 6, 7422.
- Pagano, T., Bida, M., & Kenny, J. E. (2014). Trends in levels of allochthonous dissolved organic carbon in natural Water: A review of potential mechanisms under a changing climate. *Water*, 6, 2862-2897.
- Pan, Y., Lia, H., Zhang, X., & Lia, A. (2016). Characterization of natural organic matter in drinking water: Sample preparation and analytical approaches. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 12, 23-30.
- Parveen, N., & Goel, S. (2023). Trihalomethane cancer risk assessment for private and

- shared residences: Addressing the differences in inhalation exposure. *Toxics*, 11(4), 295.
- Pontiller, B., Martínez-García, S., Lundin, D., & Pinhassi, J. (2020). Labile dissolved organic matter compound characteristics select for divergence in marine bacterial activity and transcription. *Frontiers in Microbiology*, 11, 588778.
- Qualls, R. G., Delaune, R. D. Reddy, K. R., & Richardson, C. (2013). Dissolved organic matter. *Methods in Biogeochemistry of Wetlands*, 1-13.
- Ranjan, V. P., & Goel, S. (2019). Degradation of low-density polyethylene film exposed to UV radiation in four environments. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 23(4), 1-11.
- Rellán, A. G., Ares, D. V., Brea, C. V., López, A. F., & Bugallo, P. M. B. (2023). Sources, sinks and transformations of plastics in our oceans: Review, management strategies and modelling. *Science of The Total Environment*, 854, 158745.
- Romera-Castillo, C., Pinto, M., Langer, T. M., Álvarez-Salgado, X. A., & Herndl, G. J. (2018). Dissolved organic carbon leaching from plastics stimulates microbial activity in the ocean. *Nature Communication*, 9, 1430.
- Romera-Castillo, C., Mallenco-Fornies, R., Saá-Yáñez, M., & Álvarez-Salgado, X. A. (2022a). Leaching and bioavailability of dissolved organic matter from petrol-based and biodegradable plastics. *Marine Environmental Research*, 176, 105607.
- Romera-Castillo, C., Birnstiel, S., Álvarez-Salgado, X. A., Sebastián, M., & Sebastián, M. (2022b). Aged plastic leaching of dissolved organic matter is two orders of magnitude higher than virgin plastic leading to a strong uplift in marine microbial activity. *Frontiers in Marine Science*, 9, 861557.
- Saba, G. K., Steinberg, D. K., & Bronk, D. A. (2011). The relative importance of sloppy feeding, excretion, and fecal pellet leaching in the release of dissolved carbon and nitrogen by *Acartia tonsa* copepods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 404, 47-56.
- Schuyler, Q. A., Wilcox, C., Townsend, K., Hardesty, B. D., & Marshall, N. J. (2014). Mistaken identity? visual similarities of marine debris to natural prey items of sea turtles. *BMC Ecology*, 14, 14.

- Sheridan, E. A., Fonvielle, J. A., Cottingham, S., Zhang, Y., Dittmar, T., Aldridge, D. C., & Tanentzap, A. J. (2022). Plastic pollution fosters more microbial growth in lakes than natural organic matter. *Nature Communications*, 13, 4175.
- Song, X., Zhao, Y., Zhang, L., Xie, X., Wu, J., Wei, Z., Yang, H., Zhang, S., Song, C., & Jia, L. (2022). Photodegradation, bacterial metabolism, and photosynthesis drive the dissolved organic matter cycle in the Heilongjiang River. *Chemosphere*, 295.
- Ta, A. T., Babel, S., & Haarstrick, A. (2020). Microplastics contamination in a high population density area of the Chao Phraya River, Bangkok. *Journal English technology Science*, 52(4), 534-545.
- Tan, Y., Bai, J., Zhu, H., & Sun, J. (2024). Hindered amine light stabilizers: recent developments in structure–property relationships and multifunctionality. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 1390513.
- Teeratitayangkul, P., Nummisri, S., Yodle, C., Wattanakornsiri, A., & Phuengphai, P. (2023). Microplastics contamination in water supply sources of Ping River, Chiang Mai Province, Thailand. *EnviromentAsia*, 16(3), 161-170.
- Thornton, D. C. O. (2014). Dissolved organic matter (DOM) release by phytoplankton in the contemporary and future ocean. *European Journal of Phycology*, 49, 20-46.
- Vincent, S. G. T., Jennerjahn, T., & Ramasamy, K. (2021). Chapter 1 - Source and composition of organic matter and its role in designing sediment microbial communities. *Microbial Communities in Coastal Sediments*, 1-45.
- Wang, W., Zheng, B., Jiang, X., Chen, J., & Wang, S. (2020). Characteristics and source of dissolved organic matter in lake Hulun, A large shallow eutrophic steppe lake in Northern China. *Water*, 12(4), 953.
- Wang, Y., Ma, B., Xu, Y. J., Shen, S., Huang, X., Wang, Y., Ye, S., Tian, X., Zhang, Y., Wang, T., & Li, S. (2024). Eutrophication and dissolved organic matter exacerbate the diel discrepancy of CO₂ emissions in China's largest urban lake. *Environmental Science & Technology*, 58, 20968-20978.
- Watson, J., Greenough, E. B., Leet, J. E., Ford, M. J., Drexler, D. M., Belcastro, J. V., Herbst, J. J., Chatterjee, M., & Banks, M. (2009). Extraction, identification, and functional

- characterization of a bioactive substance from automated compound-handling plastictips. *SLAS Discovery*, 14(5), 566–572.
- Wayman, C., & Niemann, H. (2021). The fate of plastic in the ocean environment—a minireview. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 23(2), 191–382.
- Xiao, K., Shen, Y., Sun, J., Liang, S., Fan, H., Tan, J., Wang, X., Huang, X., & Waite, T. D. (2018). Correlating fluorescence spectral properties with DOM molecular weight and size distribution in wastewater treatment systems. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 4(12), 1933–1943.
- Xu, J. W., Ding, Y. D., Li, S. L., & Mao, R. (2021). Amount and biodegradation of dissolved organic matter leached from tree branches and roots in subtropical plantations of China. *Forest Ecology and Management*, 484, 118944.
- Yan, Z., Qian, H., Yao, J., Guo, M., Zhao, X., Gao, N., & Zhang, Z. (2024). Mechanistic insight into the role of typical microplastics in chlorination disinfection: Precursors and adsorbents of both MP-DOM and DBPs. *Journal of Hazardous Materials*, 472, 132716.
- Yang, P. B., Davidson, M. G., Edler, K. J., Leaman, N., Bathke, E. K., McCormick, S. N., Matsarskaia, O., & Brown, S. (2022). Comparison of cyclic and linear poly(lactide)s using small-angle neutron scattering. *Macromolecules*, 55, 11051-11058.
- Yu, Y., Yao, Y., Adyel, T. M., Iqbal, S. S., Wu, J., Miao, L., & Hou, J. (2024). Characterization of the dynamic aging and leached dissolved organic carbon from biodegradable and conventional plastics under photooxidation. *Journal of Environmental Management*, 349, 119561.
- Zain-Ahmed, A., Sopian, K., Abidin, Z. Z., & Othman, M. Y. H. (2002). The availability of daylight from tropical skies—a case study of Malaysia. *Renewable Energy*, 25(1), 21-30.
- Zheng, D., Lin, S., Ni, J., & Zhao, X. (2022). Fracture and fatigue of entangled and unentangled polymer networks. *Extreme Mechanics Letters*, 51, 101608.
- Zhu, L., Zhao, S., Bittar, T. B., Stubbins, A., & Li, D. (2020). Photochemical dissolution of buoyant microplastics to dissolved organic carbon: rates and microbial impacts. *Journal of Hazardous Materials*, 383, 121065.

วิทยานิพนธ์

- ชนุดม ศาลารักษ์, และ ศิลา แก้วปลั่ง. (2562). การประมาณค่าชีวมวลของ สาหร่ายสะพรั่ง โดยการสำรวจระยะไกลด้วยอากาศยานไร้คนขับ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- พนวรรณ ทองช่าง. (2559). การลดกลุ่มสารอินทรีย์และปริมาณสารอินทรีย์ในโตรเจนในน้ำดิบจากลุ่มน้ำคลองอุต๊ะเกาด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- ภูษิต ทองจับ, และ ธงทิศ ฉายากุล, (2566). ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและความเข้มข้นคลอโรฟิลล์-เอ บริเวณทะเลชายฝั่งอ่าวไทยตอนบน [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์.
- ศุภสิทธิ ยอดเมือง. (2559). การย่อยสลายของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพด้วยวิธีการฝังกลบและวิธีการแสงยูวี-ซี [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- สมยศ หล่อวิทยากร. (2541). การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและความเค็มที่ผิวน้ำทะเลจากทุ่นสำรวจสมุทรศาสตร์ประกอบรูปแบบการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยจากแบบจำลองคณิตศาสตร์. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิทยาศาสตร์ทางทะเล.

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

- กรมควบคุมมลพิษ. (2565). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2564. สืบค้นวันที่ 8 กันยายน 2567, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/26626>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2565. สืบค้นวันที่ 8 กันยายน 2567, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/30311/>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2567). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566. สืบค้นวันที่ 8 กันยายน 2567, จาก <https://www.pcd.go.th/publication/32171/>
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (ม.ป.ป.). กระบวนการผลิตพลาสติก. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2566, จาก <https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/plastic-production.html>
- PlasticEurope. (2022). Plastics – the Facts 2022. Retrieved August 22, 2023, from <https://newsroom.kunststoffverpackungen.de/wp-content/uploads/2022/10/>

Plastics-the-facts-2022-Plastic-Europe.pdf

Plastics Europe. (n.d.). How plastics are made. Retrieved September 2, 2023, from <https://plasticseurope.org/plastics-explained/how-plastics-are-made/>

Strakova, J., Grechko, V., Brosche, S., & Buonsante, V. (2022, February). Brominated flame retardants in plastic products from China, Indonesia, and Russia. Arnika & IPEN. <https://ipen.org/documents/brominated-flame-retardants-plastic-products-china-indonesia-and-russia>

The World Bank. (2021). Market study for Thailand: Plastics circularity opportunities and barriers. World Bank. <http://www.worldbank.org/en/country/thailand/publication/market-study-for-thailand-plastics-circularity-opportunities-and-barriers>



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	สุดาร์ตน์ เอี่ยมครอง
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2564: วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ทุนการศึกษา	ปีการศึกษา 2565: ทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อ ระดับบัณฑิตศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ทุนบัณฑิต)

ผลงานทางวิชาการ

สุดาร์ตน์ เอี่ยมครอง, วนิดา ชูอักษร, ไตรเทพ วิชัยโกวิทเพน, และ มารุต สุขสมจิตร. (2567). คุณลักษณะทางฟลูออเรสเซนส์ของสารอินทรีย์ละลายน้ำที่ชะละลายจากพลาสติก LDPE และ PP ด้วยเทคนิค Fluorescence Excitation-Emission Matrix (FEEM) Spectroscopy. วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 29(2), 452–462.