



การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

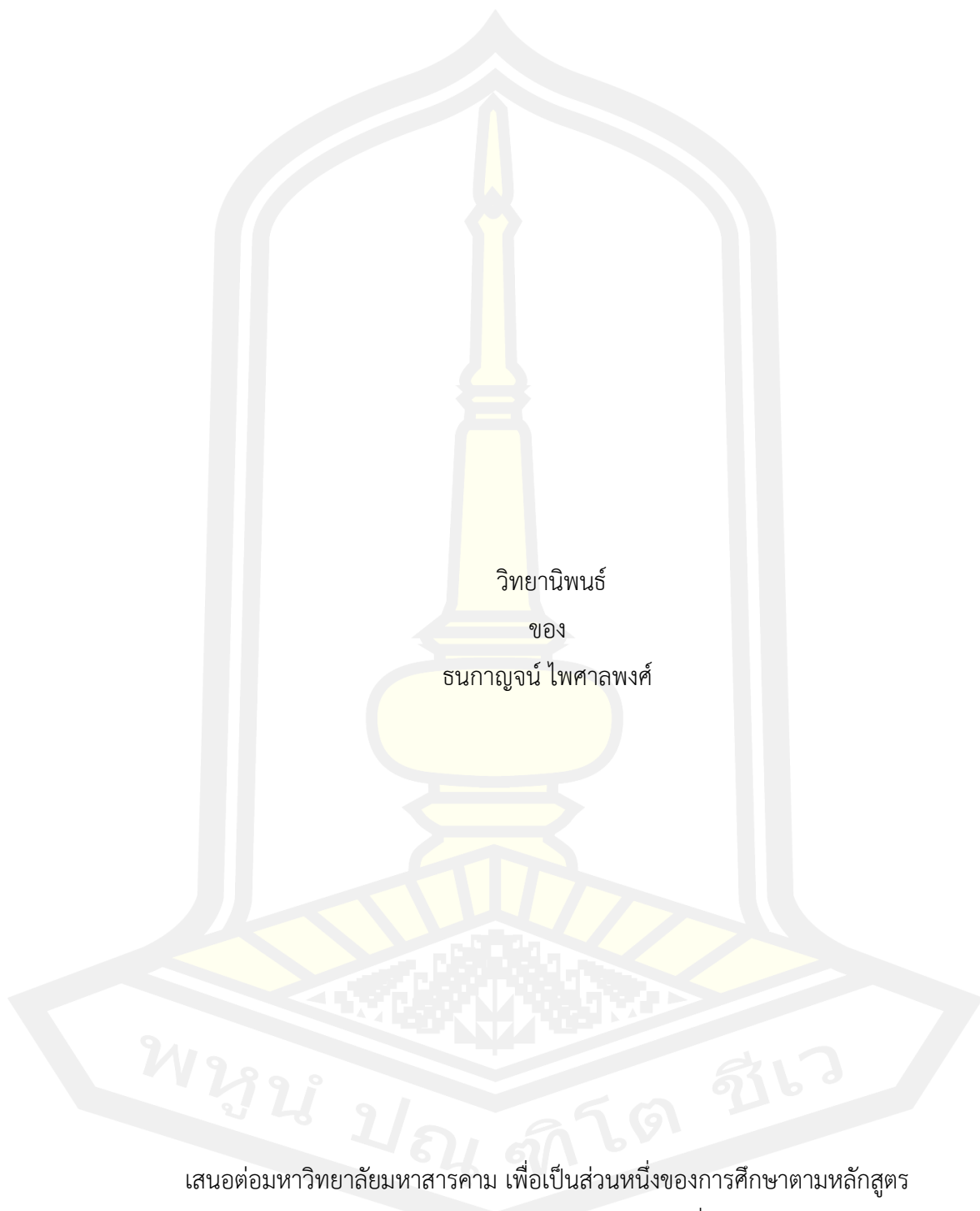
วิทยานิพนธ์
ของ
ธนกัญจน์ ไพศาลพงศ์

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

พฤศจิกายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

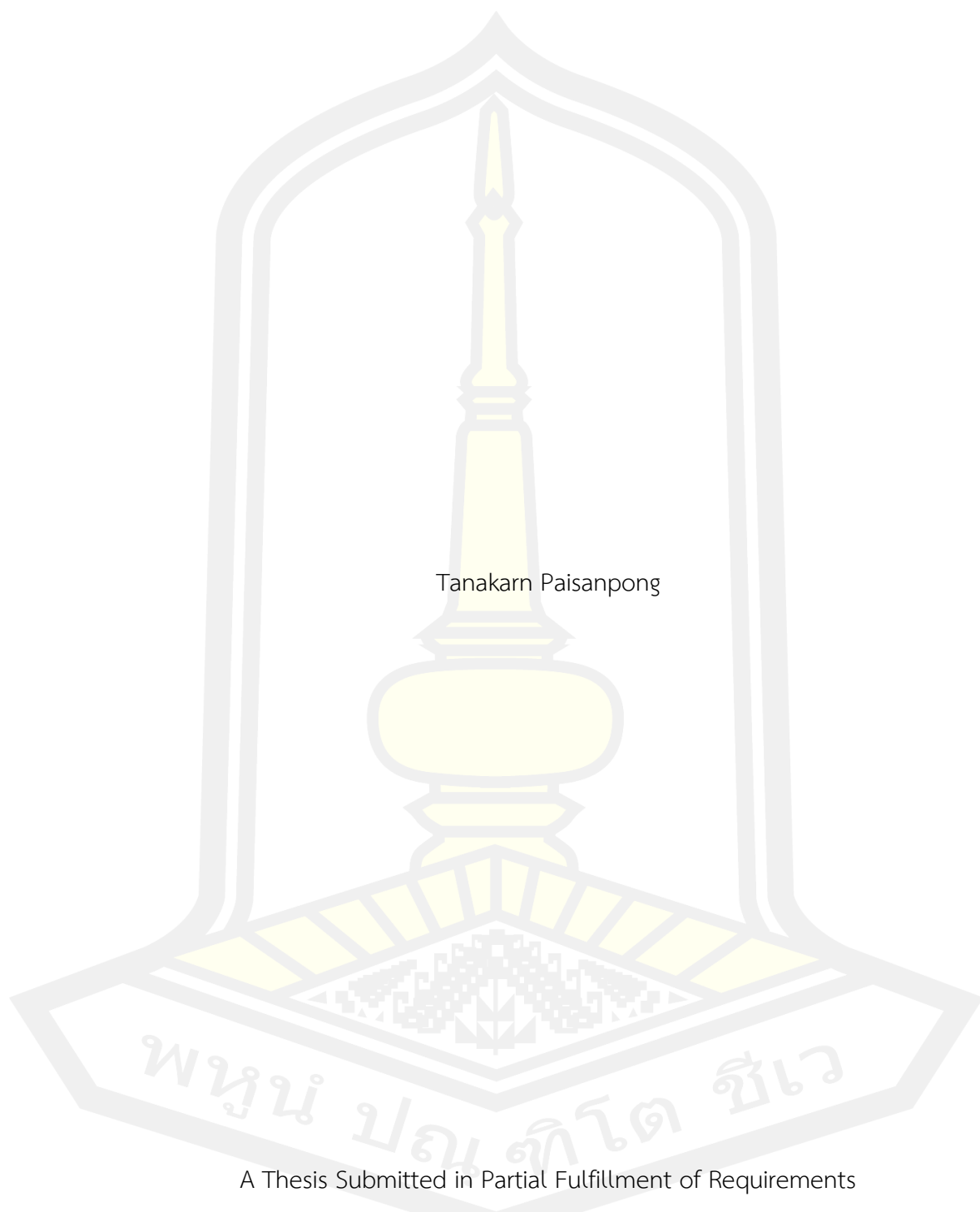


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

พฤศจิกายน 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Contamination of Microplastic in Municipal Wastewater Treatment Plant



Tanakarn Paisanpong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Sustainable Environmental Management)

November 2021

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวธนาภรณ์ ไพศาล
พงศ์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. จิตติมา ประสาระเอ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. สุนันทา เลาว์ณยศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อ. ดร. จุฑามาส แก้วสุข)

..... กรรมการ

(ผศ. ดร. พลกฤษณ์ จิตรโฑ)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก

(อ. ดร. เรวดี อนุวัฒนา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ของมหาวิทาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. อติศักดิ์ สิงห์สีโว)

คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน		
ผู้วิจัย	ธนาภรณ์ ไพศาลพงศ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา เลาว์ณย์ศิริ อาจารย์ ดร. จุฑามาส แก้วสุข		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้ง 2 แห่งคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศของเทศบาลนครขอนแก่นและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรของเทศบาลนครอุดรธานี โดยเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ เก็บตัวอย่างน้ำจากหน่วยบำบัดจุดน้ำเข้า บ่อเติมอากาศ บ่อตกตะกอน และจุดน้ำออก ในขณะที่เก็บตัวอย่างตะกอนจากหน่วยบำบัดบ่อเติมอากาศ และบ่อตกตะกอน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรเก็บตัวอย่างน้ำจากหน่วยบำบัดจุดน้ำเข้า บ่อหมัก บ่อฝั ง บ่อบ่ม และจุดน้ำออก ในขณะที่เก็บตัวอย่างตะกอนจากหน่วยบำบัดบ่อหมักและบ่อฝั งโดยศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของไมโครพลาสติกและประเมินปริมาณไมโครพลาสติกที่ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากระบบบำบัดน้ำเสีย เก็บตัวอย่างแบบอินทิเกรตเป็นการเก็บตัวอย่างรวมที่ได้จากการเก็บแบบหลายจุดในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียว โดยเก็บตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 ลิตร ต่อ 1 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างตะกอนน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ตัวอย่าง จำนวน 4 ครั้ง เป็นเวลา 3 เดือน ในช่วงฤดูฝนและทำการวิเคราะห์สี ขนาด และรูปร่างของไมโครพลาสติกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอและวิเคราะห์ชนิดพอลิเมอร์โดยใช้เครื่อง Microscope ATR FT-IR

ผลการศึกษาไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติก เท่ากับ 84.35% โดยพบไมโครพลาสติกแบบเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 54% ขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 38% สารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 62% และพบไมโครพลาสติกสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 34% ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศจากบ่อเติมอากาศถึงบ่อตกตะกอน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติก เท่ากับ 39.3% โดยพบไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 57% ขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ 0.02-0.3

มิลลิเมตร เท่ากับ 43% สารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 64% และพบไมโครพลาสติกสีขาวใสมากที่สุด เท่ากับ 46%

ผลการศึกษาไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกเท่ากับ 77% โดยพบไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 51% ขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 39% สารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 64% และพบไมโครพลาสติกสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 30% ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากบ่อหมักถึงบ่อฝั ง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติก เท่ากับ 29.30% โดยพบไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 62% ขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 53% สารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 81% และพบไมโครพลาสติกสีแดงมากที่สุดเท่ากับ 38%

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียรที่อัตราการไหลน้ำเสีย 35,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกเข้าระบบบำบัด เท่ากับ $3,353 \times 10^5 \pm 2,576 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ไมโครพลาสติกออกสู่สิ่งแวดล้อมเท่ากับ $525 \times 10^5 \pm 350 \times 10^5$ ชิ้น/วัน โดยพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกเท่ากับ $2,828 \times 10^5 \pm 2,226 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรพบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกเข้าระบบบำบัด เท่ากับ $2,975 \times 10^5 \pm 696.5 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ไมโครพลาสติกออกสู่สิ่งแวดล้อมเท่ากับ $672 \times 10^5 \pm 241.5 \times 10^5$ ชิ้น/วัน โดยพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติก เท่ากับ $2,303 \times 10^5 \pm 455 \times 10^5$ ชิ้น/วัน โดยพบว่าระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศมีเวลาเก็บกักน้ำเสีย 7 วัน ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรมีเวลาเก็บกักน้ำเสีย 15 วัน จึงอนุมานได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศสามารถบำบัดไมโครพลาสติกในน้ำเสียได้ดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก, ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ, ระบบน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร, น้ำเสียชุมชน

TITLE	Contamination of Microplastic in Municipal Wastewater Treatment Plant		
AUTHOR	Tanakarn Paisanpong		
ADVISORS	Assistant Professor Sunantha Laowansiri , Ph.D. Jutamas Kaewsuk , Ph.D.		
DEGREE	Master of Science	MAJOR	Sustainable Environmental Management
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2021

ABSTRACT

This research was to study microplastic contamination in two community wastewater treatment systems which were aerated lagoon wastewater treatment system (AL) in Khon Kaen City and the stabilization pond wastewater treatment system (SP) in Udon Thani City. Water and sediment samples were collected. For AL, water samples were collected from influent pipe, aeration pond, sedimentation pond, and effluent, while sediment samples were collected from aeration pond and sedimentation pond. For SP, water samples were collected from influent pipe, fermentation pond, facultative pond, maturation pond, and effluent point, while sediment samples were collected from fermentation pond and facultative pond. Physical and chemical characteristics of microplastic was analyzed as well as numerical loading of microplastics to the surface water. The integrated sampling method is applied to collect the water and sediment samples by taking 1 L of water and 1 Kg of sediment sample with three replicates. The samples were taken for 3 months during wet season. The color, size, and shape of the microplastics were analyzed using a stereomicroscope. The polymer type of the microplastic samples was analyzed using the ATR FT-IR microscope.

The results showed that AL could reduce abundance of microplastics in

effluent for 84.35%. The most common microplastic shape is fibers which was 54% of total number of microplastic found in water samples. The dominant size was in the size range of 0.02-0.3 mm. (38%). Polypropylene was the most abundance which was found around 62%. Blue color microplastic was accounted for 34%. In sediment samples, it was found that the efficiency of microplastics treatment was 39.3%. The most common microplastic shape is fragments (57%), the most common microplastic size is 0.02-0.3 mm. (43%), the most common microplastic polymer is polypropylene (64%) and the most common microplastic of color is white (46%).

From the study of SP, it could remove microplastic from effluent for 77%. The most common microplastic shape is fragments (51%), the most common microplastic size is 0.02-0.3 mm. (39%), the most common microplastic polymer is Polypropylene (64%) and the most common microplastic of color is blue (30%). Meanwhile, the system was having efficiency to remove microplastics from sludge of around 29.30%. The most common microplastic shape is fragments shape (62%), the most common microplastic size is 0.02-0.3 mm. (53%), the most common microplastic polymer is Polypropylene (81%), and the most common microplastic of color is red (38%).

When comparing the number of microplastics in the water samples in the AL and at hydraulic loading rate 35,000 m³/day. The AL showed that microplastics entered the Aerated lagoon wastewater treatment system were $3,353 \times 10^5 \pm 2,576 \times 10^5$ pcs/day, microplastic contamination to the environment was $525 \times 10^5 \pm 350 \times 10^5$ pcs/day, and microplastic treatment equal to $2,828 \times 10^5 \pm 2,226 \times 10^5$ pcs/day. Meanwhile, SP showed that microplastics entered the Stabilization ponds wastewater treatment system were $2,975 \times 10^5 \pm 696.5 \times 10^5$ pcs/day, microplastic contamination to the environment was $672 \times 10^5 \pm 241.5 \times 10^5$ pcs/day, and microplastic treatment equal to $2,303 \times 10^5 \pm 455 \times 10^5$ pcs/day. It was due to the retention time of wastewater in the Aerated lagoon wastewater treatment system, the system had a hydraulic retention time (HRT) of 7 days. Meanwhile, SP had HRT of 15 days. Therefore, it was assumed that the AL was able to treat microplastics in the wastewater better than the SP.

Keyword : Microplastic, Aerated Lagoon, Stabilization Pond, Municipal Wastewater



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนันทา เลาววัฒนศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร. จุฑามาส แก้วสุข อาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. จิตติมา ประสาระเอ ประธานกรรมการสอบ อาจารย์ ดร. พลกฤษณ์ จิตรโฑ กรรมการสอบ และ ดร. เรวดี อนุวัฒนา กรรมการสอบ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ศูนย์เครื่องมือกลาง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ช่วยตรวจเครื่องมือการวิจัย)

ขอขอบพระคุณ คุณอำนาจ ฐิตศิริวิริยะ ผู้จัดการสำนักงานจัดการน้ำเสีย สาขาอุดรธานี องค์การจัดการน้ำเสีย จังหวัดอุดรธานี (ขอบคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัย)

ขอขอบพระคุณ คุณชวลิต หงษ์ยนต์ นักวิชาการสุขาภิบาลชำนาญการพิเศษ เทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น (ขอบคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัย)

ขอขอบพระคุณ นายอาทิตย์ หารเสมอ นายธนกัญจน์ ยศตินเทียน นายกฤษณพงศ์ พันทานนท์ นายนิรุต ประนิสอน นางสาวจิตราพร อาสาจิตร นางสาววิภา เยาวไชย (ขอบคุณผู้ให้ความช่วยเหลือการเก็บตัวอย่างงานวิจัยและวิเคราะห์ผล)

และขอขอบพระคุณนายวุฒิไกร ไพศาลพงศ์ (บิดา) และนางเรณู ไพศาลพงศ์ (มารดา) (ขอบพระคุณผู้มีพระคุณและผู้สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัย)

ธนกัญจน์ ไพศาลพงศ์

พูน ปณ จิต โฑ ชีเว

สารบัญ

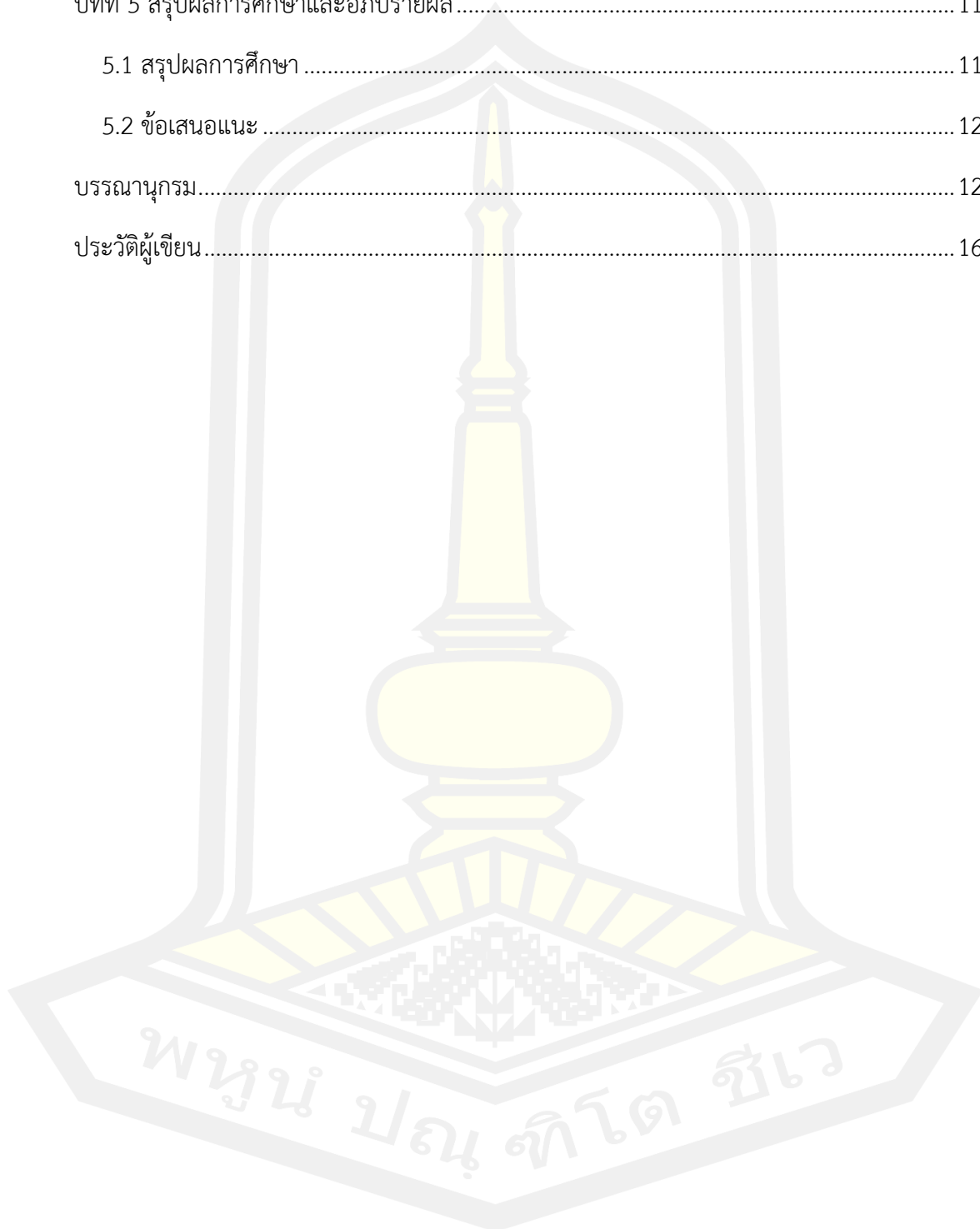
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.3.1 พื้นที่ศึกษา.....	4
1.3.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน	4
1.3.3 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง.....	5
1.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	5
1.4 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.6 ระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ไมโครพลาสติกและนาโนพลาสติก	8
2.1.1 ไมโครพลาสติก	8
2.1.2 นาโนพลาสติก	9

2.2 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำและดินตะกอน	10
2.3 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด	12
2.4 การย่อยสลายของพลาสติก	12
2.4.1 กระบวนการย่อยสลายได้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Photodegradation).....	12
2.4.2 กระบวนการย่อยสลายพลาสติกทางกล (Mechanical Degradation)	13
2.4.3 การย่อยสลายพลาสติกด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation)	13
2.4.4 การย่อยสลายพลาสติกโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation).....	14
2.4.5 การย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพ (Biodegradation)	15
2.5 ผลกระทบของไมโครพลาสติก.....	16
2.6 ลักษณะของไมโครพลาสติกที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต	18
2.6.1. ขนาด.....	18
2.6.2. ความหนาแน่นและชนิดของพลาสติก	18
2.6.3. สี.....	19
2.7 น้ำเสียชุมชน	20
2.7.1. สารอินทรีย์.....	20
2.7.2. สารอนินทรีย์	20
2.7.3. โลหะหนักและสารพิษ.....	20
2.7.4. ไขมันและสารลอยน้ำต่างๆ	20
2.7.5. ของแข็งแขวนลอย	20
2.7.6. สารซักฟอกหรือสารที่ทำให้เกิดฟอง.....	20
2.7.7. จุลินทรีย์.....	20
2.7.8. ธาตุอาหาร.....	21
2.7.9. การเกิดกลิ่น	21
2.8 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย	22

2.8.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)	22
2.8.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	23
2.8.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	24
2.8.4 ระบบบำบัดน้ำเสียระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch: OD).....	26
2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ทำการศึกษานี้	27
2.9.1 ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครขอนแก่น	27
2.9.2 ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครอุดรธานี	30
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	34
2.10.1 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม	34
2.10.2 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิต.....	37
2.10.3 ผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อสิ่งมีชีวิต	40
2.10.4 ผลกระทบต่อจุลินทรีย์.....	41
2.10.5 ผลกระทบจากชุมชนและอุตสาหกรรมต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม	42
2.10.6 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสีย	43
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	46
3.1 การเก็บตัวอย่างภาคสนาม	46
3.1.1. พื้นที่การเก็บตัวอย่าง	46
3.1.2. จุดเก็บตัวอย่าง	48
3.1.3 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม	50
3.2. การเตรียมตัวอย่าง	50
3.2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ	50
3.2.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอนในห้องปฏิบัติการ	52
3.2.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ.....	54

3.3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง	54
3.3.1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ.....	54
3.4. การควบคุมการปนเปื้อนในตัวอย่างไมโครพลาสติก.....	54
3.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	55
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	56
4.1. การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสีย	57
4.1.1. จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระ เติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	57
4.1.2. จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ ปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	64
4.1.3. รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	72
4.1.4. รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ บ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	76
4.1.5. ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	80
4.1.6. ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	86
4.1.7. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	93
4.1.8. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ บ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	98
4.1.9. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัด น้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	103
4.1.10. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบ บำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	108

4.2. การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากระบบบำบัดน้ำเสียสู่อ่างน้ำเสียดักน้ำ 114	114
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล..... 117	117
5.1 สรุปผลการศึกษา..... 117	117
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 124	124
บรรณานุกรม..... 125	125
ประวัติผู้เขียน..... 162	162



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 การทำวิทยานิพนธ์.....	7
ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของชนิดพลาสติก	19
ตารางที่ 3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน	21
ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลประเภทอาคารต่างๆในเขตเทศบาลนครขอนแก่น	28
ตารางที่ 5 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทิ้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563	58
ตารางที่ 6 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563	58
ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	61
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	62
ตารางที่ 9 การทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	63
ตารางที่ 10 Paired samples t-test ของตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	64
ตารางที่ 11 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทิ้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563.....	66
ตารางที่ 12 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563.....	66
ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	68

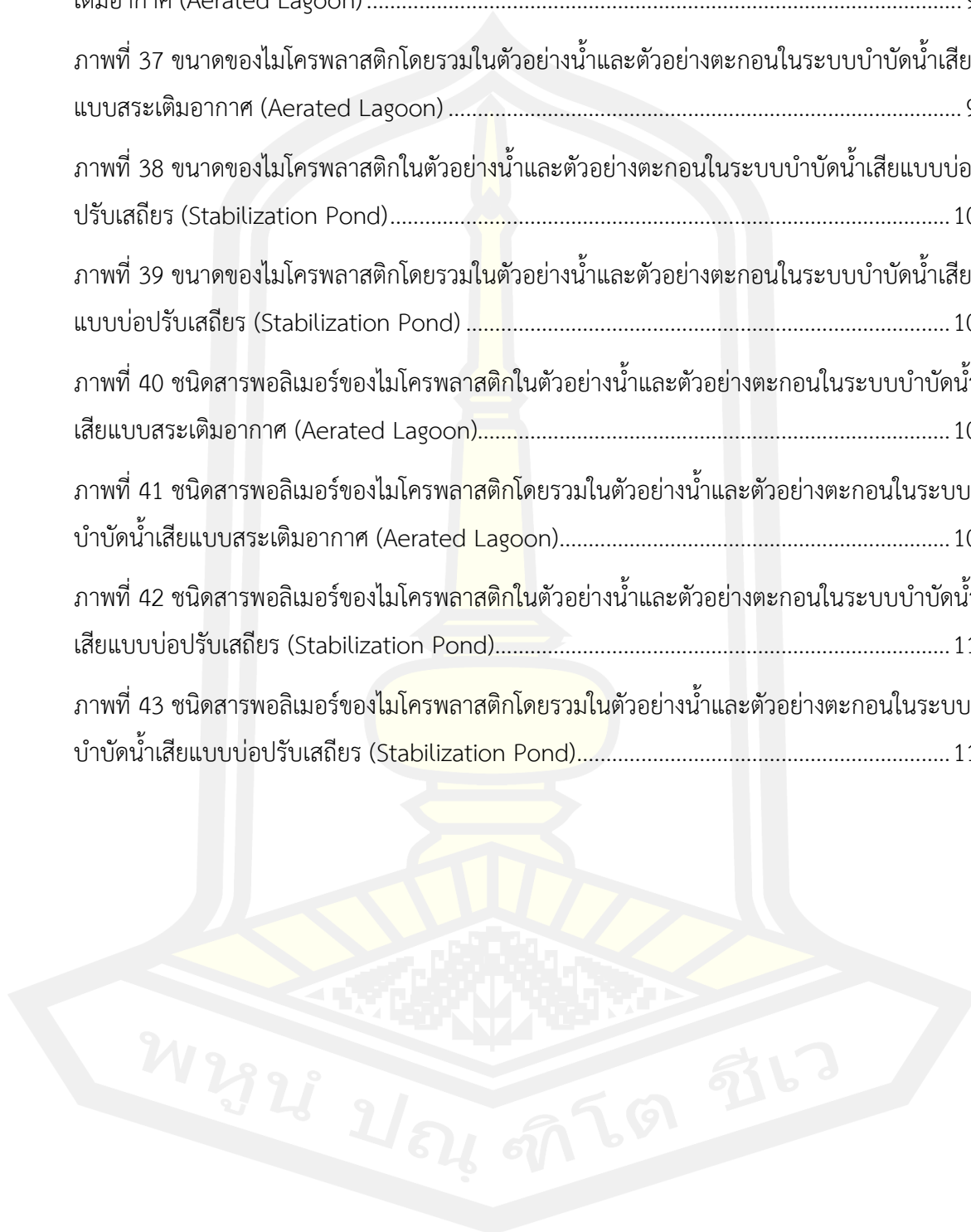
ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	69
ตารางที่ 15 การทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	70
ตารางที่ 16 Paired samples t-test ของตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	71
ตารางที่ 17 รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	72
ตารางที่ 18 รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	76
ตารางที่ 19 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	80
ตารางที่ 20 ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	86
ตารางที่ 21 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	93
ตารางที่ 22 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	98
ตารางที่ 23 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	103
ตารางที่ 24 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	108
ตารางที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร และการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม	114

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ไมโครพลาสติกปฐมภูมิประเภทต่างๆ.....	8
ภาพที่ 2 ไมโครพลาสติกหุติยภูมิ.....	9
ภาพที่ 3 แหล่งกำเนิดของนาโนพลาสติกในสิ่งแวดล้อม.....	10
ภาพที่ 4 วงจรการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน.....	13
ภาพที่ 5 ขั้นตอนการผลิต PLA และการนำกลับมาใช้ใหม่.....	15
ภาพที่ 6 การย่อยสลายของพลาสติกได้ทางชีวภาพ.....	16
ภาพที่ 7 การเกิดผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อน้ำเยื่อลำไส้ของปลาม้าลาย.....	17
ภาพที่ 8 การได้รับไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกายของเคยอาร์กติก.....	17
ภาพที่ 9 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง.....	23
ภาพที่ 10 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร.....	24
ภาพที่ 11 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ.....	25
ภาพที่ 12 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน.....	26
ภาพที่ 13 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศของเทศบาลนครขอนแก่น.....	27
ภาพที่ 14 พื้นที่ให้บริการระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครอุดรธานี.....	32
ภาพที่ 15 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรของเทศบาลนครอุดรธานี.....	33
ภาพที่ 16 ผังบริเวณ (Layout) ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลนครอุดรธานี.....	34
ภาพที่ 17 จุดการเก็บตัวอย่างและการสรุปผลการสำรวจไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge process.....	44
ภาพที่ 18 ภาพแผนที่ของพื้นที่การศึกษาจังหวัดขอนแก่น.....	46
ภาพที่ 19 ภาพแผนที่ของพื้นที่การศึกษาจังหวัดอุดรธานี.....	47
ภาพที่ 20 จุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ.....	48

ภาพที่ 21 จุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร.....	49
ภาพที่ 22 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ	51
ภาพที่ 23 แผนผังวิธีดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน.....	53
ภาพที่ 24 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระ เติมอากาศ (Aerated Lagoon)	59
ภาพที่ 25 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	67
ภาพที่ 26 รูปร่างไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	74
ภาพที่ 27 รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระ เติมอากาศ (Aerated Lagoon)	75
ภาพที่ 28 สัดส่วนของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	75
ภาพที่ 29 ภาพรูปร่างไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	78
ภาพที่ 30 ผลการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำ เสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	79
ภาพที่ 31 สัดส่วนของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	79
ภาพที่ 32 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	84
ภาพที่ 33 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำ เสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	85
ภาพที่ 34 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ บ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	91
ภาพที่ 35 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำ เสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	92

ภาพที่ 36 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระ เติมอากาศ (Aerated Lagoon)	96
ภาพที่ 37 ขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)	97
ภาพที่ 38 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อ ปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	101
ภาพที่ 39 ขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย แบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)	102
ภาพที่ 40 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำ เสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	106
ภาพที่ 41 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบ บำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon).....	107
ภาพที่ 42 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำ เสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	112
ภาพที่ 43 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบ บำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond).....	113



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันเป็นปัญหาใหม่ระดับโลกที่มีผู้คนกำลังให้ความสนใจและมีการศึกษาเป็นจำนวนมากโดยเฉพาะการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด โดยมีรายงานการสำรวจไมโครพลาสติกจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำพบว่าไมโครพลาสติกนั้นมีการปนเปื้อนด้วยความเข้มข้นสูงชันที่ปลายน้ำโดยพบว่ามีไมโครพลาสติกในรูปแบบเส้นใยเป็นจำนวนมากที่สุดและรูปแบบเศษชิ้นส่วนรองลงมา ทั้งนี้เกิดจากการที่มีประชากรอาศัยอยู่ตามลำน้ำอย่างหนาแน่นและมีเขตอุตสาหกรรมที่ปล่อยน้ำทิ้งและขยะพลาสติกลงสู่แม่น้ำ (Shruti et al., 2019) ตลอดจนการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทะเลที่เกิดจากการแตกหักของขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งลงไปในทะเลเป็นจำนวนมากจากการล้มเหลวในการจัดการขยะแบบใช้ครั้งเดียว (สุจิตรา วาสนาดำรงดี, 2017) ทั้งนี้ยังมีรายงานการปนเปื้อนไมโครพลาสติกบนผิวดินมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่เกิดจากวัสดุฟิล์มคลุมดินใช้ในการเกษตรเพื่อป้องกันศัตรูพืชและควบคุมปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต เกิดจากการแตกหักของขยะพลาสติกบนพื้นที่เมืองส่วนใหญ่ รวมไปถึงขยะพลาสติกในหลุมฝังกลบ (Zhang et al., 2019)

เนื่องจากไมโครพลาสติกนั้นเกิดการแตกหักให้มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร เรียกว่า ไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary microplastics) นอกจากนี้ยังมีไมโครพลาสติกอีกประเภทที่เกิดจากการใช้พลาสติกที่ผลิตขึ้นมาใหม่ จะมีขนาดเล็กตั้งแต่ขั้นแรกของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ของภาคอุตสาหกรรมพลาสติก หรืออุตสาหกรรมเคมี เรียกว่าไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Primary microplastics) (กิตติพงษ์วิเศษ สุทธิรัตน์ และคณะ 2562) ซึ่งไมโครพลาสติกประเภทนี้จะถูกใช้เป็นตัวเติมในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น เม็ดพลาสติกที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหรือผลิตภัณฑ์เวชสำอางซึ่งนิยมนำมาผลิตเรียกว่า ไมโครบีดส์ (Microbeads) (Andrady, 2011; Zettler et al., 2013 และ Wang et al., 2018) เพราะฉะนั้นแหล่งกำเนิดไมโครพลาสติกที่สำคัญนอกจากการตกค้างของขยะพลาสติกคือน้ำเสียชุมชน

เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียลงท่อระบายน้ำ เช่น น้ำทิ้งจากการซักผ้า จากการชำระล้างทำความสะอาดจากครัวเรือนในแต่ละชุมชน ถูกส่งต่อไปเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียระบบต่างๆ โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งทำให้มีไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ในน้ำที่ลดลง เมื่อเทียบกับไมโครพลาสติกที่พบในแต่ละกระบวนการของระบบบำบัด จากการผ่านตะแกรงดักและตกตะกอนของไมโครพลาสติก เนื่องจากไมโครพลาสติกนั้นมีการจับกันกับตะกอนจุลินทรีย์จึงทำให้มีน้ำหนักรวมมากขึ้นในรูปแบบของสลัดจ์และเกิดการตกตะกอนสะสมของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียได้ แต่ทั้งนี้ไม

โครพลาสติคบางส่วนที่สามารถลอยตัวในน้ำจะถูกปล่อยไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งนำไปสู่การปนเปื้อนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ (Liu et al., 2019) นอกจากนี้เมื่อมีการนำสลัดจ์ส่วนเกินมากำจัด ซึ่งมีกระบวนการเติมพอลิเมอร์เพื่อให้สลัดจ์จับตัวกันได้ดีและบีบอัดให้แห้งจึงนำไปยังหลุมฝังกลบนั้น หากมีการจัดการหลุมฝังกลบได้ไม่ดีนัก อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติคที่ปนเปื้อนมากับตะกอนสลัดจ์นั้นปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบนผิวดินได้เช่นกัน ซึ่งในประเทศไทยได้มีการจัดการกับสลัดจ์ก่อนที่จะนำไปกำจัดโดยการบำบัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge Treatment) เพื่อไม่ให้กากตะกอนและสลัดจ์เหล่านี้ส่งกลิ่นเหม็นหรือเพิ่มมลพิษ ทั้งนี้ยังเป็นการกำจัดเชื้อโรคจากการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีหลักการหลักๆที่ใช้คือ การทำชั้น (Thickener) การทำให้สลัดจ์คงตัว (Stabilization) การปรับสภาพสลัดจ์ (Conditioning) การรีดน้ำออกจากสลัดจ์ (Dewatering) เพื่อลดปริมาณของสลัดจ์ที่จะนำไปกำจัด ซึ่งการกำจัดกากตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge Disposal) นั้นมีวิธีการกำจัดทั้ง ได้แก่ การฝังกลบ (Landfill) เป็นวิธีที่ใช้พื้นที่ที่เตรียมไว้ในการนำสลัดจ์ไปทิ้งและกลบด้วยดินอีกชั้นหนึ่ง การหมักทำปุ๋ย (Composting) เป็นการนำสลัดจ์ไปหมักอีกทีเพื่อทำเป็นปุ๋ยเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช และการเผา (Incineration) เป็นการนำสลัดจ์ที่ไม่สามารถนำไปฝังกลบหรือทำเป็นปุ๋ยได้ไปกำจัดโดยการเผา (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) ซึ่งในการกำจัดสลัดจ์เหล่านี้ อาจเกิดการสะสมของไมโครพลาสติคในสิ่งแวดล้อมบนผิวดินเนื่องจากการตกตะกอนของไมโครพลาสติคและปนอยู่กับกากตะกอนหรือสลัดจ์ที่ถูกกำจัดออกมาก็สามารถปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งกำเนิดไมโครพลาสติคได้อีกทางหนึ่ง

เนื่องจากสิ่งแวดล้อมนั้นมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติคทั้งในแหล่งน้ำ พื้นที่ดินไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ดินการเกษตรและพื้นที่ดินในแหล่งชุมชนหรือแม้แต่ในสิ่งมีชีวิตที่ได้รับไมโครพลาสติคเข้าสู่ร่างกาย อาจก่อให้เกิดผลกระทบร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิตนั้นๆ เนื่องจากไมโครพลาสติคสามารถดูดซับสารพิษชนิดอื่นที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ เช่น โลหะหนัก หรือสารอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่ยาวนาน (Persistent organic pollutants; POPs) ในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งไมโครพลาสติคสามารถส่งผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหาร จากความเป็นพิษของไมโครพลาสติคเมื่อเข้าสู่ร่างกายส่งผลให้เกิดความผิดปกติของระบบหลอดเลือดโดยจะทำลายส่วนที่เป็นผนังเนื้อเยื่อของหลอดเลือด เกิดความผิดปกติของระบบหัวใจ มีความเป็นพิษต่อตับ รวมไปถึงการเกิดความผิดปกติของระดับฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ ช่วยเพิ่มอัตราการเกิดโรครวมไปถึงปัญหาในระบบสืบพันธุ์ไปจนถึงเสียชีวิต (Ma et al., 2016)

โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลเป็นจุดรวมสำคัญในปล่อยการปนเปื้อนไมโครพลาสติคออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งไมโครพลาสติคถูกกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพในระหว่างกระบวนการ skimming และการตกตะกอน (Carr et al., 2016) และเนื่องจากการปนเปื้อนไมโครพลาสติคนั้นมีหลายแหล่งที่มา แต่ทั้งหมดนั้นมาจากวัสดุสังเคราะห์ แหล่งที่มาของไมโครพลาสติคคือเครื่องสำอาง

และผลิตภัณฑ์ดูแลร่างกาย กระบวนการสลายหรือเสียดสีของผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ และยางรถยนต์ เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำและมีขนาดเล็กมากจึงสามารถระบายลงในระบบระบายน้ำทิ้งได้อย่างง่ายดาย ดังนั้นโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลจึงเป็นแหล่งรับมลพิษไมโครพลาสติกเป็นหลักก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นการศึกษาทำความเข้าใจการเกิดและปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมมลพิษไมโครพลาสติกก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม (Ngo et al., 2019)

ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเมืองส่วนใหญ่ในประเทศไทยในปัจจุบันมีการรวบรวมน้ำเสียแบบท่อรวมโดยจะระบายน้ำเสีรรวมกับน้ำฝน จากแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชนส่วนใหญ่นั้นเกิดจากบ้านเรือน ที่ดินจัดสรร โรงแรม หอพัก โรงพยาบาล โรงเรียน อาคารพาณิชย์ ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้า ตลาด เป็นต้น ซึ่งได้มีการจัดการน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดจะดำเนินการตามกฎหมายพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ที่กำหนดให้แหล่งกำเนิดมลพิษบางประเภทต้องถูกควบคุมการระบายน้ำทิ้งให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมีระบบการจัดการน้ำเสียในแหล่งชุมชนในประเทศไทยมีระบบบำบัดแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond: SP) โดยจะมีอยู่ 45 แห่ง ระบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon: AL) มี 17 แห่ง ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์หรือระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge: AS) มี 37 แห่ง ระบบบึงประดิษฐ์ (Constructed wetland: CW) มี 1 แห่ง และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating biological contactor: RBC) มี 1 แห่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2560)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการตรวจสอบลักษณะของการกระจายตัว รูปร่าง ขนาด สี และการระบุนชนิดของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) จากน้ำเสียชุมชนของเทศบาล ตั้งแต่ น้ำเสียชุมชนก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดไปจนถึงการปล่อยน้ำออกจากระบบบำบัดลงสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการสนับสนุนข้อมูลของแหล่งกำเนิดของไมโครพลาสติกจากน้ำเสียชุมชนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ เพื่อที่จะนำไปต่อยอดการพัฒนามาตรการจัดการและเทคโนโลยีที่เหมาะสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำเสียระบบเติมอากาศ (Aerated lagoon: AL) และระบบแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond: SP) ของน้ำเสียชุมชน

1.2.2 เพื่อประเมินปริมาณไมโครพลาสติกที่ถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากระบบบำบัดน้ำเสียระบบเติมอากาศ (Aerated lagoon: AL) และระบบแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond: SP)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 พื้นที่ศึกษา

1) ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนระบบแบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) เทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น

2) ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนระบบแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) เทศบาลนครอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี

1.3.2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน

1.3.2.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้ง 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดังนี้

1.1 จุดรวมน้ำเข้าระบบ โดยจะเก็บน้ำเสียที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

1.2 บ่อเติมอากาศ เก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากบ่อเติมอากาศ

1.3 บ่อตกตะกอน เก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากบ่อตกตะกอน

1.4 จุดปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากจุดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

2. ระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดังนี้

2.1 จุดรวมน้ำเข้าระบบ เก็บน้ำเสียที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบ

2.2 บ่อหมัก เก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากบ่อเติมอากาศ

2.3 บ่อฝุ้ง เก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากบ่อตกตะกอน

2.4 บ่อบ่ม เก็บน้ำเสียจากบ่อบ่ม

2.5 จุดปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากจุดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

1.3.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บแบบอินทิเกรต (Integrated sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำรวมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงโดยมีจุดเก็บที่ต่างกัน ในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียว ซึ่งในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดจะเก็บปริมาตร 1 ลิตร

1.3.2.3 การเก็บตัวอย่างตะกอนเก็บแบบอินทิเกรต (Integrated sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างรวมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงโดยมีจุดเก็บที่ต่างกัน ในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียว ใช้เครื่องมือ Grab sampling เก็บตัวอย่างดินตะกอนน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัมต่อ 1 ตัวอย่าง

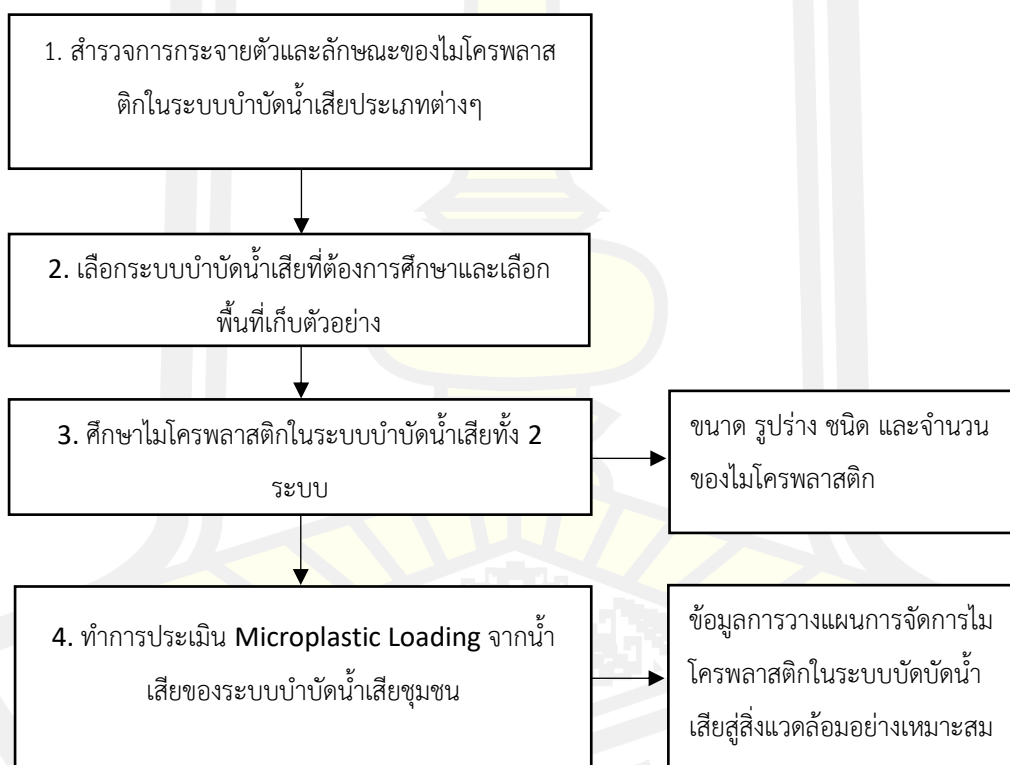
1.3.3 ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาล ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ถึงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2563

1.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การตรวจวัดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในบ่อบำบัดน้ำเสียโดยศึกษาในตัวอย่างน้ำและตะกอน เพื่อระบุขนาด รูปร่าง สี และชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก

1.4 กรอบแนวคิดงานวิจัย



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของไมโครพลาสติกที่พบในน้ำเสียชุมชนและการปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำเสียสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) และระบบบำบัดน้ำเสียบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond)

1.5.2 ข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมิน Microplastic loading และวางแผนการจัดการไมโครพลาสติกในน้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสียสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) และระบบบำบัดน้ำเสียบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) อย่างเหมาะสม



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมโครพลาสติกและนาโนพลาสติก

2.1.1 ไมโครพลาสติก

ไมโครพลาสติกเป็นมลพิษชนิดใหม่ที่มีการปนเปื้อนสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการใช้ชีวิตของมนุษย์ ไมโครพลาสติกคือพลาสติกหรือเศษพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. Primary microplastics หรือไมโครพลาสติกปฐมภูมิ เป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการผลิตให้มีขนาดเล็กตั้งแต่เริ่มแรก เพื่อใช้ประโยชน์ในการเป็นวัตถุดิบต่างๆ ในทางอุตสาหกรรม เช่น เม็ดพลาสติกที่เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น โฟมล้างหน้า ยาสีฟัน เม็ดพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติก เป็นต้น



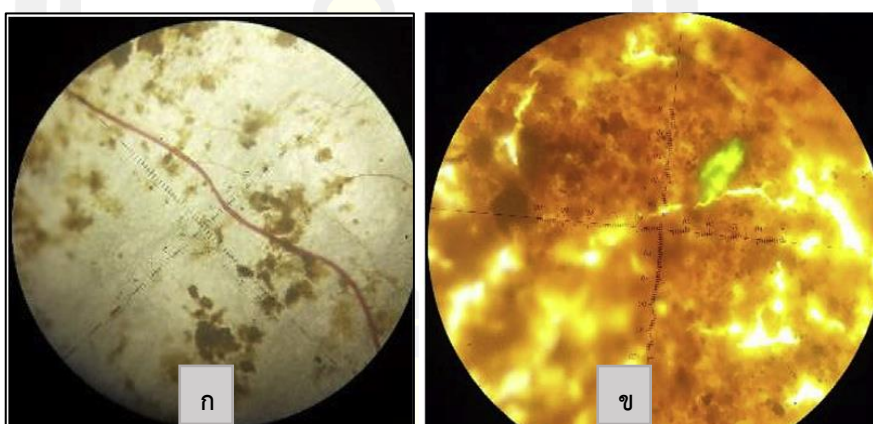
ภาพที่ 1 ไมโครพลาสติกปฐมภูมิประเภทต่างๆ

ก. ไมโครพลาสติกแบบเม็ดบีดส์ ข. ไมโครพลาสติกแบบเม็ดบีดส์ในยาสีฟัน

ที่มา: Oceanography Lab at DSC (2018)

2. Secondary microplastics หรือไมโครพลาสติกทุติยภูมิ เป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการย่อยสลายหรือแตกหักของพลาสติกโดยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติที่ทำให้พลาสติกสามารถหลุดออกจากกันและมีขนาดเล็กจนกลายเป็นไมโครพลาสติกที่คล้ายกับไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Andrady, 2011; Zettler et al., 2013; J. Wang et al., 2017) เช่น ไมโครพลาสติกที่เป็นเศษชิ้นส่วนเกิดจากการแตกหักของขยะพลาสติก เส้นใยไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้า (Shruti et al., 2019) เป็นต้น ทั้งนี้ไมโครพลาสติกนั้นสามารถปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำชุมชนไปจนถึงแหล่งน้ำธรรมชาติและสามารถตกสะสมในดินตะกอนได้เป็นเวลานาน

โดยการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกเพื่อระบุชนิดหลังจากส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้ว จะสามารถทำการตรวจสอบชนิดของสารพอลิเมอร์เพื่อหาแหล่งกำเนิด โดยวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์มากที่สุดคือ สเปกโตรสโคปี (GESAMP, 2019) ได้แก่ Fourier-Transform Infra-Red (FTIR) เป็นการวิเคราะห์สารพอลิเมอร์เพื่อตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันของสารพอลิเมอร์แต่ละชนิดโดยใช้พลังงานลำแสงอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ส่องผ่านตัวอย่าง เมื่อพันธะเคมีดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวนั้นๆ จะทำการประมวลผลข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์แปรผลออกมาเป็นสเปกตรัม และนำไปเทียบกับฐานข้อมูลของสเปกตรัมที่มีอยู่ (วารางคณา อนุชิตโอฬาร, 2546) และ Raman spectroscopy ถูกนำมาใช้เพื่อระบุชนิดของไมโครพลาสติกโดยใช้การวิเคราะห์โครงสร้างสารพอลิเมอร์ด้วยแสง ซึ่งมีลักษณะของการกระเจิงแสงที่ไม่เหมือนกัน (GESAMP, 2019)



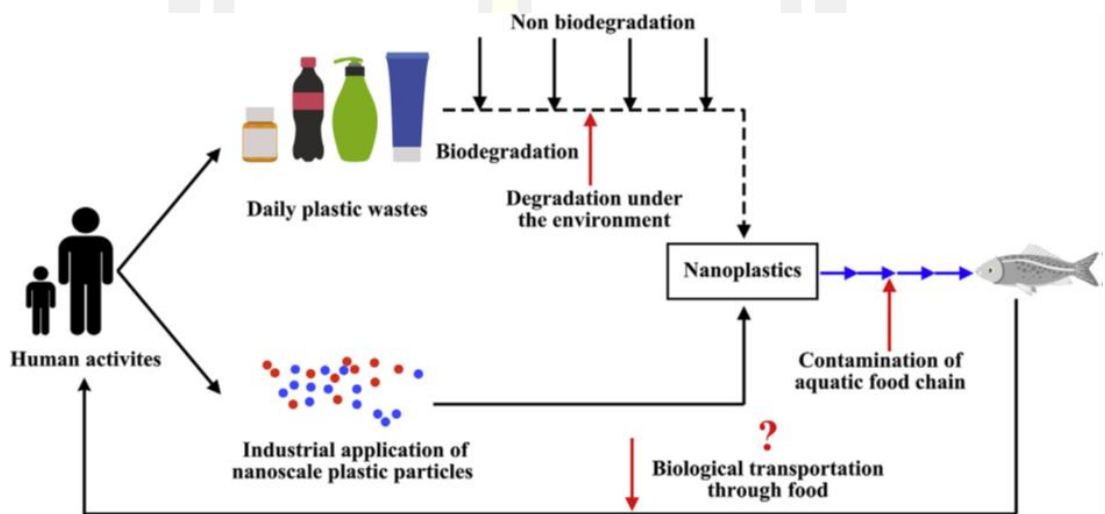
ภาพที่ 2 ไมโครพลาสติกทุติยภูมิ

ก. ไมโครพลาสติกรูปแบบเส้นใยสีแดง ข. ไมโครพลาสติกรูปแบบเศษชิ้นส่วนสีเขียว
ที่มา: Alam et al., (2019)

2.1.2 นาโนพลาสติก

นาโนพลาสติกเกิดจากการย่อยสลายของไมโครพลาสติกให้มีขนาดระดับนาโนเมตร สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการใหม่จากการทำงานร่วมกันของระบบการวิเคราะห์อัตโนมัติโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ Atomic force microscopy (AFM) ใช้ทำงานร่วมกับ IR หรือ Raman spectroscopy ซึ่งมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์นาโนพลาสติก ซึ่ง AFM สามารถให้ภาพที่มีความละเอียดระดับนาโนเมตร และสามารถใช้งานโพรบ AFM ได้ทั้งในโหมดหน้าสัมผัสและโหมดไม่สัมผัสกับวัตถุ และใช้ร่วมกับ IR หรือ Raman spectroscopy เมื่อใช้งานรวมกันจะสามารถกำหนดองค์ประกอบทางเคมีเพื่อระบุชนิดของนาโนพลาสติก แต่วิธีนี้ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ในพื้นที่ขนาดใหญ่ (GESAMP, 2019)

จากการที่นาโนพลาสติกนั้นมีขนาดเล็กมากจึงสามารถแพร่กระจายปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้กว้างโดยเฉพาะในระบบนิเวศน์แหล่งน้ำ และนาโนพลาสติกสามารถเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กได้ง่าย และสามารถปนเปื้อนในระบบห่วงโซ่อาหารโดยสิ่งมีชีวิตในลำดับต้นของห่วงโซ่อาหาร เช่น แบคทีเรียแพลงก์ตอนสัตว์ และสาหร่าย เป็นต้น ซึ่งนาโนพลาสติกนั้นมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยจะสามารถเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดผ่านเนื้อเยื่อลำไส้ก่อให้เกิดความเป็นพิษในระดับเซลล์และโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยที่สามารถยืนยันว่านาโนพลาสติกที่เข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านห่วงโซ่อาหารนั้นจะสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ได้ (Shen et al., 2019)



ภาพที่ 3 แหล่งกำเนิดของนาโนพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

ที่มา: Shen และคณะ (2019)

2.2 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำและดินตะกอน

เนื่องจากในปัจจุบันมีการผลิตพลาสติกเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างแพร่หลายจนกลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการใช้ชีวิตของมนุษย์ จึงทำให้เกิดขยะประเภทพลาสติกมีจำนวนมากในแต่ละวัน โดยการใช้พลาสติกเพื่อเป็นวัสดุสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ (Packaging) มีจำนวนการใช้สูงที่สุดและเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดขยะมากที่สุด โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่าขยะพลาสติกเกิดขึ้นในประเทศไทย จัดเป็นร้อยละ 12 ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือมีปริมาณประมาณ 2 ล้านตันต่อปี ขยะพลาสติกที่พบส่วนใหญ่ในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถุงพลาสติกประเภทถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้วที่ทำจากผลิตภัณฑ์พลาสติก ประเภท Polypropylene High-Density-Polyethylene และ Low-Density-Polyethylene เป็นต้น (สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ และคณะ 2562) เมื่อขยะพลาสติกถูกทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมทั้งบนบกและในน้ำ ซึ่งพลาสติกสามารถเกิดการย่อยสลายทั้งทางกายภาพและทางชีวภาพ

จนกระทั่งกลายเป็นไมโครพลาสติกหรือแม้แต่การผลิตไมโครพลาสติกจากอุตสาหกรรมที่ใช้พลาสติกเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ นำมาซึ่งการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม

นอกจากนั้นการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำยังเกิดจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันของมนุษย์ เช่น การทิ้งขยะพลาสติก การซักล้าง การซักเสื้อผ้า การใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหรือผลิตภัณฑ์ล้างหน้าที่มีส่วนผสมของเม็ดบีดส์ เป็นต้น เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำทำให้ไมโครพลาสติกสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้กว้างขวางจากแหล่งน้ำจึงสามารถไหลลงสู่ทะเล และยังสามารถตกสะสมในดินตะกอน

ปัจจุบันมีการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกหลายงานวิจัย พบว่าไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำนั้นในแต่ละพื้นที่จะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ซึ่งประเภทของไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นเส้นใยไมโครพลาสติก (Fiber) และชนิดของไมโครพลาสติกที่ตรวจพบคือ Polyethylene (PE) Polypropylene (PP) Polystyrene (PS) Polyethylene Terephthalate (PET) โดยมีแหล่งกำเนิดจากทั้งภาคอุตสาหกรรม และชุมชนเมือง (ศิลาวุธ ดำรงค์ศิริ และ เพ็ญรดี จันทร์ภักดิ์ 2018)

การศึกษาแหล่งที่มาและการกระจายตัวของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมนั้นยังคงเป็นเรื่องซับซ้อน ซึ่งในการกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ควบคุมการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่ถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำจืดนั้นมีปัจจัยที่ทำให้ไมโครพลาสติกเกิดการกระจายตัว เช่น ความหนาแน่น ขนาด และรูปร่าง โดยความหนาแน่นของชนิดพลาสติกที่บริโภคโดยทั่วไปจะมีความหนาแน่นตั้งแต่ 0.85 - 1.41 (g/cm³) ซึ่งช่วงนี้จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของน้ำจืด (1g/cm³) ดังนั้นไมโครพลาสติกบางชนิดจะจมอยู่ใต้ท้องน้ำและบางชนิดจะลอยในน้ำ และในการศึกษารูปร่างไมโครพลาสติกในน้ำจืดที่แตกต่างกันอย่างมา (Koelmans et al., 2019; World Health Organization, 2019) โดยมีไมโครพลาสติกในรูปแบบที่เป็นเศษชิ้นส่วน (Fragments) เส้นใย (Fibres/Filaments) ฟิล์ม (Films/Sheets) โฟม (Foam) และเม็ดกลม (Pellets) เป็นรูปร่างที่มีรายงานว่าพบบ่อยที่สุด (GESAMP, 2019) โดย PP, PE, PS, PVC และ PET เป็นโพลีเมอร์ที่ตรวจพบบ่อยที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติก และความหนาแน่นของโพลีเมอร์เป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณาว่าจะตรวจวัดไมโครพลาสติกในการศึกษาที่เก็บตัวอย่างบนผิวของน้ำ

2.3 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด

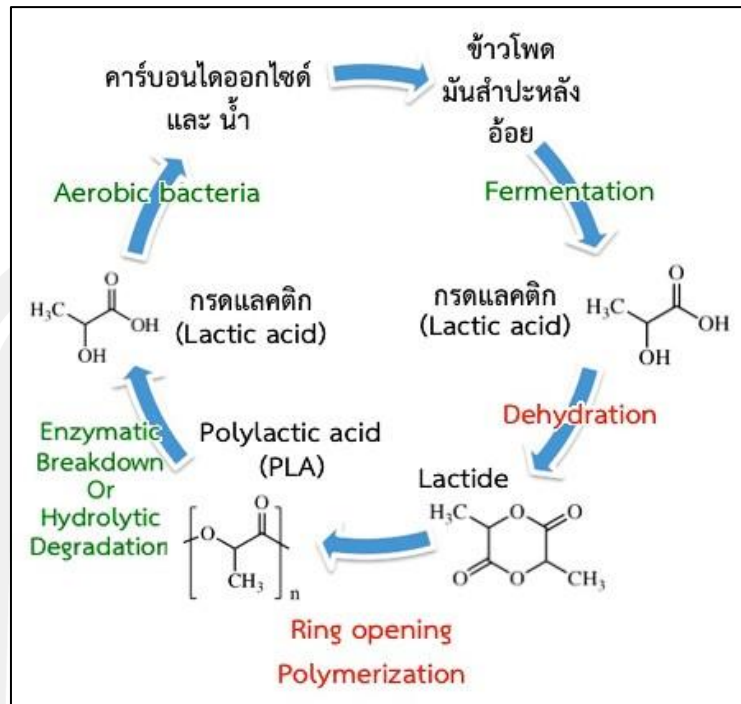
ในน้ำดื่มบรรจุขวดพบว่าไมโครพลาสติกจะมีการปนเปื้อนในกระบวนการบรรจุขวดน้ำในน้ำดื่มและบรรจุภัณฑ์ โดยไมโครพลาสติกในรูปแบบที่พบว่ามี การปนเปื้อนในน้ำดื่มและบรรจุภัณฑ์คือเศษชิ้นส่วน (Fragments) และเส้นใย โดยการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มที่มาจากแหล่งน้ำใต้ดินพบว่าไมโครพลาสติกในน้ำดื่มมีมากกว่า 10^3 ชิ้น/ลิตร ซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำใต้ดินจะได้รับการปกป้องอย่างดีจากการปนเปื้อนของฝุ่นละอองและในขณะเดียวกันในการบำบัดน้ำดื่มที่มีประสิทธิภาพอาจจะเป็นไปได้ยากเนื่องจากปัจจัยของขนาดไมโครพลาสติกแต่ละชิ้นไม่เท่ากันอาจทำให้มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มจากกระบวนการบรรจุขวดน้ำ (Koelmans et al., 2019; World Health Organization, 2019)

2.4 การย่อยสลายของพลาสติก

การย่อยสลายพลาสติกในสิ่งแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) เกิดจากการที่มีปัจจัยมากมายในสิ่งแวดล้อมทำให้พลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของโครงสร้างทางเคมี เช่น กรด ต่าง น้ำ ออกซิเจน แสงจากดวงอาทิตย์ แร่กลม หรือเอนไซม์ต่างๆ โดยสามารถแบ่งกลไกการย่อยพลาสติกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.4.1 กระบวนการย่อยสลายได้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Photodegradation)

เป็นกระบวนการย่อยสลายที่เกิดจากการเติมสารที่เกิดปฏิกิริยาไวต่อแสงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีพันธะเคมีที่ไม่ทนต่อแสงสามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อได้รับรังสี (UV) ได้แก่ หมู่คีโตน (Ketone group) เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ ซึ่งเมื่อหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวเมื่อสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่มีความเสถียร จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อไปได้เร็ว โดยพันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์เกิดการขาดของสายพอลิเมอร์ ดังภาพที่ 4 แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะ กองคอมโพสท์หรือสภาวะแวดล้อมอื่นในที่มืด หรือแม้กระทั่งชิ้นพลาสติกที่มีการเคลือบด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิวพลาสติก เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)



ภาพที่ 4 วงจรการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชัน

ที่มา: <https://www.scimath.org/article-chemistry/item/10971-2019-10-25-07-12-59>

2.4.2 กระบวนการย่อยสลายพลาสติกทางกล (Mechanical Degradation)

เป็นการใช้แรงกระทำต่อพลาสติก ทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นๆ เช่นการบด การตัด โดยใช้เครื่องบดหรือเครื่องสับบดพลาสติก เพื่อให้พลาสติกที่ถูกบดและย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งสามารถนำเอาพลาสติกไปขึ้นรูปใหม่หรือที่เรียกว่ารีไซเคิลพลาสติก (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

2.4.3 การย่อยสลายพลาสติกด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation)

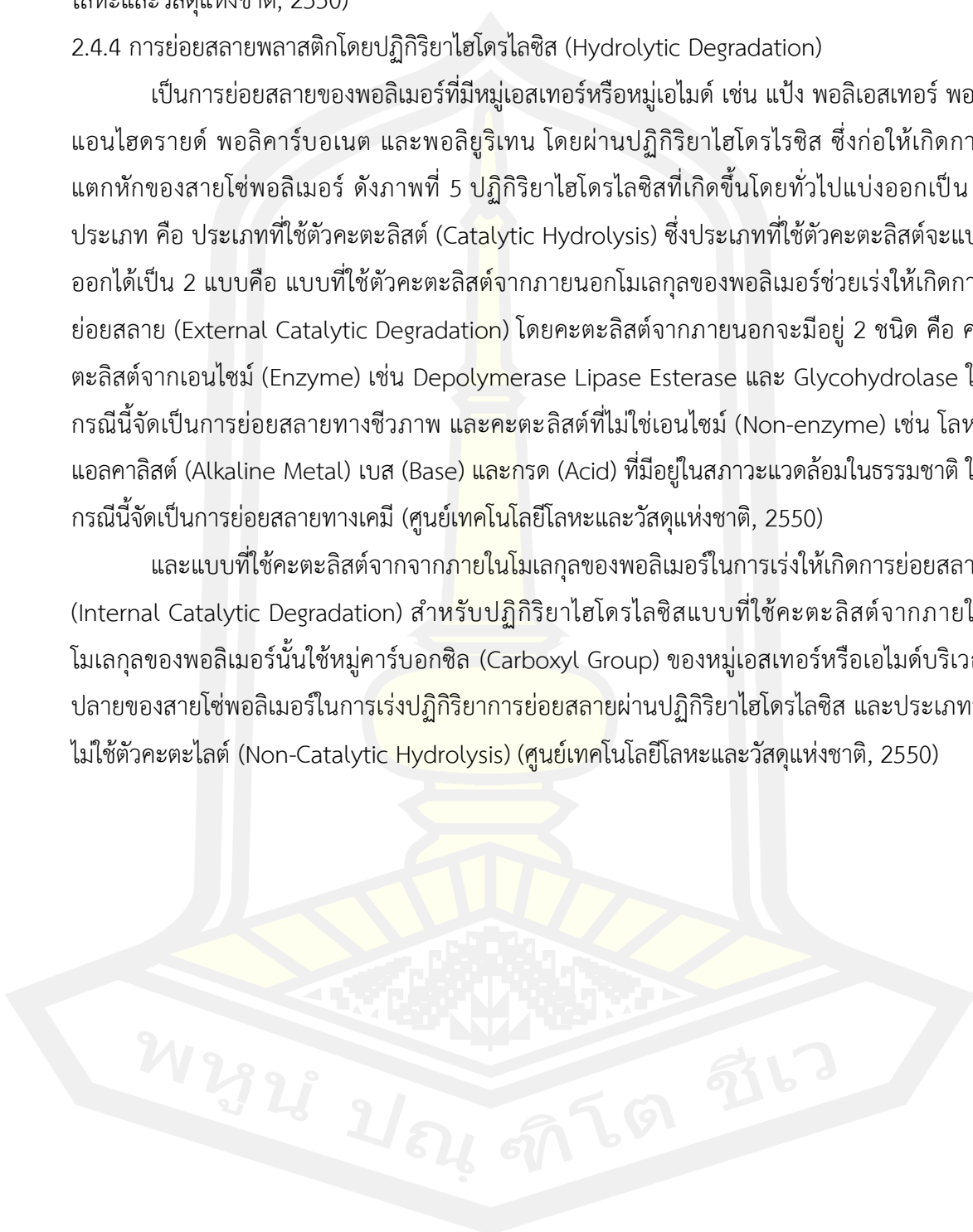
เป็นการย่อยสลายพลาสติกโดยการใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกิดจากการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยจะมีออกซิเจน ความร้อน แสงยูวี หรือแรงจากการกดทับ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารที่ทำให้เพิ่มความเสถียร (Stabilizing Additive) แสงอาทิตย์และความร้อนทำให้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่มีความเสถียร จึงสามารถทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักของพลาสติกอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการพัฒนาในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารที่มีคุณสมบัติเป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นช่วยเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ให้เป็น

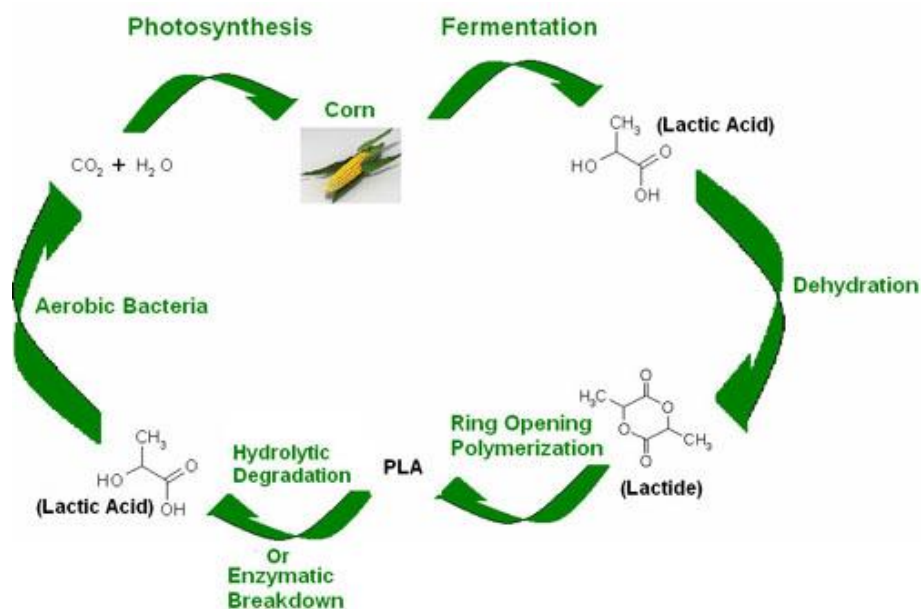
อนุมูลอิสระ (Free Radical) และทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักได้เร็วขึ้น (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

2.4.4 การย่อยสลายพลาสติกโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation)

เป็นการย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์หรือหมู่เอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮดริค พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน โดยผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ดังภาพที่ 5 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวกระตุ้น (Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทที่ใช้ตัวกระตุ้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้ตัวกระตุ้นจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์ช่วยเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) โดยกระตุ้นจากภายนอกจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ กระตุ้นจากเอนไซม์ (Enzyme) เช่น Depolymerase Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และกระตุ้นที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอมคาไลสต์ (Alkaline Metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

และแบบที่ใช้ตัวกระตุ้นจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal Catalytic Degradation) สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวกระตุ้นจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และประเภทที่ไม่ใช้ตัวกระตุ้น (Non-Catalytic Hydrolysis) (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)





ภาพที่ 5 ขั้นตอนการผลิต PLA และการนำกลับมาใช้ใหม่

ที่มา: กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม

<http://library.dip.go.th/Industrial%20Innovation/www/innonew0-01.html>

2.4.5 การย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพ (Biodegradation)

โดยการย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปจะมีกระบวนการย่อย 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ซึ่งในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจะเกิดขึ้นจากภายนอกของเซลล์โดยการปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งจะสามารถเกิดได้ทั้งแบบใช้ Endo-enzyme ซึ่งเป็นการใช้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโพลีเมอร์ ซึ่งจะแตกตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ Exo-enzyme เป็นการที่เอนไซม์นั้นทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายหรือภายนอกของสายโพลีเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอที่จะสามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ จึงจะสามารถเกิดการย่อยสลายต่อไปในขั้นตอนที่ 2 คือการย่อยสลายภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ และได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนนี้สุดท้าย (Ultimate Biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (Biomass) ดังภาพที่ 6 (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)



ภาพที่ 6 การย่อยสลายของพลาสติกได้ทางชีวภาพ

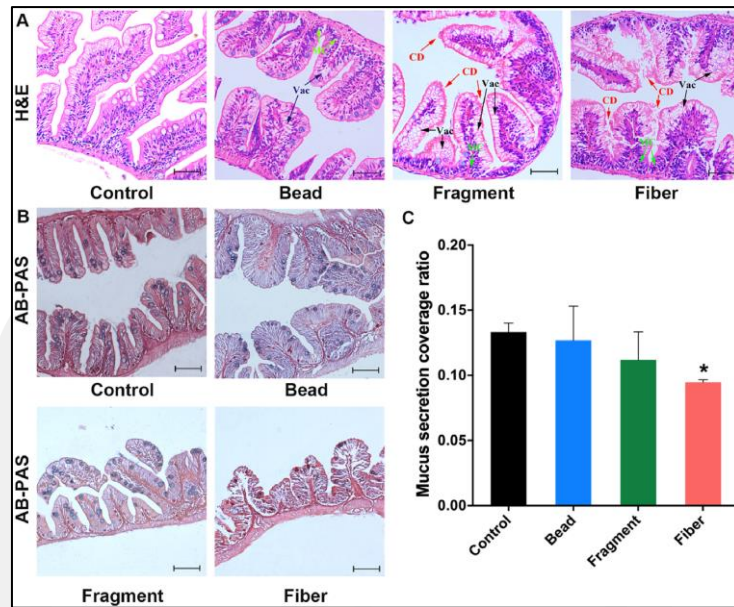
ที่มา: <https://www.salika.co/2019/07/12/biodegradable-plastics-innovation/>

2.5 ผลกระทบของไมโครพลาสติก

จากการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทั้งระบบนิเวศทางทะเล แหล่งน้ำจืด และในดินตะกอน ส่งผลให้มีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิต ตั้งแต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น ไปจนถึงสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ เช่น วาฬหรือแม้แต่มนุษย์เอง จากการกินไมโครพลาสติกโดยตรงหรือได้รับทางอ้อมจากห่วงโซ่อาหารที่ได้รับการปนเปื้อนไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกาย

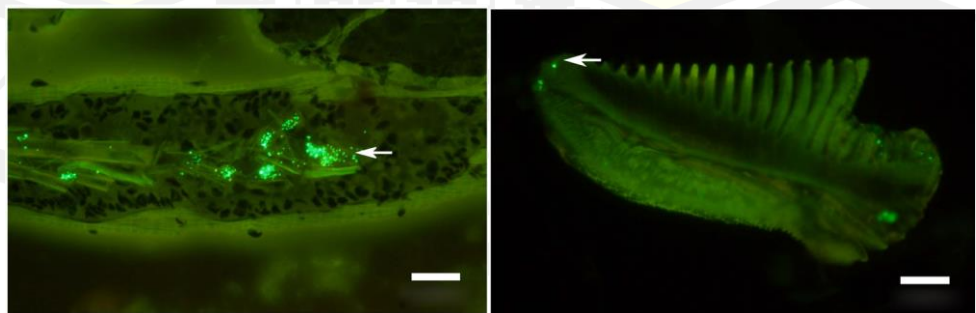
ผลกระทบที่เกิดจากไมโครพลาสติกเกิดได้ทั้งทางกายภาพและชีวภาพ โดยไมโครพลาสติกสามารถจับกับมลพิษหรือสารปนเปื้อน เช่น ยาฆ่าแมลง ดีดีที พีซีบี (PCBs) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพแบบเรื้อรัง ส่งผลรบกวนระบบฮอร์โมนจากต่อไธ่ท่อ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของยีน และเป็นสารก่อมะเร็ง (จินตมาศ ศิลปพรหมมาศ 2562) ทั้งนี้ยังมีงานวิจัยพบว่ารูปร่างของไมโครพลาสติกเป็นปัจจัยก่อให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อลำไส้ในระบบทางเดินอาหารของปลาหมัก โดยรูปร่างที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นเศษชิ้นส่วน (Fragmen) ดังภาพที่ 7 (Qiao et al., 2019)

พหุ ม บ ก ชี เว



ภาพที่ 7 การเกิดผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อเนื้อเยื่อลำไส้ของปลาหมึก
ที่มา: Qiao et al. (2019)

นอกจากนี้เมื่อสิ่งมีชีวิตได้รับไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกาย จะเกิดผลกระทบในกระบวนการย่อยอาหารซึ่งจะย่อยสารพิษที่อยู่ในไมโครพลาสติกไปสะสมในเนื้อเยื่อไขมัน และยังพบว่าไมโครพลาสติกสามารถยับยั้งกระบวนการต่างๆ ของระบบการทำงานในร่างกายของสิ่งมีชีวิต เช่น การสะสมของไมโครพลาสติกในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง (เคยอาร์กติก) ดังภาพที่ 8 อาจจะทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดการบาดเจ็บจากไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างแหลมคม ก่อให้เกิดการผลิตเอนไซม์ลดลง ทำให้ลดการกระตุ้นความอยากอาหารของสิ่งมีชีวิต (Dawson et al., 2018) รวมถึงการลดประสิทธิภาพฮอร์โมนของระบบสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต (OSPAR 2009; Van Franeker et al., 2011; สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557)



ภาพที่ 8 การได้รับไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกายของเคยอาร์กติก
ที่มา: Dawson et al. (2018)

2.6 ลักษณะของไมโครพลาสติกที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต

2.6.1. ขนาด

ซึ่งขนาดของไมโครพลาสติกเป็นปัจจัยในการปนเปื้อนโดยการเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต โดยไมโครพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเข้าสู่ร่างกายในระบบทางเดินอาหาร ส่วนไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กมากนั้นจะสามารถเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อและเส้นเลือดได้ง่ายกว่า และเนื่องจากไมโครพลาสติกนั้นหากยังมีขนาดเล็กจะมีแนวโน้มที่จะปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในลำดับต้นของห่วงโซ่อาหาร ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการบริโภคของสิ่งมีชีวิตด้วย (Wright et al., (2003) และ สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557) เช่น วาฬเซอิ (*Balaenoptera borealis*) ส่วนใหญ่จะกินสิ่งมีชีวิตจำพวกแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโคพิพอด (Copepods) วงศ์ปลาแมว (Engraulidae) วงศ์ปลาหลังเขียว (Clupeidae) และวงศ์ปลาอินทรี (Scombridae) และมีรายงานการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่พบในวงศ์ปลาอินทรี (Scombridae) ในแอตแลนติกและ วงศ์ปลาแมว (Engraulidae) ในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกเฉียงเหนือแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโคพิพอด (Copepods) ในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออกเฉียงเหนือ (Burkhardt-Holm & Guyen, 2019) โดยการกินอาหารของวาฬจะมีการกลืนน้ำทะเลเป็นจำนวนมากและกรองอาหารไว้เพื่อกิน จึงทำให้มีความเสี่ยงในการที่จะได้รับพลาสติกเข้าสู่ร่างกายและอวัยวะมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่มีรูปแบบการกินอาหารในรูปแบบอื่น (Wright et al., (2003) และ สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557)

2.6.2. ความหนาแน่นและชนิดของพลาสติก

โดยความหนาแน่นของไมโครพลาสติกนั้นมีผลต่อปริมาณของพลาสติกต่อมวลน้ำ และดินตะกอนรวมถึงมีแนวโน้มที่สัตว์จะได้รับพลาสติกที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน เช่น สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำระดับต่างกันจะได้รับพลาสติกชนิดต่างกัน โดยสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในบนผิวน้ำจะมีแนวโน้มที่จะปนเปื้อนพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ เช่น โพลีเอทิลีน (PE) มีความหนาแน่น 0.91-0.94 ในขณะที่สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณผิวดินตะกอนซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมกับน้ำจะมีแนวโน้มของการปนเปื้อนพลาสติกที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ที่มีความหนาแน่น 1.38 เป็นต้น (Wright et al., (2003) และ สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557) ความหนาแน่นของพลาสติกชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของชนิดพลาสติก

Polymer	ความหนาแน่น g/cm ³ (ช่วงต่ำ)	ความหนาแน่น g/cm ³ (ช่วงสูง)
Polypropylene	0.9	0.91
Polyethylene	0.965	0.971
Styrene butadiene rubber ^a	0.98	0.98
Polyamide (nylon)	1.02	1.05
Acrylic	1.04	1.1
Polyvinyl chloride	1.09	1.2
Polymethacrylate	1.16	1.58
Polymethacrylate	1.17	1.2
Polyurethane	1.2	1.2
Polyester	1.23	2.3
Polyethylene terephthalate	1.37	1.45

ที่มา: GESAMP (2019)

2.6.3. สี

เป็นอีกปัจจัยหนึ่งนี้อาจมีผลต่อการเลือกกินของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในสิ่งมีชีวิตที่มีประสาทการรับรู้ภาพ และสี ซึ่งจะเลือกกินพลาสติกที่มีสีคล้ายเหยื่อของสัตว์ชนิดนั้น (Wright et al., 2013) เช่นการศึกษาในปลาทองที่มีการเลือกกินไมโครพลาสติกชนิด PE ซึ่งผสมอยู่ในอาหารปลาโดย ไมโครพลาสติกที่มีสีเขียวและสีดำจะถูกเลือกกินมากกว่าเมื่อเทียบกับไมโครพลาสติกที่มีสีแดง สีฟ้า และสีขาว เนื่องจากอาหารที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีสีน้ำตาลเข้มและตามสภาพในธรรมชาติของอาหารของปลาทองรวมถึงพืช (สีเขียว) และแมลง (สีเข้ม) อาจเป็นไปได้ว่าปลาทองเลือกกินอาหารที่มีสีใกล้เคียงกัน (Xiong et al., 2019) ทั้งนี้สีอาจให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับแหล่งที่มาของ Marine litter ซึ่งเป็นแหล่งของขยะพลาสติกที่ลอยอยู่ในทะเลได้ (GESAMP, 2019) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในแม่น้ำซีตอนล่างพบว่าสีของไมโครพลาสติกที่มีความโดดเด่นมากที่สุดคือสีแดง และสีน้ำเงิน โดยสีแดงจะพบในตัวอย่างน้ำร้อยละ 59.22 ส่วนสีน้ำเงินจะพบในดินตะกอนร้อยละ 45.23 โดยมีขนาดเฉลี่ยส่วนใหญ่น้อยกว่า 1 มิลลิเมตรลงไปจนถึง 0.2 มิลลิเมตร (วัชรพล สันติวัชรานุรักษ์ และ ศदानันท์ ศรีวุฒิมงคล, 2561)

2.7 น้ำเสียชุมชน

เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของมนุษย์ ที่อาศัยอยู่ในชุมชน หรือเกิดจากการประกอบอาชีพต่างๆ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้เป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยจากชุมชน อาคาร สามารถประเมินได้จากจำนวนประชากรและพื้นที่อาคารใช้สอยแต่ละประเภท โดยน้ำเสียชุมชนมีองค์ประกอบดังนี้

2.7.1. สารอินทรีย์

ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอาหาร เมื่อออกซิเจนในน้ำถูกนำไปใช้จะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงมีกลิ่นเน่าเหม็น ปริมาณของสารอินทรีย์สามารถวัดได้โดยวัดค่าบีโอดี (BOD) เมื่อมีค่าสูงแสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก

2.7.2. สารอนินทรีย์

ได้แก่ แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น คลอไรด์ ซัลเฟต เป็นต้น เนื่องจากสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

2.7.3. โลหะหนักและสารพิษ

อาจจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สามารถสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นเวลานาน และสามารถปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต เช่น โครเมียม พรอท ทองแดง ซึ่งเกิดจากกิจกรรมทางภาคอุตสาหกรรม สารเคมีที่ใช้ในการเกษตร กิจกรรมจากชุมชนบางประเภท เช่น ouchomrod ร้านซูปโลหะ น้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

2.7.4. ไขมันและสารลอยน้ำต่างๆ

จะทำให้เกิดการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นได้ยากและทำให้น้ำสัมผัสออกซิเจนได้น้อยลง

2.7.5. ของแข็งแขวนลอย

เมื่อของแข็งจมน้ำจะทำให้ น้ำตื้นเขินในแม่น้ำ และเมื่อน้ำมีความขุ่นสูงจะทำให้เกิดสภาวะไร้ออกซิเจน มีผลต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำ

2.7.6. สารซักฟอกหรือสารที่ทำให้เกิดฟอง

จากฟองที่กีดกันการกระจายออกซิเจนจากอากาศสู่น้ำและสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

2.7.7. จุลินทรีย์

โดยเฉพาะจุลินทรีย์ที่มากับน้ำเสียจากโรงฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีปริมาณจุลินทรีย์สูง ทำให้เกิดการลดระดับของออกซิเจนในน้ำ เกิดกลิ่นเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดเป็นชนิดก่อโรคซึ่งเป็นอันตรายต่อมนุษย์

2.7.8. ธาตุอาหาร

เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ทำให้เกิดปรากฏการณ์ Algae Bloom ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณของออกซิเจนในน้ำลดลงในช่วงกลางคืน ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ

2.7.9. การเกิดกลิ่น

เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นผลผลิตจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2555)

ทั้งนี้จึงมีการวิเคราะห์ค่าการระบายน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนลงสู่สิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนด้วยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 อันเป็นพระราชบัญญัติที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา 29 ประกอบกับมาตรา 33 มาตรา 38 มาตรา 41 และมาตรา 41 ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	มาตรฐาน
1.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5-9.0
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) *	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) **	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร
5. ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร
6. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2545)

นอกจากนี้ยังสารมลพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับไมโครพลาสติกโดยการดูดซับ ซึ่งไมโครพลาสติกนั้นสามารถเป็นตัวดูดซับสารพิษอย่างดี เช่น โลหะหนัก (Ni, Cd, Pb, Cu, Zn และ Ti) ที่มีการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมอยู่ก่อนแล้วสามารถถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวของไมโคร

พลาสติก (J. Wang et al., 2017) นอกจากนี้ยังมีรายงานพบว่าไมโครพลาสติกสามารถดูดซับสาร Phenanthrene ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตในระยะการฟักตัว 14 วันของ *Daphnia magna* ซึ่งไมโครพลาสติกช่วยให้มีสาร Phenanthrene ในร่างกายของ *D. magna* ได้ดียิ่งขึ้นจึงทำให้เกิดความเป็นพิษมากยิ่งขึ้น (Ma et al., 2016)

2.8 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย

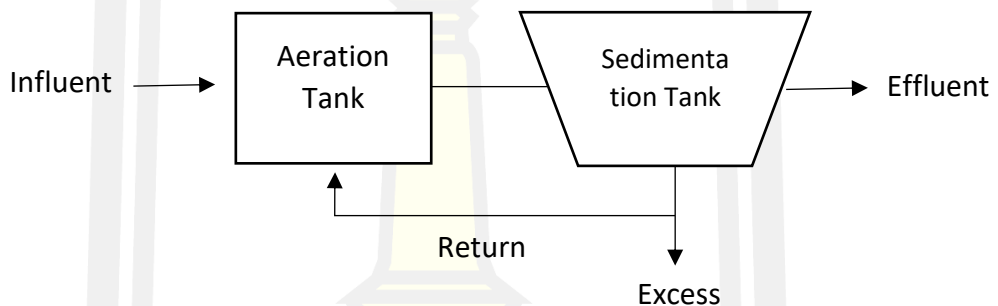
ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลในประเทศไทยที่นิยมใช้กันมากที่สุดมี 4 ระบบบำบัดได้แก่

2.8.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge)

เป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้แบคทีเรียพวกใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นหลัก ระบบบำบัดนี้นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก และยังมีการประยุกต์ระบบให้มีความสอดคล้องต่อการใช้งานได้มากขึ้น เนื่องจากสามารถบำบัดได้ทั้งน้ำเสียจากชุมชนรวมถึงการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่จำเป็นต้องควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบบำบัดและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

โดยหลักการทำงานของระบบจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือถังเติมอากาศ (Aeration Tank) น้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบจะถูกส่งเข้าถังเติมอากาศ ซึ่งในถังเติมอากาศจะถูกออกแบบให้มีสภาวะที่ทำให้จุลินทรีย์เติบโตได้ดีแบบใช้ออกซิเจน และจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และเนื่องจากออกซิเจนมีการทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์จะถูกเร่งให้เกิดการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น จากการที่จุลินทรีย์นั้นย่อยสลายสารอินทรีย์และสิ่งสกปรกในน้ำเสียเป็นอาหาร เมื่อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในถังเติมอากาศมากขึ้นทำให้ภายในถังมีสีน้ำตาลเข้มและจับกันเป็นตะกอนชั้นใหญ่ ซึ่งน้ำเมื่อผสมกันระหว่างน้ำทิ้งกับตะกอนแบคทีเรียภายในถังเติมอากาศจะเรียกว่า Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS) (Ministry of Natural Resources and Environment, 2004; Asian Institute of Technology, 2004; ธีระ เกรอต, 2539; มั่นสิน ตัญกุลเวศม์, 2542; Saunders, 2013) เมื่อน้ำเสียที่ได้รับการบำบัดจะเข้าสู่ ส่วนที่ 2 คือส่วนของถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใสด้วยการตกตะกอน และมีค่าความสกปรกต่ำจนสามารถผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง ซึ่งน้ำใสส่วนด้านบนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกส่งไปยังบ่อคลอรีนเพื่อทำการฆ่าเชื้อและสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ ส่วนสลัดจ์นั้นจะมีส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปใช้ในถังเติมอากาศใหม่ (Return Sludge) เพื่อให้มีความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เหมาะสมและคงที่ ส่วนสลัดจ์ที่ไม่ถูกสูบกลับไปใหม่ เรียกว่าสลัดจ์ส่วนเกิน (Excess Sludge) จะถูกนำออกไปกำจัดโดยการรีดน้ำออกเพื่อทำให้สลัดจ์แห้งจากนั้นนำไปกำจัดเช่น นำไปทิ้งในบ่อฝังกลบ การนำไปทำเป็นปุ๋ย และการนำไปเผา ดังภาพที่ 9 (กรมควบคุมมลพิษ 2545)

เนื่องจากหลักการทำงานของระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งนั้นอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์เป็นหลักเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและควรตรวจสอบค่าต่างๆ เช่น ค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง เป็นต้น ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่นอกเหนือต่อการควบคุมเครื่องมือของตัวระบบเอง แต่หากไม่สามารถควบคุมการทำได้ของระบบได้เป็นปกติจะทำให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ระบบไม่สามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ และธาตุอาหารในน้ำเสียได้ นอกจากนี้อาจทำให้ตะกอนของจุลินทรีย์บางส่วนไม่สามารถตกตะกอนได้ หรือเกิดการตกตะกอนช้ามาก ทำให้ไม่สามารถลดปริมาณสารแขวนลอยในขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่สิ่งแวดล้อมได้



ภาพที่ 9 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

ทั้งนี้ไมโครพลาสติกมีโอกาสถูกกำจัดด้วยระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งโดยไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 348.1 ไมครอน จะสามารถเกิดการตกตะกอนและถูกเก็บไว้ในรูปแบบของกากตะกอนได้ แต่เนื่องจากไมโครพลาสติกนั้นมีหลายขนาดจึงทำให้ไมโครพลาสติกขนาดเล็กกว่าสามารถลอยตัวในน้ำได้ดีกว่าจะสามารถถูกปล่อยไปกับน้ำทิ้งที่บำบัดเสร็จแล้วลงสู่สิ่งแวดล้อมและเกิดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำต่อไป (Liu et al., 2019)

2.8.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสีย แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

2.1 บ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) เป็นระบบที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงโดยใช้จุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งบ่อประเภทนี้จะถูกออกแบบให้มีอัตราการรองรับสารอินทรีย์สูงมาก เนื่องจากบ่อมีสภาพไร้ออกซิเจนละลายในน้ำภายในบ่อซึ่งเหมาะกับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงและปริมาณของแข็งสูง เมื่อของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนแล้ว น้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจะถูกส่งไปยังบ่อแฟคัลทีฟ

(Facultative Pond) เพื่อบำบัดขั้นต่อไป โดยการทำงานของบ่อนี้จะขึ้นอยู่กับความสมดุลของแบคทีเรียผลิตกรดและแบคทีเรียผลิตก๊าซมีเทน บ่อจึงควรมีอุณหภูมิมากกว่า 15 องศาเซลเซียส และค่า pH มากกว่า 6

2.2 บ่อแฟคัลเททีฟ (Facultative Pond) เป็นบ่อที่มีความนิยมใช้มากที่สุด บ่อจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบนของบ่อเป็นแบบแอโรบิกหรือมีออกซิเจนจากการถ่ายเทอากาศบนผิวน้ำและจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย และส่วนล่างมีสภาพแอนแอโรบิก โดยบ่อนี้ใช้บำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยบ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic Pond) มาแล้ว

2.3 บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) เป็นบ่อที่มีจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนอยู่ จะมีความลึกไม่มาก เพื่อให้ออกซิเจนกระจายได้ทั่วทุกความลึก โดยจะอาศัยการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเพื่อผลิตออกซิเจนและการเติมอากาศที่ผิวน้ำ บ่อนี้ยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้บางส่วนจากการสัมผัสแสงแดด

และบ่อสุดท้ายในระบบนี้คือ บ่อบ่ม (Maturation Pond) จะมีสภาพเป็นแอโรบิกทั้งบ่อ มีความลึกไม่มากและแสงแดดสามารถส่องถึงก้นบ่อ จะใช้เพื่อรองรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อพอกน้ำทิ้งให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยใช้แสงแดดฆ่าเชื้อโรคก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

ทั้งนี้ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) สามารถบำบัดไมโครพลาสติกได้โดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติกบางส่วนที่ไม่สามารถลอยไปกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วและถูกปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้



ภาพที่ 10 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

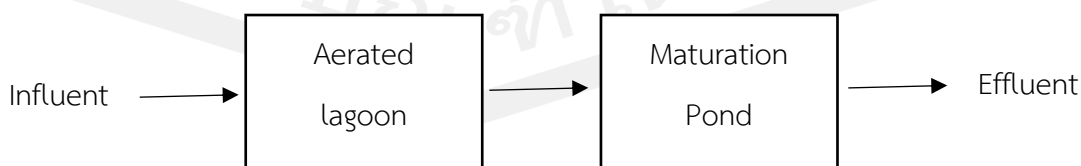
2.8.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

เป็นระบบที่อาศัยการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ติดตั้งเป็นแบบทุ่นลอยเหนือน้ำหรือเป็นแบบยึดติดกับแท่น ใช้เพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอต่อจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ซึ่งสามารถย่อยได้เร็วกว่าปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) โดยลดลงร้อยละ 80–95 และนอกจากเครื่องเติมอากาศจะสามารถเติมอากาศแล้วยังช่วยทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่ออีกด้วย จึงทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในบ่อได้ทั่วถึง โดยระบบบำบัดแบบเติมอากาศนี้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมาก และสามารถรองรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม

ซึ่งระบบบำบัดนี้จะมีความลึกประมาณ 2-6 เมตร มีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำ 3-10 วัน โดยประมาณ นอกจากนี้ต้องมีบ่อเพื่อรองรับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศเพื่อตกตะกอนและปรับสภาพน้ำก่อนระบายลงสู่สิ่งแวดล้อม และเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาของการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากเกินไปจึงต้องควบคุมอัตราการไหลของน้ำในบ่อบ่มและระยะเวลาการกักเก็บน้ำให้เหมาะสม

ส่วนประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศจะมี ดังนี้ บ่อเติมอากาศ บ่อบ่มเพื่อปรับสภาพน้ำทิ้ง ซึ่งจำนวนบ่อจะขึ้นอยู่กับภาระออกแบบ และบ่อเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคจำนวน 1 บ่อ เครื่องเติมอากาศเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการเติมออกซิเจนภายในบ่อเติมอากาศของระบบ โดยจะมีอยู่ 4 แบบใหญ่ คือ 1. เครื่องเติมอากาศที่ผิวหน้า (Surface Aerator) ทำหน้าที่ตีน้ำที่ผิวน้ำให้น้ำกระจายขึ้นมาเป็นเม็ดเล็กๆ เพื่อสัมผัสอากาศ เพื่อกระจายออกซิเจนพร้อมทั้งทำหน้าที่กวนน้ำให้ผสมกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั่วทั้งบ่อ 2. เครื่องเติมอากาศเทอร์ไบน์ใต้น้ำ (Submerged Turbine Aerator) เป็นเครื่องเติมอากาศที่ทำหน้าที่ร่วมกับระบบเป่าอากาศ คืออากาศจะเป่ามาตามท่อที่ได้ใบพัดตีน้ำ และอากาศจะถูกใบพัดเทอร์ไบน์ตีฟองอากาศมีขนาดเล็กซึ่งจะสามารถกระจายทั่วถึงเติมอากาศ 3. เครื่องเติมอากาศใต้น้ำ (Submersible Aerator) จะมีลักษณะเป็นการผสมกันของเครื่องสูบน้ำ (Pump) เครื่องดูดอากาศ (Air Blower) และเครื่องตีอากาศให้ผสมกับน้ำ (Disperser) อยู่ในเครื่องเดียวกันแต่เครื่องนี้จะมีข้อจำกัดคือการกวนน้ำ 4. เครื่องเติมอากาศแบบหัวฉีดน้ำ (Jet Aerator) ซึ่งระบบของเครื่องนี้จะมี 2 แบบ คือ แบบ Venturi Ejector เป็นเครื่องที่สูบน้ำใต้น้ำและฉีดผ่านท่อที่มีรูปร่างเป็น Venturi ช่วยเพิ่มความเร็วของน้ำ ซึ่งจะเกิดการดูดอากาศจากผิวน้ำลงมาผสมกับน้ำและสามารถถ่ายเทออกซิเจนลงไปภายในน้ำ ทั้งนี้ควรติดตั้งเครื่องให้เหมาะกับน้ำเสียที่ไม่มีเศษขยะหรือของแข็งขนาดใหญ่เนื่องจากจะทำให้เข้าไปติดในท่อ Venturi ได้ง่าย และแบบ Water Jet Aerator หรือแบบสูบฉีดน้ำลงบนผิวน้ำ เป็นการสูบน้ำจากบ่อมาฉีดด้วยความเร็วที่ผิวน้ำ ทำให้เกิดการกระจายของอากาศลงไปใต้น้ำตามแรงฉีด (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

การบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) นี้มีการบำบัดไมโครพลาสติกโดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติก เป็นการบำบัดไมโครพลาสติกที่ไม่มีความสามารถลอยตัวในน้ำได้ แต่ทั้งนี้ยังมีไมโครพลาสติกที่สามารถลอยตัวในน้ำได้ดี มีขนาดเล็กจึงสามารถลอยไปกับน้ำทิ้งไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและเกิดการปนเปื้อนต่อไป



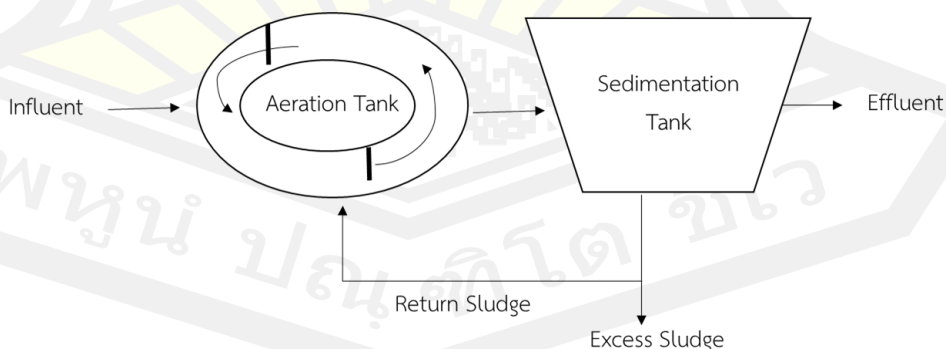
ภาพที่ 11 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ

2.8.4 ระบบบำบัดน้ำเสียระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch: OD)

เป็นระบบบำบัดที่เป็นระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์อีกรูปแบบหนึ่ง แต่ลักษณะของถังเติมอากาศของระบบนี้จะมีรูปแบบเป็นวงรีหรือวงกลม และทำให้น้ำเสียที่เข้าระบบมีการไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และมีรูปแบบการกวนโดยใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) ซึ่งจะทำให้ในถังเติมอากาศนี้มีสภาวะ Anoxic Zone ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งจะมีระยะเวลาไม่ชงนี้ไม่เกิน 10 นาที และทำให้นิโตรเจนถูกเปลี่ยนโดยการใช้อแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งระบบนี้สามารถบำบัดไนโตรเจนได้ (กรมควบคุมมลพิษ 2545)

โดยมีหลักการทำงานของระบบคือจะมีความคล้ายคลึงกับการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ซึ่งจะใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยมีจุลินทรีย์ที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และโปรโตซัว เป็นต้น โดยจะมีสภาวะแบบใช้อากาศในการเลี้ยงจุลินทรีย์เหล่านี้เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในน้ำเสียนั้นเป็นแหล่งอาหารและแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ ซึ่งใช้เพื่อเป็นการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนจะทำให้เกิดการจับกันเป็นก้อนตะกอนจุลินทรีย์ และจากนั้นตะกอนจุลินทรีย์ถูกแยกออกจากน้ำเสียโดยการถ่ายเทน้ำเสียไปยังถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) เพื่อให้ได้ที่เป็นน้ำใสจากการแยกตัวออกจากตะกอนจุลินทรีย์ (Supernatant) โดยจะเป็นน้ำที่อยู่ส่วนบนของถังตกตะกอน เมื่อน้ำมีคุณภาพดีขึ้นก็สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

การบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch: OD) สามารถบำบัดโดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติกซึ่งรวมอยู่กับกากตะกอนของจุลินทรีย์ แต่ยังมีไมโครพลาสติกที่สามารถหลุดรอดรวมไปกับน้ำทิ้งและทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ



ภาพที่ 12 แผนผังการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบคลองวนเวียน

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)

2.9 ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ทำการศึกษานี้

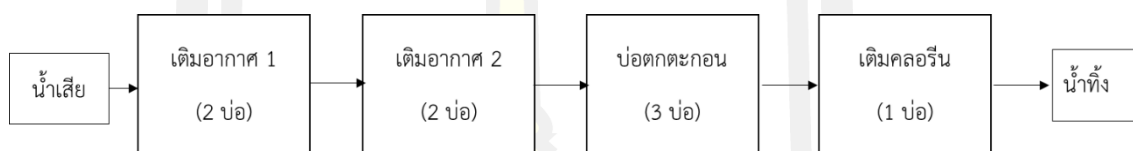
2.9.1 ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครขอนแก่น

การจัดการน้ำเสียของนครขอนแก่น มีขบวนการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 การเติมอากาศ

ขั้นที่ 2 การตกตะกอน

ขั้นที่ 3 การฆ่าเชื้อโรค โดยการเติมคลอรีนก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศของเทศบาลนครขอนแก่น

ที่มา: สำนักงานการช่างเทศบาลนครขอนแก่น

การเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศของเทศบาลนครขอนแก่นนั้น ประกอบบ่อเติมอากาศทั้งหมด 4 บ่อ ใช้เครื่องเติมอากาศแบบผิวน้ำ (Surface Aerator) บ่อละ 10 เครื่อง รวมทั้งสิ้น 40 เครื่อง โดยในแต่ละเครื่องทำงานอากาศประมาณครั้งละ 20 – 24 ชั่วโมง แต่ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ทั้งนี้มีการควบคุมการเติมอากาศด้วยเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำอัตโนมัติ (DO Meter) และทางเทศบาลได้มีการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำทิ้งโดยมีพารามิเตอร์ที่สำคัญในการตรวจวัดได้แก่ BOD, DO, pH และ Temperature

การตรวจวัดคุณภาพน้ำระบบบำบัดน้ำเสียและแหล่งน้ำธรรมชาติในระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครขอนแก่น นั้นมีการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบ เดือนละ 1 ครั้ง และมีการตรวจวิเคราะห์เพื่อเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติต่างๆ ในเขตเทศบาลและพื้นที่ต่อเนื่อง เดือนละ 1 ครั้ง ได้แก่ บึงแก่นนคร บึงทุ่งสร้าง หนองใหญ่ หนองบอน หนองยาว หนองสระพัง หนองวางตราชู คลองร่องเหมือง หนองเลิงเปือย ห้วยพระคือ โดยคุณภาพน้ำทิ้งจากระบบบำบัดมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามมาตรฐาน โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นทรัพยากรที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้อีก ดังนั้นเทศบาลนครขอนแก่นจึงมีการจัดโครงการนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยมีการติดตั้งถังสูบน้ำที่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้หน่วยงานหรือประชาชนที่สนใจสามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดการสูญเสียน้ำ เช่น การนำน้ำกลับมารดต้นไม้ สนามหญ้าตามสวนสาธารณะ การเพาะชำกล้าไม้ การล้างท่อน้ำสาธารณะ และการทำความสะอาดพื้นถนน และอื่นๆ

พื้นที่ในการรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกเป็น 3 พื้นที่หลัก ครอบคลุม 66.72 ตารางกิโลเมตร เพื่อรองรับปริมาณน้ำเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีก 20 ปีข้างหน้า

พื้นที่ 1: พื้นที่รวบรวมและบำบัดน้ำเสียบึงทุ่งสร้าง รองรับน้ำเสียได้ 78,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ครอบคลุมพื้นที่ 31.85 ตารางกิโลเมตร

พื้นที่ 2: พื้นที่รวบรวมและบำบัดน้ำเสียหนองเลิงเปือย รองรับน้ำเสียได้ 9,300 ลูกบาศก์เมตร/วัน ครอบคลุมพื้นที่ 6.09 ตารางกิโลเมตร

พื้นที่ 3: พื้นที่รวบรวมและบำบัดน้ำเสียบ้านเป็ด รองรับน้ำเสียได้ 11,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน ครอบคลุมพื้นที่ 28.77 ตารางกิโลเมตร

โดยได้ทำการก่อสร้างและเดินระบบบำบัดน้ำเสียพื้นที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียบึงทุ่งสร้างแทนระบบเดิม ซึ่งใช้เวลาในการก่อสร้าง 4 ปี (2541-2545) ภายใต้การสนับสนุนงบประมาณจากกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดลอมในวงเงิน 533 ล้านบาท

เนื่องจากขอนแก่นในปัจจุบันได้เป็นเมืองหลวงของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและกำลังได้รับการพัฒนาและขยายตัวอย่างต่อเนื่องเพื่อเป็นศูนย์รวมความเจริญของภูมิภาค ซึ่งเทศบาลขอนแก่นเป็นองค์กรท้องถิ่นที่มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ 46 ตารางเมตร โดยพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองขอนแก่นมีจำนวนประชากรรวมอยู่ประมาณ 147,159 คน แยกเป็นประชากรเพศชายมีจำนวน 72,372 คน ส่วนประชากรเพศหญิงมีจำนวน 74,787 คน และมี 62,631 คริวเรือน (ระบบสถิติทางการทะเบียนกรมการปกครอง, 2562) นอกจากนี้ข้อมูลของสถานที่สำคัญต่างๆในเขตเทศบาลนครขอนแก่นมีดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลประเภทอาคารต่างๆในเขตเทศบาลนครขอนแก่น

ประเภท	จำนวน
บ้าน	53,286
บ้านชั่วคราว	546
โรงพยาบาล	11
โรงแรม	56
เรือนจำ	2
วัด	69
สำนักสงฆ์	2
สถานศึกษา	785
โรงงาน	3
หอพัก	404

ตึกแถว	792
ห้องแถว	129
ตึก	11
ร้านค้า	195
สำนักงาน	94
แฟลต	2,136
อาคารชุด	4,994
สถานที่ราชการ	1,251
รัฐวิสาหกิจ	17
อื่นๆ	600
ทะเบียนบ้านกลาง	1
ไม่มีทะเบียนบ้าน	1
บ้านพักข้าราชการ	339
มูลนิธิ	3
โกดัง	15
บริษัท	14
ทะเบียนบ้านชั่วคราว(ต่างประเทศ)	1
บ้านไฟไหม้, รื้อถอน	1
จำนวนบ้านทั้งหมด	65,763

ที่มา: สำนักทะเบียนท้องถิ่น เทศบาลนครขอนแก่น ณ เดือนพฤษภาคม (2562)

โดยปริมาณการใช้น้ำจากข้อมูลของการประปาส่วนภูมิภาคจังหวัดขอนแก่น (2552) มีการใช้น้ำประปาในเขตเทศบาลนครขอนแก่นถึงปีละประมาณ 16 ล้านลูกบาศก์เมตร เฉลี่ย 45,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่าในหนึ่งครอบครัวประมาณ 5 คน จะใช้น้ำประมาณ 35-350 ลูกบาศก์เมตร/เดือน (เฉลี่ยคนละ 250 ลิตร/คน/วัน)

ปริมาณน้ำเสีย เกิดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากประชากรประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำ ดังนั้นปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลนครขอนแก่นจึงสูงถึงปีละประมาณ 12 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือวันละ 35,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยเป็นปริมาณที่ไม่รวมน้ำท่า (ส่วนทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม สำนักการช่างเทศบาลนครขอนแก่น)

2.9.2 ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเทศบาลนครอุดรธานี

จากข้อมูลของเทศบาลนครอุดรธานี ได้มีรายละเอียดของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำเทศบาลนครอุดรธานี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร โดยสถานที่ของระบบบำบัดน้ำเสียมีพื้นที่ทั้งหมด 287 ไร่ 2 งาน 61 ตารางวา ซึ่งมีพื้นที่ขอบเขตการปกครอง (อปท.) 48 ตารางกิโลเมตร พื้นที่บริการของระบบบำบัดน้ำเสียครอบคลุมพื้นที่ 8.30 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 16.77 ของพื้นที่ทั้งหมด ภายในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานีมีจำนวนประชากร ณ วันที่ 1 ธันวาคม 2560 มีจำนวนทั้งสิ้น 135,565 คน มีทางน้ำธรรมชาติที่สำคัญ 2 สาย คือ ห้วยหมากแข้ง และห้วยมั่ง ซึ่งเป็นเส้นทางระบายน้ำธรรมชาติจากตัวเมือง นอกจากนี้ในเขตเทศบาลนครอุดรธานี ยังมีแหล่งน้ำขนาดใหญ่ 2 แห่ง สำหรับใช้ในการผลิตน้ำประปา และเป็นแหล่งน้ำสำรอง คือ หนองประจักษ์และหนองสิม สำหรับแหล่งน้ำอื่นๆ ได้แก่ หนองบัว หนองเหล็ก หนองสิม หนองใหญ่ และหนองขอนกว้าง

เทศบาลนครอุดรธานี ประกอบด้วยชุมชน จำนวน 101 ชุมชน แบ่งตามเขตการเลือกตั้งออกเป็น 4 เขต ดังนี้ เขต 1 จำนวน 21 ชุมชน เขต 2 จำนวน 22 ชุมชน เขต 3 จำนวน 32 ชุมชน เขต 4 จำนวน 26 ชุมชน ข้อมูลประชากรภายในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานีพบว่าจำนวนประชากรเพศชายมีจำนวน 90,935 คน ส่วนจำนวนของประชากรเพศหญิงมี 94,540 คน ซึ่งประชากรรวมกันทั้งหมดจะมีจำนวน 185,475 คน ข้อมูลของจำนวนของครัวเรือนในเขตอำเภอเมืองคือ 59,711 ครัวเรือน และจำนวนประเภทหลังคาเรือนนั้นมีจำนวนอยู่ 67,639 หลังคาเรือน (ระบบสถิติทางการทะเบียน กรมการปกครอง, 2562) นอกจากนี้ข้อมูลของประเภทอาคารในเขตอำเภอเมืองจังหวัดอุดรธานีมี ดังตารางที่ 5



ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลประเภทอาคารต่างๆในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

ประเภท	จำนวน
โรงพยาบาล	3
โรงแรม	95
สถานอาบอบนวด	2
ศูนย์การค้า	9
ตลาดเทศบาล	3
ตลาดเอกชน	12
สถานธนาอนุบาล	2
สถานีบริการน้ำมัน	19
สถานีรถไฟ	1
สถานีขนส่ง	2
สนามบินพาณิชย์	1
วัดและที่พิกสงฆ์	284
โบสถ์คริสต์	9
มัสยิด	1
โรงพยาบาล	6
สถานีอนามัย	4
ศูนย์บริการสาธารณสุข	4
สถานศึกษา	47
สถานีบริการไฟฟ้า	3
หน่วยงานราชการ/รัฐวิสาหกิจ	8

ที่มา: สำนักงานสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลนครอุดรธานี (2559)

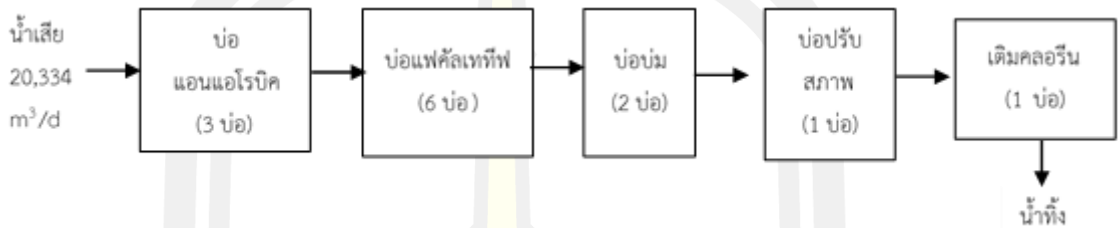
ภายในเขตเทศบาลนครอุดรธานี มีปริมาณน้ำเสียเกิดขึ้นเฉลี่ยวันละ 20,334 ลูกบาศก์เมตร โดยมีอัตราการผลิตน้ำเสีย 150 ลิตร/คน/วัน ซึ่งมีห้วยหมากแข้งและห้วยมั่งเป็นแหล่งรองรับน้ำเสีย จากชุมชนไหลรวมลงสู่ห้วยหลวง การจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นในปัจจุบันดำเนินการโดยรวบรวมและบำบัดน้ำเสีย ณ โรงปรับปรุงคุณภาพ ขอยทองหล่อ ถนนอุดร-สามพร้าว ตำบลสามพร้าว อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี

ระบบรวบรวมน้ำเสีย จะมีระบบท่อรวบรวมน้ำเสียของเทศบาลนครอุดรธานี ซึ่งเป็นระบบท่อรวม (Combined System) ครอบคลุมพื้นที่ 8.3 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 16.77 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถรับน้ำเสียได้ 43,902 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และท่อรวบรวมน้ำเสียขนาดต่างๆ มีความยาวรวม 10,030 เมตร และท่อระบายน้ำความยาวรวมทั้งสิ้น 2,020 เมตร ในส่วนของอาคารชลศาสตร์ ประกอบด้วยปอดักน้ำเสีย จำนวน 25 แห่ง ปอดักขยะจำนวน 23 แห่ง และอาคารติดตั้ง Flap Valve จำนวน 23 แห่ง โดยทำการดักน้ำเสียที่จะระบายลงสู่ห้วยหมากแข้งและห้วยมั่ง และมีสถานีสูบน้ำเสียในระบบรวบรวมน้ำเสีย จำนวน 1 แห่ง ณ หนองสิม



ภาพที่ 14 พื้นที่ให้บริการระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครอุดรธานี
ที่มา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (อุดรธานี) (2562)

ระบบบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนครอุดรธานีเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds) ตั้งอยู่บ้านหนองบุ ตำบลสามพร้าว และบ้านดอนหวาย ตำบลกุดสระ อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เนื้อที่ 287-2-61 ไร่ เป็นที่กรรมสิทธิ์ของเทศบาลโดยระบบบำบัดน้ำเสียมีองค์ประกอบภายในพื้นที่ระบบบำบัดน้ำเสีย มีดังนี้



1. บ่อบำบัดน้ำเสีย จำนวน 13 บ่อ รวมปริมาณน้ำที่รองรับได้ 603,020 ลูกบาศก์เมตร

ภาพที่ 15 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรของเทศบาลนครอุดรธานี

2. อาคารประกอบและระบบสาธารณูปโภค ได้แก่ อาคารสำนักงาน ห้องปฏิบัติการ อาคารป้อมยาม สถานีสูบน้ำเสีย และอาคารซ่อมบำรุง ถนนทางเข้าโรงบำบัดน้ำเสีย ถนนลาดยางความยาว 2,390 เมตร ระบบไฟฟ้าและแสงสว่างภายในโครงการ ระบบประปาภายในโครงการ ระบบระบายน้ำ และรวบรวมน้ำเสียในโครงการ

3. องค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสีย ประกอบด้วย บ่อกระจายน้ำและระบบวัดอัตราการไหลของน้ำ

4. ระบบควบคุมและระบบตรวจวัดค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 4.1 ระบบควบคุมเครื่องสูบน้ำอัตโนมัติ สถานีสูบน้ำเสียหนองสิม และสถานีสูบน้ำเสียในโรงบำบัดน้ำเสีย

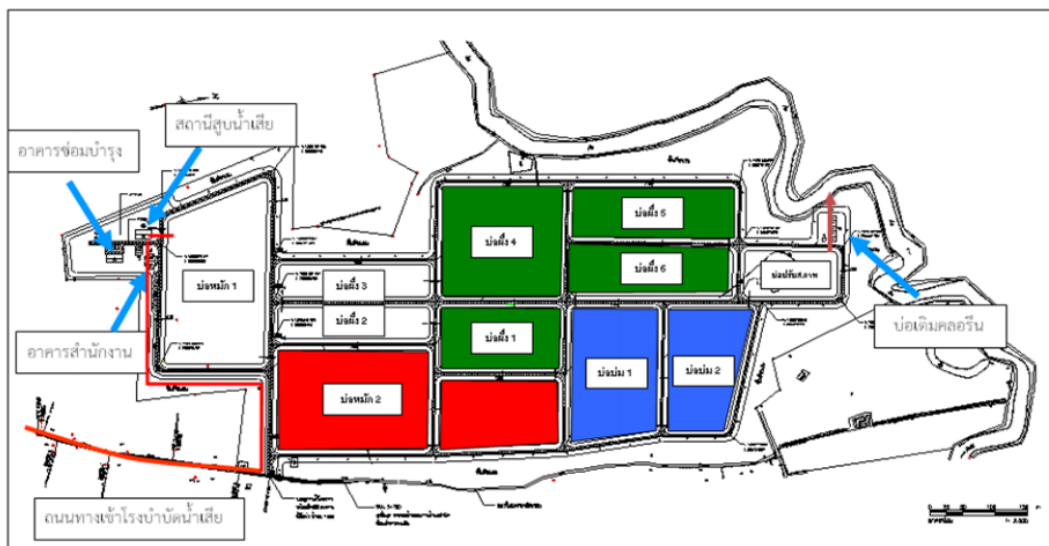
- 4.2 ระบบตรวจวัดอัตราการไหลปริมาณน้ำเสียเข้า - ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

- 4.3 ระบบตรวจวัดค่าต่างๆ เกี่ยวกับน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนการบำบัด โดยสามารถตรวจวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) สภาพอากาศทั่วไปในบ่อบำบัด (Weather Station) ปริมาณก๊าซต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการบำบัด

- 4.4 ระบบควบคุมกล้องวงจรปิดในสถานีสูบน้ำเสียหนองสิม และในโรงบำบัดน้ำเสีย ตรวจสอบการทำงานแต่ละส่วน

- 4.5 ระบบตรวจวัดการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ

- 4.6 ระบบช่วยในการบำบัดน้ำเสีย (Aerator) (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (อุดรธานี), 2562)



ภาพที่ 16 ผังบริเวณ (Layout) ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลนครอุดรธานี
ที่มา: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (อุดรธานี) (2562)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

2.10.1.1 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำ

เนื่องจากการผลิตพลาสติกสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและการจัดการที่ไม่ดีนักในการจัดการขยะพลาสติก จึงนำไปสู่การปนเปื้อนในสภาพแวดล้อมแหล่งน้ำของเรา ด้วยเหตุนี้ไมโครพลาสติกจึงอยู่ในสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำทะเลและแหล่งน้ำจืด การพบไมโครพลาสติกเป็นรูปแบบใหม่ของสารปนเปื้อนที่เกิดขึ้น ได้กลายเป็นปัญหาใหญ่ของความกังวลจากประชาชนและหน่วยงานภาครัฐ ทั้งนี้แหล่งที่มาของไมโครพลาสติกจากระบบนิเวศของแหล่งน้ำจืดนั้นส่วนใหญ่มาจากโรงพยาบาล โดยจำนวนของไมโครพลาสติกแตกต่างกันไปตามที่ตั้ง ตั้งแต่ 1 ล้านชิ้น/ลูกบาศก์เมตรจนถึง <math>< 1</math> ชิ้น/100 ลูกบาศก์เมตร (Li et al., 2018)

งานวิจัยของ Yan et al. (2019) ได้ศึกษาไมโครพลาสติกแม่น้ำเพิร์ลในประเทศจีนนั้นก็มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกเช่นเดียวกับแม่น้ำในเขตเมืองหลายสาย การศึกษาครั้งนี้มีการสำรวจความเข้มข้นและการกระจายของไมโครพลาสติกในน้ำจากแม่น้ำเพิร์ลรวมถึงบริเวณปากแม่น้ำและเขตเมืองในกวางโจว ซึ่งจำนวนไมโครพลาสติกโดยเฉลี่ยเท่ากับ 19,860 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร และ 8,902 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร ในเขตเมืองและบริเวณปากแม่น้ำตามลำดับ น้ำเสียจากเมืองอาจเป็นแหล่งสำคัญของไมโครพลาสติกในแม่น้ำเพิร์ลและแม่น้ำสาขาในเมืองอาจทำหน้าที่เป็นระบบกักเก็บน้ำสำหรับไมโครพลาสติก ในบรรดาไมโครพลาสติกเหล่านี้มีจำนวนมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์มีขนาดน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร รูปร่างหลักของไมโครพลาสติกคือฟิล์มชิ้นส่วนและเส้นใยส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน

หรือโปร่งใส นอกจากนี้พอลิเมอร์ชนิดที่พบมากที่สุดของไมโครพลาสติกเหล่านี้คือโพลีเอไมด์ (26.2%) และเซลลูโลส (23.1%) การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนและลักษณะของไมโครพลาสติกในแม่น้ำเพิร์ล ทำให้ทราบถึงการกระจายตัวของไมโครพลาสติกที่สามารถกระจายตัวสู่สิ่งแวดล้อมได้ทั้งในดินตะกอนแม่น้ำ และการกระจายบนผิวน้ำ

งานวิจัยของ Hurley et al. (2018) ได้รายงานการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในพื้นที่ของมหาสมุทรซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เร่งด่วนที่สุดในโลก โดยรูปแบบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในวงกว้างจำแนกตามประเภท ขนาด และความหนาแน่นในพื้นที่ซึ่งแบ่งเป็นช่อง ที่ 40 จุดเก็บตัวอย่างทั่วเมือง ซานเมือง และชนบทในแม่น้ำทางตะวันตกเฉียงเหนือของอังกฤษ การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกซีมีแพร์หลายของริมแม่น้ำทั้งหมด ซึ่งทางคณะวิจัยได้มีการวางฮอตสปอตของการปนเปื้อนในเมืองหลายแห่งที่มีความเข้มข้นของไมโครพลาสติกสูงสุดประมาณ 517,000 ชิ้นต่อตารางเมตร แต่หลังจากน้ำท่วมรุนแรงในช่วงฤดูหนาวปี 2015/59 ช่องที่วางไว้ทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนแปลงทำให้ความเข้มข้นของไมโครพลาสติกลดลง 28 จุด และ จุดที่ 18 นั้นเห็นการลดลงที่เกิดจากน้ำท่วมและพัดพาไมโครพลาสติกออกไปถึง 70% ของมวลสารไมโครพลาสติกที่เก็บอยู่บนช่องในครั้งแรกเหล่านี้ (เทียบเท่า 0.85 ± 0.27 ต้นหรือ 43 ± 14 พันล้านชิ้น) และกำจัดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่ 7 จุด สรุปได้ว่าการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจะถูกชะล้างอย่างมีประสิทธิภาพจากแม่น้ำที่เกิดจากน้ำท่วม

2.10.1.2 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในดินตะกอน

เกิดจากการที่ชุมชนเมืองหรือภาคอุตสาหกรรมได้มีการปล่อยมลพิษไมโครพลาสติกในตะกอนดินและปนเปื้อนในน้ำผิวดิน

ซึ่งมีงานวิจัยของ Martin et al. (2017) ศึกษาในเรื่องของการสะสมและการกระจายตัวของไมโครพลาสติกในตะกอนน้ำทะเลจากไหล่ทวีปเกาะไอริส ซึ่งพบไมโครพลาสติกในตะกอนที่มีความลึกประมาณ 2.5 เซนติเมตร มีไมโครพลาสติกอยู่ 97% และพบบริเวณด้านบนตะกอนถึงความลึก 0.5 เซนติเมตรพบไมโครพลาสติก 66% แต่ไม่พบไมโครพลาสติกในความลึกประมาณ 3.5 ± 0.5 เซนติเมตร โดยการสำรวจนี้จะพบไมโครพลาสติกประเภทเส้นใยมากถึง 85% และประเภทเศษชิ้นส่วน 15% จากการค้นพบเหล่านี้แสดงให้เห็นว่ามีการกระจายตัวอยู่มากในตะกอน และส่วนของท้องน้ำด้านล่างตามแนวไหล่ทวีปของทางตะวันตกของเกาะไอริส และการมีอยู่ของไมโครพลาสติกตั้งแต่ปี 1940 จากการเริ่มใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีพลาสติกเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ใช้สอยต่างๆ ของมนุษย์

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการกระจายตัวของไมโครพลาสติกนั้นมีทั้งกระจายตัวในตะกอนดินและผิวน้ำซึ่งไมโครพลาสติกมีความสามารถในการกระจายตัวในสิ่งแวดล้อมที่อยู่สูงจากแหล่งกำเนิดและอาจกระจายลงสู่ระบบนิเวศทางทะเล แม้จะเกิดการตกสะสมตามดินตะกอนของแม่น้ำ

โดยมีงานวิจัยของ Wang et al. (2018) ได้ทำการศึกษาไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนลุ่มแม่น้ำในภาคตะวันออกของจีน ซึ่งศึกษาในเรื่องของความเข้มข้นและการกระจายตัวของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนอยู่ในตะกอนลุ่มแม่น้ำที่มีทั้งชุมชนเมืองและภาคอุตสาหกรรมอาศัยอยู่บริเวณลุ่มแม่น้ำมีพบมากถึง 85% ของไมโครพลาสติกที่ศึกษาทั้งหมด ในขณะที่จุดบริเวณแม่น้ำสายรองที่ไม่ค่อยมีคนอาศัยอยู่จะพบไมโครพลาสติกน้อยกว่า และมีการค้นพบว่าไมโครพลาสติกที่มีรูปแบบเป็นเศษพลาสติกและโฟมนั้นมีเยอะมาก ในขณะที่ไมโครพลาสติกรูปแบบของเส้นใยนั้นพบได้น้อยกว่าจากการศึกษาพบว่าการตกตะกอนของไมโครพลาสติกในตะกอนแม่น้ำอาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ไมโครพลาสติกไม่สามารถไปปนเปื้อนและสะสมเพิ่มขึ้นในทะเล และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของขนาดและประเภทไมโครพลาสติกนั้นแตกต่างกันเป็นผลมาจากแหล่งกำเนิดและโครงสร้างทางเคมีความหนาแน่น รูปร่าง ทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

2.10.1.3 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกบนพื้นดิน

การปนเปื้อนไมโครพลาสติกบนพื้นดินนั้น ส่วนใหญ่เกิดจากการแตกหักของขยะพลาสติกที่ถูกทิ้ง และขยะพลาสติกในหลุมฝังกลบขยะเนื่องจากการจัดการขยะที่ไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีสาเหตุจากการใช้พลาสติกฟิล์มคลุมดินในการเกษตร

โดยมีงานวิจัยของ Zhou et al. (2019) ได้รายงานเกี่ยวกับการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบนิเวศเกษตรทำให้เกิดความกังวลอย่างมาก ซึ่งมีการตรวจสอบผลกระทบของการคลุมดินและการชลประทานต่อการสะสมไมโครพลาสติกในดินที่ถูกวางแปลนไว้ ซึ่งได้เก็บตัวอย่างดิน 60 ตัวอย่างที่มีตัวอย่างที่มีการคลุมดินและไม่มีการคลุมดิน ไมโครพลาสติกได้จากดินโดยใช้การลอยอากาศต่อเนื่องตามด้วยการแยกความหนาแน่น กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโกปี (stereomicroscopy) และ Micro-Fourier transform Infrared Spectroscopy (μ -FTIR) ถูกนำมาใช้เพื่อระบุชนิด การใช้ฟิล์มคลุมดินนั้นพบไมโครพลาสติกในปริมาณมากกว่าดินที่ไม่ใช้ฟิล์มคลุมดินโดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกคือ 571 ชิ้น/กิโลกรัม และ 263 ชิ้น/กิโลกรัม ตามลำดับโดยเฉลี่ย ความเข้มข้นของฟิล์มและเส้นใยสูงกว่าดินคลุมดินอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ไมโครพลาสติกในดินถูกปนเปื้อนโดยไมโครพลาสติกในรูปแบบเศษชิ้นส่วนและเส้นใยตามลำดับ ขนาดของไมโครพลาสติกในดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1-3 มิลลิเมตร ซึ่งระบุชนิดของโพลีเมอร์ได้หลายชนิดเช่น โพลีเอทิลีน โพลีโพรพิลีน โพลีเอสเตอร์ เรยอน อะคริลิก และโพลีอะไมด์ และรูปร่างที่พบในไมโครพลาสติกในดินบ่งบอกถึงการมีผลจากการชลประทานและขยะพลาสติกที่ไม่ใช่พลาสติกคลุมดิน การศึกษาในอนาคตอาจรวมถึงการ

สะสมไมโครพลาสติกกระยะยาวในระบบนิเวศเกษตรจากหลายแหล่งภายใต้ระบบการปลูกพืชที่มีการจัดการอย่างเข้มข้น

ทั้งนี้ยังมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากการนำกากตะกอนจุลินทรีย์หรือตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียที่นำไปกำจัดโดยวิธีการนำไปทิ้งในหลุมฝังกลบและการนำไปหมักต่อเพื่อใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการเกษตร เนื่องจากไมโครพลาสติกที่ถูกบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นการบำบัดโดยการตกตะกอนซึ่งจะปนอยู่กับตะกอนจุลินทรีย์หรือตะกอน และเมื่อมีการกำจัดตะกอนส่วนเกินในระบบบำบัดน้ำเสียอาจนำไปสู่การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในแหล่งผิวดินได้เช่นกัน

2.10.1.4 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในอากาศ

มีการรายงานของ Gasperi et al. (2018) โดยรายงานเกี่ยวกับการผลิตเส้นใยสิ่งทอพลาสติกประจำปีที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 6% ต่อปีสูงถึง 60 ล้านตันหรือประมาณ 16% ของการผลิตพลาสติกทั่วโลก การสลายตัวของเส้นใยเหล่านี้ทำให้เกิดเส้นใยไมโครไฟเบอร์ (MPs) ซึ่งไมโครพลาสติกดังกล่าวถูกพบในบรรยากาศ ทั้งในสภาพแวดล้อมในร่มและกลางแจ้ง ซึ่งบางคนอาจสูดดมไมโครพลาสติกที่เป็นไมโครไฟเบอร์ เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจหรือแม้บางคนอาจยังคงมีค้างอยู่ในปอดทำให้เกิดการตอบสนองทางชีววิทยา รวมทั้งการอักเสบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบุคคลที่มีกลไกการขับออกของสารปนเปื้อนมีปัญหา และสิ่งเจือปนที่เกี่ยวข้องเช่น โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) สามารถดูดซับและนำไปสู่ความเป็นพิษต่อพันธุกรรมในขณะที่ตัวพลาสติกและสารเติมแต่ง (สีย้อม, พลาสติก) อาจนำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพรวมถึงความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์

รายงานวิจัยของ Wright et al. (2019) รายงานการพบไมโครพลาสติกในชั้นบรรยากาศที่ศูนย์กลางของกรุงลอนดอน ซึ่งมีการสะสมบรรยากาศทั้งในในร่มและกลางแจ้ง โดยการเก็บรวบรวมตัวอย่างจากหลังคาสูง 9 ชั้น (ประมาณ 50 เมตรเหนือระดับพื้นดิน) ที่บริเวณริมแม่น้ำในใจกลางกรุงลอนดอนพบว่ามีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกตั้งแต่ 575-1,008 ชิ้น/ตารางเมตร/วัน ซึ่งไมโครพลาสติกที่พบนั้นจะมีลักษณะต่างๆ เช่นรูปแบบเส้นใยไมโครไฟเบอร์จะพบส่วนใหญ่ (92%) และจากพื้นที่ตัวอย่างทั้งหมดพบโพลีเมอร์จากปิโตรเคมี 15 ชนิด และการกระจายของไมโครพลาสติกในอากาศนั้นจะขึ้นอยู่กับลมโดยมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันของไมโครพลาสติกในอากาศที่มีรูปแบบที่เป็นเส้นใยและไม่เป็นเส้นใย ทั้งนี้การศึกษานี้ยังเป็นหลักฐานชิ้นแรกของการพบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกทางอากาศในกรุงลอนดอน

2.10.2 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิต

2.10.2.1 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสัตว์น้ำ

จากการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมจึงโดยเฉพาะแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยมีงานวิจัยหลายงานตรวจพบไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิต ได้แก่ การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยสองฝา 4

ชนิด คือ หอยแมลงภู่ หอยนางรม หอยมะนิลา และหอยเชลล์ ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนของไมโครพลาสติกในหอย 4 ชนิดนี้คือ 0.15 ± 0.20 ชิ้น/ตัว และ 0.97 ± 0.74 ชิ้น/ตัว โดยพบรูปร่างเป็นไร้รูปแบบและอนุภาคขนาดเล็กกว่า 300 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นรูปร่างและขนาดที่พบมากที่สุด คิดเป็น 76% และ 65% ของไมโครพลาสติกทั้งหมดตามลำดับ จากการระบุชนิดไมโครพลาสติกคือ พอลิเอทิลีน (PE), โพรพิลีน (PP), โพลีสไตรีน (PS) และโพลีเอสเตอร์เป็นโพลีเมอร์ชนิดใหญ่ ซึ่งในหอยทั้ง 4 ชนิดนี้มีการสะสมไมโครพลาสติกที่มีองค์ประกอบของโพลีเมอร์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการเลี้ยงและที่อยู่อาศัย (Cho et al., 2018)

นอกจากนี้ยังมีการวิจัยไมโครพลาสติกในปลาวาฬมิงค์ (*Balaenoptera acutorostrata*) และ วาฬเซอี (*B. borealis*) ซึ่งพบวาฬมิงค์ทั่วไปไปหาอาหารเป็นปลาจากสกุลต่างๆ ดังนี้ Ammodytidae, Clupeidae, Gadidae, Engraulidae และ Osmeridae วาฬเซอีส่วนใหญ่จะกินแพลงก์ตอนสัตว์ กลุ่ม Copepods, Engraulidae, Clupeidae และ Scombridae มีรายงานการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระดับที่สูงใน Scombridae ในแอตแลนติกและ Engraulidae ในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งใน Copepods นั้นมีไมโครพลาสติกในระดับที่ต่ำ ซึ่งพบว่าชนิดของเหยื่อและวิธีการกินอาหารแสดงให้เห็นว่าวาฬชนิดต่างๆ มีโอกาสที่จะได้รับไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกายแตกต่างกัน แม้ว่า จะกินอาหารในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่คล้ายคลึงกันก็ตาม จากการที่มีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งมีชีวิต จะนำไปสู่การปนเปื้อนในระบบห่วงโซ่อาหารและก่อให้เกิดผลกระทบเป็นอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้บริโภคระดับต้นของห่วงโซ่อาหาร (Burkhardt-Holm and Guyen., 2019)

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Nan et al. (2020) ที่ทำการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสัตว์น้ำจืด ซึ่งทำการศึกษาในกุ้งแก้วออสเตรเลียหรือ *Paratya australiensis* (Family: Atyidae) พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำจืดในภาคตะวันออกของประเทศออสเตรเลียและมีความอ่อนไหวมากกิจกรรมต่างๆที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ แต่ทั้งนี้ก็มีความอดทนต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติที่หลากหลาย โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจการปนเปื้อนและรูปแบบของไมโครพลาสติกในตัวอย่งน้ำและสัตว์น้ำคือ *P. australiensis* และระบุว่ากุ้งสามารถเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่เหมาะสมสำหรับมลพิษทางไมโครพลาสติกได้ จากการศึกษาตัวอย่างน้ำผิวดินและ *P. australiensis* ในแหล่งน้ำจืดทั้งในเมืองและในชนบทในรัฐวิกตอเรียทั้ง 10 แห่ง รวมตัวอย่างน้ำ 30 ตัวอย่างและกุ้ง 100 ตัว นำมาวิเคราะห์ปริมาณไมโครพลาสติกและมีการวัดน้ำหนักและขนาดของตัวกุ้งแก้วด้วย การวิเคราะห์ไมโครพลาสติกจากเลือกถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์และระบุชนิดโดยใช้ FT-IR microscopy พบว่ามีไมโครพลาสติกอยู่ในน้ำผิวดิน 57.9% ในทุกพื้นที่โดยมีค่าเฉลี่ย 0.40 ± 0.27 ชิ้น/ลิตร พบในกุ้งแก้ว 36% มีจำนวนไมโครพลาสติกโดยเฉลี่ย 0.52 ± 0.55 ชิ้น/ตัว โดยพบไมโครพลาสติกเป็นรูปแบบเส้นใยรูปแบบที่พบมากที่สุดและสีน้ำเงินเป็นสีที่พบได้มากที่สุดในตัวอย่งน้ำและกุ้งแก้ว จากการระบุชนิดของไมโครพลาสติกโดยประเภทที่โดดเด่นคือโพลีเอสเตอร์ใน

ตัวอย่างน้ำและเรยอนในตัวอย่างกึ่งแก้ว ซึ่งไมโครพลาสติกนั้นตรวจพบเป็นประจำในแหล่งน้ำจืดในรัฐวิกตอเรียประเทศออสเตรเลีย เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำและตัวอย่างกึ่งแก้วนั้นพบว่าไมโครพลาสติกชนิดต่างๆ แสดงว่าไมโครพลาสติกอาจเป็นมลพิษทางสภาพแวดล้อมน้ำจืด

2.10.2.2 การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสัตว์บก

จากรายงานการวิจัยของ Lu et al. (2020) โดยรายงานเกี่ยวข้องกับมลพิษของไมโครพลาสติก (MPs) เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพที่กำลังเกิดขึ้น ซึ่งไมโครพลาสติกได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในสภาพแวดล้อมทางน้ำ แต่ยังไม่ค่อยมีการตรวจสอบในระบบนิเวศบกโดยเฉพาะอย่างยิ่งในความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในการประเมินมลภาวะของไมโครพลาสติกที่อาจเกิดขึ้นในวัสดุเวชภัณฑ์สัตว์บก จึงได้มีการรวบรวมวัสดุขนาดเล็ก 20 ชนิด และสัตว์บกสด 10 ชนิดจาก 8 ภูมิภาคในประเทศจีน พบไมโครพลาสติกในวัสดุใช้ทำยาทั้งหมดที่มีอัตราการเกิดเฉลี่ย 94.67% ไมโครพลาสติกมีความอุดมสมบูรณ์อยู่ในช่วง 1.80 ± 0.38 ถึง 7.80 ± 0.83 ชิ้น/ตัว หรือ 1.59 ± 0.33 ถึง 43.56 ± 9.22 ชิ้น/กรัม (น้ำหนักแห้ง) โดยมีการกระจายโพลีเมอร์โดยโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต (40.45%) เรยอน (30.64%), โพลีเอทิลีน (10.11%), ไนลอน (7.35%), โพรพิลีน (5.93%) และโพลีไวนิลคลอไรด์ (5.52%) ไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นไมโครไฟเบอร์ 84.68% และอีก 15.32% เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็ก ยิ่งไปกว่านั้นไมโครพลาสติกถูกพบในลำไส้ ซึ่งตรวจพบในสัตว์ทั้งสิบชนิดโดยมีปริมาณ 0.83 ± 0.35 ถึง 3.42 ± 0.46 ชิ้น/ตัว นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($R: 0.32-0.99, p < 0.05$) ของไมโครพลาสติกที่มีลักษณะระหว่างวัสดุและสัตว์สด รวมถึงรูปร่าง ขนาด สี และการกระจายโพลีเมอร์ของไมโครพลาสติก ผลการสนับสนุนว่าไมโครพลาสติกในวัสดุทำยาน่าจะมาจากสัตว์มีชีวิต การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความชุกของไมโครพลาสติกในวัสดุทำยาสมุนไพรแบบดั้งเดิมที่ใช้สัตว์เป็นหลักและยังแนะนำมลพิษของไมโครพลาสติกอย่างกว้างขวางในสภาพแวดล้อมผิวดินและความเสี่ยงต่อสุขภาพที่แฝงอยู่

รายงานการวิจัยของ Panebianco et al. (2019) ที่ทำการศึกษากการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยทากบกโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินการมีอยู่ของไมโครพลาสติก ซึ่งเป็นการค้นพบครั้งแรกในหอยทากบก 3 ชนิดที่อยู่ในสกุล *Helix* (*H. aperta*, *H. aspersa* และ *H. pomatia*) เพื่อพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการกระจายของไมโครพลาสติกในระบบนิเวศบกและผลกระทบจากการกินไมโครพลาสติก ทำการศึกษาโดยทำการใช้เทคนิคการเพาะพันธุ์ สังเกตการตอบสนองของหอยทากบกในพื้นที่ชนบทซึ่งใกล้กับการทำกิจกรรมการเกษตร และสังเกตพฤติกรรมการกิน โดยหอยทากบกสามารถสัมผัสกับแหล่งที่มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบนิเวศบก จึงทำการรวบรวมตัวอย่างแบบสุ่มทั้งหมด 425 ตัวอย่าง โดยเก็บรวบรวมในธรรมชาติหรือแหล่งเพาะพันธุ์และทำการสุ่มเลือกมา 85 ตัวอย่างที่ใช้ทำการศึกษา โดยตัวอย่างที่เป็นของชนิด *H. aspersa* (44 ตัวอย่าง) และ *H. pomatia* (4 ตัวอย่าง) อยู่ในช่วงชีวิตที่สามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้ปกติ (Active Life

Phase) และสายพันธุ์ *H. aperta* (37 ตัวอย่าง) จะอยู่ในช่วงพัก (Resting Phase) พบว่าหอยทากทั้ง 85 ตัวอย่าง พบว่ามีไมโครพลาสติกปนเปื้อนอยู่ 44 ตัว คิดเป็น 51.76% และรายงานว่ามีไมโครพลาสติกปนเปื้อนอยู่ในตัวอย่างแต่ละชนิดคิดเป็นค่าเฉลี่ยดังนี้ หอยทากบกชนิด *H. aspersa* พบไมโครพลาสติกอยู่ 0.43 ± 0.70 ชิ้น/ตัว และหอยทากบกชนิด *H. aperta* พบจำนวนไมโครพลาสติกอยู่ที่ 0.30 ± 0.52 ชิ้น/ตัว แต่ในชนิด *H. pomatia* พบ 0 ชิ้น/ตัว ซึ่งลักษณะของไมโครพลาสติกที่พบมีรูปแบบเป็นเส้นพลาสติกที่มีความยาวระหว่าง 200-2,500 ไมโครเมตร และชิ้นส่วนพลาสติกมีขนาดระหว่าง 200-1,000 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่าหอยทากบกนั้นได้มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจากการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกต่างๆ จากฝีมือของมนุษย์

2.10.3 ผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อสิ่งมีชีวิต

เมื่อไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต จึงเกิดการสะสมของไมโครพลาสติกในระบบทางเดินอาหารก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย

ซึ่งมีงานวิจัยของ Ma et al. (2016) ได้ศึกษาผลกระทบของนาโนพลาสติกและไมโครพลาสติกต่อความเป็นพิษทางชีวภาพและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ Phenanthrene ในน้ำจืด พบว่าการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก (MPs) และนาโนพลาสติก (NPs) เป็นตัวดูดซับสารพิษ และอาจส่งผลกระทบต่อความเป็นพิษในสิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อ *Daphnia magna* ซึ่งมีการสะสมทางชีวภาพของ C-phenanthrene ในน้ำจืด ภายใน 5 ขนาดของอนุภาคที่ทดสอบ (50nm-10 μ m) ซึ่งนาโนพลาสติกขนาด 50 nm แสดงความเป็นพิษอย่างมีนัยสำคัญและก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อ *D. magna* เนื่องจากความเป็นพิษร่วมกันของนาโนพลาสติกขนาด 50 nm และพีแนนทรีนต่อ *D. magna* แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เพิ่มขึ้น ในระหว่างการฟักตัวของ *D. magna* เป็นเวลา 14 วัน แสดงให้เห็นว่านาโนพลาสติกช่วยเพิ่มการสะสมทางชีวภาพของสาร phenanthrene ในร่างกาย Daphnid

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Green et al. (2016) ศึกษาไมโครพลาสติก 3 ชนิดคือ PLA, PE และ PVC โดยมีศึกษาปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันต่อสิ่งมีชีวิตหน้าดิน คือไส้เดือนทะเลและสาหร่าย 3 ชนิด และระบบนิเวศน์ทางทะเล โดยมีแหล่งอาศัยเป็นตะกอนทรายที่ไม่มีไมโครพลาสติกปนเปื้อนอยู่ ซึ่งทำการศึกษา 31 วัน จากการสังเกตการณ์ทดลองพบว่าไส้เดือนทะเลมีการขับถ่ายของเสียลดลง และวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนของไส้เดือนทะเล พบว่าไส้เดือนทะเลมีอัตราการเผาผลาญพลังงานเพิ่มขึ้น แต่ในการศึกษาสาหร่ายนั้นมีการลดจำนวนลงอย่างมาก คือลดลงประมาณ 1.6-1.7 เท่าของการปนเปื้อน PLA และ PE แต่ PVC ลดลง 2.5 เท่า เมื่อเทียบกับตะกอนทรายที่ไม่มีเศษพลาสติก เนื่องจากไมโครพลาสติกสามารถลดอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งทางกายภาพและทางเคมี

2.10.4 ผลกระทบต่อจุลินทรีย์

จากงานวิจัยของ Li et al. (2020) กล่าวว่าคาร์บอนไมโครพลาสติกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติเนื่องจากการสะสมทางชีวภาพและผลกระทบที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่มุ่งเน้นการศึกษาไมโครพลาสติกในระบบนิเวศแม่น้ำธรรมชาติและความสัมพันธ์ระหว่างไมโครพลาสติกและจุลินทรีย์ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงการปนเปื้อนและลักษณะของไมโครพลาสติกและสำรวจผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อชุมชนจุลินทรีย์ โดยตัวอย่างตะกอนถูกเก็บรวบรวมจากอ่างเก็บน้ำ Huangjinxia ซึ่งเป็นแหล่งน้ำของโครงการผันน้ำทางตะวันตกของจีน ผลการศึกษาพบว่าไมโครพลาสติกในพื้นที่ศึกษาอยู่ระหว่าง 233.33 ± 70.24 ชิ้น/กิโลกรัม ถึง 870 ± 238.12 ชิ้น/กิโลกรัม โดยเฉลี่ย 558.10 ± 291.45 ชิ้น/กิโลกรัม และทำการจัดกลุ่มตัวอย่างตะกอนตามความเข้มข้นของไมโครพลาสติกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของชุมชนจุลินทรีย์ระหว่างกลุ่ม แสดงให้เห็นว่าไมโครพลาสติกอาจส่งผลกระทบต่อความหลากหลายของจุลินทรีย์ในตะกอน นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วย Anosim, MRPP และ Amova ระบุว่าไมโครพลาสติกอาจมีผลกระทบต่อโครงสร้างและองค์ประกอบของกลุ่มจุลินทรีย์ ยิ่งไปกว่านั้นการคาดการณ์ของฟังก์ชันนี้ชี้ให้เห็นว่าลักษณะของไมโครพลาสติกที่ต่างกันอาจส่งผลกระทบที่แตกต่างกันในการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ต่างๆ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาครั้งแรกที่จะสำรวจผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อจุลินทรีย์ในตะกอนของระบบนิเวศแม่น้ำธรรมชาติซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาของการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างไมโครพลาสติกและจุลินทรีย์ในแหล่งที่อยู่อาศัยที่คล้ายกัน

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Ren et al. (2019) ศึกษาในเรื่องผลของไมโครพลาสติกต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและชุมชนจุลินทรีย์ในดินที่มีการหมัก ซึ่งทำการตรวจสอบอิทธิพลของไมโครพลาสติก 2 ขนาดที่มีผลต่ออินทรีย์คาร์บอน (DOC) และฟลักซ์ของก๊าซเรือนกระจก (Fluxes of Greenhouse Gases (GHGs)) และชุมชนแบคทีเรียและเชื้อราในดินที่มีการหมัก ผลการวิจัยพบว่าไมโครพลาสติกที่มีความเข้มข้น 5% ไม่มีผลกระทบต่อ DOC ของดินอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนในดินที่มีการหมักนั้นไมโครพลาสติกจะลดการเกิด Global Warming Potential (GWP) ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของการปล่อยก๊าซ N_2O ในช่วงสามวันแรก โดยกลไกที่เป็นไปได้สำหรับการลดการปล่อยก๊าซ N_2O นี้ อาจเป็นเพราะว่าไมโครพลาสติกสามารถยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ใน Phylum Chloroflexi, Rhodoplanes และเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของจุลินทรีย์จำพวก Thermoleophilia ในวันที่ 3 และมีการปล่อยก๊าซ N_2O เพิ่มขึ้นในวันที่ 30 เนื่องจากการเร่งของ NO_3^- reduction และมีการลดลงของจุลินทรีย์จำพวก Gemmatimonadacea นอกจากนี้การดูดซับ CH_4 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับ Hyphomicrobiaceae ในวันที่ 3 และ Rhodomicrobium ในวันที่ 30 และในดินที่มีไมโครพลาสติกจะมีจุลินทรีย์กลุ่ม Actinobacteria จะโดดเด่นขึ้นแทนที่ Proteobacteria ที่เป็นกลุ่มที่โดดเด่นอยู่แล้ว ซึ่งไมโครพลาสติกที่มีขนาดใหญ่เพิ่มค่า Richness (Chao1) ค่า

Abundance-Based (ACE) และความหลากหลาย (Shannon) ของชุมชนแบคทีเรียในวันที่ 3 ในขณะที่ค่าเหล่านี้จะลดลงในวันที่ 30 และรวมทั้งค่า Richness และความหลากหลายของกลุ่มเชื้อราที่ลดลงเช่นกัน แต่ในขณะที่ผลของการศึกษาในไมโครพลาสติกขนาดเล็กพบว่าในวันที่ 3 และวันที่ 30 ไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กจะเพิ่มค่า Richness และความหลากหลายของทั้งกลุ่มแบคทีเรียและเชื้อราในดินที่ที่มีการหมัก ซึ่งการค้นพบเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าไมโครพลาสติกมีผลต่อการคัดเลือกจุลินทรีย์และอาจมีผลกระทบต่อวงจร biogeochemical ในดิน

2.10.5 ผลกระทบจากชุมชนและอุตสาหกรรมต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม

การเจริญเติบโตของชุมชนเมือง และอุตสาหกรรมเป็นปัจจัยสำคัญในการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก ซึ่งโลกผ่านการขยายตัวของความเป็นเมืองตลอดศตวรรษที่ 20 มีการคาดการณ์ว่าในอีก 35 ปีข้างหน้าปี 2050 จะมีประชากรคนเมืองเพิ่มขึ้นมากถึง 2.4 พันล้านคนคิดเป็นร้อยละ 66 ของประชากรทั่วโลก ซึ่งอนาคตทวีปเอเชียและแอฟริกาจะขยายตัวมากที่สุด และสถานการณ์แนวโน้มของประเทศไทยนั้นมีการขยายตัวของความเป็นเมืองตั้งแต่ทศวรรษ 1960 และในปี 2050 ประชากรจะเพิ่มขึ้นอีกกว่า 11 ล้านคนคิดเป็นร้อยละ 73 จากผลพวงของการขยายตัวของเมืองทำให้มีการบริโภคเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่เป็นพลาสติกอยู่ในอยู่ในประเภทใช้แล้วทิ้งเพื่ออำนวยความสะดวกต่อความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งพลาสติกเป็นสิ่งที่อยู่ในชีวิตประจำวันของมนุษย์มานาน ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางและมีแนวโน้มของการใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ได้แก่ถุงพลาสติก บรรจุภัณฑ์อาหาร เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น เมื่อผ่านการใช้งานเสร็จแล้วจะกลายเป็นขยะพลาสติก และเมื่อมีการจัดการที่ไม่เป็นระบบทำให้เกิดเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

ซึ่งจากงานวิจัยของ Alam et al. (2019) ได้วิจัยไมโครพลาสติกในเขตชุมชนแออัดและอุตสาหกรรม รวมไปถึงพื้นที่ห่างไกล เนื่องจากมีการศึกษาไมโครพลาสติกน้อยมากในชุมชนแออัดในแม่น้ำ Ciwalengke ประเทศอินโดนีเซีย ที่ล้อมรอบไปด้วยชุมชนแออัดและเขตอุตสาหกรรมที่อาจเป็นต้นเหตุในการเกิดไมโครพลาสติก ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาในเรื่องการกระจายตัวของไมโครพลาสติกในชุมชนแออัด จากการศึกษาการกระจายตัวของไมโครพลาสติกรอบแม่น้ำ Ciwalengke ในประเทศอินโดนีเซีย จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนพบว่าความเข้มข้นของไมโครพลาสติกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.85 ± 3.28 ชิ้น/ลิตร จากตัวอย่างผิวน้ำและค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกของตะกอนเท่ากับ 3.03 ± 1.59 ชิ้นต่อ 100 กรัม ของตะกอนแห้ง ซึ่งความเข้มข้นของไมโครพลาสติกในตะกอนตัวอย่างที่เจมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในตัวอย่างน้ำมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้การกระจายตัวของไมโครพลาสติกที่มากที่สุดคือไมโครพลาสติกที่มีรูปแบบเป็นเส้นใยซึ่งอาจมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและการซักผ้าของคนในชุมชนแออัด

Shruti et al. (2019) ได้ทำการวิจัยสำรวจความเข้มข้น การกระจายตัว และลักษณะของไมโครพลาสติก (สี สัณฐานวิทยา พื้นผิว) จากกลุ่มน้ำแอตไต้ยัคซึ่งเป็นระบบแม่น้ำที่มีลักษณะเป็นเมืองสูง

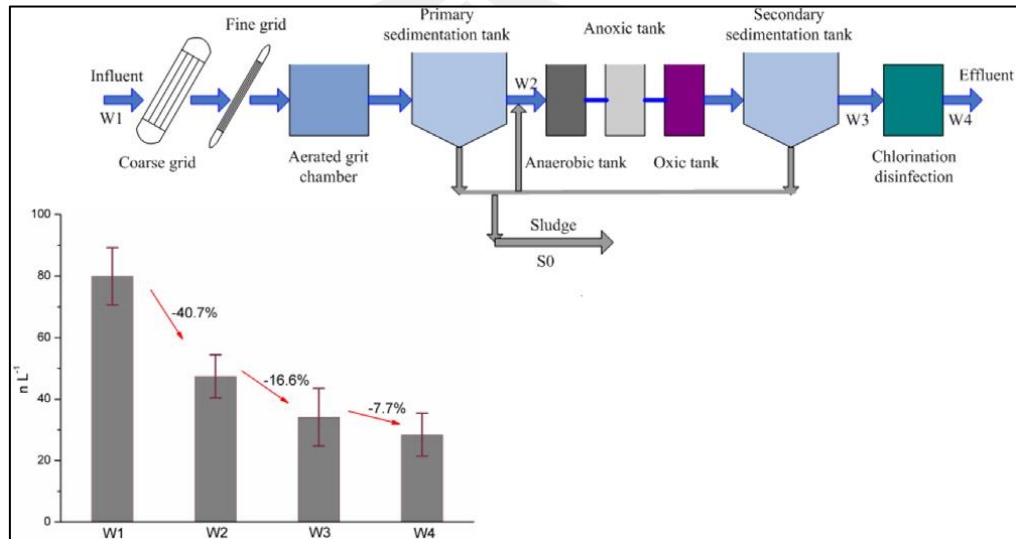
ตั้งอยู่ในภาคกลางของเม็กซิโก ตัวอย่างตะกอนถูกเก็บรวบรวมจาก 29 แหล่งที่แตกต่างกันตามแนวแม่น้ำ Atoyac ใน 4 โชนที่แตกต่างกัน: แม่น้ำ Zahuapan แม่น้ำ Atoyac โชน Confluence และเขื่อน Valsequillo และทำการวิเคราะห์ผลโดยการสกัดไมโครพลาสติกด้วยวิธีการแยกความหนาแน่น $ZnCl_2$ ($ZnCl_2$ density separation method) ผลรวมของความเข้มข้นไมโครพลาสติกทั้งหมดในแม่น้ำ Zahuapan แม่น้ำ Atoyac โชน Confluence และเขื่อน Valsequillo คือ 1633.34 ± 202.56 , 1133.33 ± 72.76 , 833.33 ± 80.79 และ 900 ± 346.12 ชิ้น/กิโลกรัม ตามลำดับ พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจะสูงขึ้นในส่วนปลายน้ำของแม่น้ำ (โชน Confluence: 833.33 ± 80.79 และเขื่อน Valsequillo: 900 ± 346.12 ชิ้น/กิโลกรัม) แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่สำคัญของประชากรที่หนาแน่นและเขตอุตสาหกรรมของเมือง Puebla และสีของไมโครพลาสติกที่พบเยอะมากถึง 51% คือสีเข้ม ส่วนสีขาวมี 49% ส่วนรูปแบบฟิล์ม (25.9%) และเศษชิ้นส่วนไมโครพลาสติก (22.2%) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด รองลงมาคือรูปแบบเส้นใย (14.8%) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติการแตกตัวของไมโครพลาสติกที่ต่างกัน

2.10.6 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสีย

Liu et al. (2019) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวและการสะสมตัวของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียจากชุมชนของเทศบาลในประเทศจีน ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มแรกของไมโครพลาสติกที่สามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของอนุภาคไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดตะกอนเร่งพบว่าไมโครพลาสติกในน้ำเสียนั้นมีจำนวนลดลงอย่างมากจาก 79.9 ชิ้น/ลิตร ถึง 28.4 ชิ้น/ลิตร ในน้ำทิ้งมีอัตราการลดลงคือ 64.4% โดยไมโครพลาสติกจากน้ำทิ้งส่วนใหญ่นั้นสะสมในรูปแบบของการตกตะกอนในแต่ละบ่อบำบัด และไมโครพลาสติกที่อยู่ในรูปของกากตะกอนพบว่ามีจำนวน 240.3 ± 31.4 ชิ้น/กรัม (กากตะกอนแห้ง) ซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 222.6 ไมโครเมตร ซึ่งไมโครพลาสติกที่มีขนาดใหญ่กว่าในน้ำทิ้งมีจำนวนลดลงจากการกรองทางกลของระบบบำบัดและการตกตะกอน

ลักษณะไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดจาก 4 จุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดนี้มีลักษณะเป็นเส้นใยและเศษชิ้นส่วนโดยมีจำนวนที่พบคิดเป็นค่าเฉลี่ยในช่วง 33.5%-56.7% และ 30.4%-45.6% ตามลำดับ แต่ลักษณะที่ถูกรับที่มีความน่าสนใจอยู่คือรูปร่างแบบรูปไข่ ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 100-800 ไมโครเมตร (ขนาดเฉลี่ย 348.1 ไมโครเมตร) ซึ่งไมโครพลาสติกในรูปแบบนี้ยังไม่ค่อยพบการรายงานมาก่อน ซึ่งจำนวนที่พบในระบบบำบัดนี้คือ 4.4% แต่ไม่พบในน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังพบไมโครพลาสติกที่มีอนุภาคขนาดเล็กและรูปแบบโพนในกากตะกอน (17.1% และ 12.9%) หมายถึงขนาดไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดเฉลี่ย 90.3 และ 240.1 ไมโครเมตรตามลำดับ ซึ่งในน้ำเสียนั้นมีแนวโน้มที่ถูกรูดซับและสะสมตัวเป็นการตกตะกอนและชนิดของไมโครพลาสติกพบโพลีเอไมด์ (ไนลอน) เป็นชนิดที่พบบ่อยมากที่สุดของพลาสติกในน้ำเสียนั้นมี 54.8% จากการตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือ

ของ Raman Spectroscopy แสดงให้เห็นว่าอนุภาคไมโครพลาสติกนั้นส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียที่ปล่อยออกมาจากการซักล้างเสื้อผ้าและอุตสาหกรรมการผลิตและการแปรรูปโพลีเมอร์



ภาพที่ 17 จุดการเก็บตัวอย่างและการสรุปผลการสำรวจไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge process

ที่มา: Liu et al. (2019)

โดย Liu et al. (2019) ได้ทำการกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างน้ำเสียและตะกอนได้จากระบบบำบัดน้ำเสียหนึ่ง (20,000 m³ ของน้ำเสียได้รับการบำบัดในแต่ละวัน) ในเมืองหวู่ฮั่น ประเทศจีน แหล่งที่มาของน้ำเสียส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำเสียจากชุมชนจากประชาชนและอุตสาหกรรมใกล้เคียงและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่ถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำแยงซีผ่านท่อน้ำทิ้ง แผนภูมิการไหลของกระบวนการบำบัด (กระบวนการตะกอนเร่ง) และพื้นที่ตัวอย่างของระบบบำบัดน้ำเสียในการศึกษาครั้งนี้ได้อธิบายไว้ในภาพที่ 20 การสุ่มตัวอย่างน้ำเสียจาก 4 ชั้นตอนที่แตกต่างกันของกระบวนการบำบัด ทางเข้าของกริดหยาบ เต้าเสียบของถังตกตะกอนหลัก (ทำเครื่องหมายเป็น W2) ทางออกของถังตกตะกอนรอง (ทำเครื่องหมายเป็น W3) และทางออกของการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน (น้ำทิ้ง, ทำเครื่องหมายเป็น W4) ทั้งนี้ได้ทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเสีย 3 ครั้ง (8:00, 13:00 และ 18:00) ในแต่ละสถานที่เก็บตัวอย่าง น้ำเสีย 10 ลิตรถูกเทลงในตะแกรงที่มีขนาดตาข่าย 47 μm โดยใช้ถังที่ทำจากสแตนเลส (สองครั้งในแต่ละครั้ง) และอนุภาคไมโครพลาสติกถูกล้างให้สะอาดโดยใช้น้ำบริสุทธิ์ลงในขวดแก้ว ขวดถูกวางไว้ใน 4°C จนกระทั่งทำการวิเคราะห์กระบวนการต่อไปในห้องปฏิบัติการ ส่วนตัวอย่างกากตะกอนน้ำเสียซ้ำ 4 ตัวอย่างที่มีขนาด 30 กรัม (ทำเครื่องหมายเป็น S0) ได้รับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Liu et al., (2021) โรงบำบัดน้ำเสีย (WWTPs) ถือเป็นแหล่งที่มาหลักของสารปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ จึงทำการทบทวนวารสารที่เกี่ยวข้องกับลักษณะไมโครพลาสติกและประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกในโรงบำบัดน้ำเสียทั้ง 38 แห่ง ใน 11 ประเทศทั่วโลก เปรียบเทียบความอุดมสมบูรณ์ของไมโครพลาสติกในน้ำเข้าระบบ น้ำทิ้งจากระบบและกากตะกอน ประสิทธิภาพการกำจัดของไมโครพลาสติกในเทคโนโลยีการบำบัดถูกเปรียบเทียบโดยการวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยมีกรกล่าวถึงกลไกการบำบัดน้ำเสียอย่างละเอียดของโรงบำบัดน้ำเสีย รวมถึงการบำบัดด้วยการเร่งให้จุลินทรีย์จับตัวกันจนเกิดการตกตะกอนด้วยการด้วยวิธีการเติมอากาศและการกรองเมมเบรน การศึกษาปริมาณการลดจำนวนลงและความอันตรายต่อระบบนิเวศของไมโครพลาสติกที่ปล่อยออกจากโรงบำบัดน้ำเสียสู่สภาพแวดล้อมทางน้ำและในดิน โดยผลการศึกษาจำนวนของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเข้าระบบมีจำนวนเท่ากับ $0.28-3.14 \times 10^4$ ชิ้น/ลิตร ในขณะที่ตัวอย่างน้ำทิ้งมีจำนวนเท่ากับ $0.01-2.97 \times 10^2$ ชิ้น/ลิตร จำนวนของไมโครพลาสติกในตะกอนมีจำนวนเท่ากับ $4.40 \times 10^3-2.40 \times 10^5$ ชิ้น/กิโลกรัม นอกจากนี้ยังมีจำนวนไมโครพลาสติกที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำในแต่ละวันเท่ากับ $5.00 \times 10^5-1.39 \times 10^{10}$ ยิ่งไปกว่านั้นในเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียพบว่าเทคโนโลยีการบำบัดที่ใช้ตัวกรองมีประสิทธิภาพการกำจัดพลาสติกได้ดีที่สุด ไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยและไมโครพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ (0.5–5 มิลลิเมตร) ถูกแยกออกได้ง่ายโดยการตกตะกอน ไมโครพลาสติกโพลีเอเธนและไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (<0.5 มิลลิเมตร) ถูกแบคทีเรียดักจับได้ง่ายในกากตะกอนของระบบบำบัดแบบเติมอากาศ



บทที่ 3

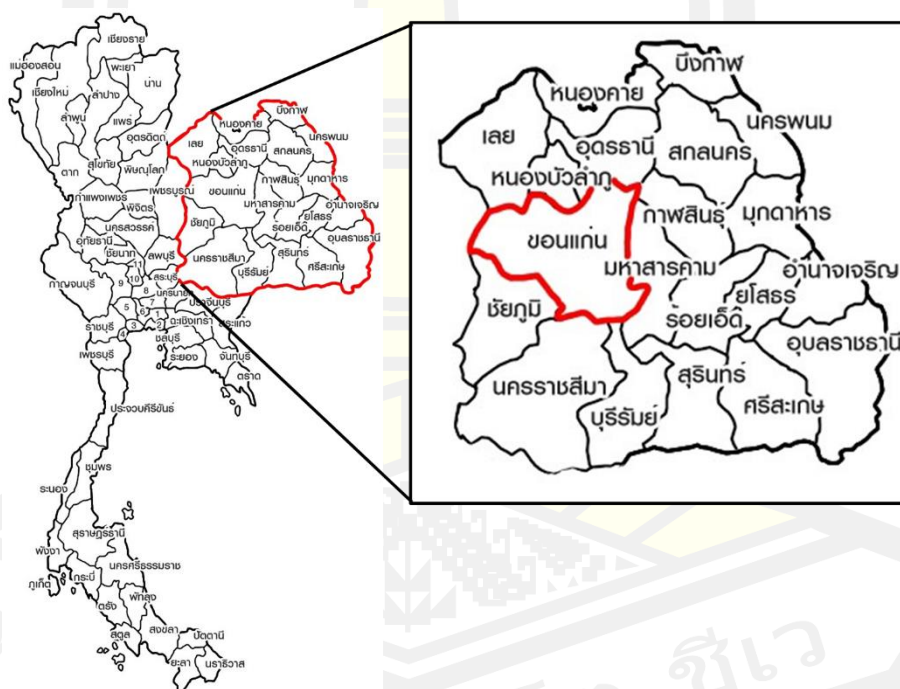
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บตัวอย่างภาคสนาม

การศึกษาการกระจายตัวและลักษณะของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศและระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร โดยเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาล มีวิธีการดังนี้

3.1.1. พื้นที่การเก็บตัวอย่าง

1) ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนระบบแบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) เทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น โดยพื้นที่เก็บตัวอย่างแห่งนี้มีปริมาณน้ำเสียเข้าสู่ระบบจำนวน 40,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน โดยมีระบบบำบัดน้ำเสียปัจจุบันเป็นระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) สามารถรองรับน้ำเสียได้เต็มที่ถึง 78,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน (ส่วนช่างสุขาภิบาล สำนักงานการช่างเทศบาลนครขอนแก่น)

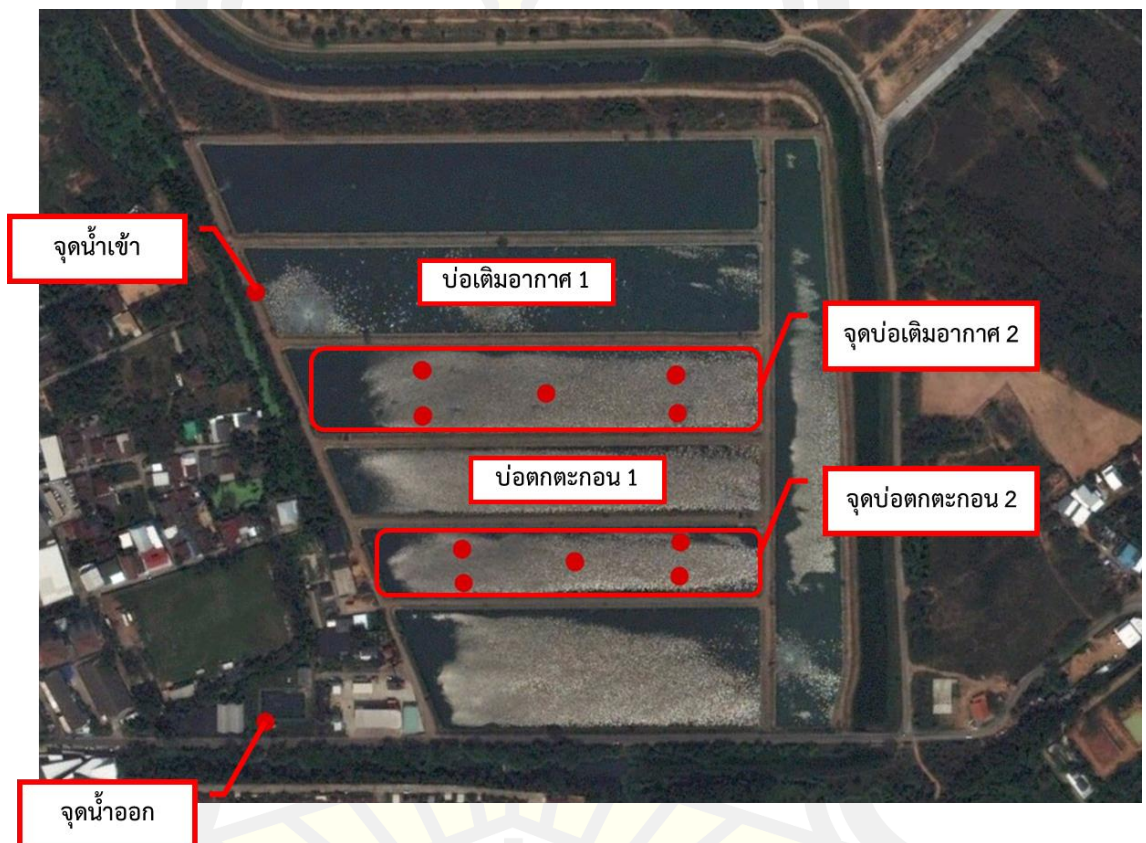


ภาพที่ 18 ภาพแผนที่ของพื้นที่การศึกษาจังหวัดขอนแก่น

3.1.2. จุดเก็บตัวอย่าง

3.1.2.1 การเก็บตัวอย่างสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon)

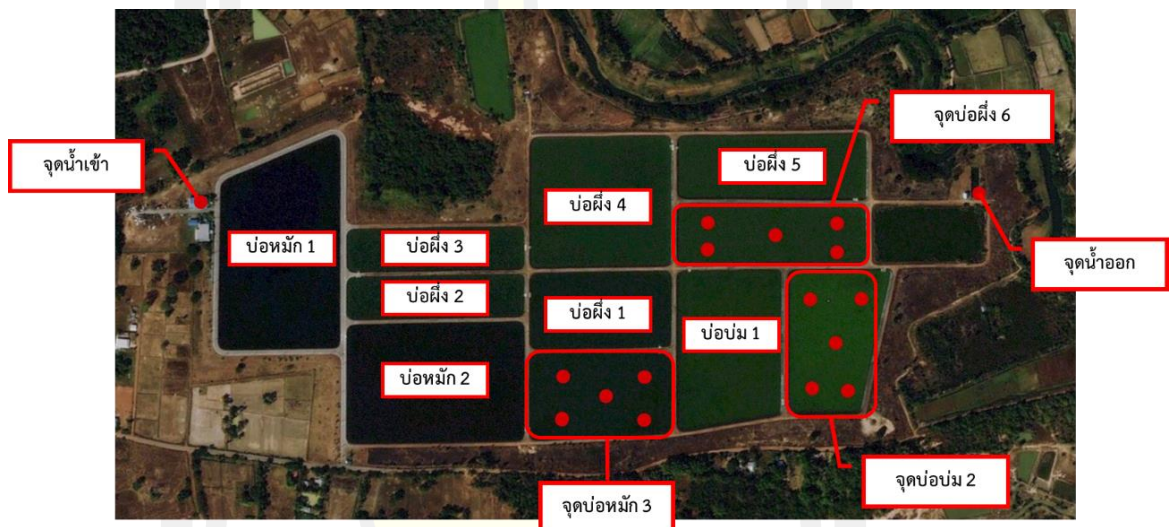
1. เก็บน้ำเสียที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบ (จุดน้ำเข้า)
2. เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างตะกอนจากบ่อเติมอากาศ (จุดบ่อเติมอากาศ 2)
3. เก็บตัวอย่างน้ำ และตัวอย่างตะกอนจากบ่อตกตะกอน (จุดบ่อตกตะกอน 2)
4. เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากจุดที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (จุดน้ำออก)



ภาพที่ 20 จุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ

3.1.2.2 การเก็บตัวอย่างสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

1. เก็บตัวอย่างน้ำก่อนเข้าบ่อปรับเสถียร (จุดน้ำเข้า)
2. เก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากบ่อหมัก (จุดบ่อหมัก 3)
3. เก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากบ่อฝิ่ง (จุดบ่อฝิ่ง 6)
4. เก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อปั๊ม (จุดบ่อปั๊ม 2)
5. เก็บตัวอย่างน้ำบริเวณน้ำออกจากบ่อสู่สิ่งแวดล้อม (จุดน้ำออก)



ภาพที่ 21 จุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร

3.1.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำเสียในระบบบำบัด

1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)
2. บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)
3. ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)
4. ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)
5. ความเข้มข้นมวลตะกอนจุลินทรีย์ (Mixed Liquor Suspended Solids)
6. ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (Mixed liquor volatile suspended solids)
7. การวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease (FOG))

3.1.2.4 หลักการเก็บตัวอย่าง

1. การเก็บตัวอย่างน้ำจะเก็บแบบอินทิเกรต (Integrated Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำรวมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงโดยมีจุดเก็บที่ต่างกัน ในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียว ซึ่งในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดจะเก็บปริมาตร 1 ลิตร

2. การเก็บตัวอย่างตะกอนจะเก็บแบบอินทิเกรต (Integrated Sampling) จะใช้เครื่องมือ Grab sampling เก็บตัวอย่างจากจุดเก็บแตกต่างกัน ในเวลาเดียวกันหรือเวลาใกล้เคียงกัน แล้วนำมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียว โดยเก็บตัวอย่างดินตะกอนน้ำหนักรวม 1 กิโลกรัม ต่อ 1 ตัวอย่าง

3. การเก็บตัวอย่างน้ำและตะกอน จะเก็บ 4 ครั้ง เป็นเวลา 3 เดือน โดยเก็บตัวอย่างในช่วงหน้าฝน

3.1.3 อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างภาคสนาม

- 1) เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ Kemmerer Sampler
- 2) เครื่องมือเก็บตัวอย่างตะกอน Grab sampler
- 3) เรือยางสำหรับเก็บตัวอย่าง/เสื้อชูชีพ
- 4) ขวดแก้วเก็บตัวอย่าง ขนาด 1000 มิลลิลิตร

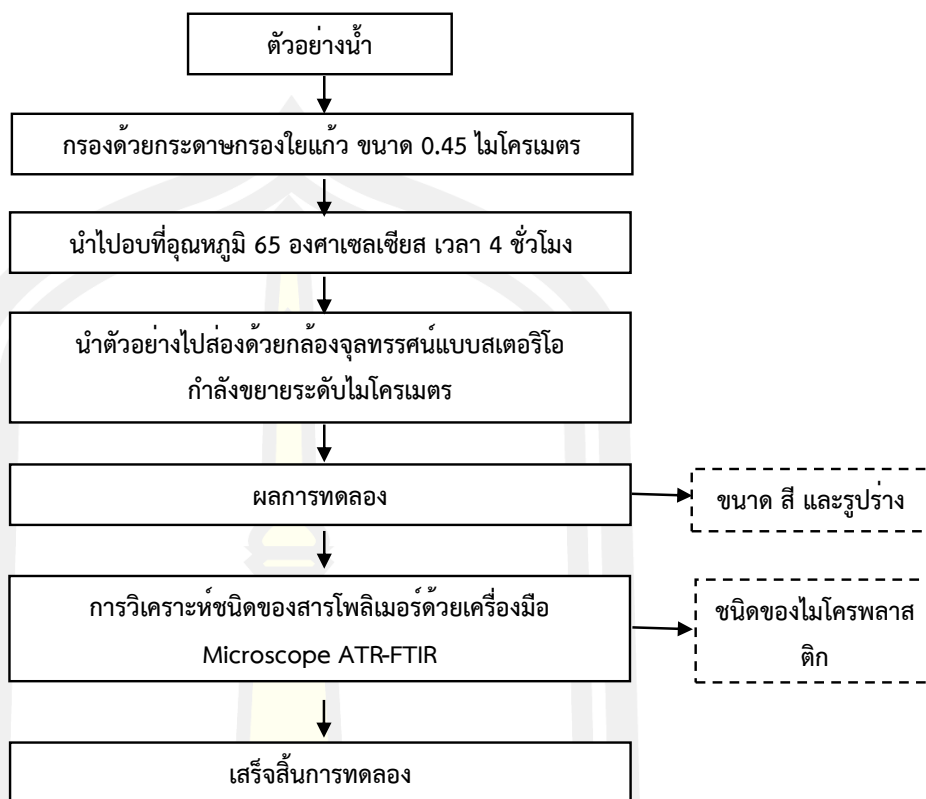
3.2. การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ

1. สำหรับตัวอย่างที่จะนำตรวจสอบ สี ขนาด และรูปร่างของไมโครพลาสติก จะนำตัวอย่างน้ำมากรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน

2. จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสแตอริโอ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลตัวอย่างไมโครพลาสติกที่พบ ได้แก่ ขนาด สี และรูปร่าง และทำการระบุตำแหน่งของไมโครพลาสติกทำให้ง่ายแก่การนำไปวิเคราะห์เพื่อระบุชนิดด้วยเครื่อง Microscope FT-IR

3. นำตัวอย่างที่ผ่านการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสแตอริโอ และระบุตำแหน่งของตัวอย่างไมโครพลาสติกในกระดาษกรองแล้ว เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Microscope ATR FT-IR เพื่อระบุชนิดของไมโครพลาสติก ตามวิธีของ Eerkes-Medrano et al., (2015) และวิธีของ Löder และ Gerdtts, (2015)



ภาพที่ 22 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในห้องปฏิบัติการ

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างตะกอนในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนที่ 1 การแยกไมโครพลาสติกจากตะกอนเพื่อทำความสะอาดไมโครพลาสติกขั้นแรก

1.1 เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว (NaCl) ปริมาณ 600 มิลลิลิตร และตะกอนเปียก 1 กิโลกรัม เทใส่ในขนาดรูปชมพู่ขนาด 2 ลิตร เขย่าเป็นเวลา 2 นาที ที่ความแรง 200 รอบต่อนาที และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้ตัวอย่างไมโครพลาสติกนั้นลอยขึ้นบนผิวน้ำและแยกออกจากตะกอนที่จมลงสู่ด้านล่างขวดรูปชมพู่

1.2 นำไปกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำกระดาษกรองที่ผ่านการอบให้แห้งแล้วนำไปการวิเคราะห์ สี ขนาด และรูปร่างของไมโครพลาสติกโดยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอวิเคราะห์หาจำนวนไมโครพลาสติกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Stereo Microscope

1.3 เมื่อวิเคราะห์สี ขนาด และรูปร่างของตัวอย่างไมโครพลาสติกแล้ว นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อระบุชนิดของตัวอย่างไมโครพลาสติกโดยใช้เครื่อง Microscope FT-IR

ขั้นตอนที่ 2 การแยกไมโครพลาสติกจากดินตะกอนที่เหลือจากการแยกไมโครพลาสติกในดินตะกอนขั้นแรก

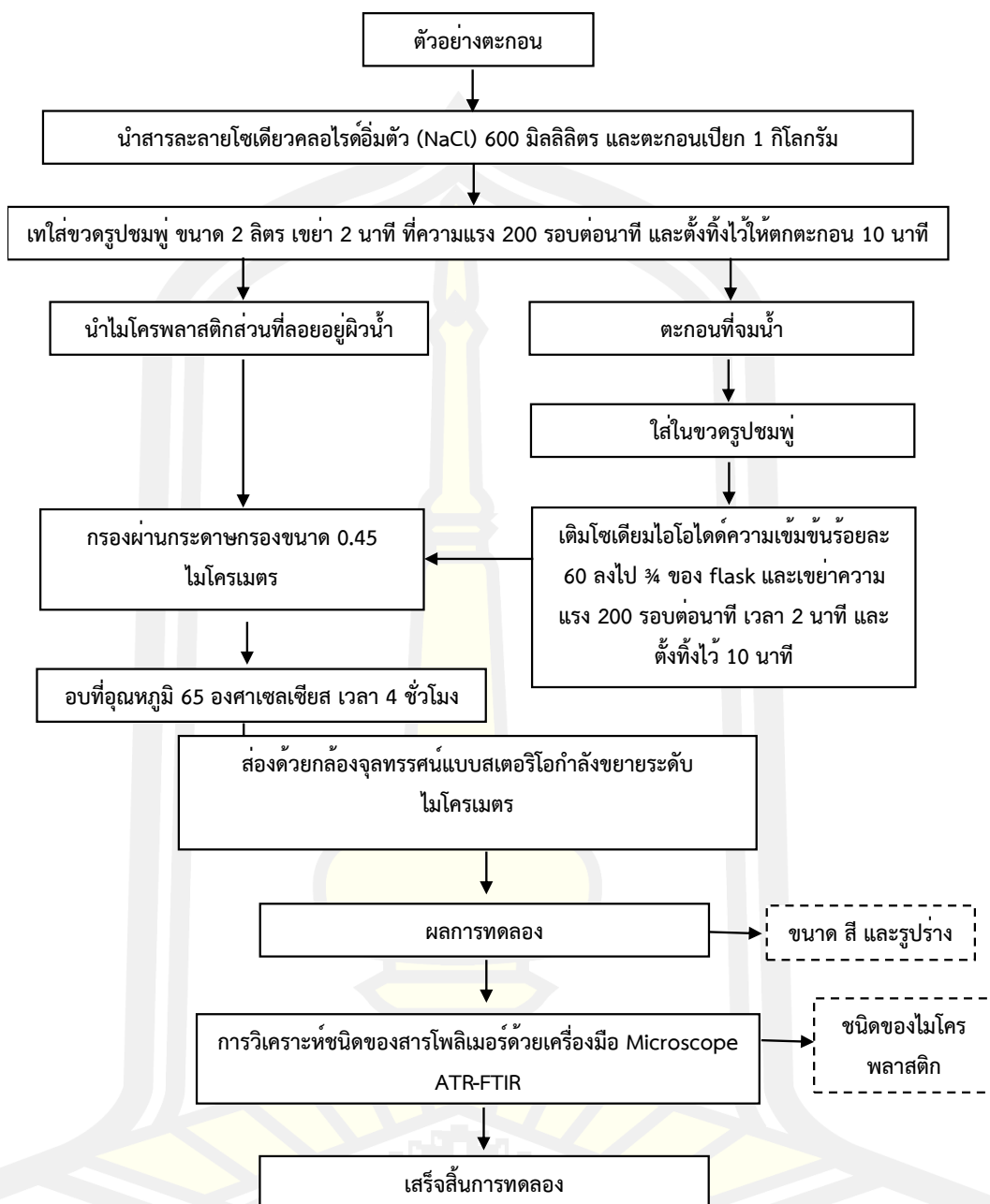
2.1 หลังเสร็จจากขั้นตอนแรกแล้ว นำตะกอนที่เหลืออยู่น้ำใส่ลงในขวดรูปชมพู่

2.2. เติมโซเดียมไอโอดด์ (NaI) ความเข้มข้นร้อยละ 60 ลงไป $\frac{3}{4}$ ของขวดรูปชมพู่

2.3. เขย่า 2 นาที ที่ความแรง 200 รอบต่อนาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

2.4. จากนั้นเมื่อเกิดการแบ่งชั้นตะกอน ให้นำน้ำที่มีไมโครพลาสติกลอยอยู่เหนือผิวน้ำไปกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตามวิธีของ Birnstiel et al., (2019) และ Masura et al., (2015) และนำกระดาษกรองที่ผ่านการอบให้แห้งแล้วนำไปการวิเคราะห์ สี ขนาด และรูปร่างของไมโครพลาสติกโดยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

2.5 เมื่อวิเคราะห์สี ขนาด และรูปร่างของตัวอย่างไมโครพลาสติกแล้ว นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อระบุชนิดของตัวอย่างไมโครพลาสติกโดยใช้เครื่อง Microscope FT-IR ตามวิธีของ Erkes-Medrano et al., (2015) และ วิธีของ Löder และ Gerdt, (2015)



ภาพที่ 23 แผนผังวิธีดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอน

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

1. เครื่อง Microscope ATR Fourier-transform infrared spectroscopy (ATR FT-IR)
2. กล้องจุลทรรศน์
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก
4. กระจกกรวยใยแก้ว ขนาด 0.45 ไมโครเมตร
5. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
6. โซเดียมไอโอไดด์ (NaI) ความเข้มข้นร้อยละ 60
7. เครื่องปั๊มสุญญากาศ

3.3. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

1. การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกโดยใช้กล้อง stereo microscope ยี่ห้อ ZEISS รุ่น Zeiss Stemi 305 Stand K Lab โดยเชื่อมต่อกับกล้องยี่ห้อ Cannon รุ่น EOS 800D โดยใช้โปรแกรม EOS Utility 3.12.1 แสดงภาพ Live view โดยใช้กำลังขยายตั้งแต่ 0.8-5.0 เท่า เพื่อทำการวิเคราะห์รูปร่างของไมโครพลาสติก การจำแนกลักษณะแบ่งเป็นรูปร่างจำแนกตามคู่มือการวิเคราะห์ไมโครพลาสติก (GESAMP, 2019) การจำแนกสีของไมโครพลาสติกจำแนกตามสีที่เกิดขึ้นจริงของตัวอย่าง และการจำแนกขนาดทำการวัดขนาดของไมโครพลาสติกจะใช้เครื่องมือวัดจากโปรแกรม AxioVision LE64

2. การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของไมโครพลาสติกใช้หลักการตรวจสอบองค์ประกอบของโครงสร้างของพอลิเมอร์ ซึ่งวิเคราะห์ชนิดสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกด้วยเครื่องมือ Microscope ATR Fourier - Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spotlight 200i ที่ช่วงเลขคลื่น 400 - 4000 cm^{-1}

3.4. การควบคุมการปนเปื้อนในตัวอย่างไมโครพลาสติก

การควบคุมการปนเปื้อนในตัวอย่างไมโครพลาสติกในห้องปฏิบัติการ โดยก่อนลงมือปฏิบัติการเตรียมตัวอย่างนั้นจะควบคุมการปนเปื้อนโดยการปิดห้องให้สนิทและเปิดเครื่องฟอกอากาศเพื่อฟอกอากาศให้สะอาดก่อน 30 นาที เพื่อลดการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกที่อยู่ในอากาศจึงลงมือทำการเตรียมตัวอย่างและทำการจัดเก็บตัวอย่างโดยใช้ฟอยล์ลุ่มิเนียมในการจัดเก็บตัวอย่างเพื่อลดการปนเปื้อน

3.5. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง แต่ละกลุ่มมี 3 ซ้ำ ทำการเก็บตัวอย่าง 4 ครั้ง โดยวิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังนี้ การศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรเดียว (Univariate Analysis) การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) การเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ย (Duncan) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และการวิเคราะห์ข้อมูลผลการศึกษาน้ำจำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนจะวิเคราะห์โดยใช้วิธีการ Paired samples t-test



บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เนื่องจากน้ำเสียชุมชน เป็นอีกหนึ่งแหล่งที่มีการค้นพบว่าเป็นแหล่งรวบรวมน้ำเสียที่อาจปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากชุมชนและปล่อยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วออกสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพของสิ่งมีชีวิตหรือแม้แต่มนุษย์เอง จากการที่ไมโครพลาสติกสามารถจับกับมลพิษหรือสารปนเปื้อน เช่น ยาฆ่าแมลง ดีดีที พีซีบี (PCBs) เป็นต้น ซึ่งสารเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพแบบเรื้อรัง ส่งผลกระทบต่อระบบฮอร์โมนจากต่อไทรอยด์ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของยีน และเป็นสารก่อมะเร็ง (จินตมาศ ศิลปพรหมมาศ, 2562) อาจจะทำให้สิ่งมีชีวิตเกิดการบาดเจ็บจากไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างแหลมคมก่อให้เกิดการผลิตเอนไซม์ลดลงทำให้ลดการกระตุ้นความอยากอาหารของสิ่งมีชีวิต (Dawson et al., 2018) รวมถึงการลดประสิทธิภาพฮอร์โมนของระบบสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต (OSPAR 2009; Van Franeker et al., 2011; สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557) โดยการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยทำการศึกษาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนและประเมินปริมาณไมโครพลาสติกที่ถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated lagoon) และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอน ซึ่งเก็บตัวอย่างจำนวน 4 ครั้งในช่วงหน้าฝน โดยครั้งที่ 1 คือวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2563 ครั้งที่ 2 คือวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2563 ครั้งที่ 3 คือวันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2563 และครั้งที่ 4 คือวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2563 ซึ่งผลการศึกษาดังนี้

พหุบัณฑิต ชีวะ

4.1. การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสีย

4.1.1. จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จากการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดเสียชุมชนแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ภาพที่ 24) ซึ่งมีการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 จุด ได้แก่ จุดน้ำเข้าระบบ จุดบ่อเติมอากาศ จุดบ่อตกตะกอน จุดน้ำออก โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการจำนวน 1 ลิตร และตัวอย่างตะกอนจำนวน 1 กิโลกรัม (ตะกอนแห้ง) ผลการศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกในน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (ตารางที่ 5 และ 6 และภาพที่ 24) พบว่าจุดน้ำเข้าพบไมโครพลาสติกจำนวน 9.58 ± 7.36 ชิ้น/ลิตร จุดบ่อเติมอากาศพบไมโครพลาสติกจำนวน 5.00 ± 2.11 ชิ้น/ลิตร โดยพบว่าประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าถึงบ่อเติมอากาศเท่ากับ 47.9% จุดบ่อตกตะกอนพบไมโครพลาสติกจำนวน 2.83 ± 1.48 ชิ้น/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดบ่อเติมอากาศถึงจุดบ่อตกตะกอนเท่ากับ 43.3% เนื่องจากบ่อเติมอากาศมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียไว้ในบ่อและการเติมอากาศช่วยเร่งให้เกิดการตกตะกอนของไมโครพลาสติกที่ยิ่งขึ้น จึงอาจทำให้ไมโครพลาสติกสามารถตกตะกอนภายในบ่อเติมอากาศได้ได้ดีกว่าบ่อตกตะกอนและจุดน้ำออกจะพบไมโครพลาสติกจำนวน 1.50 ± 1.00 ชิ้น/ลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดบ่อตกตะกอนถึงจุดน้ำออกเท่ากับ 47.1% ซึ่งในการบำบัดไมโครพลาสติกโดยรวมจากจุดน้ำเข้าระบบมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบมีเปอร์เซ็นต์ลดลงอยู่ที่ 84.35% นอกจากนี้การศึกษาจำนวนชิ้นไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในจุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศมีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 35.86 ± 30.95 ชิ้น/กิโลกรัม และจำนวนของไมโครพลาสติกในบ่อตกตะกอนเท่ากับ 21.77 ± 19.78 ชิ้น/กิโลกรัม โดยมีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อเติมอากาศมาจนถึงบ่อตกตะกอนเท่ากับ 39.3% (ภาพที่ 24) ทั้งนี้ปัจจัยที่อาจทำให้ไมโครพลาสติกสามารถตกตะกอนและบำบัดออกจากน้ำเสีย คือความหนาแน่นของชนิดพอลิเมอร์ไมโครพลาสติก แรงโน้มถ่วงและขนาดไมโครพลาสติก เป็นต้น

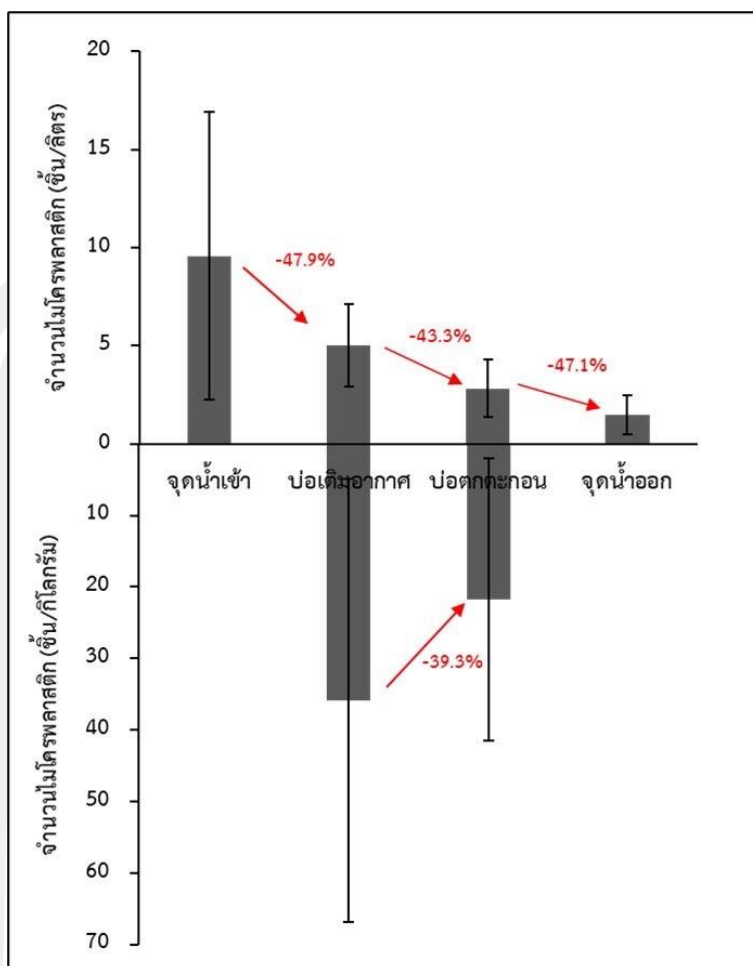
ตารางที่ 5 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บ ตัวอย่าง น้ำ	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (ชิ้น/ ลิตร)
จุดน้ำเข้า	4.67	8.33	20.33	5.00	38.33	9.58	7.36
บ่อเติม อากาศ	4.33	6.33	7.00	2.33	20.00	5.00	2.11
บ่อตก ตะกอน	3.33	1.33	4.67	2.00	11.33	2.83	1.48
จุดน้ำออก	1.00	0.33	2.33	2.33	6.00	1.50	1.00

ตารางที่ 6 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บ ตัวอย่าง ตะกอน	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (ชิ้น/กก.)
บ่อเติม อากาศ	17.93	17.93	81.96	25.61	143.44	35.86	30.95
บ่อตก ตะกอน	10.25	10.25	51.23	15.37	87.09	21.77	19.78

พหุ ประถมศึกษา



ภาพที่ 24 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ซึ่งในงานวิจัยของ Liu et al. (2019) ได้ศึกษาการลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ซึ่งมีผลวิจัยพบว่าจำนวนไมโครพลาสติกลดลงจาก 79.9 ชิ้น/ลิตร เมื่อผ่านการบำบัดมีจำนวนลดลงเท่ากับ 28.4 ชิ้น/ลิตร ในน้ำทิ้งโดยมีประสิทธิภาพการลดลงอยู่ที่ 64.4% นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Tang et al. (2020) ได้ทำการศึกษาการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง 2 แห่งของเมืองวูฮั่นในประเทศจีน ซึ่งพบว่าจำนวนไมโครพลาสติกของจุดน้ำเข้าในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งที่ 1 โดยมีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 23.3 ± 2.0 ชิ้น/ลิตร และจำนวนไมโครพลาสติกในน้ำทิ้งจากจุดน้ำออกจำนวนเท่ากับ 7.9 ± 1.1 ชิ้น/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกอยู่ที่ 66.1% ส่วนจำนวนไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งที่ 2 พบว่าในน้ำเข้าระบบมีไมโครพลาสติกเท่ากับ 80.5 ± 6.3 ชิ้นต่อลิตร และน้ำทิ้ง

จากจุดน้ำออกมีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 30.3 ± 3.0 ชิ้น/ลิตร ซึ่งมีอัตราการลดจำนวนลงเท่ากับ 62.7% ซึ่งโดยจากการรวบรวมงานวิจัยในหลายงานวิจัยแล้วโดย (Fuller & Gautam, 2016) พบว่าการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นเสียระบบต่างๆ นั้นจะมีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติก อยู่ที่ 47%-99.9% ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศนั้นพบว่ามี การลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกในประสิทธิภาพการลดลงที่ 84.35% อาจเนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) มีเวลากักเก็บน้ำอยู่ที่ 3-10 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) อาจทำให้ไมโครพลาสติกนั้นใช้เวลาในการตกตะกอนจึงทำให้จำนวนไมโครพลาสติกนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีปัจจัย เช่น แรงแม่เหล็ก ความหนาแน่นของสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติก หรือการเติมอากาศที่ทำให้เกิดการตกตะกอนของไมโครพลาสติกได้เร็วขึ้น ในขณะที่งานวิจัยของ Liu et al. (2021) กล่าวว่า การลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของเขตเทศบาลนั้นอาจมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น กระบวนการบำบัดขั้นต้นที่อาศัยกลไกทางกายภาพถือเป็นอิทธิพลแรกๆ ในการบำบัดไมโครพลาสติกจะสามารถบำบัดได้ส่วนหนึ่งและการบำบัดไมโครพลาสติกอีกส่วนหนึ่งคือการตกตะกอนของไมโครพลาสติกในถังตกตะกอน โดยในระบบบำบัดน้ำเสียนี้พบจำนวนไมโครพลาสติกที่มีค่าต่ำสุดคือ 0.28 ชิ้น/ลิตร จนถึง 6.10×10^2 ชิ้น/ลิตร ซึ่งในการกำจัดไมโครพลาสติกในบ่อบำบัดน้ำเสียและมีการตกตะกอนของไมโครพลาสติกในถังตกตะกอนซึ่งถังตกตะกอนเป็นวิธีการบำบัดหลักที่นำมาใช้มากที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความแตกต่างของปริมาณการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ซับซ้อนหลายประการ เช่น จำนวนประชากร เศรษฐกิจและวิถีชีวิต และเนื่องจากไมโครพลาสติกที่พบในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในตะกอน ตามรายงานในการศึกษาที่ดำเนินการในแคนาดาซึ่งพบว่า 93% ของไมโครพลาสติกที่ได้ผ่านการบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดและพบว่า 98% จะถูกกักไว้ในรูปแบบของกากตะกอน (Gies et al., 2018; Sol et al., 2020) แม้ว่ากระบวนการบำบัดในระบบบำบัดน้ำเสียจะสามารถกำจัดไมโครพลาสติกออกจากน้ำเสียได้โดยส่วนใหญ่แต่ยังคงพบจำนวนของไมโครพลาสติกอยู่ ณ จุดที่ปล่อยออกมาเนื่องจากไม่สามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้ 100% ดังนั้นจึงเป็นที่ชัดเจนว่าระบบบำบัดน้ำเสียเป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม (Sol et al., 2020) ส่วนการศึกษาในตะกอนนั้นพบไมโครพลาสติกทั้งการบำบัดขั้นต้นและการบำบัดทุติยภูมิสามารถและสามารถจัดการได้หลายวิธี เช่น โดยการฝังกลบ การเผาและการนำตะกอนไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูก (ประมาณ 50% ของกากตะกอนน้ำเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในยุโรปและอเมริกาเหนือใช้เป็นปุ๋ยทางดิน) (Habib et al, 2020; Hurley และ Nizzetto, 2018; Rolsky et al., 2020; Sol et al., 2020) ซึ่งวิธีที่ทางเทศบาลนครขอนแก่นเลือกใช้

ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านการเพาะปลูก ซึ่งอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ไมโครพลาสติกนั้นปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางดินหรือบนบก

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ผลการศึกษากำหนดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) โดยวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ข้อมูลของจำนวนชิ้นของไมโครพลาสติกในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอน โดยในตัวอย่างน้ำใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรเดียว (Univariate Analysis) มีการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post Hoc Tests) โดยการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) (ตารางที่ 7) และการวิเคราะห์การเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ย (Duncan) (ตารางที่ 8) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนจะใช้วิธีการ Paired samples t-test ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ตารางที่ 9 และ 10) เป็นการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าผลการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บตัวอย่าง		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
จุดน้ำเข้า	บ่อเติมอากาศ	4.5833*	0.83	0.00	2.1372	7.0295
	บ่อตกตะกอน	6.7500*	0.83	0.00	4.3039	9.1961
	จุดน้ำออก	8.0833*	0.83	0.00	5.6372	10.5295
บ่อเติมอากาศ	บ่อตกตะกอน	2.1667	0.83	0.10	-0.2795	4.6128
	จุดน้ำออก	3.5000*	0.83	0.00	1.0539	5.9461
บ่อตกตะกอน	จุดน้ำออก	1.3333	0.83	0.47	-1.1128	3.7795

หมายเหตุ: * หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$)

จากตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าการเปรียบเทียบจุดน้ำเข้ากับบ่อเติมอากาศ บ่อตกตะกอน และจุดน้ำออก ตามลำดับ นั้นมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้ากับบ่อเติมอากาศพบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 4.5833 ชิ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.1372-7.0295 ชิ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบจุดน้ำเข้ากับบ่อ

ตกตะกอนมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 6.7500 ชิ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.3039-9.1961 ชิ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเปรียบเทียบจุดน้ำเข้ากับจุดน้ำออกมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 8.0833 ชิ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.6372-10.5295 ชิ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบบ่อเติมอากาศกับบ่อตกตะกอนมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกัน พบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 2.1667 ชิ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.2795-4.6128 ชิ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบบ่อเติมอากาศกับจุดน้ำออกมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 3.5000 ชิ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.0539-5.9461 ชิ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อเปรียบเทียบบ่อตกตะกอนกับจุดน้ำออกนั้นมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกัน พบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 1.3333 ชิ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง -1.1128-3.7795 ชิ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บตัวอย่าง		N	Subset		
			A	B	C
Duncan ^{a,b}	จุดน้ำเข้า	12	9.58		
	บ่อเติมอากาศ	12		5.00	
	บ่อตกตะกอน	12			2.83
	จุดน้ำออก	12			1.50
	Sig.		1.00	1.00	0.12

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

2. A, B และ C หมายถึงกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน

จากตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าเมื่อจัดกลุ่มความแตกต่างของจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดโดยกลุ่มแรกคือกลุ่ม A มีสมาชิกคือจุดน้ำเข้าซึ่งมีความแตกต่างจากทั้งกลุ่ม B และกลุ่ม C ส่วนจุดบ่อเติมอากาศจะเป็นสมาชิกในกลุ่ม B ซึ่งแตกต่างจากกลุ่ม A และ C ในขณะที่จุดบ่อตกตะกอนและจุดน้ำออกจากระบบนั้นเป็นสมาชิกในกลุ่ม C เหมือนกันซึ่งมีค่าที่ไม่แตกต่างกันภายในกลุ่มแต่ละ

แตกต่างจากทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B แสดงว่าจากจุดน้ำเข้ามาจนถึงจุดบ่อเติมอากาศนั้นสามารถบำบัดไมโครพลาสติกได้ดีโดยจุดน้ำเข้าบำบัดไมโครพลาสติกได้ดีกว่าบ่อเติมอากาศ ในขณะที่บ่อตกตะกอนและจุดน้ำออกพบว่ายู่ในกลุ่มเดียวกันแสดงว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไมโครพลาสติกใกล้เคียงกัน (ไม่แตกต่างกัน) ส่วนบ่อตกตะกอนและจุดน้ำออกนั้นสามารถบำบัดไมโครพลาสติกได้แต่ยังน้อยกว่าจุดบ่อเติมอากาศ

ตารางที่ 9 การทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บตัวอย่าง	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
บ่อเติมอากาศ	35.86	12	29.91	8.63
บ่อตกตะกอน	21.77	12	19.89	5.74

ตารางที่ 9 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ค่าการทดสอบข้อมูลจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนของจุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อเติมอากาศมีค่าไมโครพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 35.86 ชิ้น/กิโลกรัม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 29.91 ชิ้น/กิโลกรัม ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 8.63 ชิ้น/กิโลกรัม ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อตกตะกอนมีค่าไมโครพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 21.77 ชิ้น/กิโลกรัม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 19.89 ชิ้น/กิโลกรัม ค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 5.74 ชิ้น/กิโลกรัม แสดงว่ามีการตกตะกอนของไมโครพลาสติกในบ่อเติมอากาศมากกว่าบ่อตกตะกอนเนื่องจากบ่อเติมอากาศเป็นส่วนแรกในการบำบัดไมโครพลาสติกและมีเวลาในการกักเก็บน้ำนานก่อนที่จะมาบำบัดภายในบ่อตกตะกอน จึงทำให้ไมโครพลาสติกนั้นมีเวลาในการตกตะกอนลงในบ่อเติมอากาศก่อนทำให้ส่วนที่ยังไม่ตกตะกอนไหลมาพร้อมกับน้ำมายังบ่อตกตะกอนจึงทำให้จำนวนไมโครพลาสติกในบ่อเติมอากาศนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 10 Paired samples t-test ของตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	Paired Differences					t	df	Sig. (2 -tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
บ่อเติม อากาศ – บ่อ ตกตะกอน	14.09	16.97	4.90	3.30	24.87	2.88	11.00	0.015

ตารางที่ 10 แสดง Paired samples t-test ของตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) เป็นการวิเคราะห์ชุดข้อมูลของตัวอย่างตะกอนนั้นมีการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กันโดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Paired samples t-test พบว่าการทดสอบที (t-test) มีค่าเท่ากับ 2.88 และค่า Sig. เท่ากับ 0.015 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าจุดเก็บตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นั่นคือจำนวนไมโครพลาสติกที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนของบ่อเติมอากาศและบ่อตกตะกอนแตกต่างกันที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.09 ชิ้น/กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 16.97 ชิ้น/กิโลกรัม อยู่ในช่วง 3.30-24.87 ชิ้น/กิโลกรัม

4.1.2. จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

จากการศึกษาจำนวนชิ้นของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ภาพที่ 25) โดยมีการเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 จุด ได้แก่ จุดน้ำเข้าระบบ บ่อหมัก บ่อผึ่ง บ่อบ่ม และจุดน้ำออกจากระบบโดยเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 1 ลิตร และตัวอย่างตะกอน 1 กิโลกรัม (ตะกอนแห้ง) มาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกในน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (ตารางที่ 11 และ 12) พบว่าจุดน้ำเข้าระบบมีจำนวนไมโครพลาสติก 8.50 ± 1.99 ชิ้น/ลิตร บ่อหมักพบจำนวนไมโครพลาสติก 5.33 ± 1.83 ชิ้น/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าถึงบ่อหมักเท่ากับ 37.25% บ่อผึ่งมีจำนวนไมโครพลาสติก 3.58 ± 1.00 ชิ้น/ลิตร มีประสิทธิภาพการลดจำนวนไม

โครพลาสติกกลางจากบ่อหมักจนถึงบ่อฝิ่งเท่ากับ 32.81% บ่อบ่มมีจำนวนไมโครพลาสติก 2.50 ± 1.45 ชิ้น/ลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อฝิ่งมาจนถึงบ่อบ่มเท่ากับ 30.23% และจุดน้ำออกจากระบบพบจำนวนไมโครพลาสติก 1.92 ± 0.69 ชิ้น/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการลดจำนวนของไมโครพลาสติกกลางจากบ่อบ่มมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบเท่ากับ 23.33% ประสิทธิภาพการลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกโดยรวมจากจุดน้ำเข้าระบบมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบเท่ากับ 77% ส่วนการศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกในจุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักเท่ากับ 37.14 ± 15.86 ชิ้น/กิโลกรัม และพบจำนวนไมโครพลาสติกในจุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อฝิ่งเท่ากับ 26.25 ± 13.77 ชิ้น/กิโลกรัม โดยมีประสิทธิภาพการลดลงของไมโครพลาสติกจากบ่อหมักมาจนถึงจุดบ่อบ่มนั้นมีประสิทธิภาพการลดลงเท่ากับ 29.30% (ภาพที่ 25) ทั้งนี้ปัจจัยที่อาจทำให้ไมโครพลาสติกสามารถตกตะกอนและบำบัดออกจากน้ำเสีย คือ ความหนาแน่นของชนิดพอลิเมอร์ไมโครพลาสติก แรงโน้มถ่วง และขนาดไมโครพลาสติก เป็นต้น จึงอาจทำให้ไมโครพลาสติกที่ตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นต้องใช้เวลาในการตกตะกอน

จากการลดจำนวนลงของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ได้สอดคล้องในหลายงานวิจัยในการกำจัดไมโครพลาสติกของระบบบำบัดน้ำเสีย เช่นงานวิจัยของ Xu et al. (2019) ได้ทำการศึกษากำจัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 11 แห่งในเมืองฉางโจว โดยพบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกในน้ำเข้าระบบและน้ำทิ้งคือ 196.00 ± 11.89 ชิ้น/ลิตร และ 9.04 ± 1.12 ชิ้น/ลิตร ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกเกือบกว่า 90% หรืออาจสูงถึง 97.15% ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะสรุปได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียสามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้ประมาณ 40%–99.9% (Sun et al., 2019; Ziajahromi et al., 2017; Talvitie et al., 2017; Gies et al., 2018; Turan et al., 2021) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Talvitie et al., (2017) ทำการสำรวจไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรน (MBR) สามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้ถึง 99.9% โดยน้ำเข้าระบบมีไมโครพลาสติกจำนวน 6.9 ชิ้น/ลิตร จนเมื่อถึงจุดน้ำทิ้งพบว่าจำนวนไมโครพลาสติกลดลงอยู่ที่ 0.005 ชิ้น/ลิตร จากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกที่ลดลงในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ซึ่งมีการบำบัดไมโครพลาสติกได้ถึง 77% อาจเกิดจากระบบแบบบ่อปรับเสถียรนี้มีการกักเก็บน้ำในบ่อบำบัดโดยบ่อหมักอยู่ที่ 4-5 วัน บ่อฝิ่งอยู่ที่ 7-30 วัน และบ่อบ่มมีเวลากักเก็บน้ำอยู่ที่ 5-20 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) จึงอาจทำให้ไมโครพลาสติกนั้นมีเวลาในการตกตะกอนจึงทำให้จำนวนไมโครพลาสติกนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และถึงแม้ว่าการบำบัดไมโครพลาสติกจะสามารถบำบัดได้ส่วนหนึ่งแต่ก็ยังมีไมโครพลาสติกจำนวนมากที่ถูกปล่อยออกมาพร้อมกับน้ำเสียจำนวนมากสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำในทุกๆ วัน (Carr et al., 2016; Turan et al., 2021) ทั้งนี้การศึกษาไมโคร

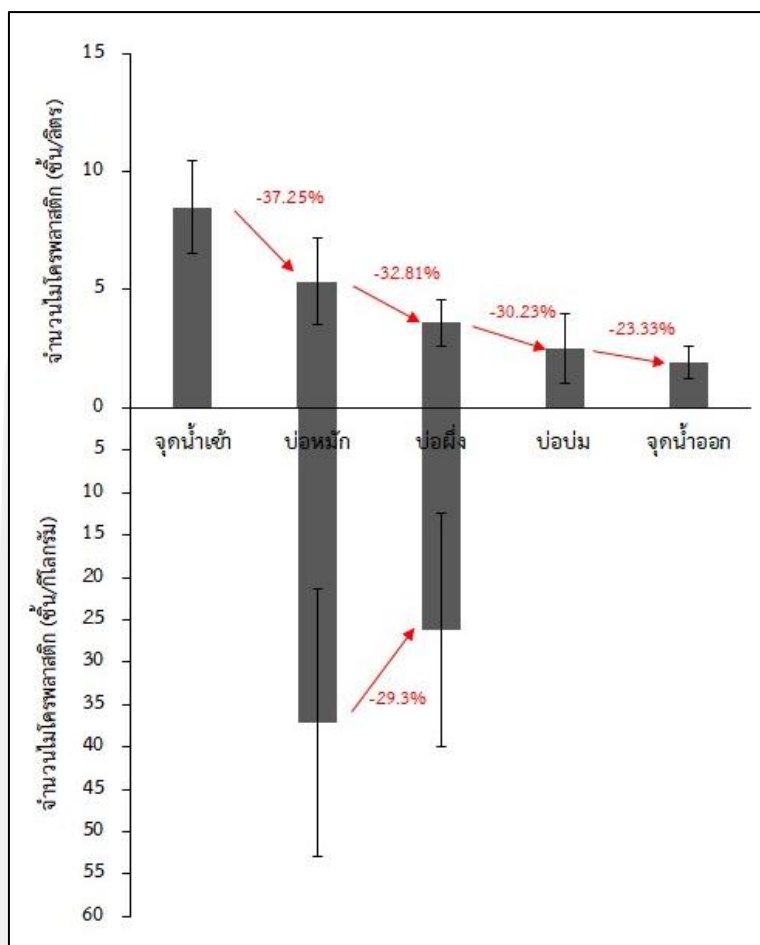
พลาสติกในตะกอนซึ่งพบว่ามีความหนาไมโครพลาสติกที่ตกตะกอนอยู่เมื่อมีการขุดลอกตะกอนเพื่อนำไปกำจัด เช่น การนำไปฝังกลบ การเผา และการใช้ประโยชน์โดยใช้ในการเพาะปลูกซึ่งอาจเป็นสาเหตุหลักในการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (Habib et al, 2020; Hurley และ Nizzetto, 2018; Rolsky et al., 2020; Sol et al., 2020)

ตารางที่ 11 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (ชิ้น/ลิตร)
จุดน้ำเข้า	8.00	8.00	11.33	6.67	34.00	8.50	1.99
บ่อหมัก	4.00	5.00	8.00	4.33	21.33	5.33	1.83
บ่อฝั ง	2.67	3.33	3.33	5.00	14.33	3.58	1.00
บ่อบ่ม	2.00	1.67	1.67	4.67	10.00	2.50	1.45
จุดน้ำออก	2.00	1.00	2.00	2.67	7.67	1.92	0.69

ตารางที่ 12 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บตัวอย่าง ตะกอน	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (ชิ้น/กก.)
บ่อหมัก	15.37	35.86	51.23	46.10	148.56	37.14	15.86
บ่อฝั ง	10.25	23.05	43.54	28.17	105.02	26.25	13.77



ภาพที่ 25 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลการศึกษาค้นคว้าข้อมูลของจำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) โดยการวิเคราะห์ทางสถิติวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนชิ้นของไมโครพลาสติกในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนโดยใช้การวิเคราะห์ในตัวอย่างน้ำใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลแบบตัวแปรเดียว (Univariate Analysis) มีการทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post Hoc Tests) โดยการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) (ตารางที่ 13) และการวิเคราะห์การเปรียบเทียบรายคู่ของค่าเฉลี่ย (Duncan) (ตารางที่ 14) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนจะใช้วิธีการ Paired samples t-test ในการวิเคราะห์ข้อมูล (ตารางที่ 15 และ 16) เป็นการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าผลการทดสอบมีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

จุดเก็บตัวอย่าง		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
จุดน้ำเข้า	บ่อหมัก	3.1667*	0.82	0.01	0.5250	5.8083
	บ่อฝิ่ง	4.9167*	0.82	0.00	2.2750	7.5583
	บ่อบ่ม	6.0000*	0.82	0.00	3.3584	8.6416
	จุดน้ำออก	6.5833*	0.82	0.00	3.9417	9.2250
บ่อหมัก	บ่อฝิ่ง	1.7500	0.82	0.35	-0.8916	4.3916
	บ่อบ่ม	2.8333*	0.82	0.03	0.1917	5.4750
	จุดน้ำออก	3.4167*	0.82	0.01	0.7750	6.0583
บ่อฝิ่ง	บ่อบ่ม	1.0833	0.82	0.78	-1.5583	3.7250
	จุดน้ำออก	1.6667	0.82	0.40	-0.9750	4.3083
บ่อบ่ม	จุดน้ำออก	0.5833	0.82	0.97	-2.0583	3.2250

หมายเหตุ: * หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าการเปรียบเทียบจุดน้ำเข้าระบบกับบ่อหมัก บ่อฝิ่ง บ่อบ่ม และจุดน้ำออก ตามลำดับ นั้นมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้ากับบ่อหมักพบว่ามีค่าความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 3.1667 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.5250-5.8083 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้ากับบ่อฝิ่งพบว่ามีค่าความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 4.9167 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 2.2750-7.5583 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้ากับบ่อบ่มพบว่ามีค่าความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 6.0000 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.3584-8.6416 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้ากับจุดน้ำออกพบว่ามีค่าความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 6.5833 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.9417-9.2250 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบบ่อหมักกับบ่อฝิ่ง บ่อบ่ม และจุดน้ำออก ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักกับบ่อฝิ่งพบว่าไม่มี

ความต่างกันของค่าเฉลี่ยโดยมีค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 1.7500 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.8916-4.3916 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักกับบ่อบ่มพบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 2.8333 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.1917-5.4750 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักกับจุดน้ำออกพบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 3.4167 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.7750-6.0583 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การเปรียบเทียบบ่อฝังกับบ่อบ่ม และจุดน้ำออกตามลำดับ นั้นค่าความต่างของค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างบ่อฝังกับบ่อบ่มพบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 1.0833 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง -1.5553-3.7250 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเมื่อเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างบ่อฝังกับจุดน้ำออกพบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกไม่มีความแตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 1.6667 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง -0.9750-4.3083 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบบ่อบ่มกับจุดน้ำออก นั้นมีค่าความต่างของค่าเฉลี่ยของไมโครพลาสติกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่ามีความต่างเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ 0.5833 ขึ้น/ลิตร โดยมีค่าอยู่ในช่วง -2.0583-3.2250 ขึ้น/ลิตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

จุดเก็บตัวอย่าง		N	Subset		
			A	B	C
Duncan ^{a,b}	จุดน้ำเข้า	12	8.50		
	บ่อหมัก	12		5.33	
	บ่อฝัง	12			3.58
	บ่อบ่ม	12			2.50
	จุดน้ำออก	12			1.92
	Sig.		1.00	1.00	0.06

หมายเหตุ: 1. ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$)

2. A, B และ C หมายถึงกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าเมื่อทดสอบการเปรียบเทียบรายคู่ค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างโดยแบ่งกลุ่มได้ 3 กลุ่มที่มีความแตกต่างกันคือ กลุ่ม A จะมีสมาชิกเป็นจุดน้ำเข้ากล่าวคือจุดน้ำเข้าจะมีจำนวนไมโครพลาสติกแตกต่างจากทุกจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ในกลุ่มทั้งกลุ่ม B และ C ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อหมักซึ่งอยู่ในกลุ่ม B มีจำนวนไมโครพลาสติกแตกต่างจากกลุ่ม A และ C ในขณะที่กลุ่ม C มีสมาชิกในกลุ่มคือบ่อฝิ่ง บ่อบ่ม และจุดน้ำออกนั้นมีจำนวนไมโครพลาสติกในจุดเก็บตัวอย่างไม่ต่างกันภายในกลุ่ม แสดงว่าจุดน้ำเข้ามีจนถึงบ่อหมักนั้นสามารถบำบัดไมโครพลาสติกได้ดีโดยจุดน้ำเข้าบำบัดได้ดีกว่าบ่อเติมอากาศในขณะที่บ่อฝิ่ง บ่อบ่ม และจุดน้ำออกอยู่กลุ่มเดียวกันแสดงว่าประสิทธิภาพในการบำบัดไมโครพลาสติกใกล้เคียงกัน (ไม่แตกต่างกัน)

ตารางที่ 15 การทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

จุดเก็บตัวอย่าง	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
บ่อหมัก	37.14	12.00	16.97	4.90
บ่อฝิ่ง	26.25	12.00	13.29	3.84

ตารางที่ 15 แสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐาน ของจำนวนไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าจุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อหมักมีค่าไมโครพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 37.14 ชิ้น/กิโลกรัม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.97 ชิ้น/กิโลกรัม และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 4.90 ชิ้น/กิโลกรัม ในขณะที่บ่อฝิ่งมีค่าไมโครพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 26.25 ชิ้น/กิโลกรัม ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13.29 ชิ้น/กิโลกรัม และค่าความคาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 3.84 ชิ้น/กิโลกรัม แสดงว่าไมโครพลาสติกนั้นมีการตกตะกอนของอยู่ภายในบ่อหมักมากกว่าบ่อฝิ่ง เนื่องจากบ่อหมักเป็นส่วนแรกในการบำบัดไมโครพลาสติกเนื่องจากมีเวลาในการกักเก็บน้ำนานก่อนที่จะมาบำบัดภายในบ่อฝิ่ง จึงทำให้ไมโครพลาสติกนั้นมีเวลาในการตกตะกอนลงในบ่อหมักก่อนและทำให้ส่วนที่ยังไม่ตกตะกอนไหลมาพร้อมกับน้ำมายังบ่อฝิ่งจึงทำให้จำนวนไมโครพลาสติกในบ่อหมักนั้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 16 Paired samples t-test ของตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

จุดเก็บตัวอย่าง	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
บ่อหมัก - บ่อฝิ่ง	10.89	11.09	3.20	3.84	17.93	3.40	11.00	0.006

ตารางที่ 16 แสดง Paired samples t-test ของตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เป็นการวิเคราะห์ชุดข้อมูลของตัวอย่างตะกอนนั้นมีการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กันโดยวิเคราะห์ด้วยวิธี Paired samples t-test พบว่าการทดสอบที่ (t-test) มีค่าเท่ากับ 3.40 และค่า Sig. เท่ากับ 0.006 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าจุดเก็บตัวอย่างทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นั่นคือจำนวนไมโครพลาสติกที่อยู่ในตัวอย่างตะกอนของบ่อหมักและบ่อฝิ่งแตกต่างกันที่ความเชื่อมั่น 95% มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.89 ชิ้น/กิโลกรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 11.09 ชิ้น/กิโลกรัม อยู่ในช่วง 3.84-17.93 ชิ้น/กิโลกรัม

4.1.3. รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ตารางที่ 17 รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)			
จุดน้ำเข้า	เส้นใย	1.33	5.33	5.67	2.67	15.00	3.75	39%
	ไร้รูปแบบ	3.33	3.00	14.67	2.00	23.00	5.75	60%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	1%
บ่อเติม อากาศ	เส้นใย	3.33	5.00	1.33	1.00	10.67	2.67	53%
	ไร้รูปแบบ	1.00	1.33	5.67	1.33	9.33	2.33	47%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อดก ตะกอน	เส้นใย	2.00	1.33	3.00	2.00	8.33	2.08	69%
	ไร้รูปแบบ	1.33	0.67	1.67	0.00	3.67	0.92	31%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำออก	เส้นใย	0.33	0.33	0.67	0.00	1.33	0.33	24%
	ไร้รูปแบบ	0.67	0.00	1.33	2.00	4.00	1.00	71%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	6%
รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)			
บ่อเติม อากาศ	เส้นใย	2.56	10.25	30.74	12.81	56.35	14.09	39%
	ไร้รูปแบบ	15.37	7.68	51.23	12.81	87.09	21.77	61%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อดก ตะกอน	เส้นใย	7.68	5.12	20.49	5.12	38.42	9.61	44%
	ไร้รูปแบบ	2.56	5.12	25.61	10.25	43.54	10.89	50%
	แท่ง	0.00	0.00	5.12	0.00	5.12	1.28	6%

ตารางที่ 17 และภาพที่ 27 แสดงผลการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) จากการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้ 3 ประเภทคือ เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง (ภาพที่ 26) โดยผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าจุดเก็บตัวอย่างน้ำเข้ามีไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 60% รองลงมาคือไมโครพลาสติกรูปร่างแบบเส้นใยเท่ากับ 39% และไมโครพลาสติกรูปร่างแบบแท่งเท่ากับ 1% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 53% รองลงมาคือรูปร่างแบบไร้รูปแบบเท่ากับ 47% ซึ่งไม่พบไมโครพลาสติกในรูปแบบแท่ง จุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อตกตะกอนพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 69% และพบไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบเท่ากับ 31% ซึ่งไม่พบรูปร่างแบบแท่ง จุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำออกจากระบบพบไมโครพลาสติกในรูปแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 71% เนื่องจากรูปร่างไร้รูปแบบนั้นมีขนาดเล็กจึงทำให้สามารถลอยน้ำได้ดีจึงทำให้พบไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบมากในจุดน้ำออก ส่วนไมโครพลาสติกรูปร่างแบบเส้นใยเท่ากับ 24% และพบไมโครพลาสติกในรูปแบบแท่งเท่ากับ 6% ในขณะที่รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ พบว่าจุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อเติมอากาศพบรูปร่างไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 61% ไมโครพลาสติกแบบเส้นใยอยู่เท่ากับ 39% และไม่พบไมโครพลาสติกแบบแท่ง จุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อตกตะกอนพบไมโครพลาสติกในรูปแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 50% ไมโครพลาสติกในรูปแบบเส้นใยเท่ากับ 44% และไมโครพลาสติกในรูปแบบแท่งเท่ากับ 6% (ภาพที่ 27)

จากการศึกษารูปร่างไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ซึ่งมีรูปร่างที่พบคือ เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง (ภาพที่ 26) โดยพบว่ารูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำโดยรวมพบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 54% เนื่องจากไมโครพลาสติกแบบเส้นใยในน้ำเสียชุมชนเกิดจากกิจกรรมซักล้างสิ่งทอของคนในชุมชนและอาจจะลอยอยู่ในน้ำได้ดีกว่ารูปร่างไร้รูปแบบและแบบแท่ง รองลงมาคือรูปร่างแบบไร้รูปแบบเท่ากับ 45% และพบน้อยที่สุดคือรูปแบบแท่งเท่ากับ 1% ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนโดยรวมพบรูปร่างแบบไร้รูปแบบ เส้นใยและแบบแท่งเท่ากับ 57%, 41% และ 2% ตามลำดับ เนื่องจากไมโครพลาสติกไร้รูปแบบพบมากที่สุดในตัวอย่างตะกอนอาจเกิดจากการที่ไมโครพลาสติกชิ้นใหญ่เกิดการแตกหักจนกลายเป็นไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กลง (ภาพที่ 28) และเนื่องจากว่ารูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างเป็น เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง จึงสรุปได้ว่าไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการแตกหักของพลาสติก หรือหลุดลอกออกจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอ (Secondary Microplastic) และไม่พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กตั้งแต่ขั้นแรกๆของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ (Primary microplastics) เช่นเม็ดป็ดส์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tang et al. (2020)

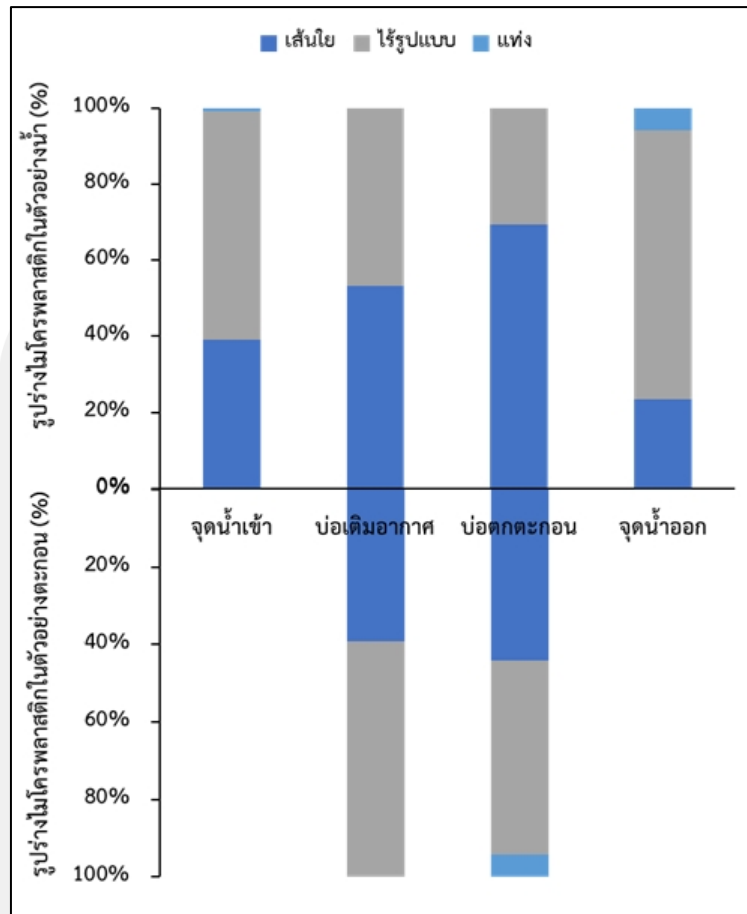
ที่ทำการศึกษาไมโครพลาสติกในน้ำเสียครัวเรือนจากเทศบาลของเมืองหวู่ฮั่นประเทศจีนพบว่าไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยและรูปร่างไร้รูปแบบโดยมีค่าอยู่ในช่วง 59.7%–73.2% และ 21.4%–30.0% ตามลำดับ จากตัวอย่างทั้งหมดของบ่อบำบัดน้ำเสีย ในขณะที่โพนและวงรีนั้นมีสัดส่วนค่อนข้างน้อย โดยคิดเป็น 0.55–0.65% และ 0.21–0.55% ตามลำดับ เนื่องจากเป็นบ่อบำบัดน้ำเสียของเทศบาลนั้น มีการรองรับน้ำเสียจากครัวเรือนโดยมีกิจกรรมการซักล้างเสื้อผ้าซึ่งเป็นสาเหตุหลักของเส้นใยไมโครพลาสติกและการชำระล้างร่างกายจึงทำให้พบไมโครพลาสติกที่เป็นลักษณะเส้นใยและไร้รูปแบบอยู่ เยอะ โดยเส้นใยไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมเสื้อผ้าหรือสิ่งทอและการปล่อยน้ำเสียจากการซักล้างในชีวิตประจำวันลงสู่บ่อบำบัดน้ำเสียชุมชน นอกจากนี้ไมโครพลาสติกในรูปแบบเกล็ดฟิล์มและไร้รูปแบบที่มีสาเหตุมาจากการย่อยสลายของขยะพลาสติก (Xu et al., 2019)



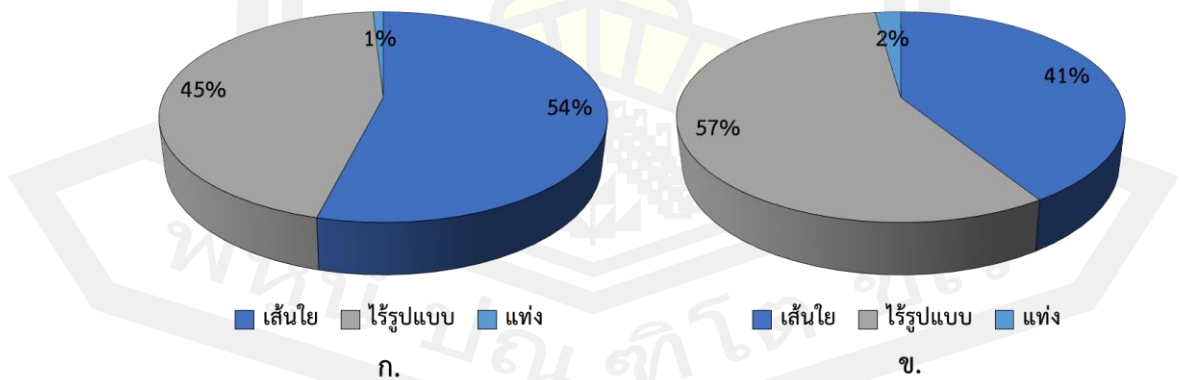
ก. ไร้รูปแบบสีฟ้า ข. ไร้รูปแบบสีชมพู ค. ไร้รูปแบบสีขาวใส ง. แท่งสีน้ำเงิน จ. เส้นใยสีแดง ฉ. ไร้รูปแบบสีแดง

ภาพที่ 26 รูปร่างไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

พหุ ม ปณ ทิ โด ชี เว



ภาพที่ 27 รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)



ก. รูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. รูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน
ภาพที่ 28 สัดส่วนของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

4.1.4. รูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

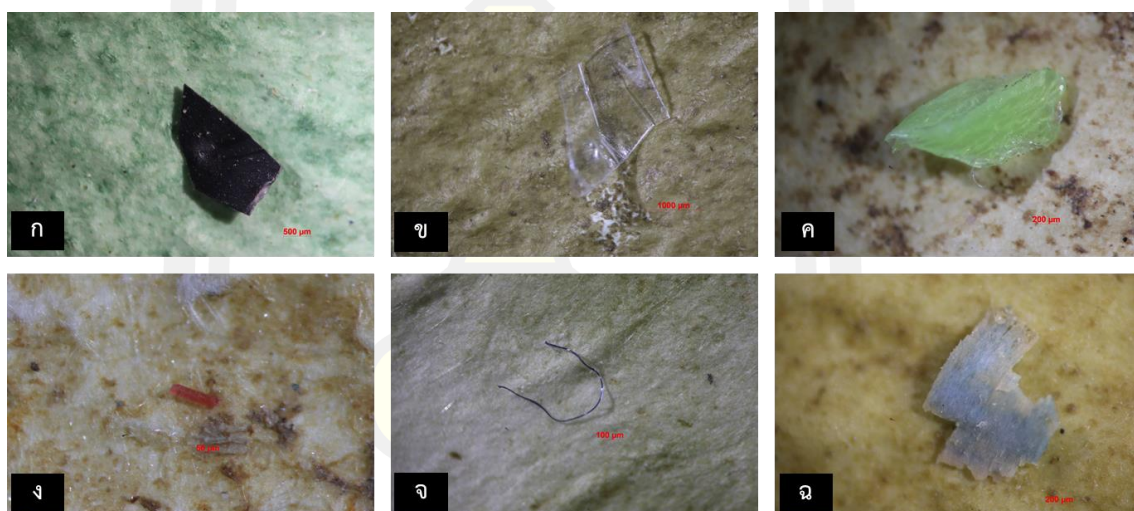
ตารางที่ 18 รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	
จุดน้ำเข้า	เส้นใย	4.67	2.33	2.00	2.33	11.33	2.22	26%
	ไร้รูปแบบ	3.33	5.67	9.33	4.00	22.33	6.33	73%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.11	1%
บ่อหมัก	เส้นใย	3.00	3.33	4.67	3.00	14.00	3.67	63%
	ไร้รูปแบบ	1.00	1.67	3.00	1.33	7.00	2.00	35%
	แท่ง	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.11	2%
บ่อผึ่ง	เส้นใย	2.33	2.33	1.00	2.33	8.00	1.89	49%
	ไร้รูปแบบ	0.33	1.00	2.33	2.67	6.33	2.00	51%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อบ่ม	เส้นใย	0.00	1.67	0.67	4.00	6.33	2.11	79%
	ไร้รูปแบบ	1.67	0.00	1.00	0.67	3.33	0.56	21%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำออก	เส้นใย	1.67	1.00	0.67	1.33	4.67	1.00	53%
	ไร้รูปแบบ	0.33	0.00	1.33	1.33	3.00	0.89	47%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	
บ่อหมัก	เส้นใย	2.56	10.25	10.25	20.49	43.54	10.89	31%
	ไร้รูปแบบ	12.81	25.61	33.30	25.61	97.33	24.33	63%
	แท่ง	0.00	0.00	7.68	0.00	7.68	1.92	6%
บ่อผึ่ง	เส้นใย	2.56	7.68	15.37	10.25	35.86	8.96	35%
	ไร้รูปแบบ	7.68	12.81	25.61	17.93	64.03	16.01	59%
	แท่ง	0.00	2.56	2.56	0.00	5.12	1.28	5%

ตารางที่ 18 และภาพที่ 30 แสดงผลการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) จากการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง (ภาพที่ 29) โดยผลการศึกษาจุดเก็บตัวอย่างน้ำพบว่าในจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้าระบบบำบัดพบรูปร่างไมโครพลาสติกในแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 73% รองลงมาคือไมโครพลาสติกรูปแบบเส้นใยเท่ากับ 26% และไมโครพลาสติกรูปแบบแท่งเท่ากับ 1% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักพบไมโครพลาสติกในรูปแบบเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 63% รองลงมาคือรูปร่างแบบไร้รูปแบบเท่ากับ 35% และรูปแบบแท่งเท่ากับ 2% จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝึ่งพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 51% และรูปแบบเส้นใยเท่ากับ 49% ซึ่งไม่พบไมโครพลาสติกในรูปแบบแท่ง จุดเก็บตัวอย่างบ่อบ่มพบไมโครพลาสติกในรูปแบบเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 79% และรูปร่างแบบไร้รูปแบบเท่ากับ 21% ซึ่งไม่พบไมโครพลาสติกในรูปแบบแท่ง จุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำออกจากระบบพบไมโครพลาสติกที่เป็นรูปร่างแบบเส้นใยมากที่สุดเท่ากับ 53% และรูปร่างแบบไร้รูปแบบเท่ากับ 47% ซึ่งไม่พบไมโครพลาสติกในรูปแบบแท่ง การศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) นั้นพบว่าในจุดเก็บตัวอย่างของบ่อหมักนั้นพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 63% รองลงมาคือรูปร่างแบบเส้นใยเท่ากับ 31% และรูปร่างแบบแท่งเท่ากับ 6% ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝึ่งพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 59% รองลงมาคือรูปร่างแบบเส้นใยเท่ากับ 36% และไมโครพลาสติกรูปร่างแบบแท่งเท่ากับ 5% (ภาพที่ 30)

จากการศึกษารูปร่างไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียรซึ่งมีรูปร่างที่พบคือ เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง (ภาพที่ 29) โดยพบว่ารูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำโดยรวมพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบไร้รูปแบบมากที่สุดเท่ากับ 51% เนื่องจากไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบอาจเกิดจากการที่มีขยะพลาสติกในจุดน้ำเข้าระบบสะสมอยู่เกิดการแตกหักเป็นไมโครพลาสติก รองลงมาคือรูปร่างเส้นใยเท่ากับ 48% และพบน้อยที่สุดคือรูปแบบแท่ง เท่ากับ 1% ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนโดยรวมพบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบไร้รูปแบบ เส้นใยและแบบแท่ง เท่ากับ 62%, 33% และ 6% ตามลำดับ เนื่องจากไมโครพลาสติกไร้รูปแบบพบมากที่สุดในตัวอย่างตะกอนอาจเกิดจากการที่พลาสติกที่สะสมอยู่ในตะกอนเกิดการแตกหักจนกลายเป็นไมโครพลาสติก (ภาพที่ 31) และเนื่องจากว่ารูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างเป็น เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง จึงสรุปได้ว่าไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการแตกหักของพลาสติก หรือหลุดลอกออกจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอ (Secondary Microplastic) และไม่พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กตั้งแต่ชิ้นแรกของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ (Primary microplastics) โดย

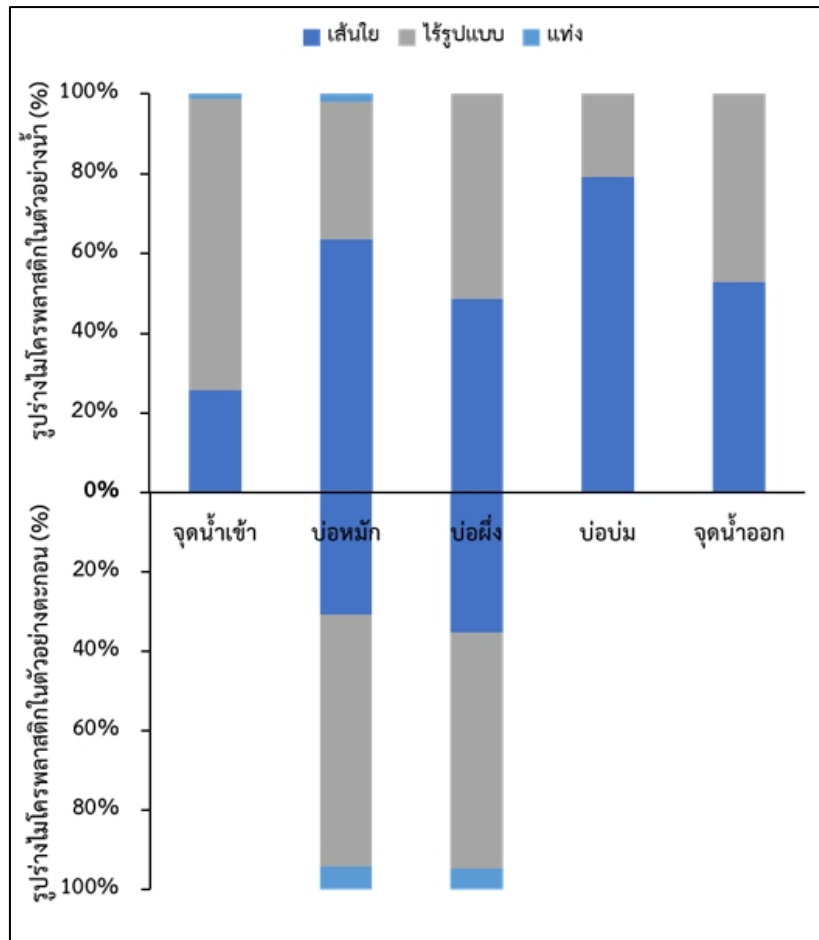
งานวิจัยของ Xu et al. (2019) พบว่ารูปร่างไร้รูปแบบและรูปแบบแท่งอาจเกิดจากการย่อยสลายเป็นชิ้นเล็กๆ ของขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจากการใช้พลาสติกเป็นประจำของประชากรในชุมชน ไมโครพลาสติกกรูปร่างแบบเส้นใยนั้นเป็นรูปแบบที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยในตัวอย่างน้ำมีค่าไมโครพลาสติกเท่ากับ 48% ตัวอย่างตะกอนเท่ากับ 33% โดยในงานวิจัยของ Cesa et al. (2017) และ Liu et al. (2021) กล่าวว่าไมโครพลาสติกกรูปร่างเส้นใยเกิดจากการซักเสื้อผ้าหรือผลิตภัณฑ์สิ่งทอของประชากรในชุมชน และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Tang et al. (2020) ที่ทำการศึกษาไมโครพลาสติกในน้ำเสียชุมชนโดยพบว่ามีไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างแบบเส้นใยเท่ากับ 62.7% ไร้รูปแบบเท่ากับ 24.8% ฟิล์มเท่ากับ 5.18% โฟมเท่ากับ 0.68% และไมโครบีดเท่ากับ 6.04% โดยเป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการชำระล้างผลิตภัณฑ์สิ่งทอเป็นส่วนใหญ่



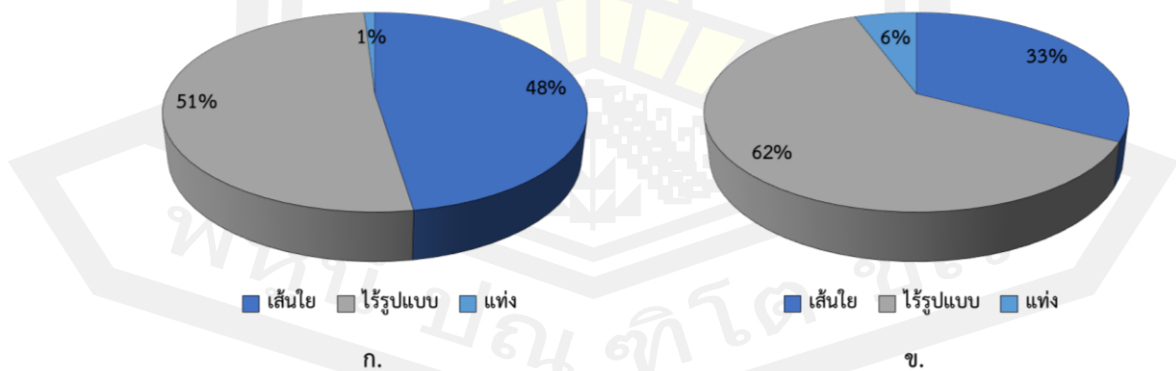
ก. ไร้รูปแบบสีดำ ข. ไร้รูปแบบสีขาวใส ค. ไร้รูปแบบสีเขียว ง. เส้นใยสีขาวใส จ. เส้นใยสีน้ำเงิน ฉ. ไร้รูปแบบสีขาวใส

ภาพที่ 29 ภาพรูปร่างไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

พหุ ประถมศึกษา



ภาพที่ 30 ผลการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)



ก. รูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. รูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน
ภาพที่ 31 สัดส่วนของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

4.1.5. ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ตารางที่ 19 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
จุดน้ำเข้า	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.22	2%
	น้ำเงิน	1.00	2.67	6.00	1.33	11.00	3.33	30%
	ม่วง	0.00	1.33	0.67	0.67	2.67	0.89	8%
	ฟ้า	0.33	1.00	3.67	0.33	5.33	1.67	15%
	แดง	0.33	0.00	6.00	0.67	7.00	2.22	20%
	ชมพู	0.67	1.00	0.67	0.00	2.33	0.56	5%
	ขาวใส	2.33	2.00	3.33	0.33	8.00	1.89	17%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.33	0.00	1.00	1.33	0.44	4%
บ่อเติมอากาศ	ดำ	0.00	1.00	0.67	0.00	1.67	0.56	11%
	น้ำเงิน	2.67	3.00	3.33	0.33	9.33	2.22	43%
	ม่วง	0.33	0.00	0.00	0.33	0.67	0.11	2%
	ฟ้า	0.67	0.67	0.33	0.00	1.67	0.33	6%
	แดง	0.00	1.33	1.67	1.33	4.33	1.44	28%
	ชมพู	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0%
	ขาวใส	0.33	0.33	0.67	0.33	1.67	0.44	9%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.11	2%

ตารางที่ 19 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

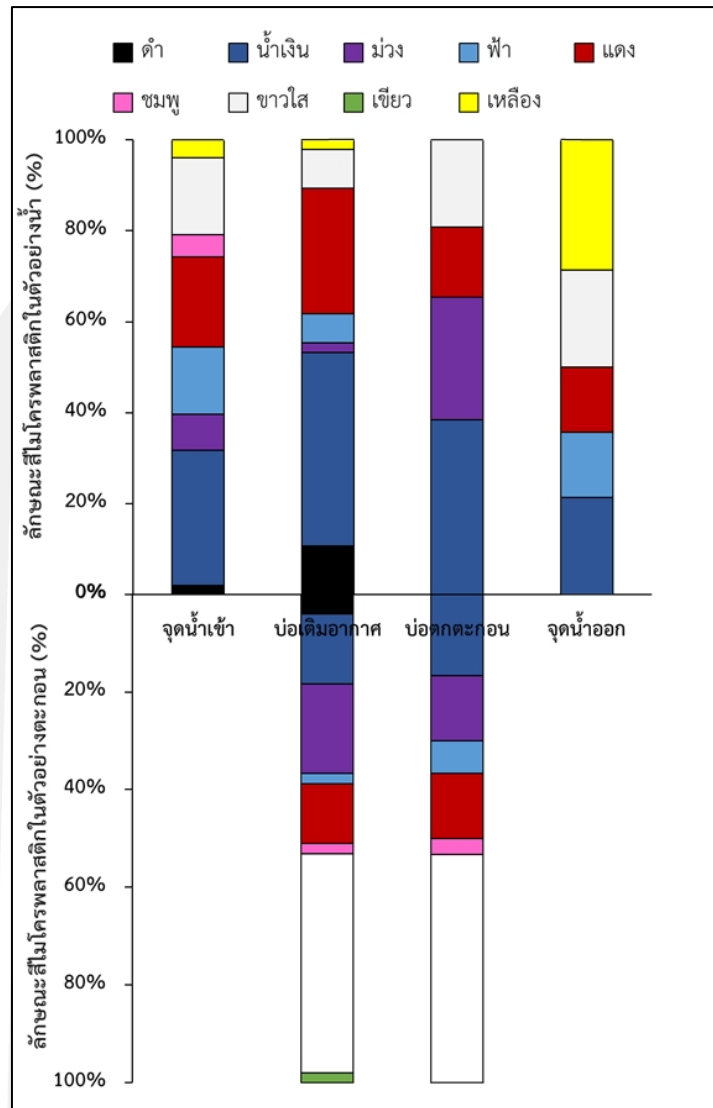
จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
บ่อดก ตะกอน	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	0.33	1.33	1.33	0.67	3.67	1.11	38%
	ม่วง	1.00	0.00	1.00	1.33	3.33	0.78	27%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	แดง	0.67	0.00	1.33	0.00	2.00	0.44	15%
	ชมพู	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0%
	ขาวใส	1.00	0.67	1.00	0.00	2.67	0.56	19%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำออก	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	0.33	0.33	0.67	0.00	1.33	0.33	21%
	ม่วง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.22	14%
	แดง	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.22	14%
	ชมพู	0.67	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0%
	ขาวใส	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	0.33	21%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.67	0.67	1.33	0.44	29%
ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะสี	รอบที่ 1 (ชิ้น/กก.)	รอบที่ 2 (ชิ้น/กก.)	รอบที่ 3 (ชิ้น/กก.)	รอบที่ 4 (ชิ้น/กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์เซ็นต์
บ่อดก อากาศ	ดำ	0.00	0.00	2.56	2.56	5.12	1.28	4%
	น้ำเงิน	2.56	0.00	10.25	7.68	20.49	5.12	14%
	ม่วง	0.00	0.00	20.49	2.56	23.05	5.76	16%
	ฟ้า	2.56	0.00	0.00	2.56	5.12	1.28	4%
	แดง	2.56	5.12	2.56	7.68	17.93	4.48	13%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	2.56	2.56	0.64	2%
	ขาวใส	10.25	12.81	43.54	0.00	66.59	16.65	46%

ตารางที่ 19 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

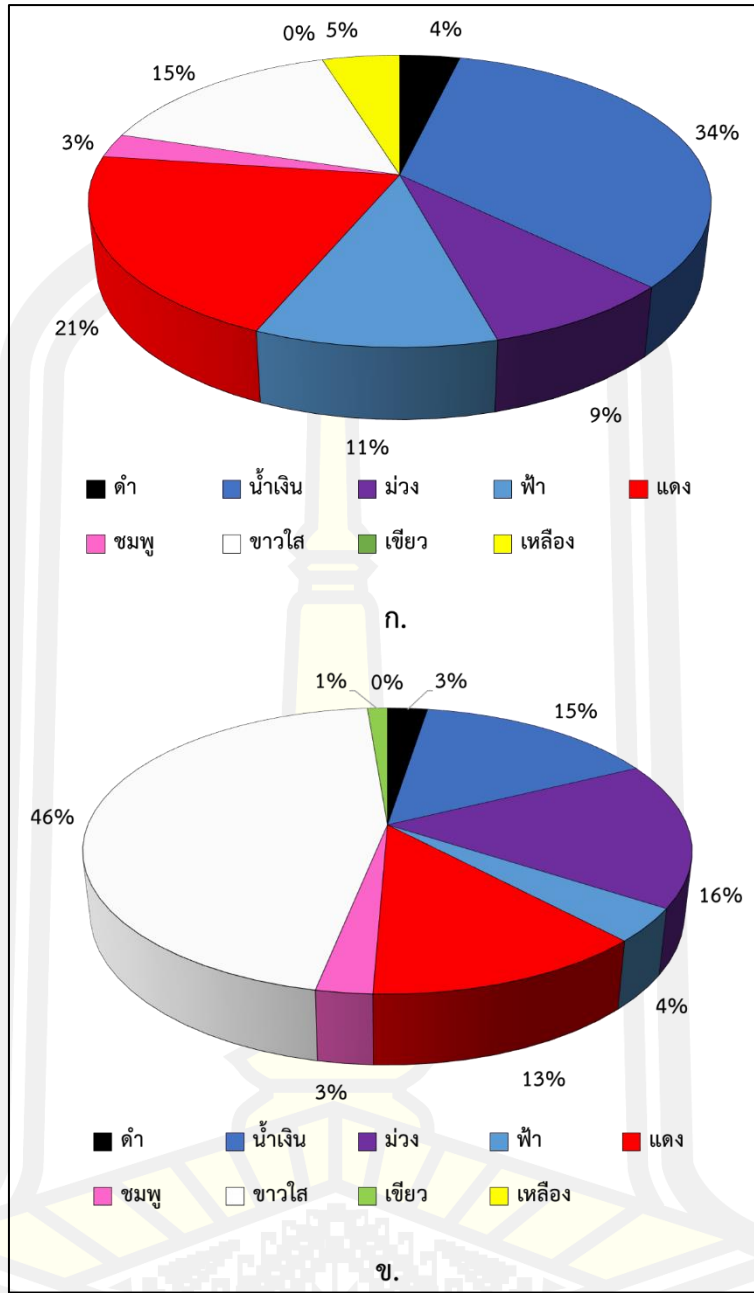
จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/ กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)			
บ่อเติมอากาศ	เขียว	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อตก ตะกอน	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	7.68	0.00	10.25	2.56	20.49	5.12	24%
	ม่วง	0.00	2.56	5.12	2.56	10.25	2.56	12%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.00	5.12	5.12	1.28	6%
	แดง	0.00	0.00	5.12	5.12	10.25	2.56	12%
	ชมพู	0.00	2.56	0.00	0.00	2.56	0.64	3%
	ขาวใส	2.56	5.12	30.74	0.00	38.42	9.61	44%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ 19 แสดงลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าลักษณะสีของไมโครพลาสติกที่พบคือ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส สีเขียว และสีเหลือง (ภาพที่ 32) โดยจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้าระบบนั้นพบสีน้ำเงินมากที่สุด เท่ากับ 30% รองลงมาคือสีแดง 20% สีขาวใส 17% สีม่วง 8% สีเหลือง 4% และสีดำ 2% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศพบสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 43% รองลงมาคือสีแดง 28% สีดำ 11% สีขาวใส 9% สีฟ้า 6% ส่วนสีม่วงและสีเหลืองพบเท่ากัน เท่ากับ 2% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อตกตะกอนพบสีน้ำเงินมากที่สุด เท่ากับ 38% รองลงมาคือสีม่วง 27% สีขาวใส 19% และสีแดง 15% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำออกจากระบบพบคือสีเหลืองมากที่สุดเท่ากับ 29% รองลงมาคือสีน้ำเงินและสีขาวใสพบเท่ากัน เท่ากับ 21% สีฟ้าและสีแดงพบเท่ากัน เท่ากับ 14% ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าจุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศพบไมโครพลาสติกสีขาวใสมากที่สุดเท่ากับ 46% รองลงมาคือสีม่วง 16% สีน้ำเงิน 14% สีแดง 13% สีดำและสีฟ้าพบเท่ากัน เท่ากับ 4% สีชมพูและสีเขียวพบเท่ากัน เท่ากับ 2% ตามลำดับ โดยจุดเก็บตัวอย่างตะกอนในบ่อตกตะกอนพบไมโครพลาสติกสีขาวใสมากที่สุด เท่ากับ 44% รองลงมาคือสีน้ำเงิน 24% สีม่วงและสีแดงพบเท่ากัน เท่ากับ 12% สีฟ้า 6% และสีชมพู 3% ตามลำดับ

จากการศึกษาสีของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศโดยรวม (ภาพที่ 33) พบว่ามีไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส และสีเหลือง โดยคิดเป็น 4%, 34%, 9%, 11%, 21%, 3%, 15% และ 5% ตามลำดับ โดยไมโครพลาสติกในน้ำเสียพบสีน้ำเงินมากที่สุด เท่ากับ 34% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีน้ำเงินส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้มีลักษณะเป็นเส้นใยอาจเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้จะมีแหล่งหลักมาจากการซักล้างสิ่งทอจากกิจกรรมของคนในชุมชน ในขณะที่สีของไมโครพลาสติกในตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศโดยรวมพบทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส และสีเขียว ซึ่งคิดเป็น 3%, 15%, 16%, 4%, 13%, 3%, 46% และ 1% ตามลำดับ โดยไมโครพลาสติกในตะกอนพบสีขาวใสมากที่สุด เท่ากับ 46% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีขาวใสส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศนี้ส่วนใหญ่เป็นรูปร่างไร้รูปแบบอาจเป็นไปได้ว่ามีแหล่งหลักมาจากขยะพลาสติกที่แตกหัก โดยงานวิจัยของ Long et al. (2019) ได้กล่าวว่าไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าและน้ำทิ้งนั้นประกอบด้วยไมโครพลาสติกสีดำ สีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว และสีที่พบมากที่สุดคือสีขาวซึ่งจะพบบ่อยกว่าพลาสติกที่มีสีอื่นๆ (Zhang et al., 2017; Li et al., 2018; Long et al., 2019) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้จะมีแหล่งหลักมาจากขยะพลาสติกและการซักล้างสิ่งทอ (Li et al., 2018) แต่เมื่อเทียบสัดส่วนลักษณะสีของไมโครพลาสติกที่มีสีเข้มจะคิดเป็น 54% ในขณะที่สีขาวใสจะคิดเป็น 46% พบว่ามีจำนวนน้อยกว่าพลาสติกที่มีสีเข้ม แสดงว่าไมโครพลาสติกที่เป็นสีขาวใสอาจเกิดจากพลาสติกที่สามารถนำไปรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แสดงว่าพลาสติกที่มีสีขาวใสจะถูกเก็บไปเข้ากระบวนการรีไซเคิล แต่พลาสติกที่มีสีเข้มนั้นไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ จึงมีโอกาสหลุดรอดสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก



ภาพที่ 32 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)



ก. ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน
 ภาพที่ 33 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ตารางที่ 20 ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)			
บ่อผึ่ง	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	1.33	1.00	1.33	1.00	4.67	1.17	33%
	ม่วง	1.00	1.00	0.00	1.00	3.00	0.75	21%
	ฟ้า	0.00	0.33	0.00	1.00	1.33	0.33	9%
	แดง	0.00	0.00	0.33	1.67	2.00	0.50	14%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	0.33	0.67	1.33	0.00	2.33	0.58	16%
	เขียว	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33	0.08	2%
	เหลือง	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.17	5%
บ่อป่	ดำ	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	14%
	น้ำเงิน	0.00	1.33	0.33	1.00	2.67	0.67	28%
	ม่วง	0.00	0.33	0.00	2.67	3.00	0.75	31%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	3%
	แดง	0.00	0.00	0.33	0.67	1.00	0.25	10%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	0.33	0.00	0.33	0.33	1.00	0.25	10%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	3%

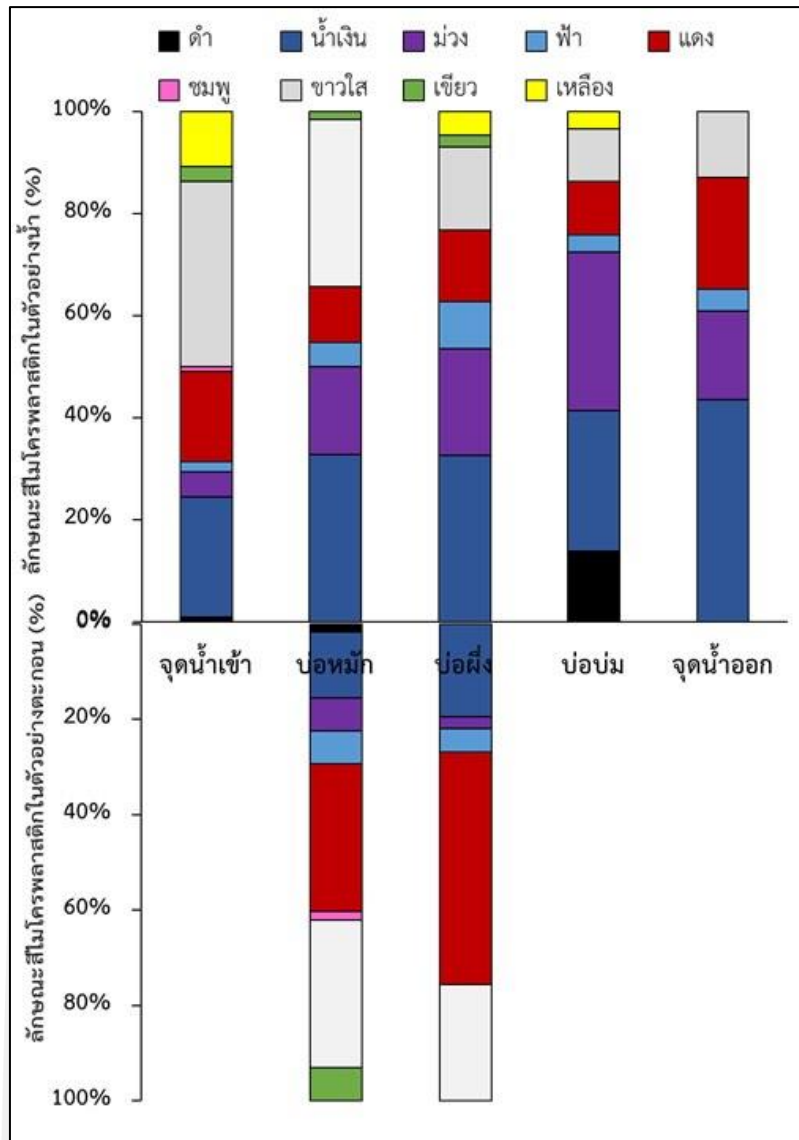
ตารางที่ 20 ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)			
บ่อฝิ่ง	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	0.00	2.56	7.68	10.25	20.49	5.12	20%
	ม่วง	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	ฟ้า	2.56	0.00	0.00	2.56	5.12	1.28	5%
	แดง	2.56	10.25	23.05	15.37	51.23	12.81	49%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	5.12	10.25	10.25	0.00	25.61	6.40	24%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

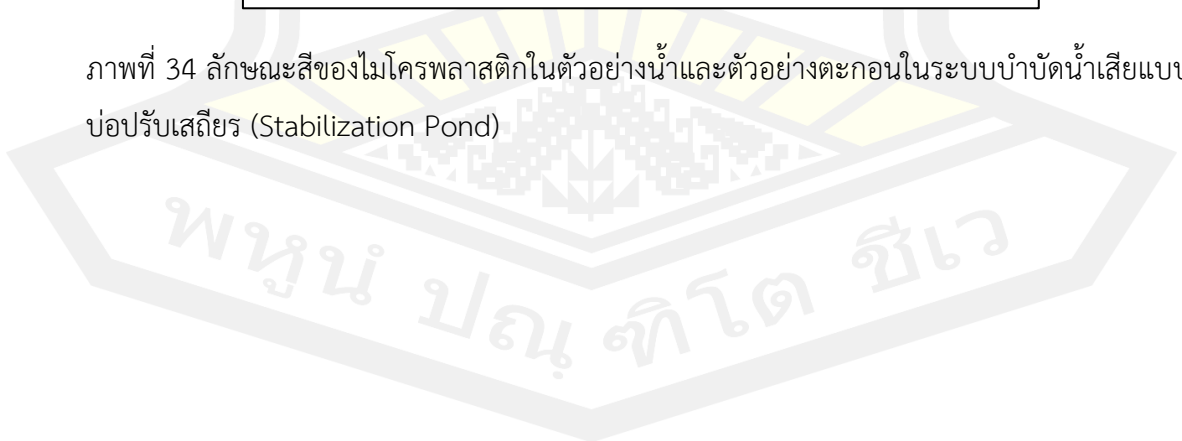
ตารางที่ 20 แสดงลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เมื่อศึกษาลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรพบว่าจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้านั้นพบลักษณะของสีขาวใสมากที่สุดเท่ากับ 36% รองลงมาคือสีน้ำเงิน 24% สีแดง 18% สีเหลือง 11% สีม่วง 5% สีเขียว 3% สีฟ้า 2% สีดำและสีชมพูพบเท่ากันเท่ากับ 1% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักพบไมโครพลาสติกสีน้ำเงินและสีขาวใสมากที่สุดเท่ากันเท่ากับ 33% รองลงมาคือสีม่วง 17% สีแดง 11% สีฟ้า 5% และสีเขียว 2% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อฝิ่งพบไมโครพลาสติกสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 33% รองลงมาคือสีม่วง 21% สีขาวใส 16% สีแดง 14% สีเหลือง 5% และสีเขียว 2% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างบ่อบ่มพบไมโครพลาสติกสีม่วงมากที่สุดเท่ากับ 31% รองลงมาคือสีน้ำเงิน 28% สีดำ 14% สีแดงและสีขาวใสพบเท่ากันเท่ากับ 10% สีฟ้าและสีเหลือง 3% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำออกจากระบบพบไมโครพลาสติกสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 43% รองลงมาคือสีแดง 22% สีม่วง 17% สีขาวใส 13% และสีฟ้า 4% ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนในตัวอย่างตะกอนที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าไมโครพลาสติกในจุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักพบสีแดงและสีขาวใสมากที่สุดเท่ากันเท่ากับ 31% รองลงมาคือสีน้ำเงิน 14% สีม่วง สีฟ้าและสีเขียวพบเท่ากันเท่ากับ 7% และสีชมพู 2% ตามลำดับ ไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนที่จุดบ่อบ่มนั้นพบไมโครพลาสติกสีแดงมากที่สุดเท่ากับ 49% รองลงมาคือสีขาวใส 24% สีน้ำเงิน 20% สีฟ้า 5% และสีม่วง 2% ตามลำดับ (ภาพที่ 34)

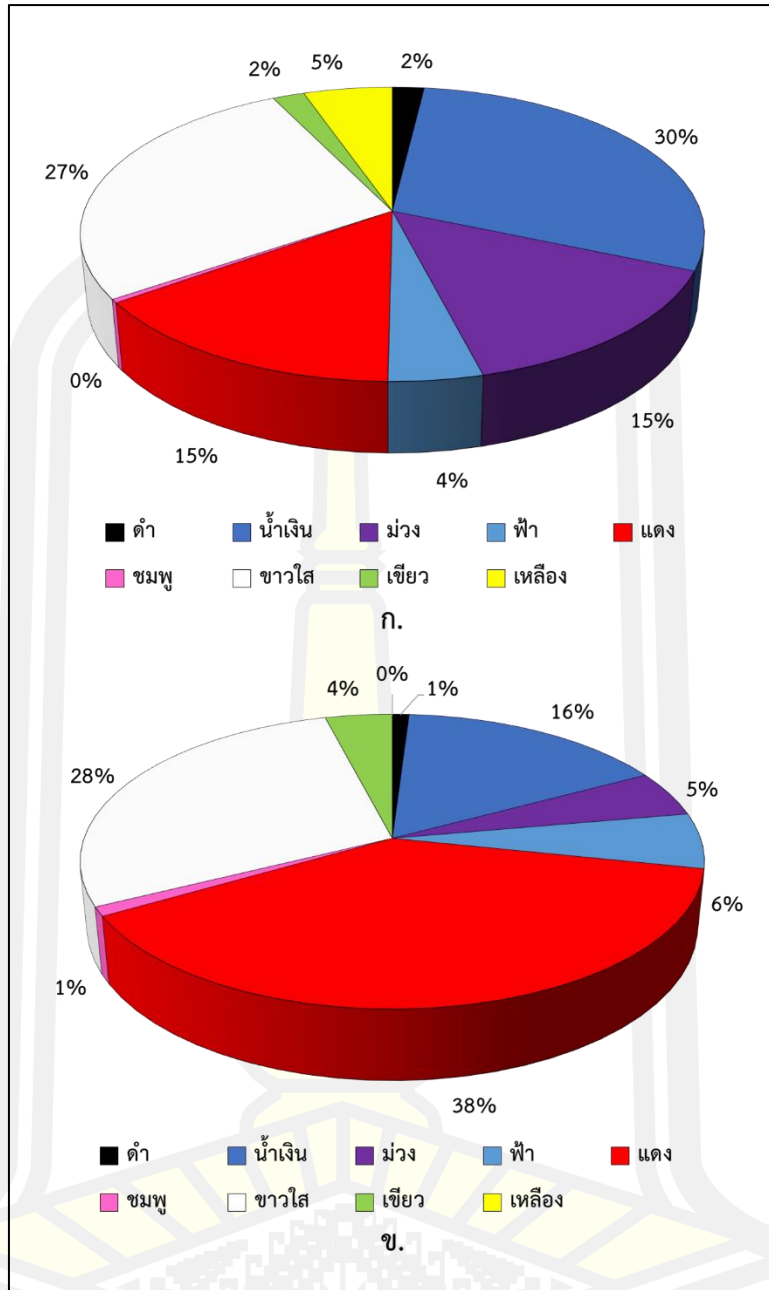
จากการศึกษาลักษณะของสีของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร โดยรวม (ภาพที่ 35) พบว่ามีไมโครพลาสติกทั้งหมด 9 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส สีเขียว และสีเหลือง โดยคิดเป็น 2%, 30%, 15%, 4%, 15%, 0%, 27%, 1% และ 5% ตามลำดับ โดยไมโครพลาสติกในน้ำเสียพบสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 30% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีน้ำเงินส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้มีลักษณะเป็นเส้นใยอาจเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีแหล่งหลักมาจากการซักล้างสิ่งทอจากกิจกรรมของคนในชุมชน ในขณะที่สีของไมโครพลาสติกในตะกอนของบ่อบำบัดแบบปรับเสถียรโดยรวมพบทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส และสีเขียว โดยคิดเป็น 1%, 16%, 5%, 6%, 38%, 1%, 28% และ 4% ตามลำดับ โดยไมโครพลาสติกในตะกอนพบสีแดงมากที่สุดเท่ากับ 38% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีแดงส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียรนี้ส่วนใหญ่เป็นรูปร่างไร้รูปแบบอาจเป็นไปได้ว่ามีแหล่งหลักมาจากพลาสติกที่แตกหักเป็นไมโครพลาสติก โดยงานวิจัยของ Murphy et al. (2016) ทำการศึกษาไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งพบว่าไมโครพลาสติกส่วนใหญ่เป็นสีแดง 26.7% สีน้ำเงิน 25.4% สีเขียว 19.1% สีดำ 5% และสีอื่นๆ นอกจากนี้ไมโครพลาสติกสีน้ำเงินส่วนมากมีรูปร่างเป็นเส้นใยซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีแหล่งหลักมาจากขยะพลาสติกและการซักล้างสิ่งทอ (Li et al., 2018) แต่เมื่อเทียบสัดส่วนลักษณะสีของไมโครพลาสติกที่มีสีเข้มจะคิดเป็น 72% ในขณะที่สีขาวใสจะคิดเป็น 28% พบว่ามีจำนวนน้อยกว่าพลาสติกที่มีสีเข้ม แสดงว่าพลาสติกที่มีสีขาวใสจะถูกเก็บไปเข้ากระบวนการรีไซเคิล แต่พลาสติกที่มีสีเข้มนั้นไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ จึงมีโอกาสหลุดรอดสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก





ภาพที่ 34 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)





ก. ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน
 ภาพที่ 35 ลักษณะสีของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

4.1.7. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ตารางที่ 21 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ				รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)			
จุดน้ำเข้า	0.02-0.3	0.33	2.00	12.67	1.67	16.67	4.17	43%
	0.4-1.0	1.67	3.33	4.00	1.33	10.33	2.58	27%
	1.1-2.0	1.33	1.67	2.67	1.00	6.67	1.67	17%
	2.1-3.5	1.00	1.33	1.00	1.00	4.33	1.08	11%
	3.6-5.0	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1%
บ่อเติม อากาศ	0.02-0.3	0.00	1.00	5.67	1.00	7.67	1.92	38%
	0.4-1.0	2.00	2.67	0.67	0.33	5.67	1.42	28%
	1.1-2.0	2.33	1.67	0.33	1.00	5.33	1.33	27%
	2.1-3.5	0.00	1.00	0.33	0.00	1.33	0.33	7%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อดก ตะกอน	0.02-0.3	0.00	0.00	1.33	0.00	1.33	0.33	11%
	0.4-1.0	1.67	0.33	1.67	0.67	4.33	1.08	36%
	1.1-2.0	1.67	1.00	1.67	0.67	5.00	1.25	42%
	2.1-3.5	0.00	0.67	0.00	0.67	1.33	0.33	11%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำออก	0.02-0.3	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	0.75	50%
	0.4-1.0	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	0.25	17%
	1.1-2.0	0.67	0.33	0.33	0.00	1.33	0.33	22%
	2.1-3.5	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.08	6%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	6%

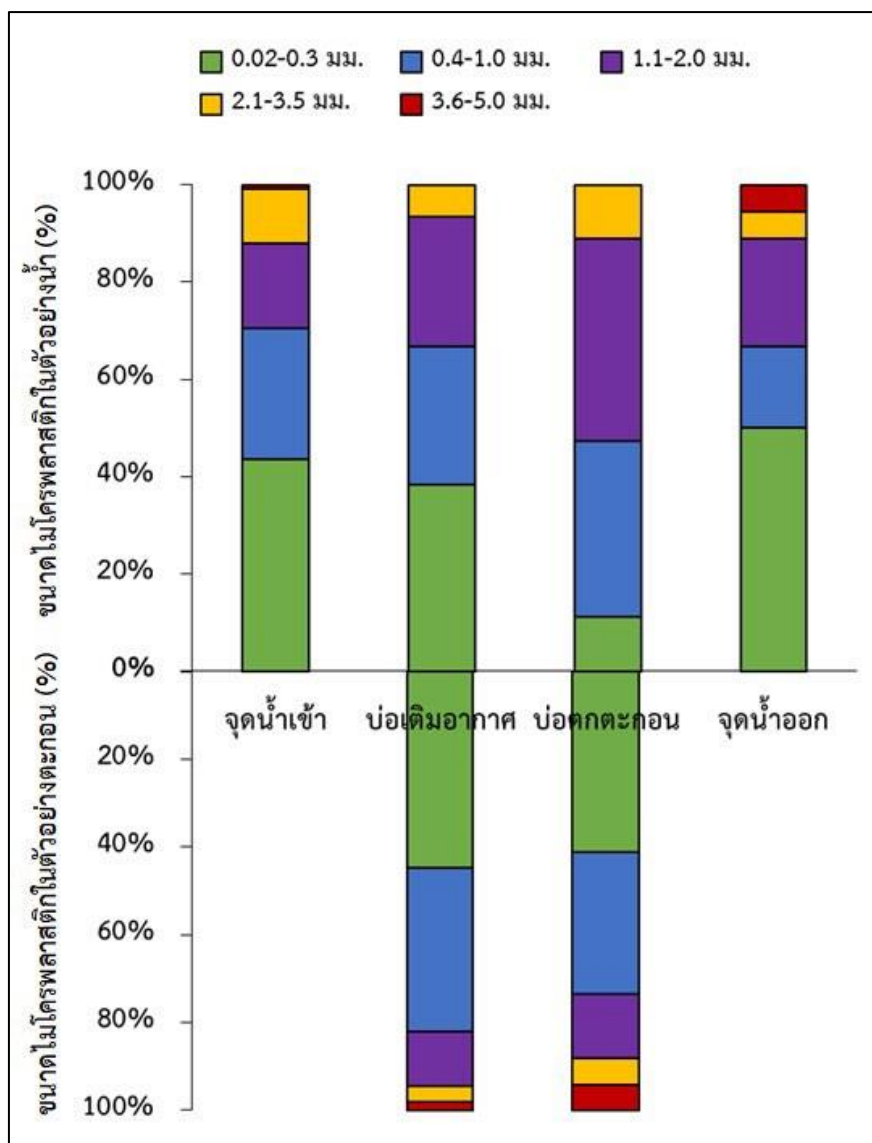
ตารางที่ 21 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
 สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
บ่อเติม อากาศ	0.02-0.3	10.25	0.00	40.98	12.81	64.03	16.01	45%
	0.4-1.0	5.12	12.81	28.17	7.68	53.79	13.45	38%
	1.1-2.0	2.56	5.12	7.68	2.56	17.93	4.48	13%
	2.1-3.5	0.00	0.00	2.56	2.56	5.12	1.28	4%
	3.6-5.0	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
บ่อดก ตะกอน	0.02-0.3	0.00	2.56	23.05	10.25	35.86	8.96	41%
	0.4-1.0	0.00	7.68	20.49	0.00	28.17	7.04	32%
	1.1-2.0	5.12	0.00	5.12	2.56	12.81	3.20	15%
	2.1-3.5	5.12	0.00	0.00	0.00	5.12	1.28	6%
	3.6-5.0	0.00	0.00	2.56	2.56	5.12	1.28	6%

ตารางที่ 21 แสดงขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัด
 น้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) โดยแบ่งขนาดไมโครพลาสติกออกเป็น 5 ขนาด
 ได้แก่ 0.02-0.3 มิลลิเมตร 0.4-1.0 มิลลิเมตร 1.1-2.0 มิลลิเมตร 2.1-3.5 มิลลิเมตร และ 3.6-5.0
 มิลลิเมตร โดยการศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระ
 เติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าขนาดที่พบมากในจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้าคือขนาด 0.02-0.3
 มิลลิเมตร เท่ากับ 43% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 27%, ขนาด 1.1-2.0
 มิลลิเมตร เท่ากับ 17%, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 11% และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร
 เท่ากับ 1% จุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อเติมอากาศขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ ขนาด 0.02-0.3
 มิลลิเมตร เท่ากับ 38% ขนาดที่พบรองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 28%, ขนาด 1.1-
 2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 27% และขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 7% จุดเก็บตัวอย่างบ่อดกตะกอน
 พบขนาดของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 42% รองลงมาคือ
 ขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 36%, ขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร และขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร พบ
 เท่ากันเท่ากับ 11% จุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำออกขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3
 มิลลิเมตร เท่ากับ 50% รองลงมาคือขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 22%, ขนาด 0.4-1.0
 มิลลิเมตร เท่ากับ 17% ส่วนขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร พบไมโครพลาส
 ติกเท่ากันเท่ากับ 6% ในขณะที่เมื่อศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัด

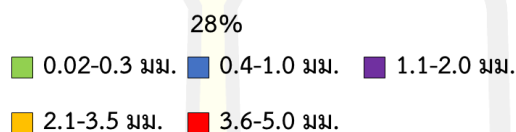
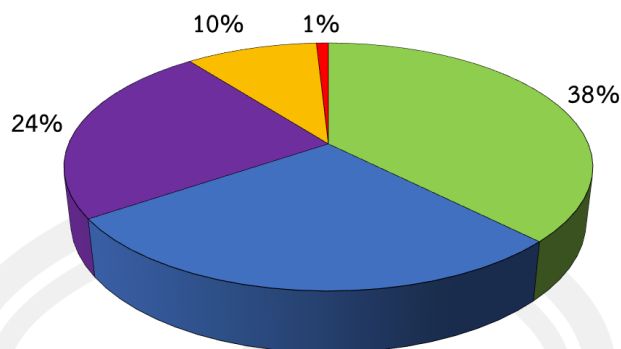
น้ำเสียแบบสระเต็มอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าในจุดเก็บตัวอย่างบ่อเต็มอากาศขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 45% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 38%, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 13%, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 4% และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 2% จุดเก็บตัวอย่างจุดบ่อดกตะกอนขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 41% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 32%, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 15% ส่วนขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร พบเท่ากันเท่ากับ 6% (ภาพที่ 36)

ภาพที่ 37 แสดงขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเต็มอากาศ (Aerated Lagoon) โดยขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร พบมากที่สุดเท่ากับ 38% เนื่องจากไมโครพลาสติกเกิดจากพลาสติกที่แตกหักเป็นชิ้นขนาดเล็กหรือหลุดจากเส้นใยสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์สิ่งทอกลายเป็นไมโครพลาสติก ดังนั้นไมโครพลาสติกจึงสามารถแตกหักออกเป็นชิ้นเล็กอีกได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก รองลงมาคือขนาดที่ 0.4-1.0 มิลลิเมตร, 1.1-2.0 มิลลิเมตร, 2.1-3.5 มิลลิเมตร และ 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 28%, 24%, 10% และ 1% ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนโดยรวมพบว่าขนาดไมโครพลาสติกขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร, 0.4-1.0 มิลลิเมตร, 1.1-2.0 มิลลิเมตร, 2.1-3.5 มิลลิเมตร และ 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 43%, 36%, 13%, 4% และ 3% ตามลำดับ โดยไมโครพลาสติกขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร ในตะกอนเป็นขนาดที่พบมากที่สุดเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2019) ซึ่งกล่าวว่าขนาดของไมโครพลาสติก 0.02-0.3 มิลลิเมตร จากตัวอย่างน้ำเข้าและออกจะมีสัดส่วนสูงสุด รองลงมาคือขนาด 0.3-1.0 มิลลิเมตร และขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร ในขณะที่ขนาดที่มีน้อยสุดคือ 2.0-3.5 มิลลิเมตร และขนาด 3.5-5.0 มิลลิเมตร ทั้งนี้ในงานวิจัยของ Talvitie et al. (2017) พบว่าขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร ในตัวอย่างตะกอนนั้นพบว่ามีสัดส่วนสูงสุดเท่ากับ 53.1% เช่นกันโดยไมโครพลาสติกขนาดเล็กนั้นมีอัตราการกำจัดสูงสุดในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งอาจเป็นผลมาจากการดูดซับของตะกอนระหว่างการตกตะกอน นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่าการที่พบไมโครพลาสติกขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่มีน้อยกว่าไมโครพลาสติกขนาดเล็กสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการกักเซาะเชิงกระหว่างอนุภาคไมโครพลาสติกจนกลายเป็นไมโครพลาสติกขนาดเล็กหรือการแตกหักของไมโครพลาสติกจึงทำให้มีขนาดที่เล็กลง นอกจากนี้ ค่า pH และอุณหภูมิหรือแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ไมโครพลาสติกเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดีขึ้น

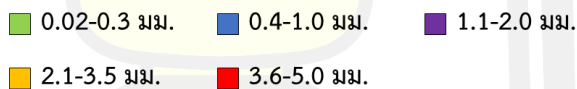
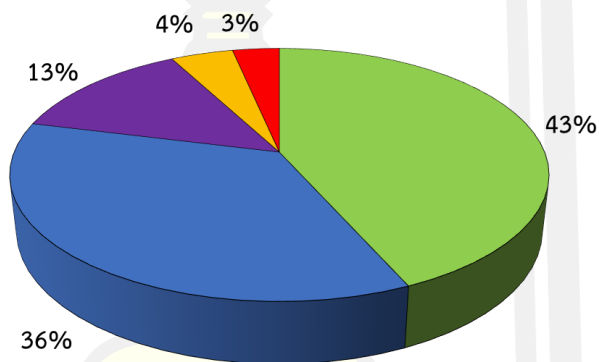


ภาพที่ 36 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

พหุ ประถมศึกษา



ก.



ข.

ก. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน
 ภาพที่ 37 ขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย
 แบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

4.1.8. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดปรับเสถียร (Stabilization Pond)

ตารางที่ 22 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดปรับเสถียร (Stabilization Pond)

ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
จุดน้ำเข้า	0.02-0.3	2.00	5.67	8.33	3.67	19.67	4.92	58%
	0.4-1.0	3.00	1.00	3.00	1.67	8.67	2.17	25%
	1.1-2.0	2.00	1.00	0.00	1.00	4.00	1.00	12%
	2.1-3.5	1.00	0.33	0.00	0.33	1.67	0.42	5%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อหมัก	0.02-0.3	0.00	1.33	2.67	0.67	4.67	1.17	22%
	0.4-1.0	2.00	1.33	3.67	1.33	8.33	2.08	39%
	1.1-2.0	1.00	0.67	1.00	1.33	4.00	1.00	19%
	2.1-3.5	0.33	1.00	0.67	0.33	2.33	0.58	11%
	3.6-5.0	0.67	0.67	0.00	0.67	2.00	0.50	9%
บ่อฝั่	0.02-0.3	0.33	0.67	2.00	2.67	5.67	1.42	40%
	0.4-1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	28%
	1.1-2.0	1.33	0.67	0.00	0.67	2.67	0.67	19%
	2.1-3.5	0.00	1.00	0.00	0.33	1.33	0.33	9%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.17	5%
บ่อบ่ม	0.02-0.3	0.00	0.33	0.67	0.33	1.33	0.33	13%
	0.4-1.0	0.67	0.00	0.67	2.33	3.67	0.92	37%
	1.1-2.0	1.00	0.67	0.00	1.33	3.00	0.75	30%
	2.1-3.5	0.33	0.67	0.33	0.33	1.67	0.42	17%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	3%

ตารางที่ 22 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

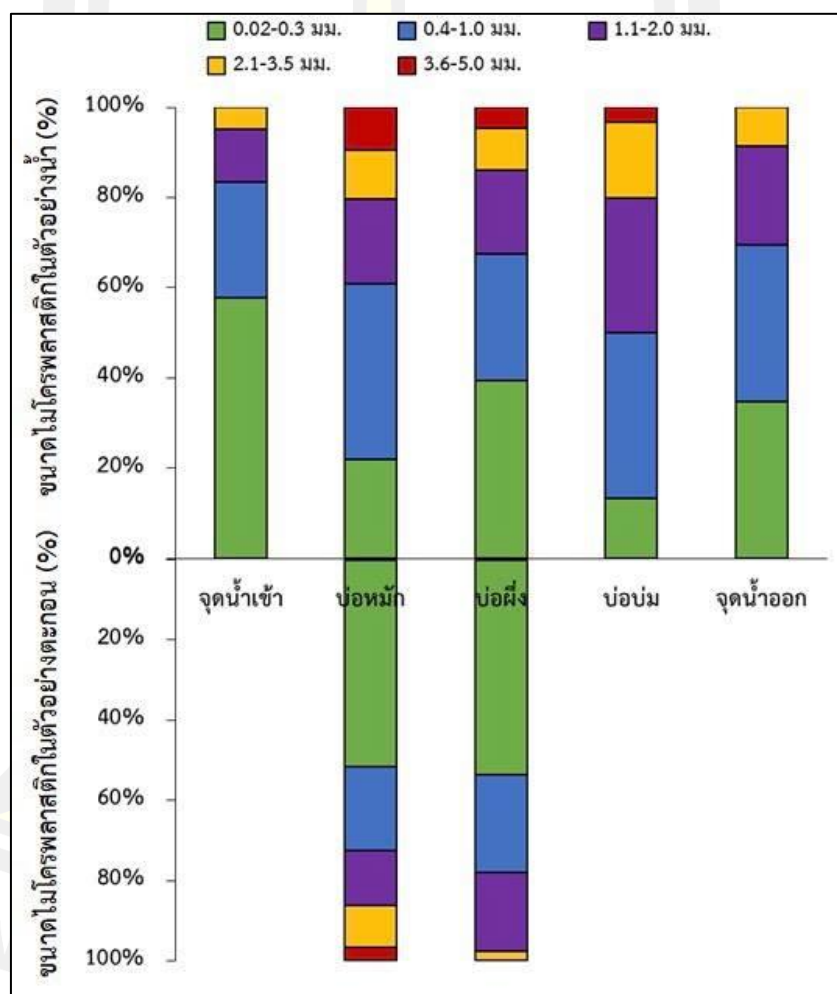
ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำออก	0.02-0.3	0.00	0.00	1.33	1.33	2.67	0.67	35%
	0.4-1.0	1.00	0.67	0.00	1.00	2.67	0.67	35%
	1.1-2.0	1.00	0.33	0.00	0.33	1.67	0.42	22%
	2.1-3.5	0.00	0.00	0.67	0.00	0.67	0.17	9%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์เซ็นต์
บ่อหมัก	0.02-0.3	0.00	17.93	30.74	28.17	76.84	19.21	52%
	0.4-1.0	2.56	10.25	7.68	10.25	30.74	7.68	21%
	1.1-2.0	2.56	5.12	10.25	2.56	20.49	5.12	14%
	2.1-3.5	7.68	2.56	0.00	5.12	15.37	3.84	10%
	3.6-5.0	2.56	0.00	2.56	0.00	5.12	1.28	3%
บ่อป่ม	0.02-0.3	0.00	12.81	28.17	15.37	56.35	14.09	54%
	0.4-1.0	2.56	5.12	10.25	7.68	25.61	6.40	24%
	1.1-2.0	5.12	5.12	5.12	5.12	20.49	5.12	20%
	2.1-3.5	2.56	0.00	0.00	0.00	2.56	0.64	2%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ 22 แสดงผลการศึกษขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เมื่อศึกษาพบว่าขนาดของไมโครพลาสติกที่พบในจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้าระบบขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 58% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 25%, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 12% และขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 5% จุดเก็บตัวอย่างบ่อหมักขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 39%, ขนาดที่พบรองลงมาคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 22%, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 19%, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 11% และ ขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 9% จุดเก็บตัวอย่างบ่อป่มขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 40% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร

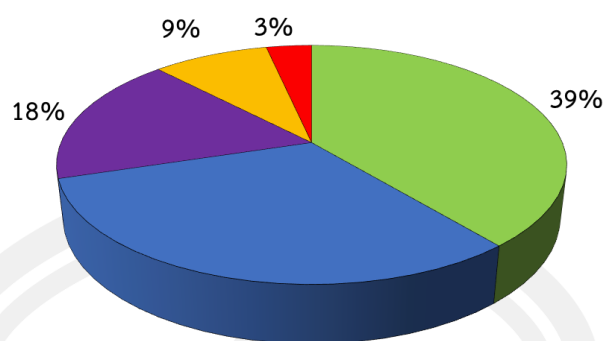
เท่ากับ 28%, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 19%, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 9% และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 5% จุดเก็บตัวอย่างบ่อขุ่นขนาดไมโครพลาสติกพบมากที่สุดขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 37% รองลงมาคือขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 30%, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 17%, ขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 13% และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 3% จุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำออกจากระบบขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร และขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร พบเท่ากัน เท่ากับ 35% รองลงมาคือขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 22%, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร เท่ากับ 9% ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าจุดเก็บตัวอย่างตะกอนบ่อหมักมีขนาดของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 52% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 21%, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร พบไมโครพลาสติก เท่ากับ 14%, 10% และ 3% ตามลำดับ ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างตะกอนบ่อฝิ่งพบว่าขนาดของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 54% รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 24% ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร และขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร พบไมโครพลาสติกเท่ากับ 20% และ 2% ตามลำดับ (ภาพที่ 38)

ภาพที่ 39 แสดงขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) เมื่อศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อปรับเสถียรในตัวอย่างน้ำโดยรวมพบว่าขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 39% เนื่องจากไมโครพลาสติกเกิดจากพลาสติกที่แตกหักเป็นชิ้นขนาดเล็กหรือหลุดจากเส้นใยสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์สิ่งทอกลายเป็นไมโครพลาสติก ดังนั้นไมโครพลาสติกจึงสามารถแตกหักออกเป็นส่วนเล็กอีกได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 31% และขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร, 2.1-3.5 มิลลิเมตร และ 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 18%, 9% และ 3% ตามลำดับ เมื่อศึกษาไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนโดยรวมในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนแบบบ่อปรับเสถียรพบว่าขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร พบมากที่สุดเท่ากับ 53% ซึ่งพบมากที่สุดเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ รองลงมาคือขนาด 0.4-1.0 มิลลิเมตร, ขนาด 1.1-2.0 มิลลิเมตร, ขนาด 2.1-3.5 มิลลิเมตร และขนาด 3.6-5.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 22%, 16%, 7% และ 2% ตามลำดับ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu et al. (2019) ซึ่งกล่าวว่าขนาดของไมโครพลาสติก 0.02-0.3 มิลลิเมตร จากตัวอย่างน้ำเข้าและออกจะมีสัดส่วนสูงที่สุด รองลงมาคือขนาด 0.3-1.0 มิลลิเมตร และขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร ในขณะที่ขนาดที่มีน้อยที่สุดคือ 2.0-3.5 มิลลิเมตร และ 3.5-5.0 มิลลิเมตร ทั้งนี้ในงานวิจัยของ Talvitie et al. (2017) พบว่าขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร ในตัวอย่างตะกอนนั้นพบว่ามีสัดส่วนสูง

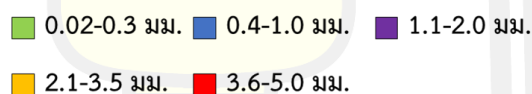
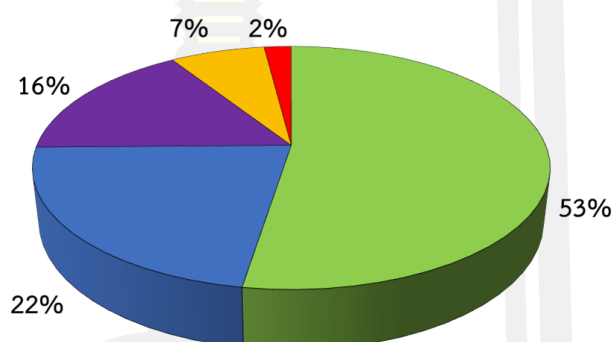
ที่สุดเท่ากับ 53.1% เช่นกันโดยไมโครพลาสติกขนาดเล็กนั้นมีอัตราการกำจัดสูงสุดในระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งอาจเป็นผลมาจากการดูดซับของตะกอนระหว่างการตกตะกอน นอกจากนี้ยังกล่าวอีกว่าการที่พบไมโครพลาสติกขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่มีน้อยกว่าไมโครพลาสติกขนาดเล็กสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการกักเซาะเชิงกลระหว่างอนุภาคไมโครพลาสติกจนกลายเป็นไมโครพลาสติกขนาดเล็กลงหรือการแตกหักของไมโครพลาสติกจึงทำให้มีขนาดที่เล็กลง นอกจากนี้ ค่า pH และอุณหภูมิหรือแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ไมโครพลาสติกเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดีขึ้น



ภาพที่ 38 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)



ก.



ข.

ก. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน
ภาพที่ 39 ขนาดของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

พหุ ประสิทธิภาพ

4.1.9. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ตารางที่ 23 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำเข้า	Polyvinyl chloride	0.33	0.67	7.33	0.67	9.00	2.25	24%
	Polypropylene	2.67	5.67	7.33	3.33	19.00	4.75	50%
	Polyethylene	1.33	0.00	2.33	0.33	4.00	1.00	11%
	Acetate fiber	0.00	1.00	0.33	0.00	1.33	0.33	4%
	polyester	0.33	1.00	2.67	0.67	3.33	1.17	12%
บ่อเติมอากาศ	Polyvinyl chloride	0.67	0.67	3.33	0.00	4.67	1.17	23%
	Polypropylene	3.33	4.00	3.00	2.00	12.33	3.08	62%
	Polyethylene	0.00	0.33	0.33	0.00	0.67	0.17	3%
	Acetate fiber	0.33	0.00	0.33	0.33	1.00	0.25	5%
	polyester	0.00	1.33	0.00	0.00	1.33	0.33	7%
บ่อดกตะกอน	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Polypropylene	3.33	2.00	3.67	2.00	11.00	2.75	92%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Acetate fiber	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	3%
	polyester	0.00	0.00	0.67	0.00	0.67	0.17	6%
จุดน้ำออก	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.17	11%
	Polypropylene	1.00	0.33	2.00	1.33	4.67	1.17	78%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	6%
	Acetate fiber	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	polyester	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	8%

ตารางที่ 23 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

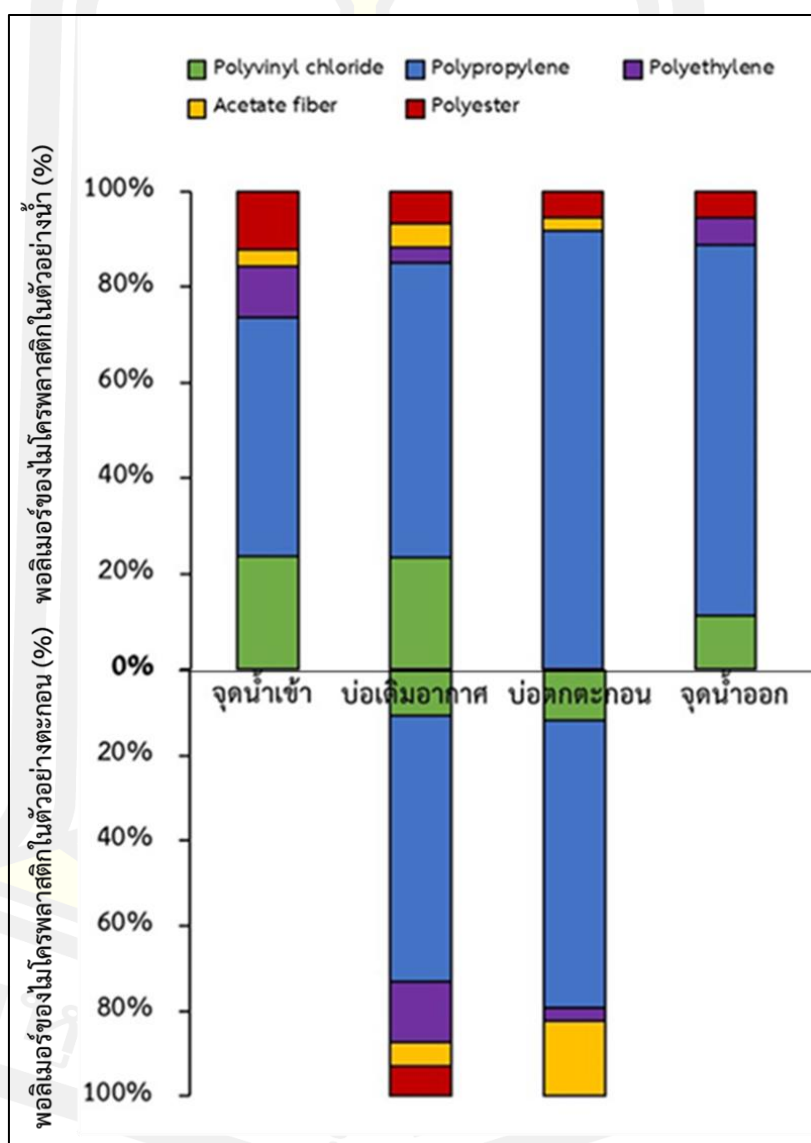
ชนิดสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	
บ่อเติมอากาศ	Polyvinyl chloride	2.56	0.00	7.68	5.12	15.37	3.84	11%
	Polypropylene	15.37	7.68	53.79	12.81	89.65	22.41	63%
	Polyethylene	0.00	0.00	17.93	2.56	20.49	5.12	14%
	Acetate fiber	0.00	5.12	2.56	0.00	7.68	1.92	5%
	polyester	0.00	5.12	0.00	5.12	10.25	2.56	7%
บ่อตก ตะกอน	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	5.12	5.12	10.25	2.56	12%
	Polypropylene	7.68	7.68	33.30	10.25	58.91	14.73	68%
	Polyethylene	2.56	0.00	0.00	0.00	2.56	0.64	3%
	Acetate fiber	0.00	2.56	12.81	0.00	15.37	3.84	18%
	polyester	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ 23 แสดงชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) เมื่อศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศโดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Transform Spectrometer (FT-IR) พบว่าจุดเก็บตัวอย่างน้ำจืดน้ำเข้าระบบพบพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polypropylene มากที่สุดเท่ากับ 50% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบรองลงมาคือ Polyvinyl chloride เท่ากับ 24% นอกจากนี้ยังพบพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyester, Polyethylene และ Acetate fiber เท่ากับ 12%, 11% และ 4% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างน้ำจืดบ่อเติมอากาศชนิดของพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 62% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบรองลงมาคือ Polyvinyl chloride เท่ากับ 23% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polyester, Acetate fiber และ Polyethylene เท่ากับ 7%, 5% และ 3% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างน้ำจืดบ่อตกตะกอนชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 92% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polyester และ Acetate fiber เท่ากับ 6% และ 3% ตามลำดับ จุดเก็บตัวอย่างน้ำจืดน้ำออกจากระบบพบชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากที่สุด เท่ากับ 78% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบรองลงมาคือ Polyvinyl chloride เท่ากับ 11% ส่วนพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polyester และ

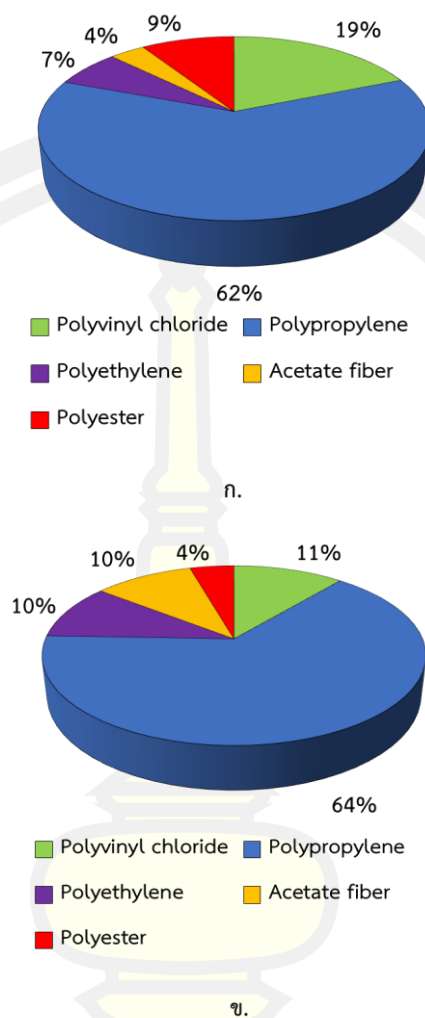
Polyethylene เท่ากับ 8% และ 6% ตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างดินตะกอนทั้ง 2 จุดเก็บตัวอย่าง พบว่าจุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศนั้นมีชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ Polypropylene เท่ากับ 63% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบรองลงมาคือ Polyethylene เท่ากับ 14% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polyvinyl chloride, Polyester และ Acetate fiber เท่ากับ 11%, 7% และ 5% ตามลำดับ ในขณะที่จุดเก็บตัวอย่างจุดที่ 2 คือบ่อตกตะกอนนั้นพบพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากที่สุดเท่ากับ 68% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกที่พบรองลงมาคือ Acetate fiber, Polyvinyl chloride และ Polyethylene เท่ากับ 18%, 12% และ 3% ตามลำดับ (ภาพที่ 40)

ภาพที่ 41 แสดงสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) โดยการศึกษาชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำโดยรวมทั้งระบบพบว่าพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene พบมากที่สุด เท่ากับ 62% เนื่องจาก Polypropylene เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดแห่งนี้พบว่ามีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในระบบบำบัดน้ำเสีย รองลงมาคือพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyvinyl chloride, Polyester, Polyethylene และ Acetate fiber เท่ากับ 19%, 9%, 7% และ 4% ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนโดยรวมทั้งระบบพบว่าพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polypropylene พบมากที่สุดเท่ากับ 64% เนื่องจาก Polypropylene ส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างไร้รูปแบบ โดย Polypropylene เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่ามีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในตะกอนเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ รองลงมาคือพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyvinyl chloride เท่ากับ 11% ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polyethylene และ Acetate fiber พบเท่ากัน เท่ากับ 10% และพอลิเมอร์ Polyester เท่ากับ 4% ซึ่งพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene, Polyvinyl chloride และ Polyethylene นั้นมีต้นกำเนิดมาจากผลิตภัณฑ์พลาสติก ได้แก่ ถุงบรรจุอาหาร ขวดหรือฝาพลาสติก และชิ้นส่วนพลาสติก (Talvitie et al., 2017; Mintenig et al., 2017; Lares et al., 2018; Long et al., 2019) พอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyester ส่วนใหญ่มาจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอและเสื้อผ้าใยสังเคราะห์ซึ่งเป็นแหล่งที่มาหลักของไมโครพลาสติกในครัวเรือน (Hernandez et al., 2017; Sun et al., 2019; Wei

et al., 2019; Long et al., 2019) นอกจากนี้ยังพบพอลิเมอร์ชนิด Acetate fiber ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์จากธรรมชาติโดยการใช้เซลลูโลสจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ลำต้นของต้นไม้เป็นต้น (จิราพร เกิดแก้ว, 2558) และเนื่องจากการที่ไม่พบสารพอลิเมอร์ชนิด Polyethylene terephthalate ในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปขวดพลาสติกหรือที่เรียกว่าขวด PET โดยส่วนใหญ่จะเป็นสีขาวใส ซึ่งอาจมีการจัดการขยะพลาสติกประเภทนี้ได้ดีเนื่องจากสามารถนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 40 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)



ก. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน

ภาพที่ 41 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

พหุ ประถมศึกษา

4.1.10. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

ตารางที่ 24 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

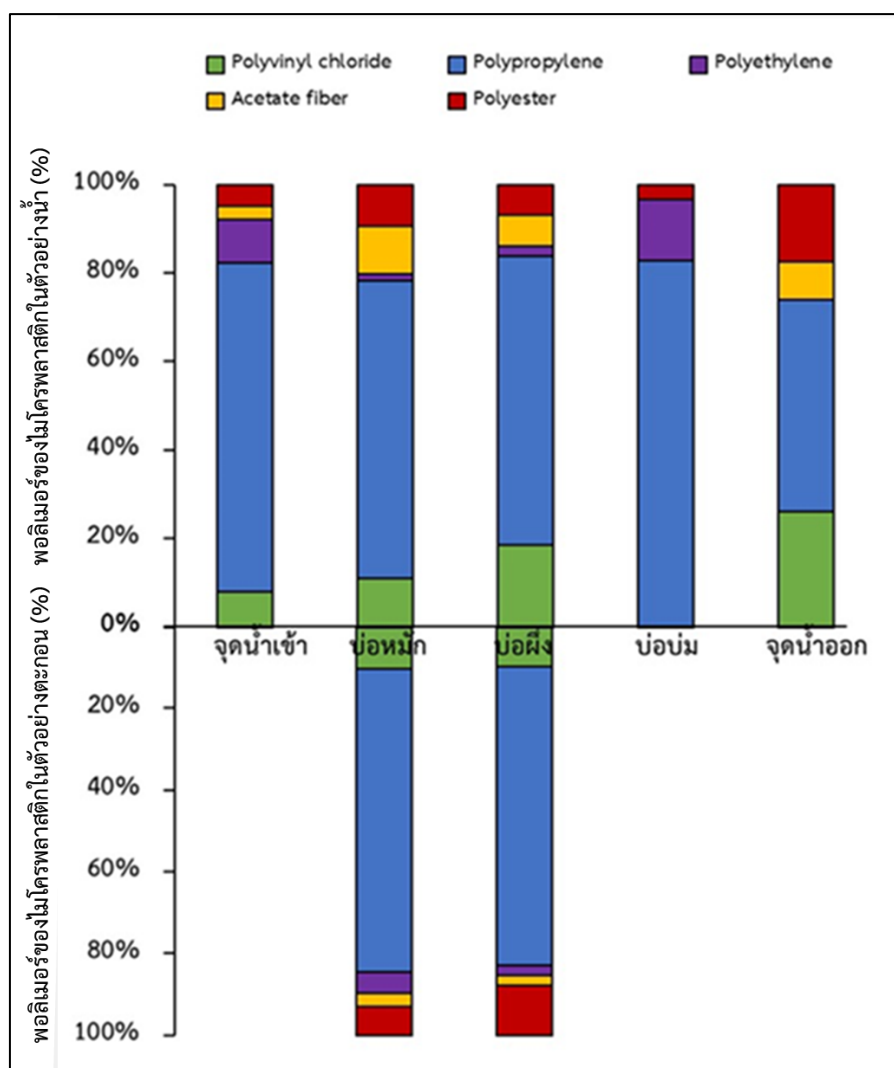
ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำ เข้า	Polyvinyl chloride	0.33	0.67	1.67	0.00	2.67	0.67	8%
	Polypropylene	4.67	6.33	8.00	6.33	25.33	6.33	75%
	Polyethylene	1.33	0.67	1.00	0.33	3.33	0.83	10%
	Acetate fiber	0.00	0.33	0.67	0.00	1.00	0.25	3%
	Polyester	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	5%
บ่อหมัก	Polyvinyl chloride	0.00	0.33	1.67	0.33	2.33	0.58	11%
	Polypropylene	3.00	3.00	5.33	3.00	14.33	3.58	67%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	2%
	Acetate fiber	0.67	0.67	0.33	0.67	2.33	0.58	11%
	Polyester	0.33	1.00	0.67	0.00	2.00	0.50	9%
บ่อผึ่ง	Polyvinyl chloride	0.00	0.33	1.00	1.33	2.67	0.67	19%
	Polypropylene	2.33	2.33	1.67	3.00	9.33	2.33	65%
	Polyethylene	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.08	2%
	Acetate fiber	0.00	0.67	0.33	0.00	1.00	0.25	7%
	Polyester	0.00	0.00	0.33	0.67	1.00	0.25	7%
บ่อบ่ม	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Polypropylene	0.33	1.67	1.67	4.33	8.00	2.00	83%
	Polyethylene	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	14%
	Acetate fiber	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Polyester	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	3%

ตารางที่ 24 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์
		(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	
จุดน้ำออก	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	1.33	0.67	2.00	0.50	26%
	Polypropylene	0.67	0.33	0.67	2.00	3.67	0.92	48%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Acetate fiber	0.00	0.67	0.00	0.00	0.67	0.17	9%
	Polyester	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	17%
ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์
		(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	
บ่อหมัก	Polyvinyl chloride	0.00	5.12	2.56	7.68	15.37	3.84	10%
	Polypropylene	10.25	25.61	43.54	30.74	110.14	27.53	74%
	Polyethylene	2.56	2.56	2.56	0.00	7.68	1.92	5%
	Acetate fiber	0.00	2.56	0.00	2.56	5.12	1.28	3%
	Polyester	2.56	0.00	2.56	5.12	10.25	2.56	7%
บ่อฝัง	Polyvinyl chloride	2.56	2.56	2.56	2.56	10.25	2.56	10%
	Polypropylene	5.12	15.37	30.74	25.61	76.84	19.21	73%
	Polyethylene	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	Acetate fiber	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	Polyester	2.56	5.12	5.12	0.00	12.81	3.20	12%

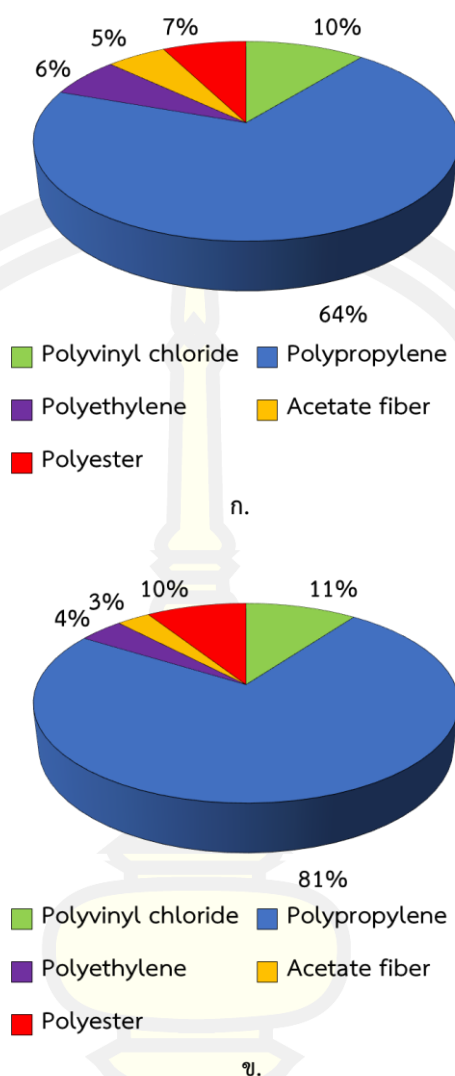
พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่า มีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในระบบบำบัดน้ำเสีย รองลงมาคือพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyvinyl chloride เท่ากับ 10%, สารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyester เท่ากับ 7%, สารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyethylene เท่ากับ 6% และพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Acetate fiber เท่ากับ 5% ในขณะที่การศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนโดยรวมพบพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากที่สุดเท่ากับ 81% เนื่องจาก Polypropylene ส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างไร้รูปแบบโดยพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene เป็นวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่า มีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในตะกอนเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ รองลงมาคือพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyvinyl chloride เท่ากับ 11%, พอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyester เท่ากับ 10%, พอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polyethylene เท่ากับ 4% และพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Acetate fiber เท่ากับ 3% โดยพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene, Polyvinyl chloride และ Polyethylene นั้นเป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น ถุงพลาสติกบรรจุอาหาร ขวดหรือฝาพลาสติก หลอดพลาสติก และซอสน้ำมันพลาสติก (Talvitie et al., 2017; Mintenig et al., 2017; Lares et al., 2018; Long et al., 2019) ไมโครพลาสติกชนิด Polyester โดยส่วนใหญ่แล้วไมโครพลาสติกชนิดนี้จะใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เสื้อผ้าที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ (Hernandez et al., 2017; Sun et al., 2019; Wei et al., 2019; Long et al., 2019) พอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกเหล่านี้เป็นแหล่งของการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในครัวเรือน นอกจากนี้การปลดปล่อยของผลิตภัณฑ์พลาสติกทางอุตสาหกรรม ยานยนต์ สิ่งทอ และอนุภาคภายในฝุ่นถนนยังถูกบ่งชี้ว่าเป็นแหล่งปนเปื้อนของไมโครพลาสติก Polypropylene, Polyvinyl chloride, Polystyrene และ Polyethylene เช่นกัน (Hidayaturrahman และ Lee, 2019; Nizzetto et al., 2016; Talvitie et al., 2017; Liu et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบ Acetate fiber ซึ่งเป็นเส้นใยสังเคราะห์จากธรรมชาติโดยการใช้เซลลูโลสจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ลำต้นของต้นไม้เป็นต้น (จิราพร เกิดแก้ว, 2558) และเนื่องจากการที่ไม่พบสารพอลิเมอร์ชนิด Polyethylene terephthalate ในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปขวดพลาสติก หรือที่เรียกว่าขวด PET โดยส่วนใหญ่จะเป็นสีขาวใส ซึ่งอาจมีการจัดการขยะพลาสติกประเภทนี้ได้ดี เนื่องจากสามารถนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้



ภาพที่ 42 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)





ก. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ ข. ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน

ภาพที่ 43 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกโดยรวมในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

พหุ ประถมศึกษา

4.2. การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากระบบบำบัดน้ำเสียสู่สิ่งแวดล้อม

จากการผลิตพลาสติกและการจัดการขยะพลาสติกที่ไม่ดีนั้น นำไปสู่การทิ้งขยะพลาสติกลงสู่สิ่งแวดล้อมทั้งบนบกและในน้ำ จึงเกิดการสะสมของขยะพลาสติกเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยขยะพลาสติกได้เกิดการย่อยสลายกลายเป็นไมโครพลาสติก ส่งผลให้เกิดเป็นมลพิษชนิดใหม่ที่สามารถเกิดการปนเปื้อนทั้งน้ำทะเล แหล่งน้ำจืด และบนบก ซึ่งแหล่งที่มาของการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจืดมีมากมายสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนมาจากโรงบำบัดน้ำเสีย ไมโครพลาสติกสามารถก่อให้เกิดผลกระทบทางกายภาพที่เป็นอันตรายหลายประการต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตผ่านกลไกต่างๆ โดยไมโครพลาสติกมีส่วนประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูปพลาสติกและไมโครพลาสติกสามารถดูดซับสารเคมีจากที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม เมื่อสิ่งมีชีวิตบริโภคไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกายทำให้ไมโครพลาสติกที่มีสารพิษและดูดซับสารพิษเหล่านั้นอาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ (Li et al., 2018) ดังนั้นจึงมีการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติก รวมถึงการปล่อยไมโครพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 25 ประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร และการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม

จำนวนชิ้นไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ			
ตัวอย่างน้ำ	น้ำเสีย 1 ลิตร	น้ำเสีย 35,000 ลบ.ม./วัน (จริง)	น้ำเสีย 35,000 ลบ.ม./วัน
จุดน้ำเข้า	9.58±7.36 ชิ้น/ลิตร	3,353×10 ⁵ ±2,576×10 ⁵ ชิ้น/วัน	3,353×10 ⁵ ±2,576×10 ⁵ ชิ้น/วัน
จุดน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อม	1.50±1.00 ชิ้น/ลิตร	525×10 ⁵ ±350×10 ⁵ ชิ้น/วัน	525×10 ⁵ ±350×10 ⁵ ชิ้น/วัน
การกำจัดไมโครพลาสติก	8.08±6.36 ชิ้น/ลิตร	2,828×10 ⁵ ±2,226×10 ⁵ ชิ้น/วัน	2,828×10 ⁵ ±2,226×10 ⁵ ชิ้น/วัน
จำนวนชิ้นไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร			
ตัวอย่างน้ำ	น้ำเสีย 1 ลิตร	น้ำเสีย 11,600 ลบ.ม./วัน (จริง)	น้ำเสีย 35,000 ลบ.ม./วัน
จุดน้ำเข้า	8.50±1.99 ชิ้น/ลิตร	986×10 ⁵ ±230.84×10 ⁵ ชิ้น/วัน	2,975×10 ⁵ ±696.5×10 ⁵ ชิ้น/วัน
จุดน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อม	1.92±0.69 ชิ้น/ลิตร	222.72×10 ⁵ ±80.04×10 ⁵ ชิ้น/วัน	672×10 ⁵ ±241.5×10 ⁵ ชิ้น/วัน
การกำจัดไมโครพลาสติก	6.58±1.3 ชิ้น/ลิตร	763.28×10 ⁵ ±150.8×10 ⁵ ชิ้น/วัน	2,303×10 ⁵ ±455×10 ⁵ ชิ้น/วัน

ตารางที่ 25 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร และการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้มากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียชุมชนของประเทศไทย เนื่องด้วยการดูแลรักษาง่าย เหมาะกับชุมชนที่มีขนาดพื้นที่ใหญ่ เมื่อศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกและประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศจากค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 35,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศเท่ากับ $3,353 \times 10^5 \pm 2,576 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบจึงมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $525 \times 10^5 \pm 350 \times 10^5$ ชิ้น/วัน แสดงว่ามีไมโครพลาสติกจำนวนมากที่ปนเปื้อนออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติในทุกๆ วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกเท่ากับ $2,828 \times 10^5 \pm 2,226 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ซึ่งไมโครพลาสติกที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจะกำจัดไมโครพลาสติกโดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติกในบ่อเติมอากาศและบ่อตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศซึ่งทั้งนี้วิธีการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทำโดยวิธีการขุดลอกตะกอนไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ อาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุในการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางบก

ในขณะที่การศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกและประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรจากค่าปริมาตรน้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรเฉลี่ย เท่ากับ 11,600 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรเท่ากับ $986 \times 10^5 \pm 230.84 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบจึงมีการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $222.72 \times 10^5 \pm 80.04 \times 10^5$ ชิ้น/วัน แสดงว่ามีไมโครพลาสติกจำนวนมากที่ปนเปื้อนออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติในทุกๆ วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติก เท่ากับ $763.28 \times 10^5 \pm 150.8 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ซึ่งไมโครพลาสติกที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียจะกำจัดไมโครพลาสติกโดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติกในบ่อหมักและบ่อฝิ่งของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรซึ่งทั้งนี้วิธีการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทำโดยวิธีการขุดลอกตะกอนและนำไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ จึงอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุในการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางบก แม้ว่าในการบำบัดไมโครพลาสติกจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกออกจากน้ำส่วนใหญ่ แต่ยังคงมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากน้ำทิ้งยังมีจำนวนมากที่สามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ ทั้งนี้ยังมีการปนเปื้อนบนผิวดินที่มีสาเหตุการจากตะกอนที่ถูกนำไปกำจัดยังหลุมฝังกลบ อาจนำไปสู่การปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตต่างๆ หากมีการบริโภคไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกาย

การเปรียบเทียบจำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร น้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศมีปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย เท่ากับ 35,000 ลบ.ม./วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ เท่ากับ $3,353 \times 10^5 \pm 2,576 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ พบว่ามีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม เท่ากับ $525 \times 10^5 \pm 350 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกเท่ากับ $2,828 \times 10^5 \pm 2,226 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร โดยกำหนดให้ปริมาตรน้ำเสียเข้าระบบบำบัดเฉลี่ยเท่ากับระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ ซึ่งปริมาณน้ำเสียเข้าระบบบำบัด เท่ากับ 35,000 ลบ.ม./วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร เท่ากับ $2,975 \times 10^5 \pm 696.5 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรพบว่าการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม เท่ากับ $672 \times 10^5 \pm 241.5 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกเท่ากับ $2,303 \times 10^5 \pm 455 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ โดยกำหนดมีค่าปริมาณน้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสียเฉลี่ย เท่ากับ 35,000 ลบ.ม./วัน เท่ากัน พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดและจุดน้ำออก (มีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม) มีจำนวนไมโครพลาสติกมีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่จำนวนไมโครพลาสติกที่ถูกกำจัดในระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ มีค่าใกล้เคียงกันเช่นเดียวกัน แต่เนื่องจากระยะเวลาในการเก็บกักน้ำเสียในระบบต่างกัน โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศมีระยะเวลาในการเก็บน้ำในระบบ 7 วัน และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรมีระยะเวลากักเก็บน้ำ 15 วัน จึงอนุมานว่าระบบแบบสระเติมอากาศบำบัดไมโครพลาสติกได้ดีกว่าระบบแบบปรับเสถียร



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา ลักษณะทางกายภาพและเคมีของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำเสียระบบเติมอากาศ (Aerated lagoon) และระบบแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) ของน้ำเสียชุมชนและเพื่อ ประเมินปริมาณไมโครพลาสติกที่ถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากระบบบำบัดน้ำเสียระบบเติมอากาศ (Aerated lagoon) และระบบแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) สรุปผลการศึกษา ดังนี้

1. การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่าประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าถึงบ่อเติมอากาศ เท่ากับ 47.9% เนื่องจากบ่อเติมอากาศมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียไว้ในบ่อและการเติมอากาศช่วยเร่งให้เกิดการตกตะกอนของไมโครพลาสติกดียิ่งขึ้น จึงอาจทำให้ไมโครพลาสติกสามารถตกตะกอนภายในบ่อเติมอากาศได้ได้ดีกว่าบ่อตกตะกอน ทั้งนี้ปัจจัยในการตกตะกอนของไมโครพลาสติก เช่น แร่งโน้มถ่วง ความหนาแน่นของสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกทำให้เกิดการตกตะกอนของไมโครพลาสติกได้เร็วขึ้น จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติก พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าเทียบกับบ่อเติมอากาศมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.5833 ชิ้น/ลิตร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดบ่อเติมอากาศถึงจุดบ่อตกตะกอน เท่ากับ 43.3% จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติก พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อเติมอากาศเทียบกับบ่อตกตะกอนมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เท่ากับ 2.1667 ชิ้น/ลิตร แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และ ประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดบ่อตกตะกอนถึงจุดน้ำออก เท่ากับ 47.1% จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติก พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อตกตะกอนเทียบกับจุดน้ำออกมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1.3333 ชิ้น/ลิตร พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งในการบำบัดไมโครพลาสติกโดยรวมจากจุดน้ำเข้าระบบบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบบำบัด พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด เท่ากับ 84.35% แสดงว่าการกำจัดไมโครพลาสติกออกจากน้ำเสียนั้นมีประสิทธิภาพการบำบัด ไมโครพลาสติกได้ดีจากการตกตะกอนภายในระบบบำบัด นอกจากนี้การศึกษามิโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบระบบเติมอากาศ (Aerated Lagoon) พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อเติมอากาศ เท่ากับ 35.86 ชิ้น/กิโลกรัม จำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อตกตะกอน

เท่ากับ 21.77 ชื้น/กิโลกรัม มีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อเติมอากาศมาจนถึงบ่อตกตะกอนเท่ากับ 39.3% การทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์กันของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มพบว่าทั้ง 2 กลุ่ม คือบ่อเติมอากาศและบ่อตกตะกอนนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าไมโครพลาสติกจากน้ำเสียมีการตกตะกอนลงสู่บ่อเติมอากาศมากกว่าบ่อตกตะกอน

เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ จากค่าเฉลี่ยน้ำเข้าระบบ 35,000 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศแห่งนี้เท่ากับ $3,353 \times 10^5 \pm 2,576 \times 10^5$ ชื้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบพบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $525 \times 10^5 \pm 350 \times 10^5$ ชื้น/วัน แสดงว่ามีไมโครพลาสติกจำนวนมากที่ปนเปื้อนออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติในทุกๆ วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติก เท่ากับ $2,828 \times 10^5 \pm 2,226 \times 10^5$ ชื้น/วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกในน้ำเสีย เท่ากับ 84.35% และจากการศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกที่ลดลงจากตัวอย่างตะกอนจากบ่อเติมอากาศมาจนถึงบ่อตกตะกอนโดยมีประสิทธิภาพการลดลง เท่ากับ 39.30% เกิดจากไมโครพลาสติกที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียโดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติกภายในบ่อบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้วิธีการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทำโดยวิธีการขุดลอกตะกอนและนำไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ ซึ่งอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุในการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางบก

2. การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่าประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าถึงบ่อหมัก เท่ากับ 37.25% ทั้งนี้ปัจจัยในการตกตะกอนของไมโครพลาสติก เช่น แรงโน้มถ่วง ความหนาแน่นของสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกทำให้เกิดการตกตะกอนของไมโครพลาสติกได้ โดยจากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติก พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้าเทียบกับบ่อหมักพบมีความต่างเฉลี่ย เท่ากับ 3.1667 ชื้น/ลิตร แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ประสิทธิภาพการลดจำนวนไมโครพลาสติกลงจากบ่อหมักจนถึงบ่อฝิ่งเท่ากับ 32.81% จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติก พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อหมักเทียบกับบ่อฝิ่งพบมีความต่างเฉลี่ย เท่ากับ 1.7500 ชื้น/ลิตร แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อฝิ่งมาจนถึงบ่อบ่ม เท่ากับ 30.23% จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติก พบว่าจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อฝิ่งเทียบกับบ่อบ่มพบมีความต่างเฉลี่ย เท่ากับ 1.0833 ชื้น/ลิตร แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และประสิทธิภาพการลดจำนวนของไมโครพลาสติก ลงจากบ่อบ่มมาจนถึง

จุดน้ำออกจากระบบ เท่ากับ 23.33% จากการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อบ่มเทียบกับจุดน้ำออก พบว่ามีความต่างเฉลี่ย เท่ากับ 0.5833 ขึ้น/ลิตร แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% แสดงว่าการกำจัดไมโครพลาสติกออกจากน้ำเสียนั้นสามารถบำบัดไมโครพลาสติกได้ดีจากจุดน้ำเข้ามาจนถึงจุดน้ำออกโดยการตกตะกอนภายในระบบบำบัด นอกจากนี้การศึกษาไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อหมัก เท่ากับ 37.14 ขึ้น/กิโลกรัม จำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อฝิ่ง เท่ากับ 26.25 ขึ้น/กิโลกรัม มีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวนไมโครพลาสติกจากบ่อเติมอากาศมาจนถึงบ่อตกตะกอนเท่ากับ 29.30% การทดสอบสมมติฐานความสัมพันธ์กันของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มพบว่าทั้ง 2 กลุ่ม คือบ่อหมักและบ่อฝิ่งนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าไมโครพลาสติกจากน้ำเสียมักการตกตะกอนลงสู่บ่อหมักมากกว่าบ่อฝิ่ง

เมื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร จากค่าเฉลี่ยน้ำเข้าระบบ 11,600 ลูกบาศก์เมตร/วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรแห่งนี้เท่ากับ $986 \times 10^5 \pm 230.84 \times 10^5$ ขึ้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบพบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $222.72 \times 10^5 \pm 80.04 \times 10^5$ ขึ้น/วัน แสดงว่ามีไมโครพลาสติกจำนวนมากที่ปนเปื้อนออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติในทุกๆ วัน โดยมีประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติก เท่ากับ $763.28 \times 10^5 \pm 150.8 \times 10^5$ ขึ้น/วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกในน้ำเสีย เท่ากับ 77% และจากการศึกษาจำนวนไมโครพลาสติกที่ลดลงจากตัวอย่างตะกอนจากบ่อหมักมาจนถึงบ่อฝิ่งโดยมีประสิทธิภาพการลดลง เท่ากับ 29.30% เกิดจากไมโครพลาสติกที่ถูกกำจัดออกจากน้ำเสียโดยการตกตะกอนของไมโครพลาสติกภายในบ่อบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้วิธีการกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียทำโดยวิธีการขุดลอกตะกอนและนำไปกำจัดที่หลุมฝังกลบ ซึ่งอาจเป็นอีกหนึ่งสาเหตุในการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางบก

3. การเปรียบเทียบจำนวนขึ้นไมโครพลาสติกในตัวอย่งน้ำระบบแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร เมื่อตัวอย่างน้ำเสียจากระบบแบบสระเติมอากาศมีค่าปริมาตรน้ำเข้าระบบบำบัดเฉลี่ย เท่ากับ 35,000 ลบ.ม./วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้า เท่ากับ $3,353 \times 10^5 \pm 2,576 \times 10^5$ ขึ้น/วัน เมื่อผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกมีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $525 \times 10^5 \pm 350 \times 10^5$ ขึ้น/วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $2,828 \times 10^5 \pm 2,226 \times 10^5$ ขึ้น/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร โดยกำหนดตัวอย่างน้ำเสียจากระบบให้มีค่าปริมาตรน้ำเข้าระบบบำบัดน้ำเสียเฉลี่ย เท่ากับ 35,000 ลบ.ม./วัน พบว่ามีจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้า เท่ากับ $2,975 \times 10^5 \pm 696.5 \times 10^5$ ขึ้น/วัน เมื่อ

ผ่านการบำบัดมาจนถึงจุดน้ำออกมีจำนวนไมโครพลาสติกเท่ากับ $672 \times 10^5 \pm 241.5 \times 10^5$ ชิ้น/วัน ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกเท่ากับ $2,303 \times 10^5 \pm 455 \times 10^5$ ชิ้น/วัน เมื่อเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ พบว่า มีจำนวนไมโครพลาสติกจากจุดน้ำเข้า จุดน้ำออก และจำนวนไมโครพลาสติกที่ถูกกำจัดในระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ระบบ มีจำนวนไมโครพลาสติกที่ใกล้เคียงกัน และเนื่องจากระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศมีระยะเวลาที่กักเก็บน้ำ 7 วัน และบ่อบำบัดเสถียรมีระยะเวลา 15 วัน จึงอนุมานได้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศสามารถบำบัดไมโครพลาสติกในน้ำเสียได้ดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดเสถียร

4. การศึกษารูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ พบว่ามีรูปร่างไมโครพลาสติก 3 รูปร่าง คือ เส้นใย ไร้รูปแบบ และรูปแบบแท่ง ซึ่งจากการศึกษาในตัวอย่างน้ำพบไมโครพลาสติกรูปแบบเส้นใยมากที่สุด เท่ากับ 54% เนื่องจากไมโครพลาสติก รูปแบบเส้นใยในน้ำเสียชุมชนอาจเกิดจากกิจกรรมซักล้างสิ่งทอ (Tang et al., 2020) รองลงมาคือไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบ เท่ากับ 45% และรูปร่างไมโครพลาสติกที่พบน้อยที่สุดคือรูปแบบแท่ง เท่ากับ 1% ขณะที่รูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนพบรูปร่างไมโครพลาสติกมากที่สุดคือรูปร่างไร้รูปแบบ เท่ากับ 57% เนื่องจากไมโครพลาสติกไร้รูปแบบพบมากที่สุดในตัวอย่างตะกอนอาจเกิดจากการที่ไมโครพลาสติกชิ้นใหญ่เกิดการแตกหักจนกลายเป็นไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กลง (Xu et al., 2019) รองลงมาคือไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใย เท่ากับ 41% เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียมีการรองรับน้ำเสียจากครัวเรือนโดยมีกิจกรรมการซักล้างเสื้อผ้าอาจเป็นสาเหตุหลักของไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใย (Tang et al., 2020) และรูปร่างไมโครพลาสติกที่พบน้อยที่สุดคือรูปแบบแท่ง เท่ากับ 2% และเนื่องจากว่ารูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างเป็นเส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง จึงสรุปได้ว่าไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการแตกหักของพลาสติก หรือหลุดลอกออกจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอ (Secondary Microplastic) และไม่พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กตั้งแต่ขั้นแรกของการกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ (Primary microplastics) เช่น เม็ดบีตส์

5. การศึกษารูปร่างไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อบำบัดเสถียร พบว่ามีรูปร่างไมโครพลาสติก 3 รูปร่าง คือ เส้นใย ไร้รูปแบบ และรูปแบบแท่ง ซึ่งจากการศึกษาในตัวอย่างน้ำพบไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบ เท่ากับ 51% เนื่องจากไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบอาจเกิดจากการที่มีขยะพลาสติกในจุดน้ำเข้าระบบสะสมอยู่แล้วเกิดการแตกหักเป็นไมโครพลาสติก รองลงมาคือไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใย เท่ากับ 48% และพบน้อยที่สุดคือรูปแบบแท่ง เท่ากับ 1% ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนพบไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบมากที่สุด เท่ากับ 62% เนื่องจากไมโครพลาสติกรูปร่างไร้รูปแบบพบมากที่สุดในตัวอย่างตะกอนอาจเกิดจากการที่พลาสติกสะสมอยู่ในตะกอนและเกิดการแตกหักจนกลายเป็นไมโครพลาสติก (Xu et al., 2019)

รองลงมาคือไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใย เท่ากับ 33% เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียมีการรองรับน้ำเสียจากครัวเรือนโดยมีกิจกรรมการซักล้างเสื้อผ้าอาจเป็นสาเหตุหลักของไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใย (Tang et al., 2020) และรูปร่างไมโครพลาสติกที่พบน้อยที่สุดคือรูปแบบแท่ง เท่ากับ 6% และเนื่องจากว่ารูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างเป็น เส้นใย ไร้รูปแบบ และแท่ง จึงสรุปได้ว่าไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียเป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการแตกหักของพลาสติก หรือหลุดลอกออกจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอ (Secondary Microplastic) และไม่พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กตั้งแต่ขั้นแรกของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ (Primary microplastics)

6. การศึกษาลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ พบว่ามีสีไมโครพลาสติกทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส และสีเหลือง โดยไมโครพลาสติกในน้ำเสียพบสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 34% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีน้ำเงินส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้มีลักษณะเป็นเส้นใยอาจเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีแหล่งหลักมาจากการซักล้างสิ่งทอจากกิจกรรมของคนในชุมชน (Li et al., 2018) ในขณะที่สีของไมโครพลาสติกในตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศโดยรวมพบทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส และสีเขียว โดยไมโครพลาสติกในตะกอนพบสีขาวใสมากที่สุดเท่ากับ 46% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีขาวใสมากที่สุดที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศนี้ส่วนใหญ่เป็นรูปร่างไร้รูปแบบอาจเป็นไปได้ว่ามีแหล่งหลักมาจากขยะพลาสติกที่แตกหัก (Li et al., 2018) แต่เมื่อเทียบสัดส่วนลักษณะสีของไมโครพลาสติกที่มีสีเข้มจะคิดเป็น 54% ในขณะที่สีขาวจะคิดเป็น 46% พบว่าจำนวนน้อยกว่าพลาสติกที่มีสีเข้ม แสดงว่าไมโครพลาสติกที่เป็นสีขาวใสอาจเกิดจากพลาสติกที่สามารถนำไปรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แสดงว่าพลาสติกที่มีสีขาวใสจะถูกเก็บไปเข้ากระบวนการรีไซเคิล แต่พลาสติกที่มีสีเข้มนั้นไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ จึงมีโอกาสหลุดรอดสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก

7. การศึกษาลักษณะสีของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรพบว่ามีสีไมโครพลาสติกทั้งหมด 9 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส สีเขียว และสีเหลือง โดยไมโครพลาสติกในน้ำเสียพบสีน้ำเงินมากที่สุดเท่ากับ 30% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีน้ำเงินส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้มีลักษณะเป็นเส้นใยอาจเป็นไปได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีแหล่งหลักมาจากการซักล้างสิ่งทอจากกิจกรรมของคนในชุมชน (Li et al., 2018) ในขณะที่สีของไมโครพลาสติกในตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียรโดยรวมพบทั้งหมด 8 สี ได้แก่ สีดำ สีน้ำเงิน สีม่วง สีฟ้า สีแดง สีชมพู สีขาวใส และสีเขียว โดยไมโครพลาสติกในตะกอนพบสีแดงมากที่สุด เท่ากับ 38% เนื่องจากไมโครพลาสติกสีแดงส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียแบบปรับเสถียรส่วนใหญ่เป็นรูปร่างไร้รูปแบบอาจเป็นไปได้

ว่ามีแหล่งหลักมาจากพลาสติกที่แตกหักเป็นไมโครพลาสติก (Murphy et al., 2016) และเมื่อเทียบสัดส่วนลักษณะสีของไมโครพลาสติกที่มีสีเข้มจะคิดเป็น 72% ในขณะที่สีขาวใสจะคิดเป็น 28% พบว่าจำนวนน้อยกว่าพลาสติกที่มีสีเข้ม แสดงว่าพลาสติกที่มีสีขาวใสจะถูกเก็บไปเข้ากระบวนการรีไซเคิล แต่พลาสติกที่มีสีเข้มนั้นไม่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ จึงมีโอกาสหลุดรอดสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก

8. การศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ โดยมีขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ 5 ขนาด ได้แก่ 0.02-0.3 มิลลิเมตร 0.4-1.0 มิลลิเมตร 1.1-2.0 มิลลิเมตร 2.1-3.5 มิลลิเมตร และ 3.6-5.0 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 38% เนื่องจากไมโครพลาสติกเกิดจากพลาสติกที่แตกหักเป็นชิ้นขนาดเล็กหรือหลุดจากเส้นใยสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์สิ่งทอกลายเป็นไมโครพลาสติก ดังนั้นไมโครพลาสติกจึงสามารถแตกหักออกเป็นชิ้นเล็กงออีกได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก (Talvitie et al., 2017) นอกจากนี้ ค่า pH และ อุณหภูมิหรือแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ไมโครพลาสติกเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่การศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนพบขนาดไมโครพลาสติกขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 43% เป็นขนาดที่พบมากที่สุดเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ

9. การศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร โดยมีขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ 5 ขนาด ได้แก่ 0.02-0.3 มิลลิเมตร 0.4-1.0 มิลลิเมตร 1.1-2.0 มิลลิเมตร 2.1-3.5 มิลลิเมตร และ 3.6-5.0 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 39% เนื่องจากไมโครพลาสติกเกิดจากพลาสติกที่แตกหักเป็นชิ้นขนาดเล็กหรือหลุดจากเส้นใยสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์สิ่งทอกลายเป็นไมโครพลาสติก ดังนั้นไมโครพลาสติกจึงสามารถแตกหักออกเป็นชิ้นเล็กงออีกได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้พบไมโครพลาสติกขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก (Talvitie et al., 2017) นอกจากนี้ ค่า pH และ อุณหภูมิหรือแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ไมโครพลาสติกเกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่การศึกษาขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนพบขนาดไมโครพลาสติกขนาด 0.02-0.3 มิลลิเมตร เท่ากับ 53% เป็นขนาดที่พบมากที่สุดเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ

10. การศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ พบสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติก 5 ชนิด ได้แก่ Polyvinyl chloride, Polypropylene, Polyethylene, Acetate fiber และ Polyester โดยพบสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากที่สุด เท่ากับ 62% เนื่องจาก Polypropylene เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่ามีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด

Polypropylene มากในระบบบำบัดน้ำเสีย ในขณะที่ตัวอย่างตะกอนโดยรวมทั้งระบบพบว่าพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติก Polypropylene พบมากที่สุดเท่ากับ 64% เนื่องจาก Polypropylene ส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างไร้รูปแบบ โดย Polypropylene เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่ามีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในตะกอนเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ (Talvitie et al., 2017; Mintenig et al., 2017; Lares et al., 2018; Long et al., 2019) นอกจากนี้การที่ไม่พบสารพอลิเมอร์ชนิด Polyethylene terephthalate ในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปขวดพลาสติก หรือที่เรียกว่าขวด PET โดยส่วนใหญ่จะเป็นสีขาวใส ซึ่งอาจมีการจัดการขยะพลาสติกประเภทนี้ได้ดี เนื่องจากสามารถนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้

11. การศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเสถียร พบสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติก 5 ชนิด ได้แก่ Polyvinyl chloride, Polypropylene, Polyethylene, Acetate fiber และ Polyester พบสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากที่สุดเท่ากับ 64% เนื่องจาก Polypropylene เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่ามีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในระบบบำบัดน้ำเสีย ในขณะที่การศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกจากตัวอย่างตะกอนโดยรวมพบพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากที่สุดเท่ากับ 81% เนื่องจาก Polypropylene ส่วนใหญ่ที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียมีรูปร่างไร้รูปแบบโดยพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติก ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียแห่งนี้พบว่ามีขยะพลาสติก เช่น พลาสติกบรรจุอาหาร หลอดพลาสติกอยู่ในจุดตะแกรงดักขยะก่อนน้ำเข้าระบบเป็นจำนวนมากจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดของสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกชนิด Polypropylene มากในตะกอนเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำ (Talvitie et al., 2017; Mintenig et al., 2017; Lares et al., 2018; Long et al., 2019) และจากการที่ไม่พบสารพอลิเมอร์ ชนิด Polyethylene terephthalate ในระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นสารพอลิเมอร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปขวดพลาสติก หรือที่เรียกว่าขวด PET โดยส่วนใหญ่จะเป็นสีขาวใส ซึ่งอาจมีการจัดการขยะพลาสติกประเภทนี้ได้ดี เนื่องจากสามารถนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. การเก็บตัวอย่างไมโครพลาสติกควรเก็บตัวอย่างในทุกช่วงฤดู เนื่องจากอาจมีปัจจัยด้านสภาพอากาศปริมาณน้ำเสียในแต่ละฤดูที่อาจทำให้จำนวนไมโครพลาสติกมีความแปรปรวนได้

5.2.2. ควรมีการศึกษาแนวทางในการจัดการระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดไมโครพลาสติกได้ดียิ่งขึ้น และแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อกำจัดไมโครพลาสติกในตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย



บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2545). *น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- กรมควบคุมมลพิษ. (2560). *คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ, อาทิตย์ เพ็ชรรักษ์, เจนยุกต์ โล่ห์วัชรินทร์, จงรักษ์ ผลประเสริฐ. (2562).
มลสารไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำเสียดิบและระบบบำบัดน้ำเสีย. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 1.
- จินตมาศ ศิลปพรหมมาศ. (2562). *ไมโครพลาสติก (Microplastic) : ปัญหาในห่วงโซ่อาหาร*.
- จิราพร เกิดแก้ว. (2558). *การศึกษาผ้าชนิดต่างๆ ด้วยเทคนิค ATR-FTIR, TGA และ DSC เพื่อ
ประโยชน์ทางนิติวิทยาศาสตร์*.
- มหาวิทยาลัยมหิดล คณะเภสัช. (2555). *ผลิตภัณฑ์พลาสติกกับอาหาร*. สืบค้นจาก
[https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/86/ผลิตภัณฑ์พลาสติก
กับอาหาร](https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/86/ผลิตภัณฑ์พลาสติกกับอาหาร)
- วารางคณา อนุชิตโอฬาร. (2546). *FT-IR Imaging* (pp. 67–70). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ
แห่งชาติ.
- วัชรพล สันติวัชรานุรักษ์ และศदानันท์ ศรีวุฒิมงคล. (2561). *Occurrence of Microplastics in
Downstream Chi River*. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สีลาวุธ ดำรงศิริ และเพ็ญรดี จันทร์ภักดิ์. (2018). *ไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำจืดและแหล่งน้ำเพื่อ
การอุปโภคบริโภค*. 23(ฉบับที่ 2), 1–11.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2550). *ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้*.
http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/
- สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่าชายเลน คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัย
บูรพา. (2557). *รายงานฉบับสมบูรณ์การสำรวจและจำแนกตัวอย่างขยะทะเลประเภทไมโคร*

บรรณานุกรม (ต่อ)

พลาสติก โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและป่ชายเลน.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 (อุดรธานี). (2562). รายงานการติดตามประเมินผลประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2562. In *Society*.

สุจิตรา วาสนาคำรงค์ดี. (2017). ภาพรวมมาตรการลดขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งในต่างประเทศ. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 23(ฉบับที่ 2), 1–10.

Alam, F. C., Sembiring, E., Muntalif, B. S., & Suendo, V. (2019). Microplastic distribution in surface water and sediment river around slum and industrial area (case study: Ciwalengke River, Majalaya district, Indonesia). *Chemosphere*, 224, 637–645.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.188>

Bakaraki Turan, N., Sari Erkan, H., & Onkal Engin, G. (2021). Microplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, fate and identification. *Process Safety and Environmental Protection*, 146, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.08.039>

Birnstiel, S., Soares-Gomes, A., & da Gama, B. A. P. (2019). Depuration reduces microplastic content in wild and farmed mussels. *Marine Pollution Bulletin*, 140(December 2018), 241–247. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.044>

Burkhardt-Holm, P., & Guyen, A. N. (2019). Ingestion of microplastics by fish and other prey organisms of cetaceans, exemplified for two large baleen whale species. *Marine Pollution Bulletin*, 144(March), 224–234.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.068>

Carr, S. A., Liu, J., & Tesoro, A. G. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Research*, 91, 174–182.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Cho, Y., Shim, W. J., Jang, M., Han, G. M., & Hong, S. H. (2018). Abundance and characteristics of microplastics in market bivalves from South Korea. *Environmental Pollution*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.091>
- Dawson, A. L., Kawaguchi, S., King, C. K., Townsend, K. A., King, R., Huston, W. M., & Bengtson Nash, S. M. (2018). Turning microplastics into nanoplastics through digestive fragmentation by Antarctic krill. *Nature Communications*, *9*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03465-9>
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, *75*(October), 63–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Fuller, S., & Gautam, A. (2016). A Procedure for Measuring Microplastics using Pressurized Fluid Extraction. *Environmental Science and Technology*, *50*(11), 5774–5780. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00816>
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J., & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science and Health*, *1*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>
- GESAMP. (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. *GESAMP Reports & Studies*, *99*, 130.
- Green, D. S., Boots, B., Sigwart, J., Jiang, S., & Rocha, C. (2016). Effects of conventional and biodegradable microplastics on a marine ecosystem engineer (*Arenicola marina*) and sediment nutrient cycling. *Environmental Pollution*, *208*, 426–434.

บรรณานุกรม (ต่อ)

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.10.010>

Hurley, R., Woodward, J., & Rothwell, J. J. (2018). Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience*, *11*(4), 251–257. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0080-1>

Li, C., Gan, Y., Dong, J., Fang, J., Chen, H., Quan, Q., & Liu, J. (2020). Impact of microplastics on microbial community in sediments of the Huangjinxia Reservoir—water source of a water diversion project in western China. *ECSN*, *126740*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126740>

Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, *137*, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>

Liu, W., Zhang, J., Liu, H., Guo, X., Zhang, X., Yao, X., Cao, Z., & Zhang, T. (2021). A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms. *Environment International*, *146*, 106277. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106277>

Liu, X., Yuan, W., Di, M., Li, Z., & Wang, J. (2019). Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China. *Chemical Engineering Journal*, *362*(November 2018), 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.033>

Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., Lin, H., Chen, H., & Jin, X. (2019). Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Research*, *155*, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Lu, S., Qiu, R., Hu, J., Li, X., Chen, Y., Zhang, X., Cao, C., Shi, H., Xie, B., Wu, W. M., & He, D. (2020). Prevalence of microplastics in animal-based traditional medicinal materials: Widespread pollution in terrestrial environments. *Science of the Total Environment*, 709, 136214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136214>
- Ma, Y., Huang, A., Cao, S., Sun, F., Wang, L., Guo, H., & Ji, R. (2016). Effects of nanoplastics and microplastics on toxicity, bioaccumulation, and environmental fate of phenanthrene in fresh water. *Environmental Pollution*, 219, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.061>
- Martin, J., Lusher, A., Thompson, R. C., & Morley, A. (2017). The Deposition and Accumulation of Microplastics in Marine Sediments and Bottom Water from the Irish Continental Shelf. *Scientific Reports*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11079-2>
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology*, 50(11), 5800–5808. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>
- Nan, B., Su, L., Kellar, C., Craig, N. J., & Keough, M. J. (2020). Identification of microplastics in surface water and Australian freshwater shrimp *Paratya australiensis* in Victoria, Australia. *Environmental Pollution*, 113865. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113865>
- Ngo, P. L., Pramanik, B. K., Shah, K., & Roychand, R. (2019). Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*, 255, 113326.

บรรณานุกรม (ต่อ)

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113326>

Oceanography Lab at DSC. (2018). *Small fibers, Big problems- CUR Allie*. Institute of Marine and Environmental Studies.

<http://oce1001lab.blogspot.com/2018/10/small-fibers-big-problems-cur-allie.html>

Panebianco, A., Nalbone, L., Giarratana, F., & Ziino, G. (2019). First discoveries of microplastics in terrestrial snails. *Food Control*, 106(June), 106722.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106722>

Qiao, R., Deng, Y., Zhang, S., Wolosker, M. B., Zhu, Q., Ren, H., & Zhang, Y. (2019). Accumulation of different shapes of microplastics initiates intestinal injury and gut microbiota dysbiosis in the gut of zebrafish. *Chemosphere*, 236, 124334.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.065>

Ren, X., Tang, J., Liu, X., & Liu, Q. (2019). Effects of microplastics on greenhouse gas emissions and the microbial community in fertilized soil. *Environmental Pollution*, 113347. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113347>

Saunders, F. M. (2013). Activated Sludge Activated sludge. *Bio & Nano*, 51(6), 1184–1196. <https://doi.org/10.14321/waterpathogens.62>

Shen, M., Zhang, Y., Zhu, Y., Song, B., Zeng, G., Hu, D., Wen, X., & Ren, X. (2019). Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: A review. *Environmental Pollution*, 252, 511–521.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.102>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodriguez-Espinosa, P. F., & Rodriguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *Science of the Total Environment*, *654*, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.054>
- Sol, D., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of the Total Environment*, *740*, 140016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140016>
- Talvitie, J., Mikola, A., Koistinen, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, *123*, 401–407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.005>
- Tang, N., Liu, X., & Xing, W. (2020). Microplastics in wastewater treatment plants of Wuhan, Central China: Abundance, removal, and potential source in household wastewater. *Science of the Total Environment*, *745*, 141026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141026>
- Wang, J., Peng, J., Tan, Z., Gao, Y., Zhan, Z., Chen, Q., & Cai, L. (2017). Microplastics in the surface sediments from the Beijiang River littoral zone: Composition, abundance, surface textures and interaction with heavy metals. *Chemosphere*, *171*, 248–258. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.074>
- Wang, Z., Su, B., Xu, X., Di, D., Huang, H., Mei, K., Dahlgren, R. A., Zhang, M., & Shang, X. (2018). Preferential accumulation of small (<300 µm) microplastics in the sediments of a coastal plain river network in eastern China. *Water Research*, *144*, 393–401. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.050>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- World Health Organization. (2019). *Microplastics in drinking-water*. Switzerland: WHO publications.
- Wright, S.L., Ulke, J., Font, A., Chan, K. L. A., & Kelly, F. J. (2019). Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environment International*, November, 105411. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411>
- Wright, Stephanie L., Rowe, D., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). Microplastic ingestion decreases energy reserves in marine worms. *Current Biology*, 23(23), R1031–R1033. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.068>
- Xiong, X., Tu, Y., Chen, X., Jiang, X., Shi, H., Wu, C., & Elser, J. J. (2019). Ingestion and egestion of polyethylene microplastics by goldfish (*Carassius auratus*): influence of color and morphological features. *Heliyon*, 5(12), e03063. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03063>
- Xu, X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q., & Wang, L. P. (2019). Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal. *Chemosphere*, 235, 1089–1096. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.197>
- Yan, M., Nie, H., Xu, K., He, Y., Hu, Y., Huang, Y., & Wang, J. (2019). Microplastic abundance, distribution and composition in the Pearl River along Guangzhou city and Pearl River estuary, China. *Chemosphere*, 217, 879–886. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.093>
- Zhang, M., Zhao, Y., Qin, X., Jia, W., Chai, L., Huang, M., & Huang, Y. (2019). Microplastics from mulching film is a distinct habitat for bacteria in farmland soil. *Science of the Total Environment*, 688, 470–478.

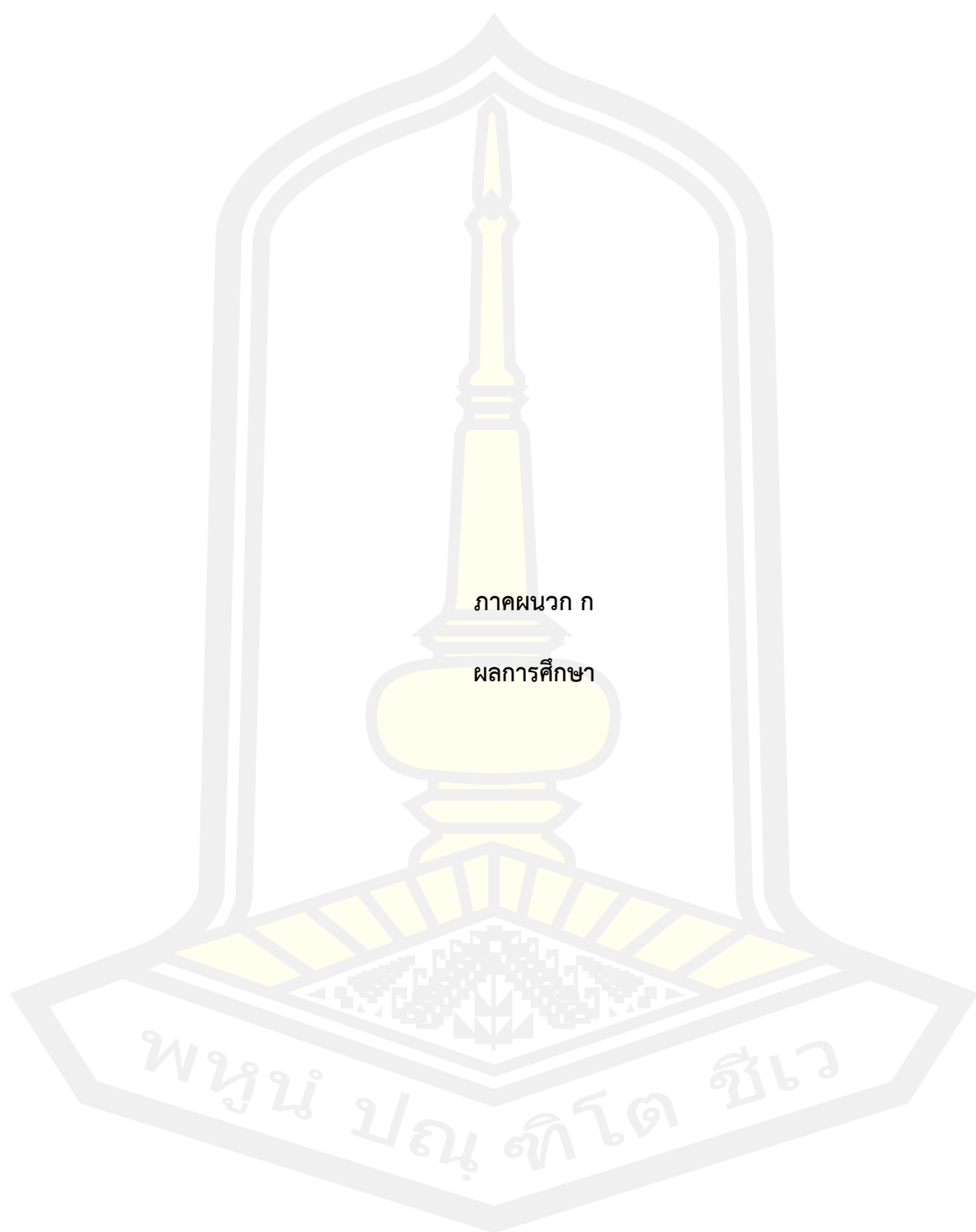
บรรณานุกรม (ต่อ)

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.108>

Zhou, B., Wang, J., Zhang, H., Shi, H., Fei, Y., Huang, S., Tong, Y., Wen, D., Luo, Y., & Barceló, D. (2019). Microplastics in agricultural soils on the coastal plain of Hangzhou Bay, east China: Multiple sources other than plastic mulching film. *Journal of Hazardous Materials*, November, 121814.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121814>





ตารางที่ ก-1 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ชิ้น/ลิตร)
จุดน้ำเข้า	4.67	8.33	20.33	5.00	38.33	9.58	7.36
บ่อเติมอากาศ	4.33	6.33	7.00	2.33	20.00	5.00	2.11
บ่อดกตะกอน	3.33	1.33	4.67	2.00	11.33	2.83	1.48
จุดน้ำออก	1.00	0.33	2.33	2.33	6.00	1.50	1.00

ตารางที่ ก-2 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บตัวอย่างตะกอน	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ชิ้น/กก.)
บ่อเติมอากาศ	17.93	17.93	81.96	25.61	143.44	35.86	30.95
บ่อดกตะกอน	10.25	10.25	51.23	15.37	87.09	21.77	19.78



ตารางที่ ก-3 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บตัวอย่าง	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ชิ้น/ลิตร)
จุดน้ำเข้า	8.00	8.00	11.33	6.67	34.00	8.50	1.99
บ่อหมัก	4.00	5.00	8.00	4.33	21.33	5.33	1.83
บ่อฝิ่ง	2.67	3.33	3.33	5.00	14.33	3.58	1.00
บ่อบ่ม	2.00	1.67	1.67	4.67	10.00	2.50	1.45
จุดน้ำออก	2.00	1.00	2.00	2.67	7.67	1.92	0.69

ตารางที่ ก-4 จำนวนไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอนทั้ง 4 ครั้ง จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ. 2563

จุดเก็บตัวอย่างตะกอน	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	ค่าเฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ชิ้น/กก.)
บ่อหมัก	15.37	35.86	51.23	46.10	148.56	37.14	15.86
บ่อฝิ่ง	10.25	23.05	43.54	28.17	105.02	26.25	13.77

พหุ ประถมศึกษา

ตารางที่ ก-5 รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

		รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำ							
จุดเก็บ ตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์ เซ็นต์	
		(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)		
จุดน้ำเข้า	เส้นใย	1.33	5.33	5.67	2.67	15.00	3.75	39%	
	ไร้รูปแบบ	3.33	3.00	14.67	2.00	23.00	5.75	60%	
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	1%	
บ่อเติม อากาศ	เส้นใย	3.33	5.00	1.33	1.00	10.67	2.67	53%	
	ไร้รูปแบบ	1.00	1.33	5.67	1.33	9.33	2.33	47%	
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	
บ่อตก ตะกอน	เส้นใย	2.00	1.33	3.00	2.00	8.33	2.08	69%	
	ไร้รูปแบบ	1.33	0.67	1.67	0.00	3.67	0.92	31%	
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	
จุดน้ำออก	เส้นใย	0.33	0.33	0.67	0.00	1.33	0.33	24%	
	ไร้รูปแบบ	0.67	0.00	1.33	2.00	4.00	1.00	71%	
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	6%	
		รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างตะกอน							
จุดเก็บ ตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์ เซ็นต์	
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)		
บ่อเติม อากาศ	เส้นใย	2.56	10.25	30.74	12.81	56.35	14.09	39%	
	ไร้รูปแบบ	15.37	7.68	51.23	12.81	87.09	21.77	61%	
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%	
บ่อตก ตะกอน	เส้นใย	7.68	5.12	20.49	5.12	38.42	9.61	44%	
	ไร้รูปแบบ	2.56	5.12	25.61	10.25	43.54	10.89	50%	
	แท่ง	0.00	0.00	5.12	0.00	5.12	1.28	6%	

ตารางที่ ก-6 รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์
		(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	(ชิ้น/ลิตร)	
จุดน้ำเข้า	เส้นใย	4.67	2.33	2.00	2.33	11.33	2.22	26%
	ไร้รูปแบบ	3.33	5.67	9.33	4.00	22.33	6.33	73%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.11	1%
บ่อหมัก	เส้นใย	3.00	3.33	4.67	3.00	14.00	3.67	63%
	ไร้รูปแบบ	1.00	1.67	3.00	1.33	7.00	2.00	35%
	แท่ง	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.11	2%
บ่อฝิ่ง	เส้นใย	2.33	2.33	1.00	2.33	8.00	1.89	49%
	ไร้รูปแบบ	0.33	1.00	2.33	2.67	6.33	2.00	51%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อบ่ม	เส้นใย	0.00	1.67	0.67	4.00	6.33	2.11	79%
	ไร้รูปแบบ	1.67	0.00	1.00	0.67	3.33	0.56	21%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำออก	เส้นใย	1.67	1.00	0.67	1.33	4.67	1.00	53%
	ไร้รูปแบบ	0.33	0.00	1.33	1.33	3.00	0.89	47%
	แท่ง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
รูปร่างไมโครพลาสติกตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	รูปร่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์
		(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	
บ่อหมัก	เส้นใย	2.56	10.25	10.25	20.49	43.54	10.89	31%
	ไร้รูปแบบ	12.81	25.61	33.30	25.61	97.33	24.33	63%
	แท่ง	0.00	0.00	7.68	0.00	7.68	1.92	6%
บ่อฝิ่ง	เส้นใย	2.56	7.68	15.37	10.25	35.86	8.96	35%
	ไร้รูปแบบ	7.68	12.81	25.61	17.93	64.03	16.01	59%
	แท่ง	0.00	2.56	2.56	0.00	5.12	1.28	5%

ตารางที่ ก-7 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
จุดน้ำเข้า	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.22	2%
	น้ำเงิน	1.00	2.67	6.00	1.33	11.00	3.33	30%
	ม่วง	0.00	1.33	0.67	0.67	2.67	0.89	8%
	ฟ้า	0.33	1.00	3.67	0.33	5.33	1.67	15%
	แดง	0.33	0.00	6.00	0.67	7.00	2.22	20%
	ชมพู	0.67	1.00	0.67	0.00	2.33	0.56	5%
	ขาวใส	2.33	2.00	3.33	0.33	8.00	1.89	17%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.33	0.00	1.00	1.33	0.44	4%
บ่อเติม อากาศ	ดำ	0.00	1.00	0.67	0.00	1.67	0.56	11%
	น้ำเงิน	2.67	3.00	3.33	0.33	9.33	2.22	43%
	ม่วง	0.33	0.00	0.00	0.33	0.67	0.11	2%
	ฟ้า	0.67	0.67	0.33	0.00	1.67	0.33	6%
	แดง	0.00	1.33	1.67	1.33	4.33	1.44	28%
	ชมพู	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0%
	ขาวใส	0.33	0.33	0.67	0.33	1.67	0.44	9%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.11	2%

ตารางที่ ก-7 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)	(ชิ้น/ ลิตร)			
บ่อดก ตะกอน	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	0.33	1.33	1.33	0.67	3.67	1.11	38%
	ม่วง	1.00	0.00	1.00	1.33	3.33	0.78	27%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	แดง	0.67	0.00	1.33	0.00	2.00	0.44	15%
	ชมพู	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.00	0%
	ขาวใส	1.00	0.67	1.00	0.00	2.67	0.56	19%
	เขียว เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำออก	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	0.33	0.33	0.67	0.00	1.33	0.33	21%
	ม่วง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.22	14%
	แดง	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.22	14%
	ชมพู	0.67	0.00	0.00	0.00	0.67	0.00	0%
	ขาวใส	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	0.33	21%
	เขียว เหลือง	0.00	0.00	0.67	0.67	1.33	0.44	29%
ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รวม (ชิ้น/ กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)			
บ่อดก อากาศ	ดำ	0.00	0.00	2.56	2.56	5.12	1.28	4%
	น้ำเงิน	2.56	0.00	10.25	7.68	20.49	5.12	14%
	ม่วง	0.00	0.00	20.49	2.56	23.05	5.76	16%
	ฟ้า	2.56	0.00	0.00	2.56	5.12	1.28	4%
	แดง	2.56	5.12	2.56	7.68	17.93	4.48	13%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	2.56	2.56	0.64	2%
	ขาวใส	10.25	12.81	43.54	0.00	66.59	16.65	46%

ตารางที่ ก-7 ลักษณะสีไมโครพลาสติกตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/ กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)			
บ่อเติม อากาศ	เขียว	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อดก ตะกอน	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	7.68	0.00	10.25	2.56	20.49	5.12	24%
	ม่วง	0.00	2.56	5.12	2.56	10.25	2.56	12%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.00	5.12	5.12	1.28	6%
	แดง	0.00	0.00	5.12	5.12	10.25	2.56	12%
	ชมพู	0.00	2.56	0.00	0.00	2.56	0.64	3%
	ขาวใส	2.56	5.12	30.74	0.00	38.42	9.61	44%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ ก-8 ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

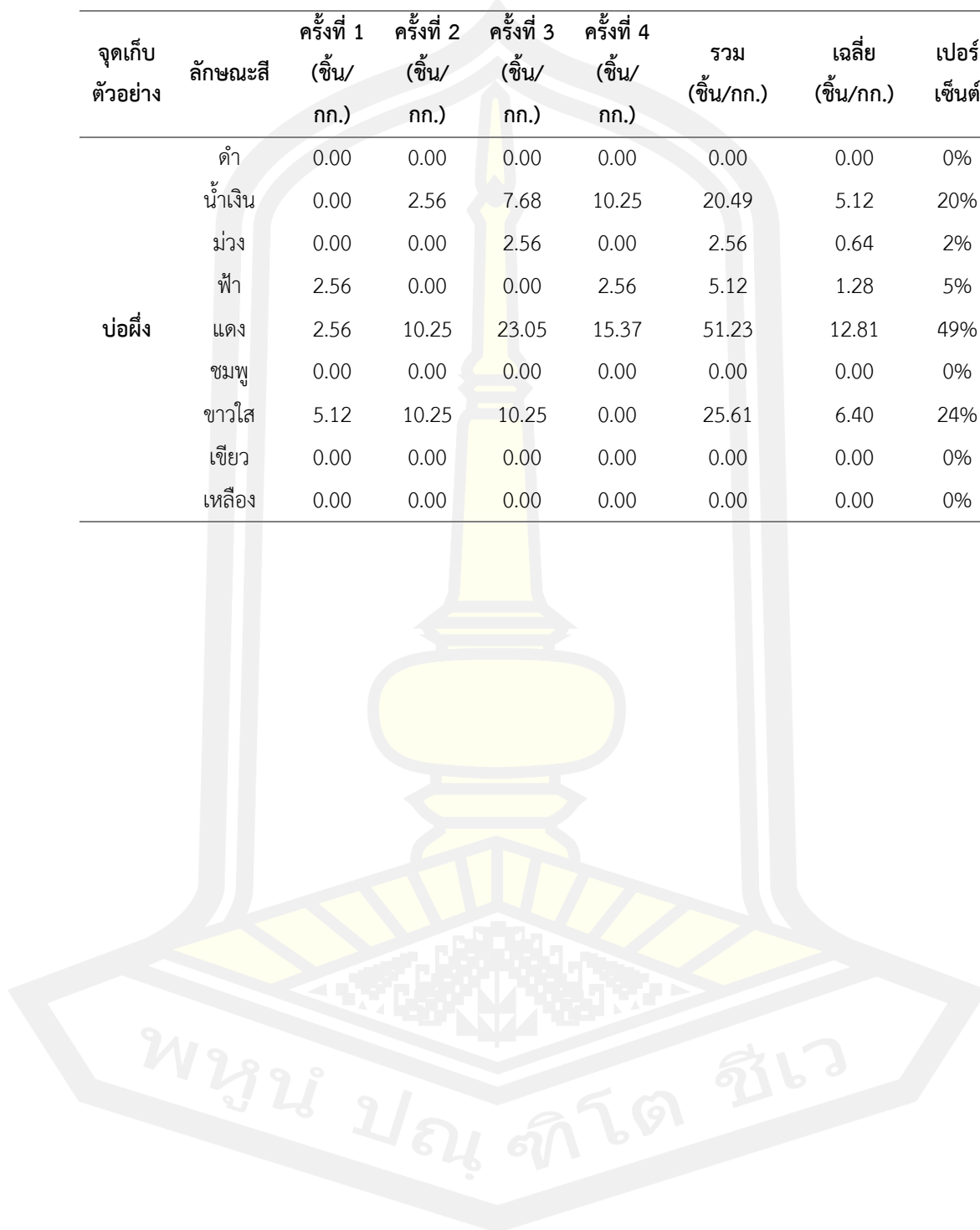
จุดเก็บตัวอย่าง	ลักษณะสี	ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ				รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)			
จุดน้ำเข้า	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	1%
	น้ำเงิน	2.00	2.67	2.67	0.67	8.00	2.00	24%
	ม่วง	0.67	0.00	0.00	1.00	1.67	0.42	5%
	ฟ้า	0.33	0.00	0.33	0.00	0.67	0.17	2%
	แดง	1.67	1.00	2.33	1.00	6.00	1.50	18%
	ชมพู	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.08	1%
	ขาวใส	2.67	3.33	5.33	1.00	12.33	3.08	36%
	เขียว	0.33	0.33	0.00	0.33	1.00	0.25	3%
	เหลือง	0.00	0.67	0.67	2.33	3.67	0.92	11%
บ่อหมัก	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	1.67	1.67	2.00	1.67	7.00	1.75	33%
	ม่วง	0.00	0.00	3.00	0.67	3.67	0.92	17%
	ฟ้า	0.00	0.33	0.33	0.33	1.00	0.25	5%
	แดง	0.33	1.00	0.67	0.33	2.33	0.58	11%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	1.67	2.00	2.00	1.33	7.00	1.75	33%
	เขียว	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.08	2%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ ก-8 ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชั้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชั้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชั้น/ ลิตร)	(ชั้น/ ลิตร)	(ชั้น/ ลิตร)	(ชั้น/ ลิตร)			
บ่อฝิ่ง	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	1.33	1.00	1.33	1.00	4.67	1.17	33%
	ม่วง	1.00	1.00	0.00	1.00	3.00	0.75	21%
	ฟ้า	0.00	0.33	0.00	1.00	1.33	0.33	9%
	แดง	0.00	0.00	0.33	1.67	2.00	0.50	14%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	0.33	0.67	1.33	0.00	2.33	0.58	16%
	เขียว	0.00	0.33	0.00	0.00	0.33	0.08	2%
	เหลือง	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.17	5%
บ่อป๋ม	ดำ	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	14%
	น้ำเงิน	0.00	1.33	0.33	1.00	2.67	0.67	28%
	ม่วง	0.00	0.33	0.00	2.67	3.00	0.75	31%
	ฟ้า	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	3%
	แดง	0.00	0.00	0.33	0.67	1.00	0.25	10%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	0.33	0.00	0.33	0.33	1.00	0.25	10%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	3%

ตารางที่ ก-8 ลักษณะสีไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ลักษณะสี	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
		(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)	(ชิ้น/ กก.)			
บ่อฝิ่ง	ดำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	น้ำเงิน	0.00	2.56	7.68	10.25	20.49	5.12	20%
	ม่วง	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	ฟ้า	2.56	0.00	0.00	2.56	5.12	1.28	5%
	แดง	2.56	10.25	23.05	15.37	51.23	12.81	49%
	ชมพู	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	ขาวใส	5.12	10.25	10.25	0.00	25.61	6.40	24%
	เขียว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	เหลือง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%



ตารางที่ ก-9 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
 สระเต็มอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บ ตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ				รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์ เซ็นต์
		ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)			
จุดน้ำ เข้า	0.02-0.3	0.33	2.00	12.67	1.67	16.67	4.17	43%
	0.4-1.0	1.67	3.33	4.00	1.33	10.33	2.58	27%
	1.1-2.0	1.33	1.67	2.67	1.00	6.67	1.67	17%
	2.1-3.5	1.00	1.33	1.00	1.00	4.33	1.08	11%
	3.6-5.0	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	1%
บ่อเติม อากาศ	0.02-0.3	0.00	1.00	5.67	1.00	7.67	1.92	38%
	0.4-1.0	2.00	2.67	0.67	0.33	5.67	1.42	28%
	1.1-2.0	2.33	1.67	0.33	1.00	5.33	1.33	27%
	2.1-3.5	0.00	1.00	0.33	0.00	1.33	0.33	7%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อดก ตะกอน	0.02-0.3	0.00	0.00	1.33	0.00	1.33	0.33	11%
	0.4-1.0	1.67	0.33	1.67	0.67	4.33	1.08	36%
	1.1-2.0	1.67	1.00	1.67	0.67	5.00	1.25	42%
	2.1-3.5	0.00	0.67	0.00	0.67	1.33	0.33	11%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
จุดน้ำ ออก	0.02-0.3	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00	0.75	50%
	0.4-1.0	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	0.25	17%
	1.1-2.0	0.67	0.33	0.33	0.00	1.33	0.33	22%
	2.1-3.5	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.08	6%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	6%

ตารางที่ ก-9 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
 สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บ ตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/กก.)	รวม (ชิ้น/กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/กก.)	เปอร์ เซ็นต์
บ่อเติม อากาศ	0.02-0.3	10.25	0.00	40.98	12.81	64.03	16.01	45%
	0.4-1.0	5.12	12.81	28.17	7.68	53.79	13.45	38%
	1.1-2.0	2.56	5.12	7.68	2.56	17.93	4.48	13%
	2.1-3.5	0.00	0.00	2.56	2.56	5.12	1.28	4%
	3.6-5.0	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
บ่อตก ตะกอน	0.02-0.3	0.00	2.56	23.05	10.25	35.86	8.96	41%
	0.4-1.0	0.00	7.68	20.49	0.00	28.17	7.04	32%
	1.1-2.0	5.12	0.00	5.12	2.56	12.81	3.20	15%
	2.1-3.5	5.12	0.00	0.00	0.00	5.12	1.28	6%
	3.6-5.0	0.00	0.00	2.56	2.56	5.12	1.28	6%

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

ตารางที่ ก-10 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ลิตร)	รวม (ชิ้น/ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำเข้า	0.02-0.3	2.00	5.67	8.33	3.67	19.67	4.92	58%
	0.4-1.0	3.00	1.00	3.00	1.67	8.67	2.17	25%
	1.1-2.0	2.00	1.00	0.00	1.00	4.00	1.00	12%
	2.1-3.5	1.00	0.33	0.00	0.33	1.67	0.42	5%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
บ่อหมัก	0.02-0.3	0.00	1.33	2.67	0.67	4.67	1.17	22%
	0.4-1.0	2.00	1.33	3.67	1.33	8.33	2.08	39%
	1.1-2.0	1.00	0.67	1.00	1.33	4.00	1.00	19%
	2.1-3.5	0.33	1.00	0.67	0.33	2.33	0.58	11%
	3.6-5.0	0.67	0.67	0.00	0.67	2.00	0.50	9%
บ่อฝุ้ง	0.02-0.3	0.33	0.67	2.00	2.67	5.67	1.42	40%
	0.4-1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	28%
	1.1-2.0	1.33	0.67	0.00	0.67	2.67	0.67	19%
	2.1-3.5	0.00	1.00	0.00	0.33	1.33	0.33	9%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.33	0.33	0.67	0.17	5%
บ่อบ่ม	0.02-0.3	0.00	0.33	0.67	0.33	1.33	0.33	13%
	0.4-1.0	0.67	0.00	0.67	2.33	3.67	0.92	37%
	1.1-2.0	1.00	0.67	0.00	1.33	3.00	0.75	30%
	2.1-3.5	0.33	0.67	0.33	0.33	1.67	0.42	17%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	3%

ตารางที่ ก-10 ขนาดของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำออก	0.02-0.3	0.00	0.00	1.33	1.33	2.67	0.67	35%
	0.4-1.0	1.00	0.67	0.00	1.00	2.67	0.67	35%
	1.1-2.0	1.00	0.33	0.00	0.33	1.67	0.42	22%
	2.1-3.5	0.00	0.00	0.67	0.00	0.67	0.17	9%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
ขนาดไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาด (มม.)	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ กก.)	รวม (ชิ้น/ กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/ กก.)	เปอร์เซ็นต์
บ่อหมัก	0.02-0.3	0.00	17.93	30.74	28.17	76.84	19.21	52%
	0.4-1.0	2.56	10.25	7.68	10.25	30.74	7.68	21%
	1.1-2.0	2.56	5.12	10.25	2.56	20.49	5.12	14%
	2.1-3.5	7.68	2.56	0.00	5.12	15.37	3.84	10%
	3.6-5.0	2.56	0.00	2.56	0.00	5.12	1.28	3%
บ่อป่ม	0.02-0.3	0.00	12.81	28.17	15.37	56.35	14.09	54%
	0.4-1.0	2.56	5.12	10.25	7.68	25.61	6.40	24%
	1.1-2.0	5.12	5.12	5.12	5.12	20.49	5.12	20%
	2.1-3.5	2.56	0.00	0.00	0.00	2.56	0.64	2%
	3.6-5.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ ก-11 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดพอลิเมอร์	ชนิดพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ				รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
		ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)			
จุดน้ำ เข้า	Polyvinyl chloride	0.33	0.67	7.33	0.67	9.00	2.25	24%
	Polypropylene	2.67	5.67	7.33	3.33	19.00	4.75	50%
	Polyethylene	1.33	0.00	2.33	0.33	4.00	1.00	11%
	Acetate fiber	0.00	1.00	0.33	0.00	1.33	0.33	4%
	polyester	0.33	1.00	2.67	0.67	3.33	1.17	12%
บ่อเติม อากาศ	Polyvinyl chloride	0.67	0.67	3.33	0.00	4.67	1.17	23%
	Polypropylene	3.33	4.00	3.00	2.00	12.33	3.08	62%
	Polyethylene	0.00	0.33	0.33	0.00	0.67	0.17	3%
	Acetate fiber	0.33	0.00	0.33	0.33	1.00	0.25	5%
	polyester	0.00	1.33	0.00	0.00	1.33	0.33	7%
บ่อตก ตะกอน	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Polypropylene	3.33	2.00	3.67	2.00	11.00	2.75	92%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Acetate fiber	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	3%
	polyester	0.00	0.00	0.67	0.00	0.67	0.17	6%
จุดน้ำ ออก	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.67	0.67	0.17	11%
	Polypropylene	1.00	0.33	2.00	1.33	4.67	1.17	78%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	6%
	Acetate fiber	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	polyester	0.00	0.00	0.33	0.00	0.33	0.08	8%

ตารางที่ ก-11 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) (ต่อ)

ชนิดสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	รวม	เฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์
		(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	(ชิ้น/กก.)	
บ่อเติมอากาศ	Polyvinyl chloride	2.56	0.00	7.68	5.12	15.37	3.84	11%
	Polypropylene	15.37	7.68	53.79	12.81	89.65	22.41	63%
	Polyethylene	0.00	0.00	17.93	2.56	20.49	5.12	14%
	Acetate fiber	0.00	5.12	2.56	0.00	7.68	1.92	5%
	polyester	0.00	5.12	0.00	5.12	10.25	2.56	7%
บ่อตกตะกอน	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	5.12	5.12	10.25	2.56	12%
	Polypropylene	7.68	7.68	33.30	10.25	58.91	14.73	68%
	Polyethylene	2.56	0.00	0.00	0.00	2.56	0.64	3%
	Acetate fiber	0.00	2.56	12.81	0.00	15.37	3.84	18%
	polyester	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%

ตารางที่ ก-12 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)

ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำ เข้า	Polyvinyl chloride	0.33	0.67	1.67	0.00	2.67	0.67	8%
	Polypropylene	4.67	6.33	8.00	6.33	25.33	6.33	75%
	Polyethylene	1.33	0.67	1.00	0.33	3.33	0.83	10%
	Acetate fiber	0.00	0.33	0.67	0.00	1.00	0.25	3%
	Polyester	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	5%
บ่อหมัก	Polyvinyl chloride	0.00	0.33	1.67	0.33	2.33	0.58	11%
	Polypropylene	3.00	3.00	5.33	3.00	14.33	3.58	67%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	2%
	Acetate fiber	0.67	0.67	0.33	0.67	2.33	0.58	11%
	Polyester	0.33	1.00	0.67	0.00	2.00	0.50	9%
บ่อผึ่ง	Polyvinyl chloride	0.00	0.33	1.00	1.33	2.67	0.67	19%
	Polypropylene	2.33	2.33	1.67	3.00	9.33	2.33	65%
	Polyethylene	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33	0.08	2%
	Acetate fiber	0.00	0.67	0.33	0.00	1.00	0.25	7%
	Polyester	0.00	0.00	0.33	0.67	1.00	0.25	7%
บ่อบ่ม	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Polypropylene	0.33	1.67	1.67	4.33	8.00	2.00	83%
	Polyethylene	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	14%
	Acetate fiber	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Polyester	0.00	0.00	0.00	0.33	0.33	0.08	3%

ตารางที่ ก-12 ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำและตัวอย่างตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond) (ต่อ)

ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำ								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ ลิตร)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ ลิตร)	รวม (ชิ้น/ ลิตร)	เฉลี่ย (ชิ้น/ ลิตร)	เปอร์เซ็นต์
จุดน้ำออก	Polyvinyl chloride	0.00	0.00	1.33	0.67	2.00	0.50	26%
	Polypropylene	0.67	0.33	0.67	2.00	3.67	0.92	48%
	Polyethylene	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0%
	Acetate fiber	0.00	0.67	0.00	0.00	0.67	0.17	9%
	Polyester	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.33	17%
ชนิดสารพอลิเมอร์ของไมโครพลาสติกในตัวอย่างตะกอน								
จุดเก็บตัวอย่าง	ชนิดสารพอลิเมอร์	ครั้งที่ 1 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 2 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 3 (ชิ้น/ กก.)	ครั้งที่ 4 (ชิ้น/ กก.)	รวม (ชิ้น/ กก.)	เฉลี่ย (ชิ้น/ กก.)	เปอร์เซ็นต์
บ่อหมัก	Polyvinyl chloride	0.00	5.12	2.56	7.68	15.37	3.84	10%
	Polypropylene	10.25	25.61	43.54	30.74	110.14	27.53	74%
	Polyethylene	2.56	2.56	2.56	0.00	7.68	1.92	5%
	Acetate fiber	0.00	2.56	0.00	2.56	5.12	1.28	3%
	Polyester	2.56	0.00	2.56	5.12	10.25	2.56	7%
บ่อฝัງ	Polyvinyl chloride	2.56	2.56	2.56	2.56	10.25	2.56	10%
	Polypropylene	5.12	15.37	30.74	25.61	76.84	19.21	73%
	Polyethylene	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	Acetate fiber	0.00	0.00	2.56	0.00	2.56	0.64	2%
	Polyester	2.56	5.12	5.12	0.00	12.81	3.20	12%

ตารางที่ ก-13 ประสิทธิภาพการบำบัดไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร และการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม

จำนวนชิ้นไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำระบบบำบัดแบบสระเติมอากาศ			
ตัวอย่างน้ำ	น้ำเสีย 1 ลิตร	น้ำเสีย 35,000 ลบ.ม./วัน (จริง)	น้ำเสีย 35,000 ลบ.ม./วัน
จุดน้ำเข้า	9.58±7.36 ชิ้น/ลิตร	3,353×10 ⁵ ±2,576×10 ⁵ ชิ้น/วัน	3,353×10 ⁵ ±2,576×10 ⁵ ชิ้น/วัน
จุดน้ำออก	1.50±1.00 ชิ้น/ลิตร	525×10 ⁵ ±350×10 ⁵ ชิ้น/วัน	525×10 ⁵ ±350×10 ⁵ ชิ้น/วัน
การกำจัดไมโครพลาสติก	8.08±6.36 ชิ้น/ลิตร	2,828×10 ⁵ ±2,226×10 ⁵ ชิ้น/วัน	2,828×10 ⁵ ±2,226×10 ⁵ ชิ้น/วัน
จำนวนชิ้นไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร			
ตัวอย่างน้ำ	น้ำเสีย 1 ลิตร	น้ำเสีย 11,600 ลบ.ม./วัน (จริง)	น้ำเสีย 35,000 ลบ.ม./วัน
จุดน้ำเข้า	8.50±1.99 ชิ้น/ลิตร	986×10 ⁵ ±230.84×10 ⁵ ชิ้น/วัน	2,975×10 ⁵ ±696.5×10 ⁵ ชิ้น/วัน
จุดน้ำออก	1.92±0.69 ชิ้น/ลิตร	222.72×10 ⁵ ±80.04×10 ⁵ ชิ้น/วัน	672×10 ⁵ ±241.5×10 ⁵ ชิ้น/วัน
การกำจัดไมโครพลาสติก	6.58±1.3 ชิ้น/ลิตร	763.28×10 ⁵ ±150.8×10 ⁵ ชิ้น/วัน	2,303×10 ⁵ ±455×10 ⁵ ชิ้น/วัน

ตารางที่ ก-14 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสีย

ค่า pH	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกระบบ	น้ำเข้าระบบ	น้ำออกระบบ
9/มิ.ย./63	7.13	7.53	7.88	8.08
28/มิ.ย./63	7.12	7.67	8.43	8.65
10/ส.ค./63	7.35	7.85	7.10	8.48
30/ส.ค./63	7.05	7.67	8.31	8.32

ตารางที่ ก-15 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand)

ค่า BOD	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)
9/มิ.ย./63	17.67	10.13	15.80	11.00
28/มิ.ย./63	15.67	9.47	17.33	11.00
10/ส.ค./63	15.80	11.33	17.43	12.13
30/ส.ค./63	15.13	8.80	12.00	9.10

ตารางที่ ก-16 ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)

ค่า SS	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)
9/มิ.ย./63	28	22	42	12
28/มิ.ย./63	18	20	16	14
10/ส.ค./63	28	18	26	16
30/ส.ค./63	22	12	18	10

ตารางที่ ก-17 ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)

ค่า TDS	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)
9/มิ.ย./63	382	362	678	496
28/มิ.ย./63	566	502	620	353
10/ส.ค./63	394	132	430	256
30/ส.ค./63	740	408	614	404

ตารางที่ ก-18 ค่าความเข้มข้นมวลตะกอนจุลินทรีย์ (Mixed Liquor Suspended Solids)

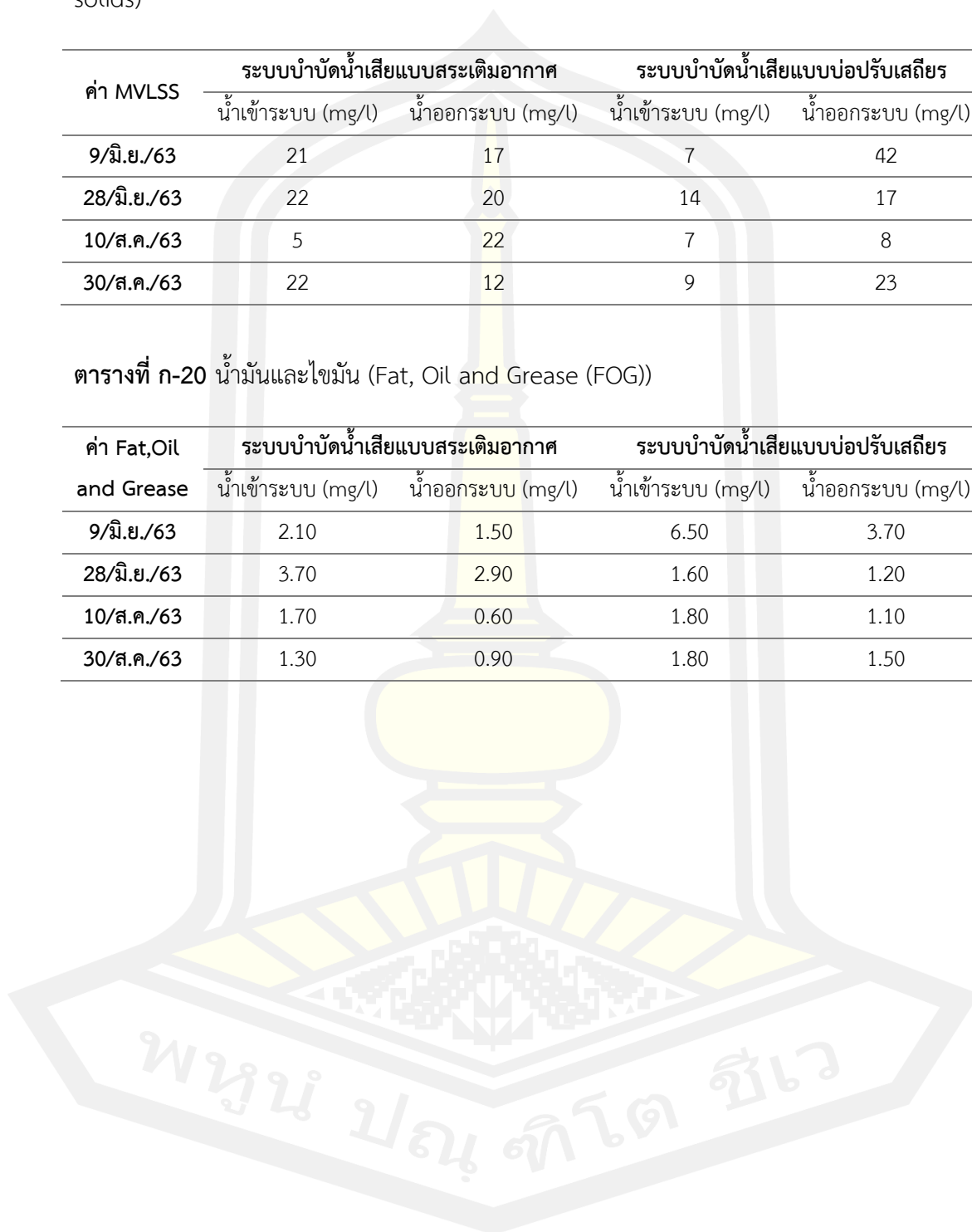
ค่า MLSS	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)
9/มิ.ย./63	17	19	11	30
28/มิ.ย./63	18	20	16	14
10/ส.ค./63	14	13	10	20
30/ส.ค./63	18	7	10	16

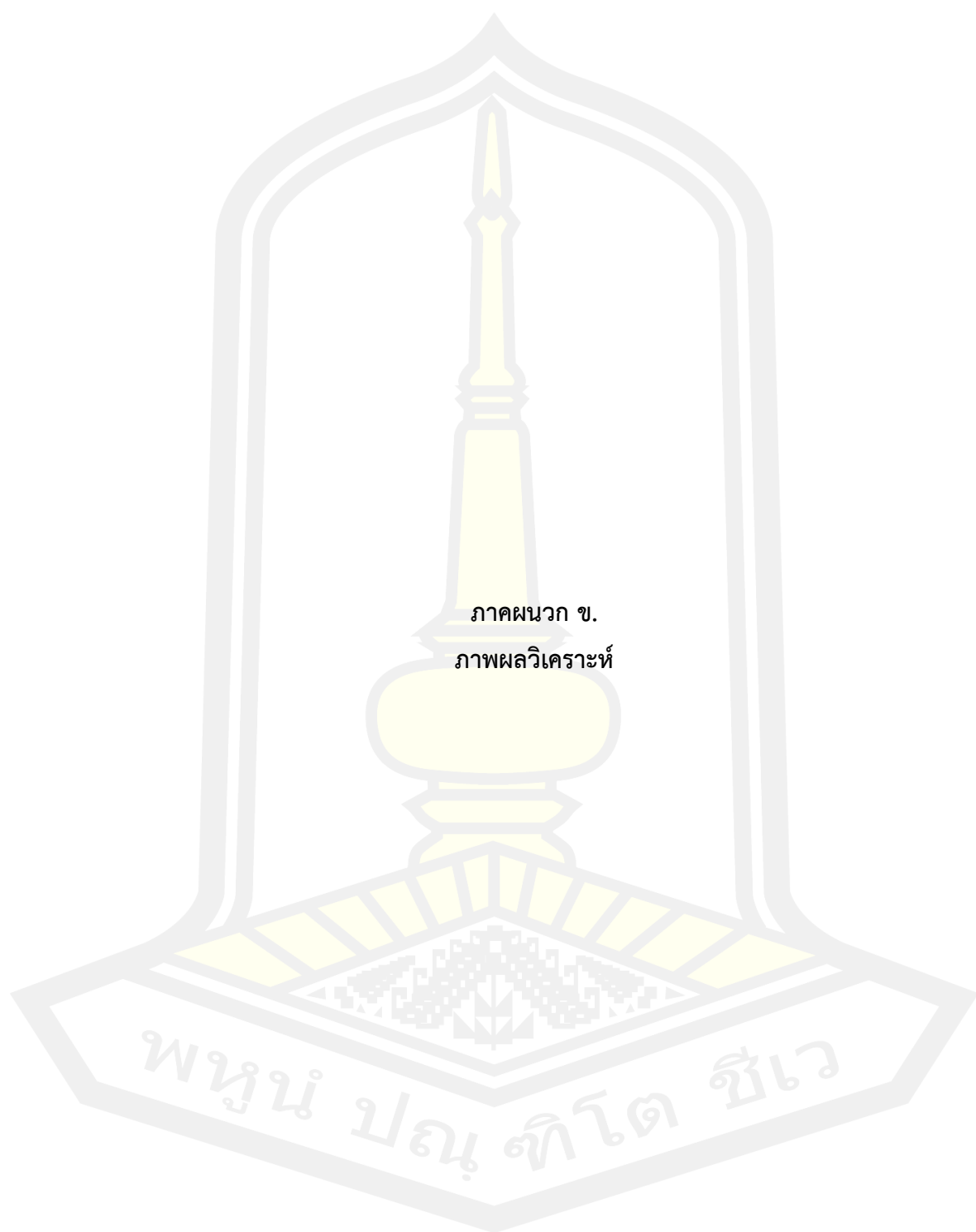
ตารางที่ ก-19 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ (Mixed liquor volatile suspended solids)

ค่า MVLSS	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)
9/มิ.ย./63	21	17	7	42
28/มิ.ย./63	22	20	14	17
10/ส.ค./63	5	22	7	8
30/ส.ค./63	22	12	9	23

ตารางที่ ก-20 น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease (FOG))

ค่า Fat,Oil and Grease	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ		ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร	
	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)	น้ำเข้าระบบ (mg/l)	น้ำออกระบบ (mg/l)
9/มิ.ย./63	2.10	1.50	6.50	3.70
28/มิ.ย./63	3.70	2.90	1.60	1.20
10/ส.ค./63	1.70	0.60	1.80	1.10
30/ส.ค./63	1.30	0.90	1.80	1.50





ภาคผนวก ข.

ภาพผลวิเคราะห์

พหุบัณฑิต วิทโย ชีวะ



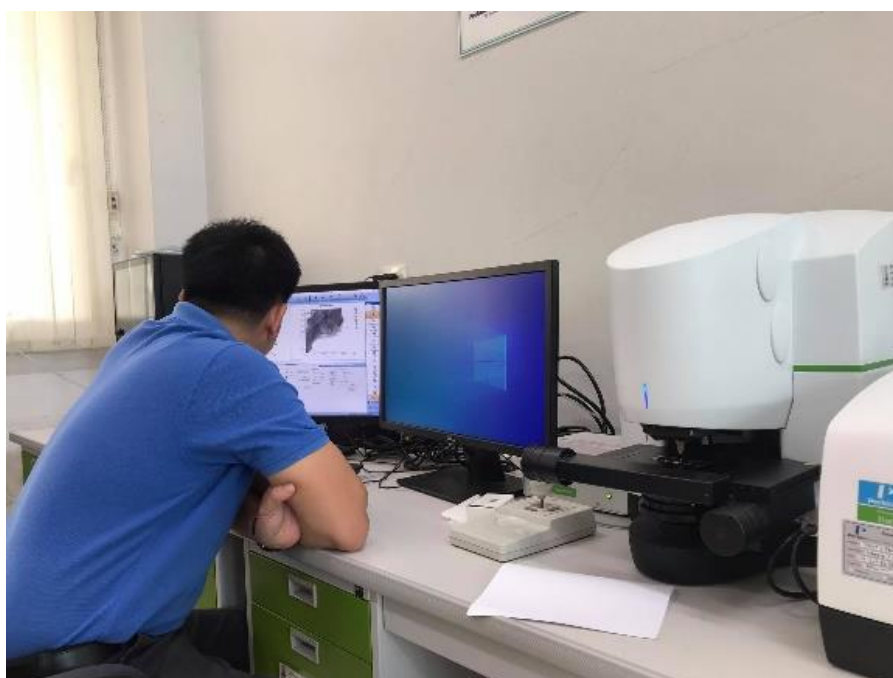
ภาพที่ ข-1 การเก็บตัวอย่างน้ำ



ภาพที่ ข-2 จุดปล่อยน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย



ภาพที่ ข-3 การเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ



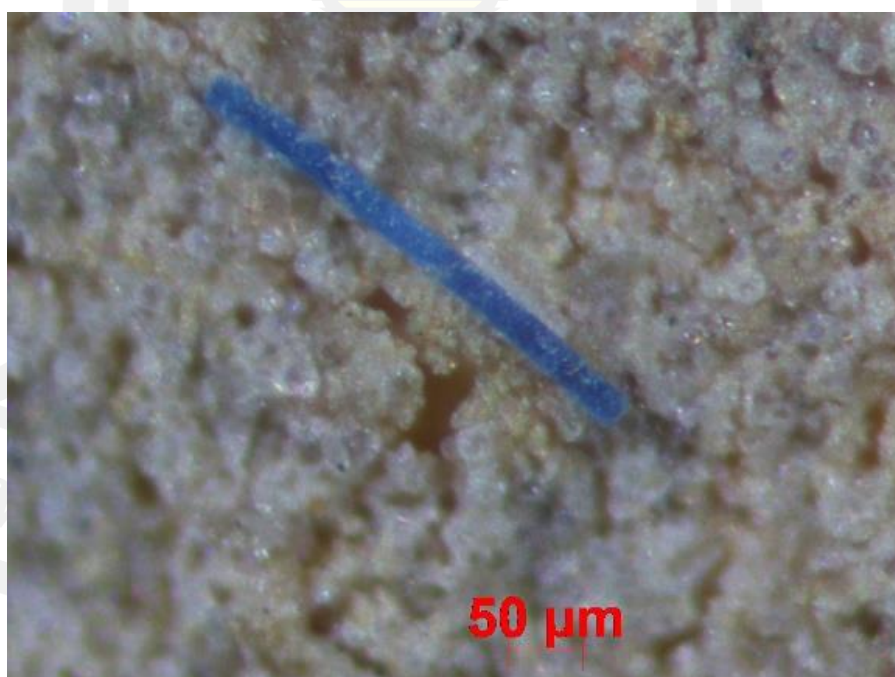
ภาพที่ ข-4 วิเคราะห์ชนิดของสารพอลิเมอร์ไมโครพลาสติกโดยใช้เครื่องมือ Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR)



ภาพที่ ข-5 ลักษณะไมโครพลาสติกที่รูปร่างไร้รูปแบบสีแดง



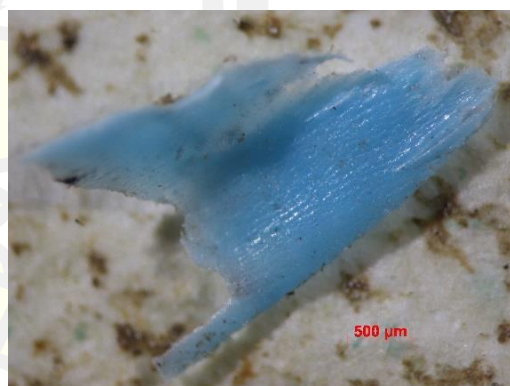
ภาพที่ ข-6 ลักษณะไมโครพลาสติกที่รูปร่างแบบเส้นใยสีแดง



ภาพที่ ข-7 ลักษณะไมโครพลาสติกที่รูปร่างแบบแท่งสีน้ำเงิน



ภาพที่ ข-8 ลักษณะไมโครพลาสติกกรูปร่างไร้รูปแบบสีขาวใส



ภาพที่ ข-9 ลักษณะไมโครพลาสติกกรูปร่างไร้รูปแบบ สีชมพู (ซ่าย) และสีฟ้า (ขวา)

พหุ ม ปณ ทิ โต ชี เว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	ธนกาญจน์ ไพบูลพงศ์
วันเกิด	25 พฤษภาคม พ.ศ. 2539
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 74 หมู่ 3 ตำบลคอนสวรรค์ อำเภอคอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ 36140
ประวัติการศึกษา	จบการศึกษา หลักสูตร วท.บ. สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำลังศึกษา หลักสูตร วท.ม. สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน คณะ สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

