



ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมิน
ความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก

A REMOVAL EFFICIENCY FOR MICROPLASTICS CONTAMINATED
IN LEACHATE TREATMENT AND ASSESSMENT OF EXPOSURE RISK
FROM HEAVY METALS

เกวลี ทองซัง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

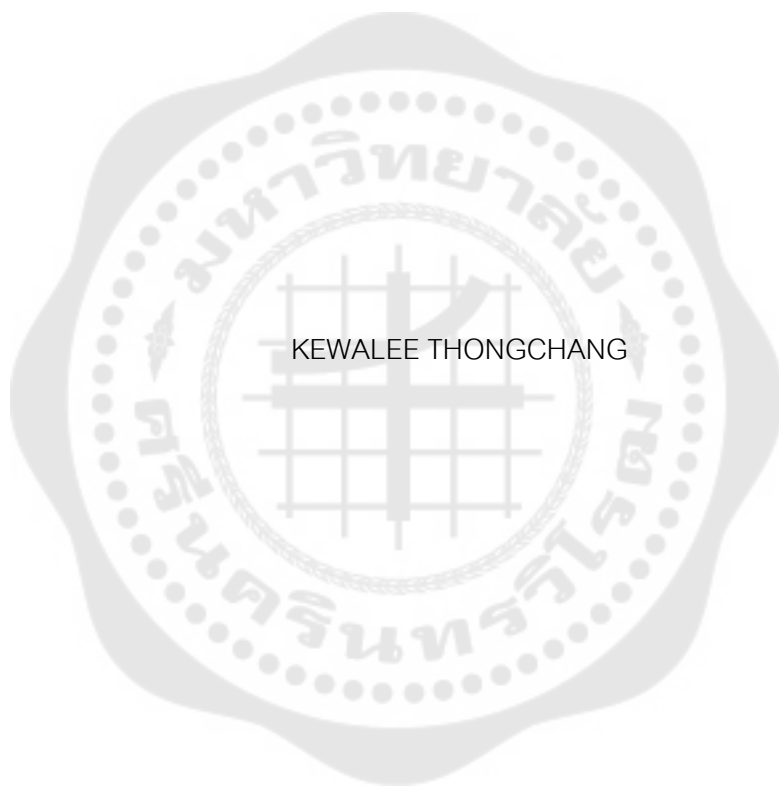
2565

ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมิน
ความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

A REMOVAL EFFICIENCY FOR MICROPLASTICS CONTAMINATED
IN LEACHATE TREATMENT AND ASSESSMENT OF EXPOSURE RISK
FROM HEAVY METALS



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

2022

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญาานิพนธ์
เรื่อง
ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมิน
ความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก
ของ
เกวลิ ทองซึ้ง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน)

..... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์)

ชื่อเรื่อง	ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก
ผู้วิจัย	เกวลี ทองซึ้ง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฌกัทร โพธิ์วัน

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ สัดส่วนวิทยาของไมโครพลาสติกและประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติก ปริมาณโลหะหนักที่เกาะติดบนไมโครพลาสติกและประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากดินบริเวณโดยรอบที่มีการนำน้ำชะขยะไปใช้ประโยชน์ ตัวอย่างไมโครพลาสติกจะถูกวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) เพื่อหาองค์ประกอบและชนิดของพลาสติก และปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบนไมโครพลาสติกและในดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Optical Emission (ICP-OES) และในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารสร้างตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม (Alum) และพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกโดยรวมในระบบบำบัดน้ำชะขยะคือ 77.55% และพบปริมาณไมโครพลาสติกในจุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะทั้งหมด 105 ± 11 ชิ้น/ลิตร โดยพบในกากตะกอน 65 ± 3 ชิ้น/กิโลกรัม ขนาดที่ตรวจพบมากที่สุดอยู่ในช่วง 20-100 ไมโครเมตร พบรูปร่างของไมโครพลาสติกแบบชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ (Fragment) มากที่สุด พบไมโครพลาสติกสีใสมากที่สุด และจากการตรวจสอบองค์ประกอบของไมโครพลาสติก พบพอลิเอทิลีน 30.55% มากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเอสเตอร์ 17.77% พบความเข้มข้นของสังกะสี มากที่สุด และไม่พบโครเมียม ในตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอนบนไมโครพลาสติก และพบว่าปริมาณและชนิดที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน คือ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เท่ากับ 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6.25 สามารถบำบัด BOD COD SS และ TDS ได้ร้อยละ 55.38 26.77 76.53 และ 50 ตามลำดับ จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของดินรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะพบว่ามีการปนเปื้อนของสังกะสี แมงกานีส โครเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว แคดเมียม ปปรอท และสารหนูตามลำดับ ซึ่งการปนเปื้อนของโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน ที่กำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษ และผลการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านการรับสัมผัสทางการกลืนกิน ไม่พบค่า ความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งตามข้อเสนอแนะของ Environment Protection Agency (EPA) นอกจากนี้ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตรายของสารไม่ก่อมะเร็งจากโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด พบว่ามีค่าสัดส่วนความเสี่ยงน้อยกว่า 0.1 แสดงถึงความไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพหากได้รับการสัมผัสดินโดยเรียงลำดับสัดส่วนความเสี่ยงของโลหะหนักแต่ละชนิดจากความเสี่ยงสูงไปความเสี่ยงต่ำ ดังนี้ แคดเมียม ปปรอท ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล แมงกานีส สังกะสี โครเมียม และสารหนู ตามลำดับ ดังนั้นทุกภาคส่วนควรตระหนักส่งเสริมและสนับสนุนการคัดแยกขยะ การติดตามตรวจสอบผลกระทบจากไมโครพลาสติก มลสารจากน้ำชะขยะที่อาจปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารและระบบนิเวศ

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก, โลหะหนัก, โคแอกกูเลชัน, น้ำชะขยะ, การประเมินการรับสัมผัส

Title A REMOVAL EFFICIENCY FOR MICROPLASTICS CONTAMINATED
IN LEACHATE TREATMENT AND ASSESSMENT OF EXPOSURE RISK
FROM HEAVY METALS

Author KEWALEE THONGCHANG

Degree MASTER OF SCIENCE

Academic Year 2022

Thesis Advisor Assistant Professor Dr. Naphat Phowan

In this research, leachate and sludge samples were collected from the leachate treatment system. The objectives of this research were to determine the amount and characteristics of Microplastics (MPs) and assess the effectiveness of microplastics in the leachate treatment system. The research also aimed to determine the amount of heavy metals deposited on microplastics and assess the exposure to heavy metals from the soil surrounding the leachate utilization. The Microplastics samples were analyzed using a Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) to determine the composition and the type of plastic. The heavy metals on microplastics and in the soil surrounding the open dumpsite were analyzed using Inductively Coupled Plasma Optical Emission (ICP-OES). Two types of coagulants, Aluminum sulfate (Alum) and Poly Aluminum Chloride (PAC), were used. The study found that the overall efficiency of removing microplastics in the leachate treatment system was 77.55%. The Microplastics content in all leachate sampling points was 105 ± 11 pieces/l, and microplastics were found at a concentration of 65 ± 3 pieces/kg in the sludge. The detected size of microplastics ranged from 20 to 10 micrometers and fragment shapes were the most common. The composition of the most transparent microplastics was examined, with polyethylene found to be the most prevalent at 30.55%, followed by Polyester at 17.77%. Zinc was the most common heavy metals found, while Cadmium was not detected in either the wastewater or sludge samples. In terms of soil contamination around the open dumpsite, the study found the presence of Zinc, Manganese, Chromium, Copper, Nickel, Lead, Cadmium, Mercury, and Arsenic. However, the contamination levels of all heavy metals did not exceed the specified soil quality standards of the Pollution Control Department (PCD). The risk assessment of ingestion exposure to heavy metals indicated no cancer risk based on the United States Environmental Protection Agency (EPA) recommendations. The assessment of health risks from all heavy metals revealed a Hazard Quotient (HQ) lower than 0.1 indicating exposure was not harmful. The HQ of each heavy metal, from high to low risk, was Cadmium, Mercury, Lead, Copper, Nickel, Manganese, Zinc, Chromium and Arsenic, respectively. Therefore, it is important for individuals to promote and support waste separation and monitor the impact of microplastics and pollution from leachate that may contaminate in food chains and ecosystems.

Keyword : Microplastics, Heavy metals, Coagulation, Leachate, Exposure assessment

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง "ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก" สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาผู้มีสมรรถนะสูงเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จากคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีการศึกษา 2565 อีกทั้งยังได้รับความกรุณาอย่างยิ่งในการทำวิจัยจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์หลัก ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ เสนอแนวคิด ให้ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ และยังเอาใจใส่ในทุก ๆ รายละเอียดทุก ๆ ขั้นตอนของงานวิจัย ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมทั้งยังช่วยพัฒนาการทำงาน ของผู้วิจัยให้เป็นอย่างดีมีคุณภาพ ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัยและประธานการสอบปริญญาานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์ กรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ความคิดเห็นในการปรับปรุงปริญญาานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้เกิดความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนุช ใจแก้ว อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อนุเคราะห์สถานที่ห้องปฏิบัติการและวัสดุอุปกรณ์เครื่องมือในห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการขยะและระบบบำบัดน้ำชะขยะ ค่อยช่วยติดต่อประสานงาน และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายที่สุดของความสำเร็จในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม เป็นกำลังใจที่สำคัญในการฟันฝ่าอุปสรรคในการเรียน ส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา และขอบคุณนายพิสรวด์ กล่อมเกลี้ยง ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนกัลยาณมิตรที่ยังไม่ได้กล่าวถึง ที่เป็นแรงใจสำคัญให้ผู้วิจัยมุ่งมั่น อดทน ในการฝ่าฟันอุปสรรคต่าง ๆ ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจศึกษาต่อไป

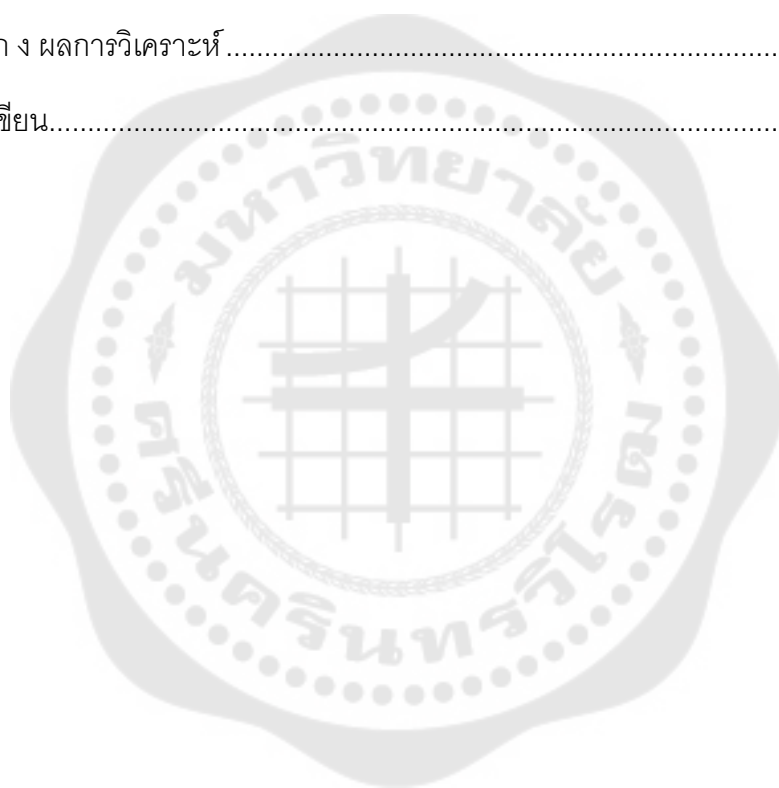
เกวลี ทองซั่ง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตของการศึกษา	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	5
ปัญหาขยะพลาสติก.....	5
คุณสมบัติของพลาสติก	6
ความหมายของไมโครพลาสติก	9
ความหมายของโลหะหนัก	13
ความหมายของขยะมูลฝอย.....	19
ความหมายของน้ำชะขยะมูลฝอย	20
กระบวนการในการบำบัดน้ำเสีย	21

ความหมายของกระบวนการโคแอกกูเลชัน	32
การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัส.....	35
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	48
พื้นที่ศึกษา	48
จุดเก็บตัวอย่างน้ำ กากตะกอน และดิน	49
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	51
การวิเคราะห์ตัวอย่าง	53
การวิเคราะห์หาไมโครพลาสติก ในตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอน.....	54
การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะ.....	56
การวิเคราะห์หาโลหะหนักบนไมโครพลาสติก	56
การวิเคราะห์หาโลหะหนักในดินบริเวณพื้นที่โดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ	58
การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกิน	59
การวิเคราะห์ทางสถิติ.....	60
บทที่ 4 ผลการศึกษา	61
การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำชะขยะ	61
การศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำชะขยะ	62
การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักบนไมโครพลาสติก.....	73
การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในกระบวนการโคแอกกูเลชัน	75
การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกินจากดินบริเวณโดยรอบ พื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี.....	82
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	90
สรุปผลการศึกษา	90

ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม	95
ภาคผนวก.....	103
ภาคผนวก ก หนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัย.....	104
ภาคผนวก ข หนังสือขอจริยธรรมการวิจัย	106
ภาคผนวก ค ประมวลภาพการดำเนินงาน.....	110
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์	118
ประวัติผู้เขียน.....	123



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย	18
ตาราง 2	มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการค้าขาย เกษตรกรรม และกิจการอื่น ๆ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน	19
ตาราง 3	มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล	21
ตาราง 4	มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม.....	31
ตาราง 5	ค่าแนะนำสำหรับประมาณการอัตราการรับสารพิษจากการสัมผัสโดยการกลืนกิน	38
ตาราง 6	ค่า Oral slope factor และค่า Reference dose (Rfd) ของโลหะชนิดต่าง ๆ	39
ตาราง 7	ระบบจำแนกสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามหลัก US EPA 5 ประเภท	40
ตาราง 8	พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี.....	51
ตาราง 9	วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำชะขยะในระบบบำบัด	53
ตาราง 10	คุณลักษณะเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีของน้ำในระบบบำบัดน้ำชะขยะ.....	61
ตาราง 11	ปริมาณ MPs ในน้ำชะขยะและกากตะกอน.....	63
ตาราง 12	ขนาดของ MPs.....	64
ตาราง 13	รูปร่างของ MPs.....	66
ตาราง 14	สีของ MPs	69
ตาราง 15	องค์ประกอบของ MPs	70
ตาราง 16	ความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ในน้ำชะขยะและกากตะกอน	73
ตาราง 17	การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์โดยใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารเร่งการตกตะกอน.....	76
ตาราง 18	การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์โดยใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน	78
ตาราง 19	ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี.....	82

ตาราง 20 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการปนเปื้อนโลหะหนักในดินโดยรอบ บริเวณพื้นที่เทกองขยะ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง	84
ตาราง 21 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากโลหะหนักในดิน.....	86
ตาราง 22 พารามิเตอร์และการทำงานของ ICP-OES PQ9100 Elite สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนัก	120
ตาราง 23 วิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES.....	120
ตาราง 24 การเทียบระดับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน.....	121
ตาราง 25 การเทียบระดับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน	122
ตาราง 26 ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ).....	122



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย	4
ภาพประกอบ 2 MPs ปฐมภูมิในรูปแบบไมโครบีดส์	9
ภาพประกอบ 3 MPs ทดุษฎีภูมิ	10
ภาพประกอบ 4 แหล่งที่มาของ MPs	11
ภาพประกอบ 5 ดินปนเปื้อนโลหะหนัก	18
ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย	22
ภาพประกอบ 7 Coagulation wastewater	33
ภาพประกอบ 8 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำ Jar test	34
ภาพประกอบ 9 เส้นทางในการรับสัมผัส	35
ภาพประกอบ 10 บริเวณโดยรอบพื้นที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง	49
ภาพประกอบ 11 ระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบตะกอนเร่ง บริเวณสถานที่กำจัดขยะ แบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี	49
ภาพประกอบ 12 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำชะขยะ แบบตะกอนเร่ง บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี	49
ภาพประกอบ 13 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี ..	50
ภาพประกอบ 14 วิธีการเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ โลหะหนักบน MPs	57
ภาพประกอบ 15 ปริมาณ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะ แบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี	64
ภาพประกอบ 16 ขนาดของ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบ เทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี	66
ภาพประกอบ 17 รูปร่างของ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะ แบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี	68

ภาพประกอบ 18 ตัวอย่างรูปร่าง MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง 68

ภาพประกอบ 19 สีของ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี 70

ภาพประกอบ 20 องค์ประกอบของ MPs ที่พบในน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง 72

ภาพประกอบ 21 กราฟสเปกตรัม จากเครื่อง FTIR ของ MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ และภาคตะกอน อยู่ในช่วงคลื่นที่ $400-4000\text{ cm}^{-1}$ 73

ภาพประกอบ 22 ค่า BOD ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารเร่งการตกตะกอน 77

ภาพประกอบ 23 ค่า COD ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารเร่งการตกตะกอน 77

ภาพประกอบ 24 ค่า SS ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum) 78

ภาพประกอบ 25 ค่า TDS ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum) 78

ภาพประกอบ 26 ค่า BOD ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน 79

ภาพประกอบ 27 ค่า COD ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน 80

ภาพประกอบ 28 ค่า SS ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ 80

ภาพประกอบ 29 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่พบในดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี 83

ภาพประกอบ 30 การลงพื้นที่สำรวจและสอบถามข้อมูลเบื้องต้น 111

ภาพประกอบ 31 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและภาคตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกอง จังหวัดปทุมธานี 112

ภาพประกอบ 32 การเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะ 113

ภาพประกอบ 33 ตัวอย่างจุดเก็บตัวอย่างดินและการเก็บตัวอย่างดิน	113
ภาพประกอบ 34 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำ	114
ภาพประกอบ 35 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MPs	115
ภาพประกอบ 36 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจากตัวอย่างดิน และ MPs ด้วยเครื่อง ICP-OES	116
ภาพประกอบ 37 วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารตกตะกอน ด้วยเครื่อง Jar test	117
ภาพประกอบ 38 ผลการวิเคราะห์รูปร่าง MPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตรียโอ	119



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ปัจจุบันสถานการณ์เกี่ยวกับปัญหาขยะ ได้รับความสนใจและทั่วโลกมองเห็นถึงความสำคัญในการหาแนวทางการจัดการและแก้ไขอย่างจริงจังและยั่งยืน โดยเฉพาะขยะประเภทพลาสติก ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณขยะรวมประมาณ 25.70 ล้านตัน โดยมีปริมาณขยะพลาสติกมากถึง 4 ล้าน 7 แสนตันต่อปี และมีสัดส่วนปริมาณของขยะพลาสติกในขยะทั่วไปมากถึงอันดับที่ 3 ของโลกในช่วงปี พ.ศ. 2565 โดยแต่ละคนสามารถผลิตขยะวันละ 1 กิโลกรัม หรือเป็นถุงพลาสติกประมาณ 8-10 ใบ ปริมาณขยะพลาสติกในประเทศไทยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่มีแค่เพียงร้อยละ 25 ส่วนขยะที่เหลืออีก 1.5 ล้านตัน จะถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบหรือเทกองกลางแจ้งรวมถึงการเผาทำลายและบางส่วนก็ตกค้างในสิ่งแวดล้อม ขยะพลาสติกมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการขยายตัวของชุมชน รวมถึงจำนวนประชากรและการบริโภคที่เพิ่มสูงขึ้น ขยะพลาสติกที่เกิดจากการทับถมหรือการผุกร่อนของพลาสติกชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เมื่อถูกความร้อน แสงแดด พลาสติกจะแตกออกเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กหรือมีอนุภาคน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือที่เรียกว่า ไมโครพลาสติก (Microplastics: MPs) โดยพบการปนเปื้อนของ MPs อยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ทั่วไปจากหลากหลายแหล่งที่มา เช่น มีแหล่งกำเนิดมาจากพลาสติกที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมพลาสติก ได้แก่ เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิตและใช้ในการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิเอสเตอร์ ซึ่งถือเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง มีความทนทาน และราคาถูก (Thompson, 2004) จึงทำให้เป็นที่นิยมในการนำไปสร้างผลิตภัณฑ์หรือชิ้นส่วนที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ปัญหาขยะพลาสติกที่เพิ่มสูงขึ้นอาจเกิดจากการแตกหักหรือเกิดการย่อยสลายจากปัจจัยต่าง ๆ ขยะพลาสติกที่มีคุณสมบัติที่ยากต่อการสลายตัวและเมื่อเสื่อมสภาพลงจะเกิดการตกค้างอยู่ในสภาพแวดล้อมได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่ง MPs โดยทั่วไปสามารถจำแนกออกเป็น MPs ปฐมภูมิ (Primary microplastics) และ MPs ทุติยภูมิ (Secondary microplastics) โดย MPs ปฐมภูมิ มาจากการผลิตพลาสติกที่มีขนาดเล็กมาตั้งแต่ต้น เช่น ไมโครบีดส์ (Microbeads) หรือเม็ดสครับ ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวหน้าและผิวกาย MPs ทุติยภูมิ เป็นไมโครพลาสติกที่เกิดจากการกระจายตัวหรือแตกตัวของพลาสติกขนาดใหญ่ ด้วยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพ การย่อยสลายด้วยแสง การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสลายตัวจากความร้อน หรือกระบวนการไฮโดรไลซิส

MPs สามารถปนเปื้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทาง เช่น น้ำเสียจากครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม เหตุการณ์น้ำท่วมจากพายุ การสะสมในอากาศ รวมไปถึงเกิดขึ้นได้จากกระบวนการใช้และทิ้ง ขยะพลาสติกส่วนใหญ่จะเข้าสู่การกำจัดขยะแบบเทกองขยะกลางแจ้ง ซึ่งเป็นหนึ่งในแหล่งเก็บขยะพลาสติกหลัก โดยเฉพาะในเขตที่มีการรวบรวมและขนส่งขยะมูลฝอย โดยน้ำชะขยะที่เกิดขึ้นระหว่างการกำจัดขยะเป็นแหล่งที่สำคัญของ MPs รวมถึงในระบบบำบัดน้ำชะขยะ ยังสามารถพบ MPs และโลหะหนักได้ เนื่องจาก MPs มีขนาดเล็ก บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และมีโอกาสที่สามารถหลุดรอดออกจากกระบวนการบำบัดน้ำชะขยะได้ และ MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะยังเป็นสารตกค้างในสิ่งแวดล้อม สะสมได้ในห่วงโซ่อาหารและมีความเป็นพิษ MPs มีคุณสมบัติที่ยากต่อการสลายตัวและเมื่อเสื่อมสภาพลงจะเกิดการตกค้างอยู่ในสภาพแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ พื้นผิวลักษณะเฉพาะ มีอนุภาคขนาดเล็ก พื้นผิวสัมผัสมาก นอกจากนี้ MPs มีศักยภาพในการดูดซับสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายอื่น ๆ โดยเฉพาะ โลหะหนัก เช่น แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว เป็นธาตุที่มีความเป็นพิษสูง ซึ่งกลุ่มของโลหะหนักต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เกิดการสะสมยาวนานในระบบนิเวศ และในห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ เช่น การบริโภคผลผลิตทางการเกษตรที่อยู่ในบริเวณพื้นที่โดยรอบพื้นที่เทกองขยะซึ่งอาจเกิดการดูดซึมหรือการปนเปื้อนจากแหล่งน้ำชะขยะที่ไหลซึมผ่านชั้นดินไป เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยเกี่ยวกับ MPs ในระบบบำบัดส่วนใหญ่ เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณ MPs ในระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมในต่างประเทศ สำหรับการศึกษา MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะหรือระบบบำบัดน้ำเสียในไทย ยังมีข้อมูลอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด MPs ที่ปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ โดยมีการใช้สารโคแอกกูแลนต์ในการปรับคุณภาพน้ำหลังผ่านการบำบัด และตรวจสอบลักษณะของการกระจายตัว รูปร่าง ขนาด สี และการระบุนิคมของ MPs ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ดูดซับบน MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ และมีการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนักจากดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะที่มีการนำน้ำชะขยะไปใช้ประโยชน์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณ MPs ที่พบจากระบบบำบัดน้ำชะขยะ
2. เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ และดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ
3. เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการกำจัด MPs และกระบวนการโคแอกกูเลชันจากระบบบำบัดน้ำชะขยะ
4. เพื่อประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกินจากดินโดยรอบพื้นที่บริเวณเทกองขยะ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงชนิดและปริมาณ MPs ที่พบจากระบบบำบัดน้ำชะขยะ
2. ทราบถึงปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ
3. ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัด MPs จากระบบบำบัดน้ำชะขยะ
4. ทราบถึงชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะ
5. ทราบถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักทางการกลืนกินจากดิน
6. สามารถส่งต่อผลการศึกษาให้กับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการบำบัดน้ำชะขยะ หรือการบริหารจัดการขยะพลาสติกเพื่อลดการปนเปื้อนของ MPs และโลหะหนักที่อาจสะสมใน MPs และสิ่งมีชีวิตในอนาคต

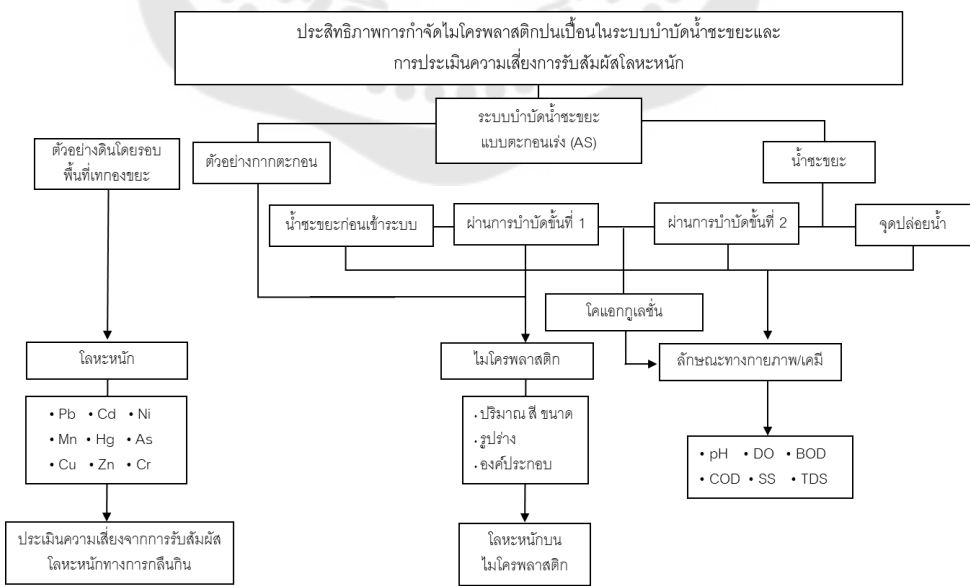
ขอบเขตของการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยในพื้นที่บริเวณเทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี โดยมีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการกำจัด MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอย โดยเป็นระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งหรือแอกติเวตเตดสลัดจ์ (Activated sludge: AS) และกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอน เพื่อนำมาวิเคราะห์หาชนิด ปริมาณและสัดส่วนวิทย์ของ MPs และศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs และเก็บตัวอย่างดินโดยรอบพื้นที่บริเวณเทกองขยะเพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกิน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและลดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ไมโครพลาสติก (Microplastics) คือ เศษชิ้นส่วนของพลาสติกขนาดเล็กที่มีขนาดน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นต่ำ ไม่สามารถละลายน้ำได้ และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี
2. โลหะหนัก (Heavy metals) คือ ธาตุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป ส่วนใหญ่เป็นธาตุทรานซิชัน มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23 - 92 ในคาบที่ 4 คาบที่ 7 และส่วนใหญ่สามารถเปลี่ยนเลขออกซิเดชันได้หลายค่า ซึ่งโลหะหนักบางชนิดมีประโยชน์ต่อร่างกาย
3. โคแอกกูเลชัน (Coagulation) คือ กระบวนการตกตะกอนหนักโดยมีการเติมสารเคมีที่เรียกว่า โคแอกกูแลนต์ เพื่อเปลี่ยนสภาพของของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นและทำให้ตกตะกอน
4. น้ำชะขยะ (Leachate) คือ ของเหลวที่ไหลซึมออกจากกองขยะหรือหลุมฝังกลบขยะ ซึ่งอาจมีตะกอนสีดำละเอียดปะปนมาในน้ำ และมีความสกปรกสูง
5. การประเมินการรับสัมผัส (Exposure assessment) คือ การประเมินสิ่งคุกคามด้านสารเคมีกายภาพและชีวภาพที่รับเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ ทางผิวหนัง และการกลืนกิน ซึ่งอาจจะรับสัมผัสจากการทำงาน เช่น การทำสารเคมีหกั่วไหล

กรอบแนวคิดงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรม

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ปัญหาขยะพลาสติก
2. คุณสมบัติของพลาสติก
3. ความหมายของไมโครพลาสติก (MPs)
4. ความหมายของโลหะหนัก
5. ความหมายของขยะมูลฝอย
6. ความหมายของน้ำชะขยะมูลฝอย
7. กระบวนการในการบำบัดน้ำเสีย
8. ความหมายของกระบวนการโคแอกกูเลชัน
9. การประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสัมผัสโลหะหนัก
10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาขยะพลาสติก

พลาสติกมีประโยชน์มากมาย และใช้งานได้ง่าย จึงได้รับความนิยม ทำให้ปริมาณพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง มีจำนวนมหาศาล ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สังคม เศรษฐกิจ และสุขภาพ โดยทั่วโลกมีการซื้อขวดพลาสติกหนึ่งล้านขวดทุก ๆ นาที ในขณะที่มีการใช้ถุงพลาสติกมากถึงห้าล้านล้านใบทั่วโลกทุกปี โดยรวมแล้ว ครึ่งหนึ่งของพลาสติกที่ผลิตได้ทั้งหมด ออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์แบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง เช่น ถุงใส่อาหาร ถุงพลาสติก หลอดพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร ตั้งแต่ทศวรรษ 1950 ถึง 1970 มีการผลิตพลาสติกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่งผลให้สามารถจัดการขยะพลาสติกได้ค่อนข้างดี แต่ในช่วงระหว่างทศวรรษ 1970 ถึง 1990 พบว่า ขยะพลาสติกมีจำนวนเพิ่มขึ้นกว่าสามเท่า ซึ่งสะท้อนถึงการผลิตพลาสติกที่เพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน การผลิตพลาสติกขั้นปฐมภูมิทั่วโลกคาดว่าจะสูงถึง 1,100 ล้านตันภายในปี 2593 ในช่วงปีพ.ศ. 2563-2565 ประเทศไทยอยู่ในช่วงการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 ทำให้มีการจำกัดการทำกิจกรรมของประชาชน อีกทั้งยังได้มีการควบคุมการเดินทางทั้งภายในประเทศ และระหว่างประเทศ และเนื่องจากประชาชนมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการใช้บริการสั่งซื้อสินค้าและอาหารผ่านระบบออนไลน์เพิ่มขึ้น ประกอบกับการคัดแยกขยะมูลฝอยเพื่อนำมา

รีไซเคิลน้อยลง เนื่องจากกังวลว่าจะมีขยะมูลฝอยติดเชื้อที่ทิ้งปะปนมากับขยะมูลฝอยชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

คุณสมบัติของพลาสติก

พลาสติก มีสารผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารเติมแต่ง เช่น สี สารพลาสติกไซเซอร์ เป็นสารเพิ่มความเสถียรภาพ และจัดเป็นสารประกอบในไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลที่มีความสำคัญคือ ไฮโดรเจน คาร์บอน และออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ เป็นส่วนประกอบย่อย เช่น ไนโตรเจน และกำมะถัน เป็นต้น (พรพรรณ ปัญญาสงค์, 2565) พลาสติกเป็นกลุ่มของวัสดุสังเคราะห์ที่ทำจากพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า โมโนเมอร์ โดยเกี่ยวพันต่อกันซ้ำ ๆ ทำให้พลาสติกมีความแข็งแรง เรียกว่า การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความทนทาน และมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ พลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เป็นพลาสติกที่สามารถหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้หลายครั้งโดยไม่ต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญ มีการใช้กันแพร่หลายที่สุด พลาสติกประเภทนี้สามารถขึ้นรูปได้เมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัว และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวสามารถเปลี่ยนรูปได้ พลาสติกประเภทนี้มีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่โพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือเป็นแบบกิ่งสั้น ๆ มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมากจึงเกิดการหลอมเหลว เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน พลาสติกมีสมบัติพิเศษ คือ สามารถนำกลับรีไซเคิลใหม่ได้ ชนิดของพลาสติก ได้แก่ ถุงพลาสติก ภาชนะบรรจุอาหารและฟิล์มห่ออาหาร เป็นต้น ข้อจำกัดของพลาสติกประเภทนี้คือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะเกิดการเสียรูปทรงหรือบิดเบี้ยวจากการโดนความร้อน (ศิริพร สิงห์ทอง, 2547) ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติก ได้แก่

1.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติเด่น แข็งแรง ทนทาน เป็นเรซินสังเคราะห์อเนกประสงค์ที่ทำจากพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนของเอทิลีน พอลิเอทิลีนเป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในโลก ถูกนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ห่ออาหารใส ถุงช้อปปิ้ง ไปจนถึงขวดผงซักฟอกและถังน้ำมันรถยนต์ นอกจากนี้ยังสามารถกรีดยหรือปั่นเป็นเส้นใยสังเคราะห์หรือดัดแปลงเพื่อให้มีคุณสมบัติยืดหยุ่นของยางได้สามารถป้องกันความชื้นไม่ให้เกิดการผ่านเข้าออกได้ แต่อากาศและก๊าซต่าง ๆ สามารถผ่านเข้าออกได้

1.2 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) มีความแข็งแรงกว่าพอลิเอทิลีน มีความทนทานต่อความร้อนและไขมัน นิยมนำมาใช้ทำแผ่นพลาสติก ถุงพลาสติกบรรจุอาหารที่ทนร้อน

มีความทนทานต่อสารเคมี สารประกอบและสารประเภทต่าง ๆ มีความเป็นกลางสูง ทนต่อกรด และเบส ไม่มีกลิ่นและง่ายต่อการขึ้นรูป ใสน้ำซึมผ่านได้เพียงเล็กน้อย นิยมนำมาผลิตเป็นฉนวนกันไฟฟ้าขึ้นส่วนรถยนต์ และกระสอบพลาสติก เป็นต้น

1.3 พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีลักษณะโปร่งใส ไม่ขุ่น แข็งแต่เปราะ ขึ้นรูปง่าย ไม่มีกลิ่น ทนทานต่อแสงแดด ทนต่อกรดและด่าง อากาศซึมผ่านได้พอควร ใช้ทำขึ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้สำนักงาน โฟม ภาชนะบรรจุอาหาร และสามารถใช้เป็นวัสดุป้องกันการกระแทกได้เป็นอย่างดี

1.4 พอลิเอไมด์ (Polyamide: PA) หรือที่เรียกว่า ไนลอน (Nylon) เป็นพลาสติกที่ได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของเอไมด์ (Amide) และกรดอินทรีย์ มีการเพิ่มสารเติมแต่งต่าง ๆ เข้าไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางอย่างให้กับพลาสติก โดยไนลอน มักมีความแข็งแรง เหนียว ต้านทานแรงดึง แรงฉีกขาดได้ดี และสามารถทนต่อการกัดกร่อน นิยมนำมาทำเป็นสายเบ็ดตกปลา แห และฉนวน นอกจากนี้ยังใช้เป็นชิ้นส่วนของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น เฟือง ล้อ และสายพานลำเลียง เป็นต้น

1.5 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) มีความเหนียว และแตกหักยาก สามารถทนต่อแรงกระแทก PET สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้ และนำกลับมารีไซเคิลใหม่ได้ มีความโปร่งใส สามารถมองเห็นสิ่งที่บรรจุภายในได้ แต่ส่วนใหญ่มักมีราคาแพง นิยมนำมาใช้ทำแผ่นฟิล์มบาง ๆ เพื่อบรรจุอาหาร น้ำดื่ม และเครื่องสำอาง เป็นต้น

1.6 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene: HDPE) มีลักษณะค่อนข้างขุ่น ทนความร้อนได้ปานกลาง เป็นพลาสติกที่ค่อนข้างแข็งแรงแต่สามารถยืดได้มาก แตกหักได้ยาก มีคุณสมบัติพิเศษที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และมีความต้านทานแรงกระแทก และจุดหลอมเหลวสูง จึงนิยมนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด ขวดแชมพู และกระป๋องแป้งเด็ก

1.7 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene: LDPE) เป็นวัสดุพลาสติกที่มีความอ่อนนุ่ม มีความหนาแน่นตั้งแต่ 0.91 – 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเป็นฟิล์มพลาสติกที่ยืดหยุ่นได้ เช่น ฟิล์มหัด หรือฟิล์มยืด ขวดน้ำพลาสติก แรปห่ออาหาร ใช้สำหรับกายอุปกรณ์และขาเทียม มีความทนทานต่อสารเคมี แรงกระแทกได้ดี และง่ายต่อการประกอบและขึ้นรูปเป็นพลาสติกที่มีความใส ทนทานต่ออุณหภูมิ มีความคงรูป เหนียว และทนแรงกระแทกได้ดี นอกจากนี้ยังทนต่อสารเคมีและน้ำมัน

1.8 Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) เป็นพลาสติกที่มีความมันวาวสูงและขึ้นรูปได้ง่าย นิยมนำมาเป็นของเล่นเด็ก ชิ้นส่วนรถยนต์ และโมเดลการ์ตูน เป็นต้น

1.9 Styrene acrylonitrile (SAN) เป็นพลาสติกโคพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยสไตรีนและอะครีโลไนไทรล์ มีความแข็งแรง เหนียวและใส สามารถทนต่อความร้อน สารเคมีและสภาพแวดล้อม นิยมทำเป็นเครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น ถ้วย ฝาปิดภาชนะ เครื่องปั้น รวมถึงอุปกรณ์ในสำนักงาน เช่น เครื่องพิมพ์ และกล่องดินสอ เป็นต้น

1.10 พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) เป็นพลาสติกที่มีความใส แข็งแรงและมีน้ำหนักค่อนข้างเบา นิยมนำไปทำเป็นแผ่นกันห้อง หรือหลังคาพอลิคาร์บอเนต

1.11 อะคริลิก (Acrylic) มีลักษณะคล้ายกระจก มีความใส และมีน้ำหนักเบากว่ากระจก นิยมนำไปทำเป็นฐานใส ๆ เพื่อรองรับสินค้า เช่น ที่วางโทรศัพท์เพื่อตั้งโชว์

2. เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic)

เป็นพลาสติกที่มีรูปร่างคงทน มีพอลิเมอร์ที่แข็งแรงเมื่อถูกความร้อน วัสดุดังกล่าวเรียกอีกอย่างว่าเทอร์โมเซตหรือพอลิเมอร์เทอร์โมเซตติง ในขั้นต้นโพลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นของเหลวหรือของแข็งที่อ่อนนุ่ม ความร้อนให้พลังงานสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เพิ่มการเชื่อมโยงข้ามระหว่างพอลิเมอร์ และแข็งตัวกลับไม่ได้เมื่อได้รับความร้อน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2556) ตัวอย่างของเทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่

2.1 เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างเมลามีนกับฟอรัมาลดีไฮด์ มีสีขาวขุ่น ไม่มีกลิ่น มีสมบัติทางเคมีที่ทนแรงดัน แรงอัดและแรงกระแทกได้ สามารถขึ้นรูปได้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูงทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส และทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนยาก นิยมใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารหลายชนิด เช่น จาน ชาม หรือภาชนะใส่อาหารมีทั้งที่เป็นสีเรียบและลวดลายสวยงาม มีข้อด้อยคือ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์หรือนำมารีไซเคิลใหม่

2.2 ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde) หรือเบกาไลต์ (Bakelite) มีสีเหลืองอำพันคล้าย ๆ น้ำมัน มีความแข็งแรงและทนทาน มีความต้านทานต่อตัวทำละลาย สารละลายมีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนไฟฟ้า กันน้ำและความชื้น ทำความสะอาดง่ายเมื่อเคลือบพื้นผิว พลาสติกชนิดนี้ใช้ทำสารเคลือบด้ามจับเครื่องมือช่าง นูกระตะ นูหม้อ ด้ามจับมีด อุปกรณ์เคมีและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

2.3 อีพ็อกซี (Epoxy) ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีและมีราคาที่ไม่แพง ใช้เป็นสารเคลือบผิวของอุปกรณ์ภายในบ้านเรือน และพื้นผิวถนนรวมถึงท่อเก็บก๊าซ และสามารถใช้เป็นวัสดุของแผ่นกำบังนิวตรอน ซีเมนต์ ปูนขาว เป็นต้น

2.4 พอลิเอสเตอร์ (Polyester: PES) พอลิเมอร์ที่หน่วยมอนอเมอร์เชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยมีหมู่เอสเทอร์ (-O•CO-) นำมาใช้งานได้หลากหลาย เช่น ใช้ทำพลาสติกสำหรับเคลือบผิว รวมถึง เส้นใย พิล์ม เสื้อผ้า และยาง เป็นต้น

2.5 ยูรีเทน (Urethane) มีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกได้ดี ชื่อเรียกทั่วไปของเอทิลคาร์บาเมต มีสูตรทางเคมี คือ $\text{NH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5$

2.6 พอลิยูรีเทน (Polyurethane: PU) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน (-NH•CO•O-) เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซไซยาเนต (Di-isocyanates) กับไดออล (Diols) หรือไตรออล (Triols) มีความยืดหยุ่น เหนียว และมีความทนทานสูง จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตได้อย่างหลากหลาย นิยมใช้เป็นกาว น้ำมันขัดเงา รวมถึงพลาสติกและยาง

ความหมายของไมโครพลาสติก

1. ไมโครพลาสติก (Microplastics: MPs)

ไมโครพลาสติก หมายถึง อนุภาคชิ้นส่วนของพลาสติกขนาดเล็กมาก ๆ จนบางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ และจากการแตกตัวของพลาสติกขนาดใหญ่ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร หรือ 0.2 นิ้ว ไม่สามารถละลายน้ำได้ และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี โดย MPs สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

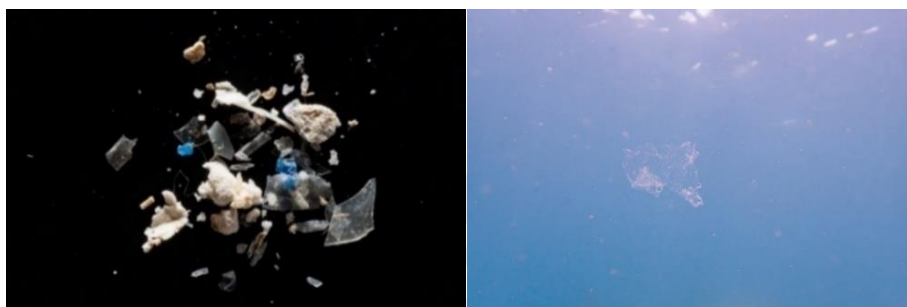
1.1 ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (Primary microplastics) เป็นอนุภาคขนาดเล็กที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ เป็นวัสดุตั้งต้นในกระบวนการผลิต เช่น เครื่องสำอาง ไมโครบีดส์ ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิวหน้าและผิวกาย หรือไมโครไฟเบอร์ที่หลุดออกจากเสื้อผ้าและสิ่งทอ



ภาพประกอบ 2 MPs ปฐมภูมิในรูปแบบไมโครบีดส์

ที่มา: www.henewsminute.com

1.2 ไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (Secondary microplastics) เป็นอนุภาคที่เกิดจากการแตกตัวของพลาสติกชิ้นใหญ่ ที่มีการตกค้างสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน เกิดการย่อยสลาย ฉีกขาด แตกหักด้วย กระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพและเคมี เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ รังสียูวี และคลื่นทะเล เป็นต้น (Thompson, 2004)



ภาพประกอบ 3 MPs ทุติยภูมิ
ที่มา: Lance Yonkos. (2015)

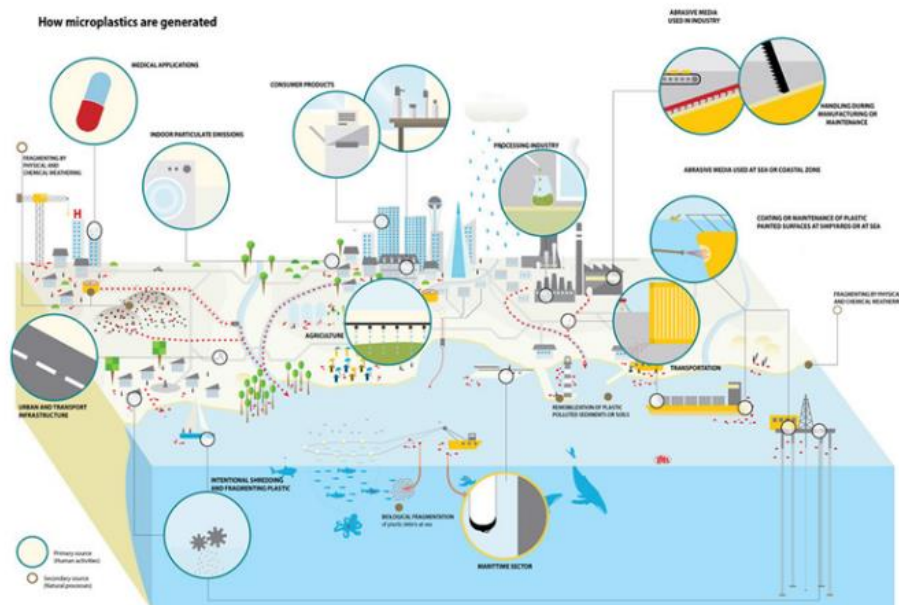
2. แหล่งที่มาของ MPs

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการใช้พลาสติกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตหลากหลายผลิตภัณฑ์และสาขา เช่น ขนส่งยานยนต์ สิ่งทอสังเคราะห์ รวมถึงฝุ่นในเมือง ยางรถยนต์ เครื่องหมายบนถนน สารเคลือบผิวทางทะเล ผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เป็นต้น

MPs ที่มาจากแหล่งปฐมภูมิ สามารถบอกแหล่งที่มาเฉพาะได้ ทำให้ช่วยลดผลกระทบในการเคลื่อนที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม (Koehler et al., 2015) นอกจากนี้ยังมาจากการผลิตวัตถุดิบในการทำพลาสติก เช่น เม็ดพลาสติก และเกิดขึ้นได้จากการผลิตหรือกระบวนการอื่น ๆ ตั้งแต่การปล่อยอนุภาคจากการผลิตภาคอุตสาหกรรมหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก ไปจนถึงการปล่อยเส้นใย ตลอดจนถึงการสึกหรอของผลิตภัณฑ์พลาสติกต่าง ๆ ในระหว่างการใช้งาน ซึ่งรวมถึงอนุภาคที่เกิดจากการตัด ขัด หรือขึ้นรูปในระหว่างการผลิต เส้นใยที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอสังเคราะห์ระหว่างการซัก หรืออนุภาคที่ปล่อยออกมาจากการสึกหรอของยางบนถนน

ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ขยะพลาสติกที่พบส่วนใหญ่ในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ถุงพลาสติก ประเภทถุงร้อน ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว ถุงน้ำจิ้ม ที่ทำจากพลาสติกประเภท พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูง และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ เป็นต้นนอกเหนือจากขยะพลาสติกขนาดใหญ่ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมแล้วนั้น ปัจจุบันมักพบการปนเปื้อนของขยะพลาสติกที่มีขนาดเล็ก

ซึ่งเกิดจากการแตกตัว (Disintegration) และการหลุดลอกของเนื้อพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะพลาสติกย่อยสลายที่อยู่ในกลุ่ม Oxo-biodegradable หรือ Oxo-fragmentable เช่น พลาสติกในกลุ่ม พอลิเอทิลีน และพอลิสไตรีน ซึ่งแตกตัวออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ รวมไปถึงขยะพลาสติกที่มีอนุภาคนขนาดเล็ก อาจปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมและเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะมลสารประเภท MPs ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร ซึ่งมักใช้เป็นสารตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ไมโครบีดส์ เม็ดสลับ ผลิตภัณฑ์หรือสารเติมแต่งในเครื่องสำอาง สารทำความสะอาด ผิวหน้าและผิวกาย (GESAMP, 2015) รวมทั้งเกิดขึ้นได้จากการผลิตหรือกระบวนการอื่น ๆ ตั้งแต่การปล่อยอนุภาคจากการผลิตภาคอุตสาหกรรมหรือผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก ไปจนถึงการปล่อยเส้นใย โดยเส้นใยที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์สิ่งทอสังเคราะห์ระหว่างการซัก หรืออนุภาคที่ปล่อยออกมาจากการสึกหรอของยางบนถนน เส้นใยสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เกิดจากการซักล้างลงในแหล่งน้ำ แม่น้ำและทะเล โดยทั่วไปแล้วธรรมชาติ MPs มีอนุภาคนขนาดเล็ก จึงทำให้เกิดการหลุดรอดออกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียและไหลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ, 2562)



ภาพประกอบ 4 แหล่งที่มาของ MPs

ที่มา: Riccardo Praveettoni. (2018)

3. ผลกระทบของ MPs

3.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบจากพลาสติกและ MPs ทำให้เกิดการแพร่กระจาย ฟุ้งกระจายตัว และอาจเกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ในวงกว้างมากกว่าเดิม หากตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นระยะเวลาหนึ่งจะเพิ่มโอกาสการรับสัมผัสเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต ซึ่งเกิดผลกระทบอันสามารถยกตัวอย่างได้ เช่น การเกิดรอยถลอกที่สร้างความเสียหายแก่เนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต หากได้รับเข้าสู่ร่างกาย ทำให้เกิดการขัดขวางทางระบบทางเดินอาหารของสิ่งมีชีวิต การลดความสามารถทางการขยายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต ขัดขวางกระบวนการเมตาบอลิซึม การปลดปล่อยสารปนเปื้อนที่มีการเติมแต่งที่เป็นพิษออกมาด้วย และการเป็นตัวกลางให้แก่มลพิษอื่น ๆ ตัวอย่างที่ยกขึ้นมานี้เป็นผลกระทบที่ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และประเภทของพลาสติกที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นที่พบด้วย (G. S. Zhang & Liu, 2018) โดย MPs ส่วนหนึ่งมาจากส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง แต่เกิดขึ้นภายหลังจากการใช้งานผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเหล่านั้น คือ ภายหลังจากการชำระล้างผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของ MPs จะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมผ่านทางระบายน้ำเสียและกระจายสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดย MPs มีขนาดเล็กและมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ จึงสามารถถูกกระแสน้ำพัดลอยไปได้ในระยะไกล

3.2 ผลกระทบต่อระบบห่วงโซ่อาหาร

อันตรายของ MPs ต่อระบบห่วงโซ่อาหารนั้น เนื่องมาจาก MPs สามารถเป็นพาหะในการขนส่งสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดมลพิษแห่งหนึ่งไปสู่อีกแห่งได้ จึงทำให้ MPs สามารถเคลื่อนที่แพร่กระจายไปในแหล่งน้ำพร้อมกับสารพิษติดไปด้วย สัตว์น้ำได้รับ MPs เข้าสู่ร่างกายและมีการถ่ายทอด MPs ตามลำดับชั้นของห่วงโซ่อาหารอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการปนเปื้อนของ MPs จึงเคลื่อนที่แพร่กระจายอยู่ตลอดเวลาในระยะยาว อาจทำให้สิ่งมีชีวิตทุกระดับมีการสะสมของ MPs อยู่ในร่างกาย

3.3 ผลกระทบต่อสุขภาพ

พลาสติกส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในชีวิตประจำวัน โดยสามารถแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยได้ MPs เหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้โดยการหายใจเข้าและดูดซึม และสะสมในอวัยวะต่าง ๆ พบ MPs ในปอด ตับ ม้าม และไต MPs เมื่ออยู่ในน้ำทะเลและแหล่งน้ำเป็นเวลานาน จะมีความเป็นพิษเพิ่มสูงขึ้น เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ในทะเลจะมีความเสี่ยงที่จะได้รับพลาสติกกล่องหนเหล่านี้เข้าไป ส่วนสิ่งมีชีวิตทำห่วงโซ่อาหารอย่างเช่น ผู้บริโภคอาจได้รับสารพิษตกค้างจาก MPs เพราะ MPs ที่มีขนาดเล็กสามารถผ่านผนังเซลล์ โดยสารเคมีใน MPs จึงอาจเป็นพิษและคุกคาม

สุขภาพมนุษย์ใน MPs มีกลุ่มสารมลพิษตกค้างยาวนาน (Persistent organic pollutants: POPs) เช่น ยาฆ่าแมลงและพลาสติกไซเซออร์ เมทิลเมอร์คิวรี และสารหน่วงการติดไฟ หรือแม้กระทั่ง ส่วนประกอบในพลาสติกประเภท พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน รวมถึงสารปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ จะทำให้เกิดสารไดออกซิน ส่งผลต่อระบบต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง และรบกวนการทำงานของระบบฮอร์โมน หากมีการสะสมอยู่ในร่างกาย ของสตรีมีครรภ์มาก อาจส่งผลกระทบต่อลูกในครรภ์ จากการศึกษาที่ผ่านมาเราสามารถพบ MPs ในรกของทารกแรกเกิดได้ นอกจากนี้ยังเพิ่มความเสี่ยงของการเป็นโรคหัวใจ ระบบทางเดินหายใจ ตับ ไต และระบบสืบพันธุ์ได้ เนื่องจาก MPs ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึงทำให้สารเคมีที่เป็นสารพิษในเศษพลาสติกนั้นแทรกซึมลงไปแหล่งน้ำ หรือชั้นดิน (นันทวุฒิ จำปางาม, 2563) และ MPs สามารถเข้าสู่ร่างกายและเชื่อมโยงกับปัญหาสุขภาพได้ ในประเทศที่มีระบบการจัดการ ขยะมูลฝอยไม่ดี โดยเฉพาะถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว อาจทำให้เกิดอุดตันท่อน้ำทิ้งและเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงและสิ่งมีชีวิตที่รบกวน และยังเป็นผลให้เพิ่มการแพร่กระจายของโรคที่มี พาหะนำโรค เช่น โรคมาลาเรีย

ความหมายของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง ธาตุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ 5 เท่าขึ้นไป โดยโลหะหนักมี คุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายกันแต่คุณสมบัติทางเคมีแตกต่างกัน โดยมีคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญคือ มีค่าเลขออกซิเดชันได้หลายค่า สามารถรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ทำให้เกิด สารประกอบใหม่ที่เสถียรกว่าเดิมและอาจมีความเป็นพิษรุนแรงยิ่งขึ้น (มนัส สติรจินดา, 2538) โลหะหนัก เป็นองค์ประกอบของหินเปลือกโลก ดังนั้นจึงพบโลหะหนักอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม โดย โลหะหนักสามารถมาจากการกัดเซาะพังทลายทำให้โลหะหนักบางส่วนถูกชะล้างพาออกไปสู่ สิ่งแวดล้อม และอีกส่วนหนึ่งมาจากการทำกิจกรรมของมนุษย์และมนุษย์เองก็ได้มีการนำมาใช้ ประโยชน์และปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม โลหะหนักบางชนิดมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของ สิ่งมีชีวิต เมื่อได้รับในปริมาณที่เหมาะสมแต่หากได้รับโลหะหนักในปริมาณมากเกินไปก็อาจส่งผล ร่างกายเนื่องจากมีความเป็นพิษสูง เช่น แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และปรอท (Hg) โดย โลหะหนักสามารถเปลี่ยนรูปจากรูปที่สามารถละลายน้ำได้ (Kitay, 1994)

1. คุณสมบัติของโลหะหนัก

- สามารถละลายน้ำได้
- สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้
- สามารถตกตะกอน หรือเป็นอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำได้ และทนต่อการกัดกร่อน

2. ชนิดของโลหะหนัก

2.1 สารหนู (Arsenic: As) เป็นธาตุกึ่งโลหะที่จัดเป็นธาตุที่พบมากเป็นลำดับที่ 20 ของโลก สารหนูมีทั้งประโยชน์และโทษ สารหนูที่ใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตสารกำจัดแมลง นอกจากนี้ยังนำมาใช้ผลิตส่วนประกอบอัลลอยด์และสารเคมีที่ใช้เพื่อบำรุงรักษาไม้ เพื่อป้องกันแมลงต่าง ๆ สารหนูสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ได้ เช่น นำสารหนูมาผสมในกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมผลิตสารฟาวเลอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นโพแทสเซียมอาร์เซไนต์ เพื่อประโยชน์ในการนำมาใช้รักษามะเร็งเม็ดเลือดขาว ชนิดไมอีโลจีเนส จนกระทั่งมีการรักษาโดยรังสีและยาเคมีบำบัดแทน (Gupta, 2016) สารหนูเป็นสารที่สามารถพบได้ตามธรรมชาติ เกิดจากน้ำตามธรรมชาติเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านชั้นใต้ดินหรือหินที่มีการระเบิดของภูเขาไฟ

ตัวอย่างผลการศึกษาในประเทศไทย จากการตรวจวัดคุณภาพแหล่งน้ำทะเลโดยสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ตรวจพบว่ามีสารหนูปนเปื้อนอยู่ทั่วไปเกือบตลอดในทุกพื้นที่ บริเวณของชายฝั่งทะเลไทย บริเวณที่มีสารหนูปนเปื้อนในปริมาณที่เฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ได้แก่ จังหวัดระยอง ชลบุรี สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ นราธิวาส ภูเก็ต กระบี่ และตรัง บริเวณที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นของสารหนูที่สะสมในตะกอนค่อนข้างมาก ได้แก่ จังหวัดตราด จันทบุรี ส่วนในเขตฝั่งทะเลทางใต้ยังพบว่าตะกอนชายฝั่งจากชุมพรถึงปัตตานี ระนอง พังงา และสตูล พบว่ามีปริมาณสารหนูสะสมอยู่มาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทางหายใจ การกินและการสัมผัสทางผิวหนัง แต่โดยส่วนใหญ่จะได้รับมาจากทางหายใจและการหายใจเข้าสู่ร่างกาย จากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อนในอากาศ ดิน น้ำและอาหาร โดยเฉพาะอาหารทะเลมักเป็นแหล่งที่มีสารหนูสะสมอยู่มาก ผลกระทบต่อสุขภาพของสารหนูมักมาจากการดื่มน้ำในที่ปนเปื้อนสารหนูเป็นระยะ (อนามัย เทศกะทิก, 2552)

2.2ปรอท (Mercury: Hg) ปรอทเป็นของเหลวสีขาวยาวคล้ายเงิน เมื่อแข็งตัวจะมีคุณสมบัติคล้ายกับโลหะทั่วไป มีความมันวาว สะท้อนและเล่นกับแสง เป็นโลหะหนักที่นิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบผลิตอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (เทอร์โมมิเตอร์ และเครื่องวัดความดันโลหิต) ใช้เป็นส่วนผสมในยา เช่น ยาปฏิชีวนะ แหล่งกำเนิดปรอท ที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมนั้น เกิดได้จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เต้าเผาขยะ เหมืองแร่ การหลอมและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการนำเอาปรอทมาใช้ในกระบวนการผลิตกระจก

หลอดไฟฟ้า สีทาบ้าน และเหมืองแร่ เป็นต้น การนำปรอทมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้นจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารปรอทในสิ่งแวดล้อมได้ (อนามัย เทศกะทีก, 2552)

การรับสัมผัสปรอท ปรอทเป็นโลหะชนิดเดียวที่เป็นของเหลว รับเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจเข้าไปรับประทานอาหารที่ปนเปื้อนและการดูดซึมทางผิวหนัง เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกดูดซึมในกระแสเลือด มีการศึกษาการรับสัมผัสปรอทในพนักงานผู้ช่วยทันตแพทย์ในประเทศโปแลนด์ ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างปรอทที่พบในปัสสาวะระหว่างกลุ่มศึกษาและกลุ่มควบคุม (Trzcinka-Ochocka, Gazewski, & Kuras, 2007) เมื่อมีการสะสมของปรอทมากขึ้น อาจทำให้มีภาวะผิดปกติทางร่างกาย ในระบบต่าง ๆ เช่น ระบบประสาท ไต และลำไส้ถูกทำลาย มีน้ำลายออกมาก เนื้อเยื่อในช่องปากเน่า ฟันโยกหลุดง่าย ตากระตุก ริมฝีปากกระตุก แขนขากระตุก เศร้ำซีม ความจำเสื่อม ง่วง และปวดอวัยวะ พบโรคสำคัญอีกโรคหนึ่งที่เกิดจากการได้รับปรอทเป็นระยะเวลานาน คือ โรคมินามาตะที่เกิดในประเทศญี่ปุ่น ใน พ.ศ. 2493 เป็นโรคพิษปรอทที่พบกับประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณอ่าวมินามาตะ (Clifton, 2007)

2.3 ตะกั่ว (Lead: Pb) เป็นโลหะที่มีสีเทาเงินหรือแกมน้ำเงิน แหล่งกำเนิดของสารตะกั่วสามารถแบ่งออกเป็น สารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ (Inorganic lead) มีประโยชน์ในงานอุตสาหกรรม เช่น ตะกั่วออกไซด์ใช้เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน หรือใช้เป็นสารฆ่าแมลงและสารปราบศัตรูพืช เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นสารประกอบตะกั่วอินทรีย์ (Organic lead) ที่ใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบในน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น Tetraethyl lead (TEL) หรือ Tetra methyl lead (TML) โดยใช้ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบ การใช้น้ำมันชนิดนี้อาจจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารตะกั่วในสิ่งแวดล้อมได้ ปัจจุบันจึงนิยมใช้น้ำมันไร้สารตะกั่วแทนข้อมูลการเกิดพิษของสารตะกั่วประเทศต่าง ๆ เกือบทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยจึงสนับสนุนให้บริษัทน้ำมันผลิตน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วที่มีค่าออกเทนสูงแทน โดยการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันในระหว่างกระบวนการผลิตและมีการใช้สารเอ็มทีบีอี (Methyl tertiary butyl ether: MTBE) แม้ว่าน้ำมันเบนซินจะไร้สารตะกั่วแล้วแต่ในน้ำมันเชื้อเพลิงก็ยังมีสารอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดมลพิษได้อีก (Lompong et al., 2003)

การรับสัมผัสสารตะกั่ว สามารถเข้าสู่ร่างกายของคนเราได้ 3 ทาง คือ ทางเดินอาหาร ทางการหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อมีสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายส่วนใหญ่จะจับยึดอยู่กับเม็ดเลือดแดงซึ่งจะไปลดการสร้างฮีโมโกลบิน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเม็ดเลือดแดง โดยจะไปยับยั้งเอนไซม์ที่สร้างฮีโมโกลบิน นอกจากนี้ ตะกั่วยังส่งผลต่อหัวใจ ตับ ก่อให้เกิดโรคมะเร็งและความพิการแต่กำเนิด

ไต่ถูกทำลายจนเกิดภาวะไตวาย ระบบสืบพันธุ์ทำงานผิดปกติ อสุจิอ่อนแอ รังไข่ฝ่อง่าย เกิดภาวะเป็นหมันและเสี่ยงต่อการมีบุตรยาก

2.4 เหล็ก (Iron: Fe) โลหะสีเงิน สีขาวหรือสีเทาเงา มีความสำคัญมากในการใช้งาน ปัจจุบันโดยเฉพาะการก่อสร้าง เหล็ก มีความต้านทานแรงดึงสูงและยึดได้ อีกทั้งยังนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี แต่คุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของเหล็กคือ สามารถหล่อแล้วขึ้นรูปใหม่ได้และยังมีความทนทานที่ดี นอกจากนี้เหล็กสามารถใช้ในการโค้ง งอ ม้วน และตัดให้เป็นรูปร่าง หรือรูปแบบต่าง ๆ ได้ เพื่อนำมาประดิษฐ์เป็นสิ่งของที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวัน หรือนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้ พบในแร่ 4 ชนิด คือ ฮีมาไทต์ แมกเนไทต์ ซิเดอไรต์ และไลมอไนต์ ทุกชนิดจะรวมตัวอยู่กับออกซิเจน แร่เหล็กทุกชนิดที่พบในบริเวณแหล่งแร่ นอกจากจะมีสภาพเป็นออกไซด์แล้ว ยังมีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น ซิลิกอน คาร์บอน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ และแมงกานีส เป็นต้น (ชวลิต เขียงกุล, 2545)

2.5 ทองแดง (Copper: Cu) เป็นธาตุที่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ซึ่งทองแดงจะละลายออกมาได้ในสภาวะที่เป็นกรด ประกอบกับคุณสมบัติที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย ทองแดงจึงเป็นโลหะที่มีความสำคัญทางการค้าและเศรษฐกิจ มักนำไปใช้ในการทำเหรียญ ตัวเชื่อมสายไฟ ท่อน้ำ ส่วนมากพบทั้งในรูปไอและเกลือของทองแดง เนื่องจากการหลอมโลหะทองแดง ทองเหลือง การเชื่อมและบัดกรีโลหะโดยใช้โลหะผสมของทองแดง ทำให้เกิดการระคายเคืองบริเวณเยื่อぶตาและอวัยวะที่ตา ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และประสาทสัมผัสสัมผัสผิวหนัง

2.6 สังกะสี (Zinc: Zn) เป็นโลหะหนักแข็ง มีสีขาวอมฟ้า มีคุณสมบัติเด่น คือ มีความยืดหยุ่นดี มีจุดหลอมเหลวต่ำ และทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี สังกะสีถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบ เช่น เคลือบเหล็กป้องกันสนิม อุตสาหกรรมงาน การชุบสีอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อที่จะยืดอายุการใช้งาน การหล่อแม่พิมพ์ การผลิตทองเหลือง และอุตสาหกรรมทางการแพทย์ (สุธรรม แยมเนียม, 2519)

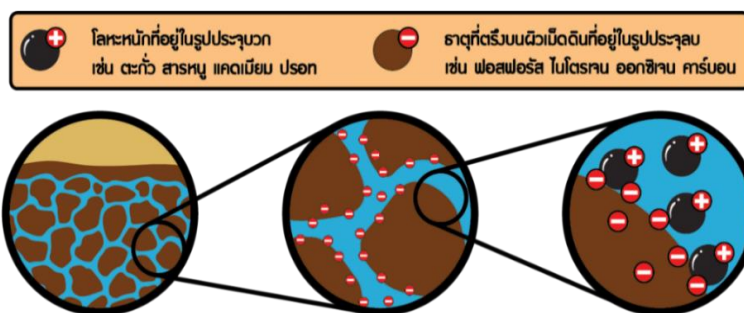
2.7 นิกเกิล (Nickel: Ni) เป็นโลหะที่มีความมันวาว มีสีขาวเงิน มีความแข็งสามารถทำให้เรียบเป็นแผ่นได้ พบได้มากที่สุดในสิ่งแวดล้อม บริเวณแหล่งน้ำและดิน นิกเกิลถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของเหรียญ รวมถึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมโลหะอัลลอยด์ เหล็กกล้าไร้สนิม อุตสาหกรรมชุบโลหะแบบไฟฟ้าในการตกแต่งชิ้นงาน แบตเตอรี่สะสมแบบอัลคาไลน์ อุตสาหกรรมเซรามิก นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ สีย้อม และการเผาไหม้เชื้อเพลิง นิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายผ่านทางอาหารได้มากที่สุด โดยการสูด

คมฝุ่นโลหะ निकเกิล หรือละอองไอของสารประกอบนิกเกิล เมื่อเข้าไปสู่อวัยวะแล้วจะเกิดการสะสมที่ปอดและต่อมน้ำเหลืองเป็นส่วนใหญ่ จากนั้นจะกระจายไปอวัยวะอื่น ๆ ผ่านกระแสเลือด อีกทั้งยังก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง โรคระบบทางเดินอาหาร โรคมะเร็งปอด โรคหลอดเลือด โรคความดันโลหิตสูง มีผลต่อระบบประสาท พัฒนาการของเด็ก หลอดลมอักเสบเรื้อรัง ก่อให้เกิดอาการวิงเวียนและไอ (วิชากร จารุศิริ, 2561)

2.8 โครเมียม (Chromium: Cr) เป็นโลหะธาตุสีเงิน มันวาว มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กิโลกรัม/ลิตร เป็นธาตุที่พบมากเป็นอันดับ 21 ของธาตุที่พบบนโลก นิยมนำโครเมียมมาผสมในเหล็ก ซึ่งสารประกอบโครเมียมจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อสนิม และการกัดกร่อน โครเมียมถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในทางอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมชุบโลหะ อุตสาหกรรมพอกหนัง อุตสาหกรรมตกแต่งด้วยโลหะ กระบวนการผลิตทางเคมี ซีเมนต์ และสีย้อม โครเมียมมีความเป็นพิษสูงมาก ถ้ามีโครเมียมในร่างกายมากจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อตับ ไต และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (วิชากร จารุศิริ, 2561)

2.9 แมงกานีส (Manganese: Mn) เป็นธาตุโลหะมีสีชาวจเงิน แข็งและเปราะ โดยธาตุแมงกานีสเกิดแพร่กระจายในชั้นเปลือกโลก ประมาณร้อยละ 0.1 และเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับที่ 12 จัดเป็นโลหะและโลหะทรานซิชันที่พบได้โดยทั่วไปในธรรมชาติ แมงกานีสมีคุณสมบัติทนต่อการผุกร่อนได้ นำมาใช้เคลือบผิวโลหะชนิดอื่นที่เกิดสนิมได้ง่าย แมงกานีสมีการใช้อย่างแพร่หลาย เช่น เครื่องทอ ภาชนะเคลือบสี กระจก อุตสาหกรรมยาง เครื่องพิมพ์ การชุบโลหะ และยาฆ่าแมลง (ธิดารัตน์ โชคนาคะวโร, 2550)

2.10 แคดเมียม (Cadmium: Cd) เป็นธาตุโลหะหนักหน้ำเดียวกับสังกะสี และปรอท มักพบในรูปที่มีเลขออกซิเดชัน 2+ แคดเมียมเป็นธาตุโลหะหนักที่มีสีเงินแกมขาว มีคุณสมบัติเบาอ่อน ดัดโค้งได้ง่ายและทนต่อการกัดกร่อน เป็นโลหะมีสีเงิน มีอยู่น้อยตามธรรมชาติ โดยทั่วไปแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม เมื่อพบในปริมาณสูงจะทำให้เกิดมะเร็ง ไตถูกทำลาย เกิดเนื้องอกที่ปอด และส่งผลให้ทางเดินหายใจ อาจเกิดโรคปอดบวม นอกจากนี้ยังทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูก สันหลัง แขนและขา โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต (อนามัย เทศกะทีก, 2552)



ภาพประกอบ 5 ดินปนเปื้อนโลหะหนัก

ที่มา: (thaicityfarm.com)

3. มาตรฐานคุณภาพดินและการปนเปื้อนโลหะหนัก

มาตรฐานคุณภาพดิน คือ มาตรฐานการปนเปื้อนของสารอันตรายที่ยอมให้มีได้ในดินโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่สัมผัสผิวดินทางตรง ได้แก่ ทางปาก ทางการหายใจ และทางทางการหายใจ โดยแบ่งคุณภาพดินตามลักษณะการใช้ประโยชน์ในดิน แสดงดังตาราง 1 และ 2

ตาราง 1 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย

ดัชนีคุณภาพดิน	ค่ามาตรฐาน	การวิเคราะห์
1. สารหนู (As)	ไม่เกิน 6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic absorption
2. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 67 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	spectrophotometry
3. โครเมียม ชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr)	ไม่เกิน 13.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	(AAS) ชนิด Direct
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 2,920 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	aspiration หรือวิธี
5. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 400 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Inductively coupled
6. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 1,710 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	plasma optical
7. ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	emission spectrometer
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 436.5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	(ICP-OES)
9. ซีลีเนียม (Se)	ไม่เกิน 365 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

ตาราง 2 มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการค้าขาย เกษตรกรรม และกิจการอื่น ๆ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ดัชนีคุณภาพดิน	ค่ามาตรฐาน	การวิเคราะห์
1. สารหนู (As)	ไม่เกิน 25 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	
2. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 762 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	
3. โครเมียม ชนิดเฮกซะวาเลนท์ (Cr)	ไม่เกิน 212 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	Atomic absorption
4. ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 35,040 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	spectrophotometry
5. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 800 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	(AAS) หรือวิธี Plasma
6. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 19,640 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	optical emission
7.ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 263 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	spectrometer
8. นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน 5,205 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	(ICP-OES)
9. ซีลีเนียม (Se)	ไม่เกิน 4,380 มิลลิกรัม/กิโลกรัม	

ที่มา: ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

(กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

ความหมายของขยะมูลฝอย

1. ขยะมูลฝอย

เป็นวัสดุใดที่ถูกทิ้งไม่มีผู้ใดต้องการ ซึ่งถูกทิ้งโดยการกำจัด หรือการเผารั่วไหล ขยะมูลฝอยสามารถเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลว กึ่งของแข็ง หรือภาชนะบรรจุก๊าซ รวมถึงเศษซากการก่อสร้าง ขยะเชิงพาณิชย์ กากตะกอนจากระบบประปาหรือโรงบำบัดของเสีย และวัสดุอื่นๆ ที่ถูกทิ้ง ขยะมูลฝอยอาจมาจากอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม เหมืองแร่ หรือเกษตรกรรม และจากกิจกรรมในครัวเรือนและชุมชน เป็นสิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งบางส่วนไม่สามารถใช้การต่อได้ เช่น เศษอาหาร เศษพลาสติก เครื่องใช้ที่ชำรุด เสื้อผ้าเก่า ภาชนะที่ใส่อาหาร และรวมถึงขยะติดเชื้อ ขยะที่เป็นพิษหรือขยะอันตรายจากครัวเรือน ชุมชนที่ไม่ใช้แล้ว ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

2. การจัดการขยะมูลฝอย

เป็นการรวบรวม เก็บขน และกำจัดขยะมูลฝอย ไว้ ณ บริเวณพื้นที่แหล่งกำเนิด ซึ่งมีความสำคัญมาก เพราะจะต้องคำนึงถึงประเภทของภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บหรือภาชนะที่ใช้รองรับ ที่ต้องมีความเหมาะสมต่อชนิดและประเภทของขยะมูลฝอยที่ต้องการเก็บ และมีขนาดเพียงพอที่จะใช้ในการเก็บจนกว่าจะถึงเวลาที่ถูกขนย้ายไปยังสถานที่กำจัด

(กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

3. วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองบนพื้น

การเทกองบนพื้น (Open dump) เป็นกระบวนการในการจัดการขยะมูลฝอยในรูปแบบการเทกองมูลฝอยบนพื้นที่โดยที่ไม่มีการควบคุม ไม่มีการดำเนินการเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2556) การเทกองขยะบนพื้นกลางแจ้งเป็นวิธีการกำจัดขยะที่ง่ายที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด กล่าวคือ ขยะที่เกิดขึ้นรวบรวมจากชุมชนจะถูกส่งไปยังสถานที่กำจัดขยะหรือสถานที่ทิ้งขยะ ซึ่งอาจมีสภาพเป็นที่ราบทั่วไปหรืออาจจะเป็นหลุมหรือบ่อ โดยขยะที่ที่ถูกขนส่งมานั้นจะถูกนำมาเทกองบนพื้นดิน โดยไม่ได้มีการดำเนินการใด ๆ ต่อ ซึ่งเมื่อมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นก็จะกลายเป็นกองขยะภูเขาที่ส่งผลกระทบต่อหลาย ๆ ด้าน ทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรคต่าง ๆ เช่น หนู แมลงวัน หรือสิ่งมีชีวิตตัวเล็ก และทำให้เกิดน้ำเสียจากกองขยะซึ่งอาจเกิดการปนเปื้อนลงแหล่งน้ำในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง วิธีนี้จึงไม่ถูกจัดว่าเป็นการกำจัดขยะที่ถูกสุขลักษณะที่ถูกหลักสุขาภิบาล และควรต้องหลีกเลี่ยงที่จะดำเนินการ รวมถึงการกำจัดขยะด้วยวิธีนี้ยังเป็นการทำลายทัศนียภาพของพื้นที่ (อาณัติ ต๊ะปิ่นตา, 2553)

ความหมายของน้ำชะขยะมูลฝอย

น้ำชะขยะมูลฝอย (Leachate) หมายถึง น้ำหรือของเหลวที่ไหลออกจากหลุมฝังกลบขยะ โดยเกิดจากน้ำฝนที่ไหลชะล้างลงมาจากกองขยะหรือเกิดจากความชื้นของมูลฝอยที่ถูกสะสมทับถมกันเป็นเวลานาน ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก และสารพิษที่เกาะติดอยู่กับมูลฝอย มีความแตกต่างกันอย่างมากในแต่ละองค์ประกอบ โดยขึ้นอยู่กับอายุของหลุมฝังกลบ และประเภทของขยะที่บรรจุภัณฑ์ โดยจะมีทั้งวัสดุที่ละลายและเป็นสารแขวนลอย เมื่อไม่ได้รับการบำบัดให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อน้ำผิวดิน และแหล่งน้ำใต้ดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

โดยทั่วไป น้ำชะขยะมูลฝอยที่ไหลออกมาจากกองขยะจะพบว่ามีลักษณะเป็นสีดำเข้มไปจนถึงสีน้ำตาล มักจะแตกต่างกันในช่วงที่ฝนตก เมื่อฝนตกมักจะมีสีน้ำตาลตอนอ่อนที่ค่อนข้างเจือจาง รวมถึงระยะเวลาในการย่อยสลาย ก็ส่งผลให้เกิดกลิ่นที่เหม็นรุนแรงบางครั้งอาจจะมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว เนื่องจากเกิดกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการสร้างมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบขยะเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม แสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
1. ความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5-9.0
2. BOD (Biochemical oxygen demand)	
2.1 กรณีหน่วยบำบัดสุดท้ายเป็นระบบบำบัดแบบใช้อากาศอื่น ๆ	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร
3. COD (Chemical oxygen demand)	ไม่เกิน 400 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen)	ไม่เกิน 60 มิลลิกรัม/ลิตร
5. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร
6. สารหนู (As)	ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร
7. แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร
8. ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร
9.ปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร
10. แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/ลิตร

ที่มา : ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง การกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (2565)

กระบวนการในการบำบัดน้ำเสีย

เป็นการทำให้น้ำที่ไม่ผ่านคุณภาพ มีคุณภาพดีขึ้นจนถึงระดับที่สามารถที่จะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำบริเวณนั้น หรือสามารถทำให้น้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น นำกลับไปใช้ในการรดน้ำต้นไม้หรือทำกิจกรรมอื่น ๆ การบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยหลายขั้นตอน โดยในแต่ละขั้นตอนก็มีวัตถุประสงค์ต่างกันออกไป

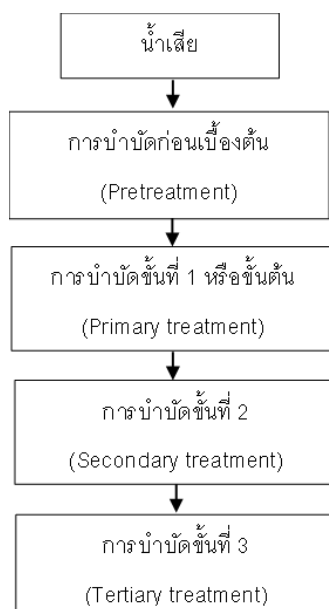
(สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

วิธีการบำบัดน้ำเสียขึ้นอยู่กับสิ่งที่มีการเจือปนอยู่ในน้ำ โดยปกติของแข็งและของแข็งแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำเสียจะสามารถบำบัดออกได้ด้วยวิธีการทางกายภาพ โดยมีการใช้วิธีการบำบัดทางเคมีหรือวิธีทางชีวภาพซึ่งสามารถทำให้เกิดการตกตะกอนขนาดเล็กหรือสารละลายกลายเป็นตะกอนแขวนลอยที่จะไปรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนสามารถบำบัดน้ำเสียได้ (มันสิน ตันกุลเวศน์, 2537) เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียมีหลายประเภท จึงจำเป็นต้องมีการเลือกใช้ระบบให้เหมาะสมโดยมีปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด
- ระดับความสามารถของการบำบัด
- บริเวณสภาพโดยรอบของท้องถิ่นนั้น ๆ

1. ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป

ส่วนใหญ่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้



ภาพประกอบ 6 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

1.1 การบำบัดน้ำเสียก่อนเบื้องต้น (Pretreatment)

การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นส่วนใหญ่จะเป็นการเตรียมน้ำเสียเพื่อให้เหมาะสมที่จะนำไปบำบัดในขั้นตอนของการบำบัดต่อไปเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในขั้นตอนนั้น ๆ เช่น ขั้นตอนการตกตะกอนหรือของแข็งด้วยตะแกรง โดยมีการเลือกใช้ตะแกรงให้มีรูปแบบตามความเหมาะสมในการทำงาน และในขั้นตอนนี้กระบวนการที่ใช้ส่วนใหญ่มักจะเป็นกระบวนการทางกายภาพ (Physical process)

1.2 การบำบัดน้ำในขั้นที่ 1 หรือขั้นต้น (Primary treatment)

มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนที่จะไปสู่ขั้นตอนการบำบัดในขั้นต่อไป เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยบำบัดขั้นต่อไปมีประสิทธิภาพสูงสุดและไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อหน่วยบำบัดนั้น ๆ การบำบัดเบื้องต้น ได้แก่ การสร้างรวมตะกอน การตกตะกอน กระบวนการที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือกระบวนการทางเคมี หรือกระบวนการเคมีรวมตัวกับกระบวนการทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ โดยการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียเพื่อลดมลพิษให้ต่ำลงโดยใช้วิธีการที่ประหยัดค่าใช้จ่าย

1.3 การบำบัดน้ำในขั้นที่ 2 (Secondary treatment)

น้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดจากการบำบัดในขั้นที่ 1 มาแล้ว แต่ยังไม่คุณสมบัติที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ต้องมีการบำบัดต่อไปให้สูงขึ้น ซึ่งในการบำบัดในขั้นตอนนี้จะช่วยแยกหรือบำบัดสิ่งสกปรกที่มีความเฉพาะเจาะจง เป็นขั้นตอนหลักในการบำบัดและแยกสารที่มีการปนเปื้อนหลัก ออกจากน้ำเสีย เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศ

1.4 การบำบัดน้ำในขั้นที่ 3 หรือการบำบัดขั้นสูง (Tertiary treatment)

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แล้วจะมีลักษณะคุณสมบัติที่สามารถระบายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ โดยคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเป็นไปตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด แต่ในบางกรณีคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดในขั้นที่ 2 มาแล้ว อาจจะมีลักษณะสมบัติบางประการเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนดหรือความต้องการที่จะนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นอีก ดังนั้น ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียดังกล่าวให้ดีขึ้นอีก เช่น น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังมีความขุ่น หรือมีการปนเปื้อน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้คุณภาพของน้ำดีขึ้น เช่น การสร้างรวมตะกอน หรือการตกตะกอนของแข็งที่ละลายในน้ำ การดูดซับสารปนเปื้อนบางชนิด สี กลิ่น การแลกเปลี่ยนไอออนในน้ำเสีย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบุลย์, 2557)

2. การรวบรวมน้ำเสีย

ระบบรวบรวมน้ำเสีย หรือระบบระบายน้ำ หมายถึง การนำน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดหลาย ๆ แหล่งไปรวมยังสถานที่ที่จะบำบัด โดยผ่านท่อระบายน้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

2.1 ระบบท่อรวม (Combined system) เป็นระบบที่มีท่อระบายน้ำฝนและท่อระบายน้ำเสียรวมกัน โดยจำเป็นจะต้องมีการสร้างท่อคักน้ำเสียเป็นระยะ ๆ เพื่อจะช่วยรวบรวมน้ำเสียไปตามท่อรวม และส่งต่อไปยังบ่อบำบัดน้ำเสีย ส่วนน้ำจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

2.2 ระบบท่อแยก (Separated system) เป็นระบบที่มีการแยกท่อระบายน้ำเสียออกจากท่อระบายน้ำฝนที่อยู่ในระบบบำบัดน้ำเสีย

3. ระบบบำบัดที่นิยมใช้ในไทย

3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge system: AS)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศที่สามารถควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดมลพิษในน้ำเสียได้ดี มีการประยุกต์ระบบให้มีความสอดคล้องต่อการใช้งานได้มากขึ้น เนื่องจากสมรรถนะที่จะบำบัดได้ทั้งน้ำเสียจากชุมชนรวมไปถึงการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและ

ลักษณะทางกายภาพให้เหมาะสมกับการทำงานของระบบบำบัด และการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด กล่าวคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งสามารถกำหนดปริมาณสิ่งสกปรกปนเปื้อน ซึ่งหมายถึงสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ถังเติมอากาศ และปริมาณจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยระบบเลี้ยงตะกอนเร่งจึงมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการก่อสร้างหรือการเดินระบบ แต่ระบบแบบตะกอนเร่งมีข้อดี อยู่คือ ขนาดของระบบบำบัดน้ำเสียจะเล็กกว่าระบบบำบัดอื่น ๆ เช่น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบฝิ่ง นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้สูงกว่าระบบบำบัดดังกล่าว ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม หรือการใช้งาน รวมทั้งชนิดและประเภทของน้ำเสีย แต่ในทุก ๆ ระบบจะมีหลักการที่เหมือนกันคือจะประกอบไปด้วยถังเติมอากาศและถังตกตะกอน

หลักการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง เริ่มจากน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ จะถูกปั๊มเข้าสู่ถังเติมอากาศ (Aeration tank) เพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาชีวเคมีเพื่อทำลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย หรือกำจัดสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (Organic matters) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศและปริมาณออกซิเจนที่เติมให้ โดยแบคทีเรียจะย่อยสลายหรือทำลายสารอินทรีย์และเพิ่มจำนวนมากขึ้น แล้วรวมตัวกันเป็นตะกอนซึ่งเรียกว่า ตะกอนจุลินทรีย์ สามารถรวมตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนสู่ก้นถังเมื่อตั้งทิ้งไว้ โดยส่วนใหญ่ตะกอนจะมีสีน้ำตาล และมีชื่อเรียกเฉพาะว่าตะกอนเร่ง (Activated sludge) น้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ จะถูกส่งไปยังถังตกตะกอน (Sedimentation tank) เพื่อพักตะกอนออกจากน้ำใสด้วยการตกตะกอนหรือจมลงที่ก้นถังตะกอน ซึ่งน้ำใสส่วนด้านบนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกส่งไปยังบ่อคลอรีนเพื่อทำการฆ่าเชื้อและสามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ ตะกอนบางส่วนจะถูกสูบกลับเข้าไปยังถังเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศให้คงที่และมีการกำจัดตะกอนส่วนเดิมทิ้งด้วย ส่วนสลัดจ์ที่ไม่ถูกสูบกลับไปใหม่ เรียกว่า สลัดจ์ส่วนเกิน ต้องนำไปกำจัดโดยการรีดน้ำออก เพื่อให้สลัดจ์แห้งจากนั้นนำไปกำจัดทิ้งในบ่อฝังกลบ การนำไปทำเป็นปุ๋ย (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

3.1.1 ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบกวนผสมสมบูรณ์ (Completely mixed activated sludge: CMAS) ลักษณะของระบบจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ถูกออกแบบให้น้ำเสียและตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียไหลเข้าถังเติมอากาศอย่างสม่ำเสมอและมีการกวนผสมให้น้ำเสียในถังปฏิกิริยาหรือถังเติมอากาศเป็นเนื้อเดียวกันหมดทั่วทั้งถังเติมอากาศ ซึ่งมีผลให้ความต้องการออกซิเจนและอันตราย การเติมออกซิเจนหรืออากาศทุกจุดในถังปฏิกิริยาเท่ากัน ข้อดี คือ

มีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้งปริมาณและคุณสมบัติของน้ำเสียได้สูงมากและสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของ BOD สูง ๆ คือ 5,000-10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ดี

3.1.2 ระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์แบบปรับเสถียรสัมผัส (Contact stabilization activated sludge: CSAC) ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทนี้มีการพัฒนาขึ้นมาอีกขั้นหนึ่งทำให้การบำบัดหรือการกำจัด BOD ในน้ำเสียมี 2 ชั้น โดยพฤติกรรมของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียในถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียจะดูดซับสิ่งสกปรกพวก BOD เข้าไว้ในตัวแบคทีเรียหรือตะกอนจุลินทรีย์ภายในระยะเวลา 20-40 นาทีแรก ดังนั้น BOD ในน้ำเสียจะลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้น BOD บางส่วนจะถูกปล่อยออกมาทำให้ความเข้มข้นของ BOD สูงขึ้นและจะค่อย ๆ ลดลงอีกเรื่อย ๆ โดยการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์หรือตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศ โดยน้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าถังเติมอากาศถังแรกเรียกว่า ถังกวนผสมหรือถังดูดซับสิ่งสกปรกหรือ BOD (Contact tank) ซึ่งจะมีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ค่อนข้างสูง จากนั้นจะนำน้ำเสียที่มีตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยมาตกตะกอนแยกเอาตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียซึ่งเรียกว่า ตะกอนเร่ง (Activated sludge) ออกด้วยถังตกตะกอนและนำตะกอนจุลินทรีย์กลับไปสู่ถังเติมอากาศอีกถังเรียกว่า Re aeration tank เพื่อทำลาย BOD ที่ดูดซับไว้ การเติมอากาศจะนาน 3-6 ชั่วโมงจน BOD ที่ตะกอนจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียดูดซับไว้ถูกย่อยสลายหมด จากนั้นตะกอนจุลินทรีย์ก็จะส่งไปยังถังดูดซับ BOD อีกครั้ง วงเวียนแบบนี้ไปตลอด ข้อดีของระบบนี้คือ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้ เพราะถังเติมอากาศทั้ง 2 บ่อ จะมีปริมาตรรวมกันน้อยกว่าถังเติมอากาศในระบบเลี้ยงตะกอนเร่งทั่วไป (มันสิน ตันกุลเวศน์, 2537)

3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch: OD) การทำงานของระบบคลองวนเวียนจะเหมือนกับระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์โดยทั่วไป คือ อาศัยจุลินทรีย์มากมายหลายชนิดเป็นระบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบเติมอากาศ ยืดเวลา มีการใช้คลองวนเวียนหรือคูวนเวียนแทนการใช้บ่อเติมอากาศขนาดใหญ่ โดยคลองวนเวียนจะมีความลึกประมาณ 1.5 เมตร เพื่ออำนวยความสะดวกก่อสร้าง แต่ข้อเสียคือระบบคลองวนเวียนจะใช้พื้นที่ในการก่อสร้างค่อนข้างมาก รวมทั้งลักษณะสมบัติของน้ำเสียในแต่ละจุดของบ่อจะไม่สม่ำเสมอหรือเหมือนกันในทุกจุด ระบบบำบัดนี้จะเหมาะกับปริมาณน้ำเสียไม่มากนักและมีการควบคุมที่ค่อนข้างยาก เดิมระบบบำบัดนี้ได้รับความนิยมในประเทศไทยมาก โดยเฉพาะโรงพยาบาลของรัฐบาล แต่ปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนไปใช้ระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่งเป็นส่วนใหญ่

3.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing batch reactor) เป็นระบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก โดยมีขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียแตกต่างจากระบบ

ตะกอนเร่งแบบอื่น ๆ คือมีอาศัยการเติมอากาศและการตกตะกอน โดยดำเนินการไปตามขั้นตอนภายในถังปฏิกริยาเดียวกัน การเดินระบบน้ำเสียหนึ่งรอบการทำงานจะมี 5 ช่วง ดังนี้

3.3.1 ช่วงเติมน้ำเสีย (Fill) เป็นช่วงที่มีการเติมน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกริยาที่มีน้ำตะกอนจุลินทรีย์จากวงจรการทำงานก่อนหน้านี้ การเติมน้ำเสียทำให้ระดับน้ำในถังปฏิกริยาสูงขึ้น จากเดิมที่มีอยู่ตั้งแต่ร้อยละ 20-100 โดยปริมาตรถัง ช่วงเวลาการเติมน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลตามธรรมชาติของน้ำเสียนั้น หรือความสามารถของเครื่องสูบน้ำ

3.3.2 ช่วงทำปฏิกริยา (React) เป็นช่วงที่เกิดปฏิกริยาบำบัดน้ำเสีย อาจจะมีการกวนหรือการเติมอากาศในถังปฏิกริยา ระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกริยาจะขึ้นกับคุณภาพน้ำทิ้ง (Effluent) ที่ต้องการแต่ต้องมีระยะเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกริยาอย่างสมบูรณ์

3.3.3 ช่วงตกตะกอน (Settle) ช่วงที่เกิดการแยกตัวของตะกอนออกจากน้ำใสโดยช่วงนี้จะไม่มีการรบกวนจากการเติมอากาศหรือการกวนระยะเวลาในการตกตะกอนไม่ควรนานเกินไปเพื่อป้องกันปัญหาตะกอนลอยตัว

3.3.4 ช่วงระบายน้ำทิ้ง (Draw, Decant) เป็นช่วงระบายน้ำใสที่ผ่านการบำบัดแล้วออกจากถังปฏิกริยา ระยะเวลาการระบายขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบแต่ไม่ควรใช้เวลาอันเกินไปและไม่ควรมีตะกอนหลุดออกจากถังปฏิกริยา

3.3.5 ช่วงพักระบบ (Idle) เป็นช่วงการพักระบบเพื่อรองรับน้ำเสียที่จะเข้ามาสู่การบำบัดในถังปฏิกริยา ช่วงนี้อาจมีการเติมอากาศหรือการกวนซึ่งช่วงพักระบบนี้อาจจะมีหรือไม่ก็ได้ขึ้นอยู่กับออกแบบ ระบบ กรณีที่มีน้ำทิ้งมากอาจจะต้องมีถังปฏิกริยามากกว่า 1 ถัง โดยตั้งแต่ถังจะทำหน้าที่ไม่เหมือนกันเพื่อให้สามารถรับและบำบัดน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

3.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization pond) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และไม่มีการติดตั้งเครื่องจักรกลในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถแบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้ทั้งหมด 4 รูปแบบดังต่อไปนี้

3.4.1 บ่อหมักไร้อากาศแอนแอโรบิค (Anaerobic pond) เป็นระบบที่ใช้ในการกำจัดปริมาณสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นจำนวนสูง โดยไม่ต้องอาศัยการใช้ออกซิเจนในการบำบัด ทำให้สาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถผลิตและปล่อยออกซิเจนได้ทันทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนละลายน้ำ ภายในบ่อเหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และปริมาณ

ของแข็งสูง เนื่องจากของแข็งจะตกลงสู่ก้นบ่อและถูกย่อยสลายแบบไร้อากาศแอนแอโรบิก โดยน้ำเสียส่วนที่ผ่านการบำบัดจากบ่อนี้จะระบายออกไปยังบ่อแฟคคัลเททีฟ

3.4.2 บ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative pond) เป็นบ่อที่มีความนิยมใช้มากที่สุด บ่อจะถูกออกแบบให้มีความลึกมากกว่าปกติ บ่อจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบนที่มีอากาศหรือ ออกซิเจน (Aerobic zone) จากการถ่ายเทอากาศบนผิวน้ำ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ในกลุ่มสาหร่าย และ Heterotrophic aerobic bacteria (Ronald et al., 2006) สารอินทรีย์ในส่วนนี้จะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้อากาศ และส่วนล่างเป็นส่วนที่แสงแดดส่องลงไปไม่ถึง และมีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนรวมทั้งตะกอนที่มีการสะสมที่ก้นบ่อจะถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยน้ำเสียในบ่อนี้เป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยบ่อแอนแอโรบิก (Anaerobic pond) มาแล้ว

3.4.3 บ่อแอโรบิกหรือบ่อผิวน้ำจัดอากาศสูง (Aerobic pond) เป็นบ่อที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำทั่วทั้งบ่อ และไม่มีสภาวะไร้อากาศหรือออกซิเจนเกิดขึ้นบริเวณหนึ่งของบ่อบำบัดน้ำเสียเลย ลักษณะของบ่อบำบัดน้ำเสียจะส่งเสริมให้มีการละลายของออกซิเจนหรืออากาศได้ทั่วทั้งบ่อ ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเสียในบ่อนั้นมาจาก 2 ทาง คือ อากาศและสาหร่าย ส่วนใหญ่จะได้จากสาหร่าย ตัวบ่อจะมีความลึกไม่มากเพื่อให้ออกซิเจน กระจายได้ทั่วทุก ความลึกและเพื่อให้แสงแดดส่องลงไปถึงก้นบ่อช่วยให้สาหร่ายเจริญเติบโตและสังเคราะห์แสงได้ และการเติมอากาศที่ผิวน้ำ และยังสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ส่วนหนึ่งโดยอาศัยแสงแดดได้

3.4.4 บ่อบ่ม (Maturation pond) เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียที่มีไว้เพื่อต้องการฆ่าเชื้อโรคที่อาจจะมีการปนเปื้อนในน้ำเสียหลังจากผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียหลัก น้ำเสียส่วนใหญ่จะมาจากน้ำเสียชุมชน หรือครัวเรือน ลักษณะของบ่อบำบัดน้ำเสียจะไม่มี ความลึกมาก อยู่ที่ประมาณ 1 เมตร และมีระยะเวลากักเก็บนาน มีแสงแดดเป็นตัวฆ่าเชื้อโรคก่อน ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

3.5 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ (Aerated lagoon system)

มีการใช้เครื่องจักรกลในการเติมอากาศหรือออกซิเจน เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มี ปริมาณเพียงพอ โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของ น้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ ตัวอย่างกรณีของบ่อผิวน้ำที่จะได้ออกซิเจนจากบรรยากาศ โดยการถ่ายเทออกซิเจนให้กับน้ำเสีย บริเวณผิวน้ำของน้ำเสีย และจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย สรุปแล้วระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ มีข้อดีใน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อเติมอากาศจะสูงและเร็วกว่าบ่อฝิ่ง รวมทั้งระบบบ่อเติมอากาศจะรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าบ่อฝิ่ง 8-10 เท่า ส่งผลให้ขนาดของระบบบำบัดแบบบ่อเติมอากาศจะมีขนาดเล็กกว่าบ่อฝิ่ง ในกรณีที่บำบัดน้ำเสียชนิดเดียวกันในปริมาณเท่ากัน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

4. ลักษณะน้ำเสีย

4.1 ลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพ

4.1.1 ของแข็งทั้งหมด (Total solid: TS) คือ ของแข็งที่ละลายน้ำได้ รวมทั้งของแข็งแขวนลอยและของแข็งที่ตกตะกอนได้ในน้ำ ในน้ำลำธาร ของแข็งที่ละลายน้ำประกอบด้วย แคลเซียม คลอไรด์ ไนเตรต ฟอสฟอรัส เหล็ก กำมะถัน และอนุภาคไอออนอื่น ๆ ซึ่งจะผ่านตัวกรองที่มีรูพรุนขนาดประมาณ 2 ไมครอน

4.1.2 ของแข็งจมตัวได้ (Settleable solids) คือ ส่วนของแข็งที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก สามารถตกตะกอนมารวมกันที่ส่วนล่างของภาชนะได้เมื่อตั้งทิ้งไว้

4.1.3 ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids: TDS) คือ ของแข็งที่สามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน และยังคงเหลืออยู่หลังจากระเหยไอน้ำจนแห้ง และนำไปอบที่อุณหภูมิความร้อน 103-105 องศาเซลเซียส

4.1.4 ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids: SS) คือ ของแข็งส่วนที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำโดยไม่ตกตะกอนจมลงกันถึง โดยหาได้จากการนำน้ำตัวอย่างมาผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว แล้วนำไปอบแห้งที่ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกระดาษกรอง

4.1.5 ของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids: VS) คือ สารที่สามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นไอได้อย่างง่ายดายโดยไม่ต้องผ่านสถานะของเหลว ของแข็งระเหยง่ายเป็นตัวแทนของปริมาณของแข็งอินทรีย์ในน้ำ ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ สามารถวิเคราะห์โดยนำกระดาษกรองที่วิเคราะห์หาของแข็งที่แขวนลอย หรือถ้วยกระเบื้องระเหยที่วิเคราะห์ของแข็งละลายทั้งหมดไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของของแข็งระเหยง่าย

4.1.6 อุณหภูมิ (Temperature) คือ อุณหภูมิจะมีความสำคัญอย่างมากในแง่ของการออกแบบระบบบำบัด อุณหภูมิจึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำโดยจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียสและจะหยุดการเติบโตที่ 50 องศาเซลเซียส

4.1.7 สี (Color) คือ เป็นการตรวจสอบเบื้องต้นว่า หากพบว่าน้ำเสียจะมีสีเทาปนน้ำตาลอ่อน เมื่อไม่มีการบำบัดจะเปลี่ยนสีเทาหรือสีดำ น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เกิดจากพวกซัลไฟด์ของโลหะอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดสีในน้ำเสีย

4.1.8 ความขุ่น (Turbidity) คือ สารแขวนลอยที่ปนเปื้อนในน้ำเสียนั้นเองที่จะกั้นไม่ให้แสงแดดส่องลงใต้น้ำ

4.1.9 กลิ่น คือ กลิ่นของน้ำเสียเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุหลัก กลิ่นที่มีอยู่ในน้ำแต่เดิมและกลิ่นที่เกิดขึ้นหลังจากการเก็บน้ำเสียไว้นานหรือเกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียบางประเภท

4.1.10 การนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) คือ น้ำมีความสามารถในการจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของชนิดไอออนที่มีอยู่ในน้ำ และอุณหภูมิในขณะทำการวัดไม่ได้เป็นการบอกถึงไอออนตัวใดตัวหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งสารประกอบอนินทรีย์ของกรด ต่าง และเกลือ สามารถนำไฟฟ้าได้ดี

4.2. ลักษณะของน้ำเสียทางเคมี

4.2.1 สารอินทรีย์ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียอาจจะอยู่ในรูปของสารละลาย สารแขวนลอย หรืออยู่ในรูปของแข็งที่จมตัวได้ สารเหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ตามลักษณะสมบัติในการย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ คือ สารที่ย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (Biodegradable organic matters) และสารที่ไม่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ (Hardly biodegradable organic matters) น้ำเสียโดยทั่วไปมักประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายประเภทผสมกันอยู่

4.2.2 บีโอดี (Biochemical oxygen demand: BOD) คือ การวิเคราะห์หาความสกปรกของน้ำหรือน้ำเสียของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการโดยใช้จุลินทรีย์หรือแบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนโดยจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียที่จะใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารในการดำรงชีวิตประจำวัน โดยมีอุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ 5 วัน อยู่ในสภาวะที่มีอากาศตลอดช่วง 5 วัน มีอาหารเสริมเพียงพอต่อการเลี้ยงจุลินทรีย์ แบคทีเรียที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีปริมาณมากพอ ต้องไม่มีสารพิษในน้ำเสียที่จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์ เป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยให้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (Organic loading) ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่าง ๆ

4.2.3 ซีโอดี (Chemical oxygen demand: COD) คือ การวิเคราะห์หาค่า COD เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลปฏิกิริยาสุดท้าย โดยใช้สารที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์สูง เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในปริมาณมากเกินไป ในสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ และย่อยสลายไม่ได้ก็จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดและการให้ความร้อน โดยทั่วไปค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ ดังนั้นค่า COD จึงสามารถแสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย

4.2.4 ทีโอซี (Total organic carbon: TOC) คือ การหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่อยู่ในสารอินทรีย์โดยการพ่นตัวอย่างน้ำเสียเข้าไปในเตาที่อุณหภูมิสูงเพื่อไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ได้สารคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการวิเคราะห์โดยแสงอินฟราเรด

4.2.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) คือ พารามิเตอร์ที่มีประโยชน์มากที่สุดและวัดได้ง่ายที่สุดโดยค่า pH มากกว่า 7 หมายถึง ความเป็นด่างค่า pH น้อยกว่า 7 หมายถึง ความเป็นกรดของน้ำสะอาดจะมีค่า pH เท่ากับ 7 ค่า pH มีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และในการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ค่า pH ของน้ำทั้งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 5-9

4.2.6 ความเป็นด่าง (Alkalinity) คือ การวัดความสามารถของน้ำในการสะเทินกรดแก่จนเป็นกลาง เกิดขึ้นจากในน้ำมีสารไฮดรอกไซด์ คาร์บอเนต และไบคาร์บอเนตของธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และแอมโมเนีย

4.2.7 ความกระด้าง (Hardness) คือ น้ำที่ต้องการสบู่ค่อนข้างมาก จึงทำให้เกิดฟองหรือน้ำที่ทำให้เกิดตะกอน น้ำ

4.2.8 ไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีความสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีน ธาตุไนโตรเจนในน้ำจะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนเตรท ไนเตรต ก๊าซไนโตรเจน ถ้ามีไนโตรเจนในแหล่งน้ำมาก จะทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

4.2.9 ฟอสฟอรัสในน้ำ เป็นแร่ธาตุที่พบมากในธรรมชาติในรูปของเกลือฟอสเฟตต่าง ๆ ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของออร์โทฟอสเฟต และสารพวกลีฟอสเฟต

4.2.10 สารโลหะหนัก เป็นสารอินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่จะละลายอยู่ในน้ำเสียในรูปของไอออนและส่วนใหญ่จะเป็นสารพิษ

4.2.11 ก๊าซต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ

4.3 ลักษณะของน้ำเสียทางชีวภาพ

หมายถึง มีทั้งแบบจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ น้ำเสียที่มาจากชุมชน น้ำเสียจากโรงพยาบาล ซึ่งเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจหาและทำลายก่อนจะระบายลงสู่แม่น้ำลำคลอง (มันลิน ตันกุลเวศน์, 2537)

5. มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมและหมายถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย

ดัชนีคุณภาพน้ำบางตัว เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่า DO อุณหภูมิ และค่าความขุ่น จะต้องวิเคราะห์ในภาคสนามทันที ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่นต้องวัดในห้องปฏิบัติการ โดยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือจากแหล่งน้ำผิวดินจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีของสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	การวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	5.5-9.0	(pH meter)
2. สี (Color)	ไม่เกิน 300 เอดีเอ็มไอ	(ADMI method)
3. TDS (Total dissolved solids)	ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร	นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส
4. สารแขวนลอย (Suspended solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร	กรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter disc)
5. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids: TSS)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร	วิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว
6. อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส	เครื่องวัดอุณหภูมิ
7. BOD (Biochemical oxygen demand: BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร	Azide modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
8. COD (Chemical oxygen demand: COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร	Closed reflux, Titrimetric/Colorimetric method
9. ทีเคเอ็น (TKN)	ไม่เกิน 100 มิลลิกรัม/ลิตร	วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl method)

ตาราง 4 (ต่อ)

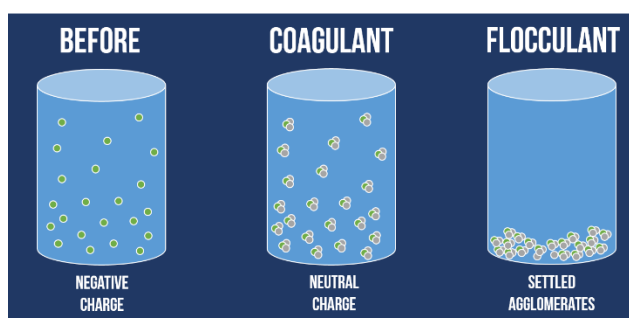
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	การวิเคราะห์
10. ไสยาไนต์ (Cyanides HCN)	ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร	กลั่นและตามด้วยวิธี Pyridine barbituric acid
11. ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร	Iodometric method, Methylene blue method
12. น้ำมันและไขมัน (Fat oil and grease)	ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร	สกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหา น้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
13. ฟอรัมาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร	ให้ใช้วิธีเทียบสี (Colorimetric method)
14. สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร	ใช้การกลั่น Distillation และ ตรวจวัดด้วยวิธีเทียบสี
15. คลอรีนอิสระ (Free chlorine)	ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม/ลิตร	ใช้การไตเตรท
16. สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบ	Gas-chromatographic method

ที่มา: (ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กำหนดมาตรฐาน
ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการ
อุตสาหกรรม, 2539)

ความหมายของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

คือ การแข็งตัวเป็นกระบวนการบำบัดน้ำด้วยสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดของแข็งออก
จากน้ำ โดยจัดการกับประจุไฟฟ้าสถิตของอนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ กระบวนการนี้นำโมเลกุล
ขนาดเล็กที่มีประจุไฟฟ้าสูงเข้าไปในน้ำเพื่อทำให้ประจุของอนุภาค คอลลอยด์ หรือวัสดุที่มีน้ำมัน
ในสารแขวนลอยไม่เสถียร การเลือกสารตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับระบบจะช่วยเพิ่ม
ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะปรับปรุงประสิทธิภาพการกำจัดของแข็ง
โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวกรองและบ่อพัก วิธีการที่ทำให้อนุภาคเหล่านี้รวมตัวกันเป็น
อนุภาคใหญ่และมีน้ำหนักพอที่จะสามารถจมตัวได้ โดยการทำให้อนุภาคเล็ก ๆ จับตัวกันเป็น
อนุภาคขนาดใหญ่ด้วยสารเคมีนี้ เรียกว่า Chemical coagulation สารเคมีที่ใช้เรียกว่า Coagulant
หรือ Flocculant เป็นขั้นตอนต่อจากกระบวนการโคแอกกูเลชัน (มันสัน ตันจตุลเวศน์, 2537)

กระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation) เป็นกระบวนการประสานคอลลอยด์ (มีขนาดอนุภาคอยู่ในระหว่าง 0.1-11 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก และไม่สามารถแยกออกจากน้ำด้วยวิธีตกตะกอนเนื่องจากมีขนาดเล็กเกินไป



ภาพประกอบ 7 Coagulation wastewater

ที่มา: Eric Bradley. (2020)

การหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมจำเป็นต้องทำการทดลองด้วยอุปกรณ์เฉพาะ เช่น

- Jar test ใช้ทดสอบหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ช่วยตกตะกอน
- Titration test ใช้หาปริมาณกรด หรือด่างที่ทำให้ได้ระดับ pH ที่ต้องการ
- Chlorine demand test ใช้ทดสอบหาปริมาณสารประกอบคลอรีนที่เหมาะสม

การหาปริมาณโคแอกกูแลนต์ที่เติมลงไป และสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ค่า pH อัตราการกวนเร็ว และการกวนช้า สำหรับน้ำเสียและโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดได้จากการทดลอง โดยอาศัยวิธีการที่เรียกว่า จาร์เทส (Jar test) หรือการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน ได้แก่

1. การเปรียบเทียบชนิดของโคแอกกูแลนต์
2. การเปรียบเทียบค่า pH ที่ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดีที่สุด

3. หาปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่เลือกใช้เพื่อไม่ให้เติมในปริมาณที่สูงเกินไปและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้อีก เช่น การหาอัตราการกวนเร็ว กวนช้า เป็นต้น โดยสภาวะเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากเมื่อนำไปใช้กับระบบใหญ่ ๆ เช่น การกำจัดสีในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม หรือการผลิตน้ำประปา (นุชรา สีนบัวทอง, 2564)

การทำจาร์เทส จะทำให้อนุภาคแขวนลอยขาดเสถียรภาพและรวมตัวกับโคแอกกูแลนต์ที่เติมลงไป โดยจะอาศัยชุดอุปกรณ์ที่ใช้สร้างตะกอนซึ่งประกอบด้วยใบพัด 4-6 ใบ ดังภาพประกอบ 8 ชุดอุปกรณ์แต่ละหน่วยจะทำงานพร้อมกันในการทดลองเดียว อุปกรณ์เพิ่มเติมที่จำเป็นต้องใช้คือบีกเกอร์ความจุ 1-2 ลิตร จำนวนเท่ากับชุดอุปกรณ์ที่ใช้สร้างตะกอน นาฬิกาจับเวลา



ภาพประกอบ 8 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำ Jar test
ที่มา: <https://www.scilution.co.th>

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกระบวนการสร้างรวมตะกอน

1. ระดับของค่า pH ของตัวอย่างน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารสร้างตะกอน (Coagulant) แต่ละชนิด ตัวอย่างเช่น การใช้สารส้มจะได้ผลดีเมื่อมีค่า พีเอชอยู่ในช่วง 6.0-7.8

2. อุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิแปรผกผันกับค่าความหนืด นั่นคือ ถ้าน้ำมีอุณหภูมิลดลง จะทำให้น้ำมีความหนืดเพิ่ม ซึ่งเมื่อความหนืดเกิดขึ้นจะไปเพิ่มความเสียดทาน ทำให้ฟล็อกตกตะกอนช้าลง

3. ความขุ่น เกิดจากอนุภาคที่ปนเปื้อนในน้ำ ความขุ่นไม่ได้แปรผันตามความเข้มข้นของสารสร้างตะกอน

4. เกลือแร่ต่าง ๆ การมีอนุภาคซิลเฟตหรือฟอสเฟตจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพการจับตัวเป็นฟล็อกเปลี่ยนแปลงไป ผลของอิออนชนิดต่าง ๆ ต่อการจับตัวเป็นฟล็อกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เปลี่ยนแปลงช่วงพีเอชที่ดีที่สุดในการเกิดฟล็อก เปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการเกิดฟล็อกและปริมาณที่เหมาะสมของสารช่วยตกตะกอนเปลี่ยนแปลงไป

5. การกวน มีระบบตกตะกอน 2 แบบ คือการกวนเร็ว และการกวนช้า การกวนเร็วเป็นการสร้างความปั่นป่วนให้แก่ตัวอย่างรุนแรง เพื่อให้สารเคมีกระจายในน้ำได้อย่างทั่วถึงและรวดเร็ว ส่วนการกวนช้า นั้น ช่วยทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจากขั้นตอนในการกวนเร็ว สัมผัสกันและจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มตะกอนลงได้โดยง่าย ซึ่งในขั้นตอนนี้ หากทำการกวนน้ำด้วยความเร็วสูงเกินไป จะทำให้กลุ่มตะกอนแตกออกกจากกันได้

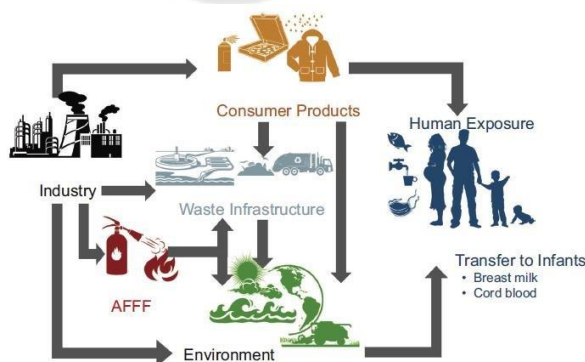
6. ชนิดของสารช่วยตกตะกอน ควรเลือกให้มีความสอดคล้องกับลักษณะของน้ำเสียที่ต้องการตกตะกอน โดยสารช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดมีความเหมาะสมสำหรับทำลายคอลลอยด์ในน้ำแต่ละชนิดได้แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณการใช้ ตัวอย่างชนิดของสารตกตะกอน

6.1 สารส้ม (Alum) มีลักษณะเป็นผลึกก้อนสีขาว ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีรสเปรี้ยว สามารถละลายน้ำได้ดี สารส้มเป็นสารที่นิยมใช้กันมากที่สุดในประเทศไทย เนื่องจากสามารถใช้ได้ดีกับน้ำดิบจากแหล่งต่าง ๆ และหาซื้อได้ง่ายในราคาที่ไม่แพงมากนัก แอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate) และโพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate) มีสูตรทางเคมีทั่วไปคือ $[M(II)M,(III)(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$

6.2 พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (Poltaluminium chloride, PACl) พอลิเมอร์ เป็นเกลืออะลูมิเนียมที่มีสูตรเคมีคือ $[Al_n(OH)_m Cl_{(6-n)}]_m$ ประเภทสารโพลีอินทรีย์เกิดจากการรวมตัวของนิวเคลียสหลายตัวเช่น $(Al_6(OH)_{15})^{3+}$ สารโพลีอะลูมิเนียมดังกล่าวมีความเป็นด่างสูง และประจุไฟฟ้าบวก มีคุณสมบัติจับตัวสูงและมีเสถียรภาพมาก ลักษณะทั่วไปพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ อาจอยู่ในรูปของ 12 สารละลายใสหรือขุ่นเล็กน้อยและอาจอยู่ในรูปของผงละเอียดสีขาว พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ทำให้สารต่าง ๆ ที่แขวนลอย ในน้ำจับตัวกันได้โดยตะกอนสกปรกในน้ำที่มีประจุเป็นลบ จะรวมตัวกับประจุไฟฟ้าบวกของพอลิอะลูมิเนียม ในทุกขนาดของอนุภาคตะกอน พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และมีหลายนิวเคลียสทำให้เกิดตะกอนหนักจึงสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว

การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัส

การรับสัมผัส (Exposure) หมายถึง การสัมผัสสารเคมีบนผิวหนังของร่างกายหรือปริมาณสารเคมีต่อน้ำหนักตัว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน) ที่หายใจเข้าสู่ปอด (สำหรับการรับสัมผัสทางการหายใจ) เข้าสู่ทางเดินอาหาร (สำหรับการรับสัมผัสทางการรับประทานอาหาร) หรือรับเข้าสู่ผิวหนัง (สำหรับการรับสัมผัสทางผิวหนัง) (Kofi Asante-Duah, 2002)



ภาพประกอบ 9 เส้นทางในการรับสัมผัส

ที่มา: Sunderland et al. (2019)

การประเมินการรับสัมผัส (Exposure assessment) อยู่ในขั้นตอนของการตรวจวัดปริมาณสารเคมีที่มนุษย์มีโอกาสได้รับเข้าสู่ร่างกาย ผ่านทางผิวหนัง ปาก และทางเดินหายใจ ต้องมีการพิจารณาถึงระดับของปัจจัยในการรับสัมผัสต่าง ๆ เช่น ความถี่ที่เกิดการรั่วไหลหรือแพร่กระจายของสารเคมี หรือของเสียอันตราย ระยะเวลาของการรับสัมผัสและน้ำหนักตัวของผู้รับสัมผัส เป็นเพื่อหาชนิดของสารเคมีที่รับสัมผัสคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ วิธีในการได้รับสัมผัสสารเคมี และเวลาในการรับสัมผัส เป็นต้น

ในการประเมินการสัมผัสกับสารพิษ ตามแนวทางของสำนักงานพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา US.EPA คำนวณจากตัวแปร 3 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับสารปนเปื้อน คือ ปริมาณความเข้มข้นที่สัมผัส
2. กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวกับประชากรที่สัมผัสสารพิษ คือ อัตราในการสัมผัสสารพิษ ความถี่ ระยะเวลา และน้ำหนักตัวของประชากรที่สัมผัสสารพิษ
3. กลุ่มตัวแปรที่ใช้ในการประเมิน คือ ระยะเวลาที่ใช้หาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นที่สัมผัสการประเมินการได้รับสัมผัสสารเคมีจากสภาพแวดล้อม (วิชาการ จารุศิริ, 2561)

1. ปัจจัยสำคัญในการประเมินการรับสัมผัส

1.1 ช่องทางการสัมผัส (Routes of exposure) ช่องทางเข้าสู่ร่างกายมีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่ออัตราการดูดซึมของสารเคมี การแพร่กระจายของสารเคมีในร่างกาย รวมทั้งความเข้มข้นของสารเคมีที่อวัยวะเป้าหมายและระยะเวลาการเกิดพิษ ทำให้ลักษณะของการเกิดพิษแตกต่างกัน โดยช่องทางการได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายมี 3 ช่องทางหลัก ได้แก่ การหายใจ (Inhalation) ผิวหนัง (Skin) และการกิน (Ingestion) ซึ่งสารเคมีจะออกฤทธิ์เร็วและทำให้เกิดอันตรายมากที่สุดหากเข้าสู่กระแสเลือด ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วการออกฤทธิ์ของสารเคมีจากเร็วที่สุดไปช้าที่สุด มักจะเป็นการได้รับสัมผัสโดยทางหายใจ ผิวหนัง และการกิน สารเคมีที่อยู่ในสภาพแวดล้อมในการทำงานส่วนใหญ่จะเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจและทางผิวหนัง

1.1.1 การรับสัมผัสทางการหายใจ (Inhalation exposures) สารเคมีที่ดูดซึมทางการหายใจส่วนใหญ่จะเป็นพวกก๊าซไอระเหยและสารระเหยชนิดต่าง ๆ โดยจะมีช่องทางเข้าปากหรือจมูก ผ่านแขนงต่าง ๆ ของปอดไปจนถึงถุงลมและดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดโดยผ่านถุงลมปอด สารเคมีจะสามารถดูดซึมได้เร็วเนื่องจากบริเวณปอดมีเซลล์บางและมีเส้นเลือดฝอยมาก และยังมีภาวะไหลเวียนเลือดดี ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมสารเคมีที่ปอด ได้แก่ ขนาดของอนุภาคความสามารถในการละลายตัว ความเข้มข้นของสาร อัตราการหายใจ

1.1.2 การรับสัมผัสทางการกิน (Oral exposure) การดูดซึมสารเคมีจะเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาความยาวของระบบทางเดินอาหารส่วนใหญ่อาศัยวิธีการแพร่กระจายผ่านเนื้อเยื่อ สารเคมีจะเข้าสู่กระแสเลือดและไปที่ตับ การดูดซึมผ่านระบบทางเดินอาหารไม่พบบ่อยนัก ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมสารเคมีที่ระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ คุณลักษณะของระบบทางเดินอาหาร คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสาร อุณหภูมิภายในกระเพาะอาหารและการบีบตัวของทางเดินอาหาร (แอนน์, 2561) การกินอาหารที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากปัจจัยหลายด้าน ได้แก่

- การปนเปื้อนโลหะหนักจากกระบวนการผลิต ซึ่งมีการปนเปื้อนกับวัตถุดิบหรือภาชนะที่ใช้ในกระบวนการผลิต

- วัตถุดิบที่ใช้ประกอบอาหารหรืออาหารมีโลหะหนักผสมอยู่ เช่น ข้าวที่ปลูกในแหล่งเหมืองแร่ที่มีโลหะหนัก พืชและผลไม้ที่สะสมโลหะหนักในกระบวนการเพาะปลูก

- การดื่มน้ำที่มีการปนเปื้อน เช่น น้ำดื่มมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก

1.1.3 การรับสัมผัสทางผิวหนัง (Dermal exposure) การประเินสารเคมีที่ร่างกายได้รับสัมผัสโดยตรงทางผิวหนัง สารเคมีที่จะดูดซึม เข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้ โดยส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดจากการใช้เครื่องสำอาง ดิน พื้นที่ในการทำมาหากิน การดูดซึมทางผิวหนังอาจมาจากน้ำที่ปนเปื้อนสารเคมีเป็นต้น เมื่อพิจารณาปริมาณสารเคมีที่ได้รับอาจผันแปรไปตามเส้นทางการสัมผัส ซึ่งพื้นที่ผิวที่สัมผัสสารคุกคามก็มีการผันแปรไปตามกิจกรรมที่ทำและการสวมเสื้อผ้า เช่น ผู้ประกอบอาชีพในโรงงานอุตสาหกรรมมีโอกาสสัมผัสสารเคมีชนิดใด หรือแม้เพียงใดก็ขึ้นอยู่กับประเภทของงานที่ทำและการใช้อุปกรณ์ป้องกันผิวหนัง เป็นต้น

คุณสมบัติของสารเคมี จะเป็นสารเคมีที่สามารถละลายได้ดีในไขมัน และละลายได้ในน้ำซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้ดี ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นของสภาพแวดล้อมที่อาจจะมีผลต่อการดูดซึมของสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังได้มากขึ้น สภาวะทางกายภาพของสารเคมีก็เป็นปัจจัยสำคัญ นอกจากนั้น ความเข้มข้นของสารเคมีที่รับสัมผัส เป็นปัจจัยสำคัญที่เพิ่มระดับการดูดซึมสารเคมีได้ (Kofi Asante-Duah, 2002)

1.2 ปริมาณของสารที่เข้าสู่ร่างกาย (Dose) ซึ่งปริมาณนี้จะแตกต่างจากความเข้มข้นที่ตรวจพบได้ในสิ่งแวดล้อม โดยความรุนแรงของการตอบสนองของร่างกาย ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารเคมีที่เข้าสู่ร่างกาย

1.3. ความถี่ (Frequency) จำนวนครั้งที่ได้รับสารเคมี คนที่สัมผัสสารเคมีบ่อยกว่ามีโอกาสเกิดพิษมากกว่า แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาระยะเวลาการสัมผัสร่วมด้วย

1.4 ระยะเวลาที่สัมผัส (Duration) หมายถึง ความนานในการได้รับสารเคมีปฏิกิริยา ระหว่างสารเคมีที่มีผลต่อการเกิดพิษ

โดยปกติประชาชนโดยทั่วไป รวมทั้งผู้ประกอบการอาชีพต่าง ๆ มีโอกาสรับสัมผัส ปริมาณที่ได้รับจากตะกอนดินที่ปนเปื้อนสารเคมีเข้าไป ส่วนใหญ่มักรับเข้าสู่ร่างกายโดยการกลืนกินจากอาหารหรือพลังแฝง โดยทั่วไปแล้วเส้นทางการสัมผัสนี้ไม่พบในผู้ที่ใช้ ที่ดินในโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้นผู้ประกอบการอาชีพบางอาชีพ เช่น กลุ่มเกษตรกร เป็นต้น ค่าแนะนำสำหรับการประมาณการอัตราการรับสารพิษจากการสัมผัสโดยการกลืนกิน แสดงดังตาราง 5

ตาราง 5 ค่าแนะนำสำหรับประมาณการอัตราการรับสารพิษจากการสัมผัสโดยการกลืนกิน

ตัวแปร	พารามิเตอร์	ค่าที่แนะนำ	หน่วย
Cs	ความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน	จากการตรวจวัด	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
IR	อัตราการได้รับ	100	มิลลิกรัม/วัน
CF	ปัจจัยการเปลี่ยนสภาพ	10^{-6}	มิลลิกรัม/กิโลกรัม
FI	สัดส่วนการได้รับจากแหล่งที่ปนเปื้อน	0.1	-
EF	ความถี่การได้รับสัมผัส	365	วัน
ED	จำนวนปีที่สัมผัสสาร	70	ปี
BW	น้ำหนักของร่างกายผู้ใหญ่	เฉลี่ย 70	กิโลกรัม
AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่รับสัมผัส	365×70	วัน

ที่มา: (US.EPA, 1989)

2. การกำหนดลักษณะความเสี่ยง (Risk characterization)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ที่สามารถสรุปสุดท้ายว่า สิ่งอันตรายที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายนั้น จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพผู้สัมผัสหรือไม่ เช่น การอธิบาย ลักษณะความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารเคมีที่ไม่ใช่สารก่อมะเร็ง จะดำเนินการด้วยการเปรียบเทียบ ค่าปริมาณสารเคมีที่ ร่างกายได้รับ กับค่าความเป็นพิษของสารนั้นๆ แล้วสรุปออกมาว่ามีความเสี่ยงหรือไม่ซึ่งคำนวณเป็นค่าที่เรียกว่า Hazard Quotient หรือค่า HQ ในกรณีเป็น สารก่อมะเร็ง ความเป็นอันตรายในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk) การสรุปเรื่องความเสี่ยงจะ พิจารณาโอกาสที่ผู้สัมผัสจะเป็นมะเร็งตลอดระยะเวลาอายุขัย การประมาณโอกาสดังกล่าวจะ พิจารณาจากข้อมูลปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับรวมกับค่าปริมาณและการตอบสนอง ของสารเคมีนั้น ๆ ซึ่งจะกำหนดเป็นค่า Slope Factor (SF) และความเป็นอันตรายในการเกิด

อันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non cancer risk) แสดงโดยค่า Reference dose (Rfd) โดยได้รวบรวมค่าเหล่านี้ไว้ แสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 ค่า Oral slope factor และค่า Reference dose (Rfd) ของโลหะชนิดต่าง ๆ

Metals	Oral SF (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)	Oral Rfd (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)
1. สารหนู (As)	1.5	3.0×10^{-4}
2. แคดเมียม (Cd)	-	5.0×10^{-4}
3. โครเมียม (Cr)	-	1.5
4. แบเรียม (Ba)	-	2.0×10^{-1}
5. ปรอท (Hg)	-	3.0×10^{-5}
6. ตะกั่ว (Pb)	-	3.5×10^{-3}
7. นิกเกิล	-	2.0×10^{-2}
8. สังกะสี (Zn)	-	0.3
9. แมงกานีส (Mn)	-	0.14
10. ทองแดง (Cu)	-	0.005
11. ซีลีเนียม (Se)	-	5.0×10^{-3}

ที่มา : (US-EPA, 2011)

2.1 ความเป็นอันตรายในการเกิดมะเร็ง (Cancer risk)

ความเสี่ยงที่ยอมรับได้สำหรับความเป็นอันตรายแบบเรื้อรังจากการได้รับสารพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งมีค่าอยู่ระหว่าง 10^{-4} - 10^{-6} ซึ่งทั่วไปมักใช้ค่า 10^{-6} หมายถึง ค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ใช้เป็นเกณฑ์ความน่าจะเป็นของการเกิดมะเร็งในประชากรที่ได้รับสารพิษเพิ่มขึ้นหนึ่งคนจากประชากรหนึ่งล้านคนที่ไม่ได้รับสารพิษ

การจำแนกประเภทสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen classification system)

การจำแนกสารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งมีหลายระดับด้วยกัน ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของหลักฐานว่าชัดเจนเพียงใด สารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้มาจากข้อมูลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการก่อให้เกิดมะเร็ง และจากการตัดสินใจจากผลการศึกษาต่าง ๆ การจำแนกประเภทสารเคมีที่ก่อให้เกิดมะเร็งจำแนกโดยใช้วิธีของ US EPA มีดังนี้

ระยะที่ 1 สามารถจำแนกหลักฐานได้อย่างชัดเจนถึงผลการศึกษาในมนุษย์และสัตว์ทดลอง

ระยะที่ 2 ผสมผสานหลักฐานการศึกษาในมนุษย์และในสัตว์ทดลองเพื่อสนับสนุนให้หลักฐานมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

ระยะที่ 3 มีการดัดแปลงกลุ่ม (อาจจะปรับขึ้นหรือปรับลง) ขึ้นอยู่กับหลักฐานที่สนับสนุน

ผลการจากหลักฐานข้างบนสามารถนำมาจำแนกประเภทสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามหลัก US EPA ได้ 5 ประเภท (กลุ่ม A-E) แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 ระบบจำแนกสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งตามหลัก US EPA 5 ประเภท

กลุ่มจำแนกตาม US EPA	ประเภท
A	ยืนยันว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งในคน และมีหลักฐานเพียงพอ
B	เป็นไปได้ที่จะก่อให้เกิดมะเร็งในคน B 1 หลักฐานค่อนข้างจำกัดในคน B 2 มีหลักฐานเพียงพอในสัตว์ทดลอง และไม่เพียงพอหรือไม่มีหลักฐานเป็นสารก่อมะเร็งในคน
C	อาจเป็นไปได้ที่เป็นสารก่อมะเร็งในคน
D	ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอสมควรว่าสามารถจำแนกได้ว่าเป็นสารก่อมะเร็งในคน และยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่นอน
E	มีหลักฐานที่น่าเชื่อถือว่าไม่ก่อให้เกิดมะเร็งในคนและสัตว์ทดลอง

ที่มา: Kofi Asante-Duah (2002)

2.2 ความเป็นอันตรายในการเกิดอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง (Non cancer risk)

ในกรณีที่มีการรับสารพิษเข้าสู่ร่างกายมากกว่าหนึ่งเส้นทางและมีสารพิษมากกว่าหนึ่งชนิด อาจจะใช้การประเมินค่าดัชนีอันตรายจากทุกเส้นทางและทุกสารพิษมารวมไว้ด้วยกัน แต่จะมีวิธีการรวมค่าดัชนีอันตรายด้วยวิธีนี้จะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสารพิษแต่ละชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะแสดงการตอบสนองต่อความเป็นพิษที่ไม่เท่ากัน (วิชาการ จารุศิริ, 2561)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนกาญจน์ ไพศาลพงศ์ (2022) ศึกษาการปนเปื้อน MPs ในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนทั้ง 2 แห่ง คือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ และระบบน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร ผลการศึกษาพบว่า ในน้ำตัวอย่างน้ำเสียและตัวอย่างตะกอนทั้ง 2 ระบบ พบสารพอลิเมอร์ 5 ชนิด

โดยพบพอลิโพรพิลีนมากที่สุด และพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศมีความสามารถในการบำบัด MPs ในน้ำเสียได้ดีกว่าระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียร เมื่อเปรียบเทียบจำนวน MPs ในตัวอย่างน้ำในระบบบำบัดแบบสระเติมอากาศและระบบบำบัดแบบบ่อปรับเสถียรที่อัตราการไหลน้ำเสีย 35,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร/วัน จำนวน MPs ที่เข้าสู่ระบบบำบัด การบำบัด MPs และการปนเปื้อน MPs สู่สิ่งแวดล้อมของทั้งสองระบบมีค่าใกล้เคียงกัน

อารยา คงขวัญเมือง (2564) ศึกษา MPs ของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนของกรุงเทพมหานคร โดยมีระบบบำบัดแบบใช้อากาศระบบตะกอนเร่ง และระบบบำบัดแบบ Vertical loop reactor ผลการศึกษา พบ MPs ขนาด 75-300 ไมโครเมตร และ 300-5,000 ไมโครเมตร ในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยปริมาณ MPs พบมากที่สุดในตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ รongลงมาในน้ำเสียก่อนเข้าถังเติมอากาศน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด ตามลำดับ ปริมาณ MPs ที่พบในตัวอย่างตะกอน ทั้งหมดเท่ากับ 4.6-195.3 ชิ้น/กรัม ตัวอย่างน้ำเสีย 5.7-31.8 ชิ้น/ลิตร และตัวอย่างน้ำทิ้ง 2.2-13.8 ชิ้น/ลิตร MPs ส่วนใหญ่ที่พบในน้ำเสียน้ำทิ้ง และตะกอนจุลินทรีย์มีรูปร่างไม่แน่นอน (Fragment) นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัด MPs เฉลี่ยของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำอยู่ในช่วง 56.5-62.6%

Haerul and Tae-Gwan (2019) ศึกษาชนิดและปริมาณ MPs ในระบบบำบัดน้ำเสียและตรวจสอบประสิทธิภาพในการกำจัด MPs จากขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการบำบัดน้ำในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมจากโรงบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment plant: WWTP) 7 แห่งของเมืองแทกู ประเทศเกาหลีใต้ที่มีการบำบัดน้ำเสียขั้นต้น ขั้นทุติยภูมิ และตติยภูมิซึ่งการบำบัดขั้นตติยภูมิ มีการใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันร่วมกับเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบได้แก่ การใช้โอโซน (WWTP-A) การใช้แผ่นกรองเมมเบรน (WWTP-B) และการกรองทรายอย่างรวดเร็ว (WWTP-C) ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของ MPs ประเภทไมโครพีดส์ เส้นใย แบบแผ่น และชิ้นส่วนในตัวอย่างน้ำเสีย จากกระบวนการบำบัดขั้นต้นและทุติยภูมิสามารถกำจัด MPs ออกจากน้ำเสียได้มีประสิทธิภาพการกำจัด 75% ถึง 91.9% หลังจากการบำบัดในขั้นตติยภูมิ ประสิทธิภาพในการกำจัดเพิ่มขึ้นเป็นมากกว่า 98% และตรวจพบว่า เทคโนโลยีโอโซนมีความสามารถในการกำจัด MPs ได้สูงสุด รองลงมาคือ แผ่นกรองเมมเบรน และการกรองทรายอย่างรวดเร็ว โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด 89.9%, 79.4% และ 73.8% ตามลำดับ

Katekanya and Sandhya (2021) ศึกษาแหล่งที่มา ลักษณะ และประเภทของ MPs ในระบบบำบัดน้ำเสียและวิธีการทางเทคโนโลยีสำหรับการควบคุมมลพิษของ MPs ในระบบนิเวศน้ำจืด โดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมจากโรงงานบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไปในประเทศไทยซึ่งมีการบำบัดในขั้นต้น ขั้นทุติยภูมิ และมีการเก็บตัวอย่างกากตะกอนเพื่อหาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้กากตะกอนน้ำเสียแห้ง และมีการระบุประเภทของ MPs ด้วยเครื่อง FTIR ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของ MPs ประเภทเส้นใยพอลิเอสเตอร์มากที่สุด รองลงมาคือ พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน ซิลิโคนโพลีเมอร์ และพอลิสไตรีน ตามลำดับ โดยพบจำนวนเฉลี่ยของ MPs ที่เข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียคือ 26.6 ± 9.45 ชิ้น/ลิตร และมีการปล่อยทิ้งรวม 14.75 ± 4.58 ชิ้น/ลิตร พร้อมกับน้ำทิ้งสุดท้ายพบ MPs ขนาด 0.5–0.05 มิลลิเมตรมากที่สุดในทุกจุดสุ่มตัวอย่าง ประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมในระบบบำบัดนี้คือ 44.55% และพบปริมาณของ MPs ในตัวอย่างกากตะกอนคือ $8.12 \pm 0.29 \times 10^3$ ชิ้น/กิโลกรัมน้ำหนักแห้ง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า MPs จากระบบบำบัดน้ำเสียอาจมีการแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

Viraraghavan and Wimme (1988) ศึกษาหาปริมาณสารโคแอกูแลนต์ที่เหมาะสมของสารส้มและ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากการศึกษพบว่าในการกำจัดความขุ่นนั้น พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ 1/3 ถึง 2/3 ของปริมาณสารส้ม และพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ สามารถกำจัดความขุ่นได้มากกว่าการใช้สารส้มร้อยละ 20 ในทุก ๆ อุณหภูมิที่ทดสอบ

นันทิรา วรกาญจนบุญ (2020) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด MPs ในน้ำเสีย ด้วยสารตกตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) ในกระบวนการสร้างและรวมตะกอนโดยใช้เครื่องจาร์เทส โดยจำกัดความเร็วในแต่ละรอบเมื่อตกตะกอน แล้ววิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดลงของ MPs จากปริมาณสารแขวนลอย (SS) และปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) เมื่อเติมสารตกตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์ ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี MPs ตั้งต้น 2 กรัม/ลิตร จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการลดปริมาณสารแขวนลอย (SS) เท่ากับ 57.1%, 71.4%, 85.7% และ 91.4% ตามลำดับ และประสิทธิภาพการลดปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS) เท่ากับ 26.0%, 61.7%, 78.5% และ 85.7% ตามลำดับ

Rajala, Grönfors, Hesampour, and Mikola (2020) ศึกษาการกำจัด MPs จากน้ำทิ้งจากบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 โดยใช้สารตกตะกอนเฟอร์ริกคลอไรด์ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ และสารเคมีพอลิเอมีน เป็นสารตกตะกอนที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด โดยช่วยเพิ่มการกำจัด MPs ด้วยปริมาณที่ใช้กับการบำบัดในขั้นที่ 3 พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดคือ 99.4% และ

เพอร์ริคคอลลอยด์และพอลิอะลูมิเนียมคอลลอยด์ มีประสิทธิภาพมากกว่าพอลิเอมีน ประสิทธิภาพของเพอร์ริคคอลลอยด์และพอลิอะลูมิเนียมคอลลอยด์ ใกล้เคียงกัน

Morrow and Rausch (1974) รายงานผลการศึกษาพอลิเมอร์ประจุบวกสามารถทำให้คอลลอยด์และอนุภาคไม่เสถียรได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ต้องใช้สารตกตะกอนอินทรีย์ โดยใช้การกวนเร็ว การเปรียบเทียบกากตะกอนที่ผลิตโดยพอลิเมอร์ และสารตกตะกอนอินทรีย์ บ่งชี้ว่ากากตะกอนพอลิเมอร์มีความหนาแน่นมากกว่า ตกตะกอนเร็วกว่าและปริมาตรตะกอนลดลงอย่างมาก ทำให้พอลิเมอร์ประจุบวกมีข้อได้เปรียบด้านต้นทุนการบำบัดโดยรวมที่ต่ำกว่า

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ (2553) ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟนตัน และกระบวนการตกตะกอนด้วย อะลูมิเนียมซัลเฟต และพอลิอะลูมิเนียมคอลลอยด์ โดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ สภาวะที่เหมาะสมเฉลี่ยของเฟนตัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีที่สุดพบว่าเฟนตันให้ประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีที่สุดรองลงมาคือ พอลิอะลูมิเนียมคอลลอยด์ และอะลูมิเนียมซัลเฟต และส่วนค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเฟนตัน อะลูมิเนียมซัลเฟต และพอลิอะลูมิเนียมคอลลอยด์เท่ากับ 125.32, 25.79 และ 83.15 บาทต่อลูกบาศก์เมตรของน้ำเสียตามลำดับ

ไอรดา โทบุตรดี (2021) ทำการศึกษาการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นพิษสังกะสี ตะกั่ว โครเมียม ทองแดง แคดเมียม ใน MPs จากบรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติก 7 ประเภท ได้แก่ ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว ขวดน้ำ หลอดพลาสติก ฝาขวดน้ำ โฟม และฟิล์มห่ออาหาร ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) จากผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่าง MPs ทุกชนิดมีค่าสังกะสี เท่ากับ 0.21, 0.24, 0.68, 0.17, 0.25, 4.42 และ 2.19 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบ โครเมียม (0.06 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ตะกั่ว (0.01 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ทองแดง (0.15 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) และ แคดเมียม (0.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เป็นต้น ในหลอดพลาสติก ฝาขวดน้ำ โฟม และฟิล์มห่ออาหาร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาตัวอย่าง MPs โดยตัวอย่างทั้งหมดที่ถูกแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะหนักในช่วง 0.3-6.0 มิลลิกรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการวิจัยพบว่า MPs ทุกประเภทไม่ดูดซับโลหะหนักในน้ำทะเล แต่ปลดปล่อยโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในพลาสติก เนื่องจากเมื่อแช่อยู่ในน้ำทะเลที่มีความเป็นด่าง ความหนาแน่น ค่าการนำไฟฟ้า และไอออนของโลหะหนักในน้ำทะเล ทำให้โลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์หลุดจากโครงสร้างและออกสู่น้ำทะเลได้

Ta and Babel (2020) ศึกษามลพิษ MPs ที่สะสมโลหะหนักบริเวณปากแม่น้ำและระบบนิเวศในผิวน้ำและตะกอนและสารมลพิษต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นผิวของพลาสติก เช่น โลหะหนักสารเติมแต่ง เป็นต้น ซึ่งเมื่อเกิดการสะสมหรือปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม อาจทำให้สารพิษเหล่านั้นปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ ระบบนิเวศ และกำจัดได้ยากเนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับ MPs บริเวณปากแม่น้ำของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ยังมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของ MPs ได้แก่ ปริมาณ ชนิด รูปร่าง และสีของ MPs ในผิวน้ำและตะกอนบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา และศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ปนเปื้อนใน MPs โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างจากผิวน้ำ และดินตะกอน มาสกัดเพื่อจำแนกลักษณะพื้นฐานวิทยาของ MPs โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสแตอริโอ และระบุองค์ประกอบของ MPs ด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) และวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยการใช้เทคนิค Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) โดยผลการศึกษาพบปริมาณ MPs ในผิวน้ำและตะกอน 48 ± 8 ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร และ 39 ± 14 ชิ้น/กิโลกรัม ตามลำดับ ขนาดของ MPs ที่พบทั้งในผิวน้ำและตะกอนคือ 0.05-5 มิลลิเมตร พบรูปร่าง 4 รูปแบบ ได้แก่ ชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ เส้นใย ทรงกลม และฟิล์ม พบ MPs ทั้งหมด 7 สี พบมากที่สุดคือ สีขาว รองลงมาคือ สีเขียว สีฟ้า แดงและสีเหลือง จากผลการตรวจสอบประเภทของพอลิเมอร์ที่พบมากที่สุดในผิวน้ำและตะกอน ได้แก่ พอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีน ตามลำดับ ปริมาณโลหะหนักที่พบมากที่สุดคือ สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม ทองแดง นิกเกิล และแคดเมียม ตามลำดับ

Goh et al. (2021) ศึกษาการปนเปื้อน MPs ในสิ่งมีชีวิตทางทะเลโดยใช้หอยสองฝา เช่น หอยแมลงภู่ สามารถใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพ โดยใช้สำหรับการตรวจสอบการปนเปื้อนมลพิษในระบบนิเวศทางทะเล เช่น โลหะหนักที่ละลายน้ำ สารมลพิษที่ตกค้างยาวนาน เนื่องจากหอยแมลงภู่เป็นสัตว์ประเภทกรองกิน และสามารถกรองน้ำทะเลได้เป็นจำนวนมากจึงมีโอกาสที่ MPs ที่ล่องลอยอยู่ในน้ำจะเข้าไปสะสมในตัวหอย จากการสุ่มเก็บหอยแมลงภู่ 100 ตัวจากตลาดสด พบว่าการปนเปื้อนเฉลี่ยของ MPs คือ 21.10 ± 0.15 ชิ้น/กรัม โดยรูปร่างของ MPs ประเภทเส้นใย มีมากถึง 95.9% และความยาวของ MPs อยู่ระหว่าง 0.18 ถึง 4.2 มิลลิเมตร สีของ MPs ที่พบมากที่สุด 3 ลำดับแรกคือ สีดำ สีฟ้า และสีแดง ซึ่งสามารถบอกได้ว่าการปนเปื้อน MPs ในอาหารทะเลของประเทศไทย เนื่องจาก MPs สามารถถ่ายโอนไปยังมนุษย์ผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

Lina (2021) ศึกษาการดูดซับสารมลพิษอินทรีย์ใน MPs โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับของ MPs และอธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับจากสามมุมมอง ได้แก่ คุณสมบัติของ MPs สารมลพิษอินทรีย์และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม จลนพลศาสตร์การดูดซับและแบบจำลองการดูดซับโดยใช้ความร้อน เพื่อศึกษาการดูดซับสารมลพิษอินทรีย์บน MPs โดยพบว่า การดูดซับสารมลพิษอินทรีย์บน MPs ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค พื้นที่ผิวจำเพาะ ความเป็นผลึกซ์ของ MPs และคุณสมบัติของสารมลพิษอินทรีย์ (ความไม่ชอบน้ำและรูปแบบที่แยกจากกัน) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า pH อุณหภูมิ ยังส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับด้วย

Purwiyanto et al. (2020) ศึกษาการดูดซับโลหะหนักของตะกั่วและทองแดงที่อยู่บน MPs บริเวณแม่น้ำ Musi และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างจาก 10 สถานีตามแม่น้ำ Musi ไปยังปากแม่น้ำ โดยกำหนดพอลิเมอร์ของ MPs เป็นชนิดพอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิเอสเทอร์ พอลิไวนิลคลอไรด์ และไนลอน ความเข้มข้นเฉลี่ยของ ตะกั่วสูงกว่าทองแดง พบความเข้มข้นสูงสุดของโลหะทั้งในน้ำและ MPs ในบริเวณปากแม่น้ำ แสดงว่าพารามิเตอร์ สภาพแวดล้อม มีผลต่อการดูดซับตะกั่วและทองแดง ใน MPs

จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง (2557) ศึกษาสภาพการปนเปื้อนของน้ำบาดาล บริเวณสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล และหาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ ตะกั่ว นิกเกิล แคดเมียม และแคดเมียม $^{6+}$ และทองแดง หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP พบว่า มีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักเกินมาตรฐานน้ำใต้ดิน พบการปนเปื้อนของตะกั่ว 0.040 มิลลิกรัม/ลิตร นิกเกิล 0.028 มิลลิกรัม/ลิตร และแคดเมียม 0.00344 มิลลิกรัม/ลิตร แคดเมียม $^{6+}$ มีค่าน้อยกว่า 0.01 และทองแดง 0.010 มิลลิกรัม/ลิตร

กุสุมาลย์ นพทิพย์ (2563) ศึกษาประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักและชนิด MPs ในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน เทศบาลเมืองกำแพงเพชร หลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน ผลการศึกษาพบความเข้มข้นโลหะหนักในดินอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดิน ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขยะ มีแนวโน้มผกผันกับประเภทโลหะหนักที่ตรวจพบในดิน และพบโลหะหนักน้อยกว่าในดิน และน้ำใต้ดินมีปริมาณความเข้มข้นของ ตะกั่ว 0.014 ± 0.002 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกินค่ากำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ผลการตรวจการปนเปื้อน MPs ในดินและน้ำชะขยะ พบว่ารูปร่างของ MPs ที่พบมากที่สุด คือ แบบเกล็ด สำหรับขนาด MPs ที่พบในปริมาณมากที่สุด ได้แก่ ขนาดน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร ปริมาณ MPs ในดิน เฉลี่ย $2,472.33 \pm 1,273.17$ ชิ้น/กิโลกรัม

มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.1975 ± 0.0968 กรัม/กิโลกรัม และพบปริมาณ MPs ในน้ำชะขยะ มีจำนวน 5.64 ± 4.58 ชิ้น/ลิตร มีน้ำหนัก 0.0005 ± 0.0027 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

สิริพงศ์ สุดางาม (2018) ทำการศึกษาโลหะหนักในแหล่งน้ำใต้ดินและน้ำประปา และมีการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ในบริเวณหลุมฝังกลบของเสียที่ไม่เป็นอันตราย จังหวัดราชบุรี ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำใต้ดินมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และในน้ำประปา ตรวจพบ แมกนีเซียมและสังกะสี ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน สำหรับการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากน้ำใต้ดินและน้ำประปาบริเวณจุดต้นน้ำและจุดทำน้ำ ตรวจไม่พบสารหนู ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

ธมนวรรณ ภูประเสริฐ (2564) ทำการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาของ MPs และโลหะหนักในโรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนกลาง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียและตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง 2 แห่ง โดยความเข้มข้นของ MPs โลหะหนัก และโลหะหนักบน MPs จากตัวอย่างทั้งสองชนิดจะถูกวิเคราะห์ก่อนนำไปประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยา ผลการสำรวจพบว่า น้ำหลังผ่านบ่อดักตะกอนและตะกอนจากโรงบำบัด A พบ MPs 11.04 ± 0.08 ชิ้น/ลิตร และ $2,398 \pm 11.37$ ชิ้น/กิโลกรัมตามลำดับ ในขณะที่โรงบำบัด B พบ MPs 33.53 ± 0.55 ชิ้น/ลิตร $1,930 \pm 7.57$ ชิ้น/กิโลกรัมตามลำดับ MPs ที่พบมีรูปร่างแบบชิ้นส่วนสีขาว ขนาดในช่วง 100-500 ไมโครเมตรและเป็นพอลิเมอร์ชนิด พอลิโพรพิลีน นอกจากนี้ยังพบสังกะสีและเหล็กในน้ำเสียตะกอนและบน MPs การประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาของ MPs โลหะหนัก และโลหะหนักบน MPs พบว่า ดัชนีความเสี่ยงของ MPs (H index) ในโรงบำบัด A มีค่า 35,835 ในขณะที่โรงบำบัด B มีค่า 45,652 แสดงถึงความเป็นพิษในระดับสูง ขณะที่ดัชนีภาวะมลพิษ (PLI) ของโรงบำบัด A มีค่าเท่ากับ 97.82 อยู่ในความเสี่ยงระดับ 4 และโรงบำบัด B มีค่า 12.76 อยู่ในความเสี่ยงระดับ 2 ดัชนีการสะสมเชิงธรณี (Igeo) ของโลหะหนักทั้งหมดอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ ของ MPs นั้นอยู่ในระดับที่อันตรายมาก และการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศของโลหะหนักบน MPs มีค่า 49,875 และ 16,660 จากโรงบำบัด A และ โรงบำบัด B ตามลำดับ ค่าการประเมินความเสี่ยงต่อระบบนิเวศเหล่านี้แสดงให้เห็นความเป็นพิษในระดับที่อันตรายมาก

โสเมศิริ เดชารัตน์ (2559) ศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนงานที่ทำงานในกระบวนการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อตรวจวัดปริมาณแคดเมียม และตะกั่วในตัวกลางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ น้ำชะขยะ ดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดินและอากาศบริเวณที่ฝังกลบขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาล และ

ตรวจวัดระดับแคดเมียมและตะกั่วในเลือดของพนักงานจำนวน 114 คน ที่สัมผัสกับขยะมูลฝอย บริเวณที่ฝังกลบขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาล โดยใช้เครื่อง AAS และในการประเมินค่าความเสี่ยง จะรายงานโดยใช้ค่า HQ ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน น้ำชะขยะและอากาศ มีค่าระหว่าง 89.0–312.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม 0.003-69 มิลลิกรัม/ลิตร และ 0.03 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และสำหรับน้ำใต้ดินพบว่าไม่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก แคดเมียม โดยค่า HQ มีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นจึงคาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนัก

Nattapong, Witchakorn, Naphat, and Chukiad (2021) ได้ทำการประเมินการรับสัมผัสสารอันตรายจากซากผลิตภัณฑ์ การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีการใช้เทคนิค X-ray fluorescence spectrophotometry และ เทคนิคการใช้ Atomic absorption (AAS) ในการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน จากการศึกษาค่าความแตกต่างทางสถิติของปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินด้วยเทคนิคทั้งสองวิธี พบว่า ความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ 0.05 และความเข้มข้นของแคดเมียม นิกเกิล แมงกานีส และโครเมียม มีความแตกต่างทางสถิติที่ และพบว่าผู้ประกอบการมีรูปแบบการซื้อจากผู้ประกอบการรายใหญ่มากกว่าการซื้อจากบ้านเรือน ผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสทั้งสองวิธี พบว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสที่มีอันตรายต่อสุขภาพ

พิมาน ธีระรัตนสุนทร (2558) ศึกษาปริมาณของโลหะหนักที่สะสมในสิ่งแวดล้อมใต้บริเวณหลุมฝังกลบขยะ โดยผลการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักในดินของ โครเมียม แคดเมียม และตะกั่ว มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพคนเก็บขยะมีปริมาณตะกั่ว ซึ่งมีค่าความปลอดภัย 1 และปริมาณโครเมียมที่สามารถยอมรับได้ 2 คน คือไม่เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร และคนเก็บขยะจำนวน 48 คน มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารก่อมะเร็ง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยเรื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติก ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ และการประเมินการรับสัมผัสโลหะหนัก จากดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี ปริมาณไมโครพลาสติก และสัณฐานวิทยา ได้แก่ ขนาด รูปร่าง ปริมาณ สี องค์ประกอบของพลาสติก การปนเปื้อนของโลหะหนักบนไมโครพลาสติกและในดิน รวมทั้งศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันในการบำบัดน้ำชะขยะ และประเมินความเสี่ยงรับสัมผัสโลหะหนัก บริเวณพื้นที่เทกองขยะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. พื้นที่ศึกษา
2. จุดเก็บตัวอย่างน้ำ กากตะกอน และดิน
3. อุปกรณ์และเครื่องมือ
4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง
5. ประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกิน
6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

พื้นที่ศึกษา

ที่ตั้งและอาณาเขต

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในบริเวณองค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี มีตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของสถานที่บริเวณพื้นที่เทกองขยะ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ คือ แกน X: 14.14078 และแกน Y: 100.674 แสดงดังภาพประกอบ 10 โดยมีพื้นที่ห่างจากที่ว่าการอำเภอคลองหลวงประมาณ 2 กิโลเมตร และมีระยะห่างจากกรุงเทพมหานคร เป็นระยะทางประมาณ 47.8 กิโลเมตร ในบริเวณพื้นที่ศึกษามีพื้นที่โดยรวมประมาณ 48 ตารางกิโลเมตร หรือพื้นที่ประมาณ 220 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ 1 ตำบล 16 หมู่บ้าน มีประชากรรวม 91,146 คน (ข้อมูลทะเบียนราษฎร ณ วันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2565) และมีอาณาเขตติดต่อกับพื้นที่ใกล้เคียง ดังนี้

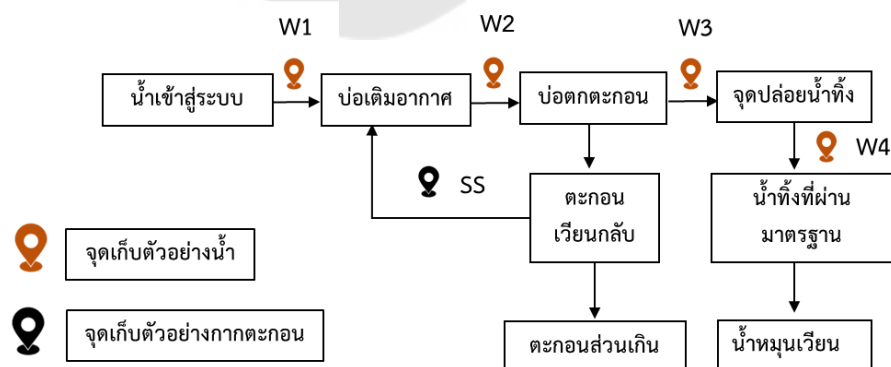
- ทิศเหนือติดต่อกับตำบลพะยอม อำเภอวังน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
- ทิศตะวันออกติดต่อกับตำบลคลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- ทิศตะวันตกติดกับตำบลคลองสอง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
- ทิศใต้ติดต่อกับตำบลบึงยี่โถ ตำบลประชาธิปไตย อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี



ภาพประกอบ 10 บริเวณโดยรอบพื้นที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี



ภาพประกอบ 11 ระบบบำบัดน้ำชะขยะมูลฝอยแบบตะกอนเร่ง บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี จุดเก็บตัวอย่างน้ำ กากตะกอน และดิน



ภาพประกอบ 12 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำชะขยะแบบตะกอนเร่ง บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

1. เก็บตัวอย่างน้ำ ด้วยวิธีแบบอินทิเกรต (Integrated sampling) โดยจุดสุ่มตัวอย่าง แสดงดังภาพประกอบ 12 โดยเก็บตัวอย่างแบบจ้วงในแต่ละจุดในเวลาเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำน้ำชะขยะมารวมกันเป็นตัวอย่างเดียว ซึ่งในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดจะเก็บน้ำชะขยะ ปริมาตร 1 ลิตร และเก็บกากตะกอน 1 กิโลกรัม โดยมีจุดเก็บดังนี้ จุดรวมน้ำชะขยะก่อนเข้าระบบ (จุดน้ำเข้าระบบ: W1) น้ำชะขยะจากบ่อเติมอากาศ (จุดบ่อเติมอากาศ: W2) น้ำชะขยะจาก บ่อตกตะกอน (จุดบ่อตกตะกอน: W3) น้ำทิ้งจากจุดที่ปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม (จุดน้ำออกจากระบบ: W4) และเก็บกากตะกอนจากบ่อตกตะกอน (SS) และวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชะขยะเบื้องต้น โดยใช้ เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายพารามิเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับภาคสนาม โดย เหน้าตัวอย่างลงใส่บีกเกอร์หรือภาชนะรองรับ จากนั้นใช้หัววัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) จุ่มลงในตัวอย่างน้ำชะขยะ และนำน้ำชะขยะที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลาย สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (COD) ปริมาณของแข็งแขวนลอย(SS) และของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS) ทำการวิเคราะห์ ทั้งหมด 3 ซ้ำ และบันทึกผล

2. เก็บตัวอย่างดินรอบพื้นที่บริเวณเทกองขยะ

เก็บตัวอย่างดินโดยรอบพื้นที่บริเวณเทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี ด้วยวิธีการ Judgement Sampling โดยกระจายให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ 6 จุดโดยการขุดดินจะต้อง วัสดุที่อยู่ ผิวน้ำดินออก แล้วใช้เสียมหรือพลั่ว ขุดหลุมเป็นรูปตัววี (V) ให้ลึกในแนวตั้งประมาณ 15 เซนติเมตร หลังจากนั้นวัดอุณหภูมิ ความชื้นของดินโดยใช้ Soil meter และจดบันทึกค่า ในแต่ละจุด แล้วนำดินแยกใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ ทำเช่นเดียวกันจนครบตามจุดที่กำหนด แสดงดัง ภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี

ตาราง 8 พิกัดจุดเก็บตัวอย่างดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี

พื้นที่ศึกษา	พิกัด
S1 ด้านหน้าซ้ายบริเวณเทกองขยะ	N 14.141320°, E 100.670489°
S2 ด้านหน้าตรงกลางบริเวณเทกองขยะ	N 14.141306°, E 100.672768°
S3 ด้านหน้าขวาบริเวณเทกองขยะ	N 14.141460°, E 100.674665°
S4 ด้านหลังซ้ายบริเวณเทกองขยะ	N 14.139902°, E 100.670609°
S5 ด้านหน้าตรงกลางบริเวณเทกองขยะ	N 14.139842°, E 100.672286°
S6 ด้านหลังขวาบริเวณเทกองขยะ	N 14.139924°, E 100.674627°

อุปกรณ์และเครื่องมือ

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ MPs

1. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)
2. กล้องจุลทรรศน์แบบ Stereo microscope ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ1270
3. ตะแกรงสแตนเลสสำหรับกรองเศษพลาสติก
4. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
5. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
6. เครื่องกรองสูญญากาศ
7. กระดาษกรองเซลลูโลสไนเตรต ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
8. Hot plate
9. ถังสแตนเลส
10. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
11. คีมคีบ (Forceps)
12. ขวดน้ำกลั่น
13. ซ้อนตักสาร
14. ปากกาชนิดลบไม่ออก
15. ขวดแก้วเก็บตัวอย่าง

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์โลหะหนัก

1. Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP- OES)
2. เครื่องย่อยด้วยไมโครเวฟ (Microwave digestion)
3. หลอดหยด (Dropper)
4. ไมโครปิเปต (Micro pipette)
5. ตู้ดูดไอกรด
6. ขวดปรับปริมาตร ขนาด 50-100 มิลลิลิตร
7. กระจกนาฬิกา
8. กรวยกรองแก้ว
9. กระดาษกรอง GF/A ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร

อุปกรณ์สำหรับพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

1. เครื่องวัดค่า pH พร้อมมัลติฟังก์ชัน
2. ชุดวัด COD สำเร็จรูป 3 หลอดต่อหนึ่งตัวอย่างน้ำเสีย ($K_2Cr_2O_7$ ใน H_2SO_4)
3. เครื่องปั๊ม RD125
4. เครื่องวัดค่า COD DR1900
5. ขวด BOD (BOD bottles)
6. กระบอกตวง ขนาด 1000 มิลลิลิตร (Measuring cylinder)
7. แผ่นพาราฟิล์ม (Parafilm)
8. เครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer)
9. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic stirring bars)
10. เครื่องวัดค่า ออกซิเจนละลายน้ำ (DO portable multi meter)
11. ตู้ควบคุมอุณหภูมิสำหรับการวิเคราะห์ BOD 20 ± 1 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำ Jar test

1. ปีกเกอร์ทดลอง ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. กระดาษกรอง ขนาดรูพรุน 20-25 ไมโครเมตร
3. กรวยบุชเนอร์
4. ถ้วยระเหย
5. เครื่องอบเดสิเคเตอร์หรือโถดูดความชื้น
6. เครื่องมือกวน Jar test

เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายมาตรฐานผสม ICP
2. กรดไนตริก (HNO_3)
3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
4. กรดเปอร์คลอริก (HClO_4)
5. 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
6. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
7. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (DI)
8. สารส้ม Aluminium sulphate (Alum)
9. พอลิอะลูมิเนียมไคลไรด์ Poly aluminium chloride (PAC)

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์ทางเคมีของน้ำชะขยะทำเพื่อหาลักษณะของน้ำชะขยะเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำชะขยะ ในกรณีน้ำชะขยะที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ควรวิเคราะห์ลักษณะของน้ำชะขยะ โดยมีรายละเอียดของวิธีการตรวจสอบมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งให้เป็นไปตามวิธีมาตรฐาน หรือคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยหรือตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา แสดงตามตาราง 9

ตาราง 9 วิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำชะขยะในระบบบำบัด

Parameter	Method
ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและต่างของน้ำ
ค่าออกซิเจนละลาย (DO)	ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
Biochemical oxygen demand (BOD)	วิธีมาตรฐานของ APHA
Chemical oxygen demand (COD)	Closed-reflux, Titrimetric
ปริมาณสารแขวนลอย (SS)	Gravimetric
ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (TDS)	Gravimetric

ที่มา: (กรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมควบคุมมลพิษ)

การวิเคราะห์หาไมโครพลาสติก ในตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอน

การเตรียมตัวอย่างน้ำชะขยะสำหรับการวิเคราะห์หา MPs

ในการวิเคราะห์หา MPs ในน้ำชะขยะ ยังไม่มีวิธีการที่เป็นมาตรฐานจากการศึกษา รวมถึงวิธีการกำจัดสารอินทรีย์ที่แตกต่างกันออกไป โดยทำการดัดแปลงวิธีมาจาก NOAA Marine debris program, National oceanic and atmospheric administration U.S. department of commerce. (2015)

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. นำตัวอย่างน้ำชะขยะกรองด้วยตะแกรงกรองขนาด 5.6 มิลลิเมตร (No.35) และ 0.3 มิลลิเมตร (No.50) และล้างตะแกรงกรองกับน้ำกลั่นปราศจากไอออน (แยกพลาสติกหรือของแข็งขนาดใหญ่ (Macro plastic) ที่มีขนาดมากกว่า 5 มิลลิเมตร ออก)
2. ย่อยสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 20 มิลลิลิตร และนำไปย่อยบนเตาไฟฟ้า
3. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
4. หากพบสารอินทรีย์เหลืออยู่ให้เติม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) อีก 20 มิลลิลิตร
5. แยกความหนาแน่นด้วย โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 20 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
6. นำตัวอย่างน้ำ มากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศโดยใช้กระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร
7. จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Stereo microscope ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ1270 โดยใช้โปรแกรม NIS-Elements D แสดงภาพ Live view โดยใช้กำลังขยายตั้งแต่ 0.63-8.0 เท่า จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลตัวอย่าง MPs ที่พบ ได้แก่ ขนาด สี รูปร่างของ MPs
9. วิเคราะห์องค์ประกอบของ MPs ด้วยเครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum two ที่ช่วงเลขคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$

การเตรียมตัวอย่างภาคตะกอนสำหรับการวิเคราะห์หา MPs

ทำการดัดแปลงวิธีมาจาก NOAA Marine debris program, National oceanic and atmospheric administration U.S. department of commerce. (2015)

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. นำตัวอย่างตะกอนดิน 200 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร (บีกเกอร์ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน) ซึ่งน้ำหนักรวมของบีกเกอร์และตัวอย่างตะกอนดิน
2. นำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนัก
3. เติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 20 มิลลิลิตร
4. นำไปย่อยโดยให้ความร้อนบน Hot plate ในตู้ดูดควัน (ควรปิดด้วยกระจกนาฬิกา) และนำไปเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายที่ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส
5. เมื่อสังเกตเห็นฟองก๊าซที่พื้นผิว ให้นำบีกเกอร์ออกจาก Hot plate แล้วนำไปใส่ตู้ดูดควัน หากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบีกเกอร์ ให้เติมน้ำกลั่นเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา
6. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ต่ออีก 30 นาที
7. หากพบสารอินทรีย์ ให้เติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) อีก 20 มิลลิลิตร
8. เติมนโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) 6 กรัม ต่อตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร เพื่อให้เกิดความหนาแน่นของสารละลายในน้ำ ให้ความร้อนที่ 75 องศาเซลเซียส จนกว่าโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) ละลาย ตั้งไว้ให้เย็น
9. ปิดฝาด้วยฟอยล์อลูมิเนียมและตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง
10. นำไปด้วยเครื่องกรองสุญญากาศด้วยกระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
11. นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบให้แห้งแล้วนำไปการวิเคราะห์ โดยนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ Stereo microscope ยี่ห้อ Nikon รุ่น SMZ1270 โดยมีการใช้โปรแกรม NIS-Elements D แสดงภาพ Live view โดยใช้กำลังขยายตั้งแต่ 0.63-8.0 เท่า หลังจากนั้นทำการบันทึกข้อมูลตัวอย่าง MPs ที่พบ ได้แก่ ขนาด สี รูปร่างของ MPs
12. วิเคราะห์องค์ประกอบของ MPs ด้วยเครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum two ที่ช่วงเลขคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$

ร้อยละประสิทธิภาพในการกำจัด MPs

ประสิทธิภาพการกำจัด MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ ได้มาจากสมการที่ (1) ปริมาณ MPs ที่ปล่อยออกมาในแต่ละวัน คำนวณจากปริมาณ MPs ในน้ำชะขยะ (ชิ้น/ลิตร) คูณด้วยความจุของระบบบำบัดน้ำชะขยะ (ลิตร/วัน)

$$\frac{\text{ปริมาณ MPs ในจุดน้ำเข้าระบบ (ชิ้น/ลิตร)} - \text{ปริมาณ MPs ในจุดน้ำออกจากระบบ(ชิ้น/ลิตร)}}{\text{ปริมาณ MPs ในจุดน้ำเข้าระบบ (ชิ้น/ลิตร)}} \times 100 \quad (1)$$

การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะขยะ

ดัดแปลงจากวิธี (นันทิรา วรกาญจนบุญ, 2020)

1. นำตัวอย่างน้ำชะขยะใส่ลงในบีกเกอร์
2. วัดค่า pH ในตัวอย่างน้ำชะขยะ
- 3 แบ่งตัวอย่างน้ำชะขยะ ใส่ในบีกเกอร์ ปริมาณ 500 มิลลิลิตร จำนวน 6 ใบ
4. ทำการตกตะกอนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ใช้สารตกตะกอน 2 ชนิด คือ สารส้ม (Alum) โดยกำหนดปริมาณสารตกตะกอนคือ 1, 2, 3, 4, 5 กรัม/ลิตร และพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) ปริมาณ 5, 7.5, 10, 12.5, 15 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำชะขยะเพื่อหาปริมาณสารตกตะกอนที่เหมาะสมและทำซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนสารตกตะกอน

5. กำหนดเงื่อนไขการทดลองประกอบด้วยสามขั้นตอน

- 5.1 กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที
- 5.2 กวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที
- 5.3 หลังจากนั้นทิ้งไว้ 60 นาที ให้ตกตะกอน

(อมรรัตน์วงษ์กลม และถนัด ธนะฉัตรชัยรัตน์, 2561)

6. นำตัวอย่างน้ำใส่ส่วนบนมาวัด pH, COD, BOD, SS, TDS

การวิเคราะห์หาโลหะหนักบนไมโครพลาสติก

ใช้การย่อยสลายด้วยเครื่อง Microwave digestion ซึ่งเป็นเทคนิคการย่อยสลายตัวอย่างด้วยความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ภายใต้ระบบปิดที่ควบคุมความดันได้ ซึ่งค่อนข้างปลอดภัยต่อผู้ใช้งานหรือผู้ที่ทำการวิเคราะห์ เพราะไม่ต้องสัมผัสกับตัวอย่างสลายหรือกับไอกรดที่เกิดจากการย่อยสลาย มีการใช้ปริมาณตัวอย่างและกรดที่ในการวิเคราะห์น้อยมาก เมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับการเตรียมตัวอย่างที่มีราคาแพงหรือมีปริมาณน้อยและใช้ได้กับการวิเคราะห์

โลหะหนักเกือบทุกชนิด โดยเฉพาะโลหะที่ละลายตัวได้ง่าย การย่อยหาโลหะหนักบน MPs ด้วยเครื่องย่อยไมโครเวฟดำเนินวิธีตาม EPA 3051

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. นำกระดาษกรองที่มีตัวอย่าง MPs ที่ตกค้างบนตัวกรอง มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ

0.5 กรัม ใส่ลงใน Vessel

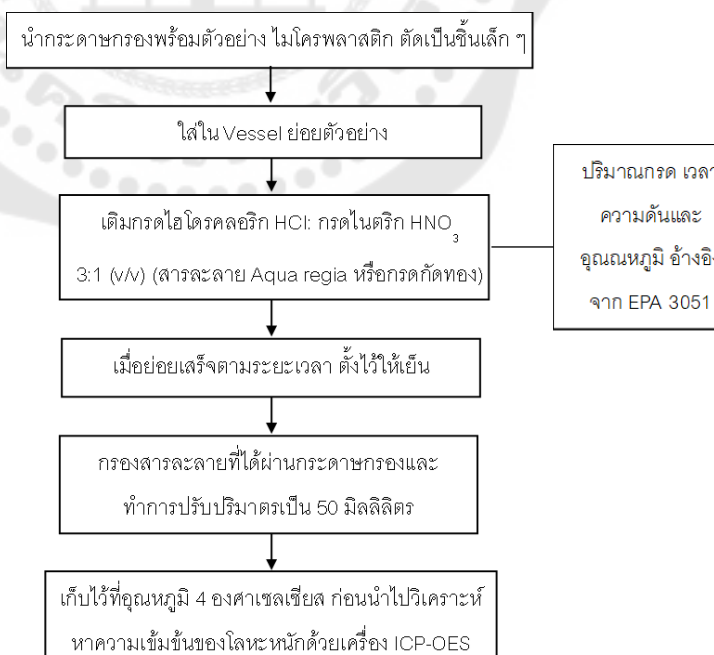
2. เติมสารละลาย Aqua regia 4 มิลลิลิตร (HCl และ HNO₃ ที่มีอัตราส่วน 3:1)

3. ตั้งค่าเครื่อง Microwave digestion สำหรับการย่อย

- ตั้งอุณหภูมิ Ramp 175±5 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที 30 วินาที
- ตั้งอุณหภูมิ Hold 175±5 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 นาที 30 วินาที
- ตั้งอุณหภูมิ Temperature องศาเซลเซียส ที่เวลา 10 วินาที

4. นำสารละลายที่ได้จากการย่อยมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นและกรองน้ำมากรองผ่านกระดาษกรองขนาด 2.5 ไมโครเมตร เพื่อแยกส่วนที่ใสออก และทำการปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES)

แผนผังสรุปวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์โลหะหนักบน MPs



ภาพประกอบ 14 วิธีการเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์

โลหะหนักบน MPs

การวิเคราะห์หาโลหะหนักในดินบริเวณพื้นที่โดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ

การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างกากตะกอนและดิน ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn)ปรอท (Hg) สารหนู (As) ซึ่งการเตรียมตัวอย่างดินให้เป็นสารละลายโดยการนำมาย่อยด้วยกรด ตามวิธี US EPA 3050 B

ขั้นตอนการดำเนินการ

1. นำดินที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส
2. ชั่งตัวอย่างดินที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส และนำมาบด ร่อนตัวอย่างตะกอนดิน ขนาด 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) และกรดเปอร์คลอริก (HClO_4) อัตราส่วน 1:1 10 มิลลิลิตร
3. ปิดปาก Flask ด้วยกระจกนาฬิกาและนำไปย่อยบน Hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 90–95 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเป็นเวลา 10–15 นาที (ระวังอย่าให้สารละลายเดือด)
4. ปลดปล่อยให้ตัวสารเย็นลงแล้วเติมกรดไนตริก (HNO_3) จำนวน 5 มิลลิลิตร และให้ความร้อนต่ออีก 30 นาที (จะเกิดควันสีน้ำตาลให้เติมกรดไนตริก อีก 5 มิลลิลิตร) ย่อยตัวอย่างต่อไปจนกว่าจะไม่มีควันและสีซีดลง
5. ทิ้งตัวอย่างให้เย็นเติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และ 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จำนวน 3 มิลลิลิตร
6. นำกลับไปย่อยต่อบน Hot plate จนกระทั่งปฏิกิริยาสิ้นสุดหรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง (สังเกตจากฟองก๊าซที่เกิดขึ้นหลังจากเติม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะหมดไป)
7. เติม 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เพิ่มอีกครั้งละ 1 มิลลิลิตร และย่อยต่อจนกระทั่งสิ้นสุดปฏิกิริยา (ระวังอย่าให้ปริมาณรวมของ 30% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) รวมกันเกิน 10 มิลลิลิตร)
8. ทิ้งให้เย็นกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 41 จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นในขวดเชิงปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)

การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกิน

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักที่ปนเปื้อนดิน ของคนงานหรือชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกอง จังหวัดปทุมธานี จะประเมินในรูปแบบปริมาณสารที่ได้รับเข้าสู่ร่างกายและอธิบายลักษณะ ความเสี่ยงจากการสัมผัสดินในรูปแบบค่า HQ (Hazard Quotient) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

1. สมการการทำนายสารที่จะเข้าสู่ร่างกายทางการกลืนกิน สามารถหาได้จากสมการ (2) (Kofi, 2002; วิชากร จารุศิริ, 2561)

$$I_{\text{oral}} = \frac{(C_{\text{oral}} \times IR \times CF \times FI \times EF \times ED)}{BW \times AT} \quad (2)$$

โดย

I = ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับดิน ตะกอน หรือฝุ่น เข้าสู่ร่างกาย (มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน)

C_{oral} = ความเข้มข้นของการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

IR = อัตราการได้รับ (มิลลิกรัม/วัน)

CF = แฟคเตอร์ที่ใช้แปลงค่าน้ำหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)

FI = สัดส่วนที่รับเข้าไปจากแหล่งกำเนิดที่ปนเปื้อน

EF = ความถี่ในการรับสัมผัส (วัน/ปี)

ED = ช่วงเวลาการรับสัมผัส (ปี)

BW = น้ำหนักร่างกายของผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัส (กิโลกรัม)

AT = ระยะเวลาเฉลี่ยที่รับสัมผัส

2. การกำหนดลักษณะความเสี่ยง US-EPA (1989)

การกำหนดลักษณะของความเสี่ยงต่อสุขภาพแบ่งการประเมินเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง และการประเมินความเสี่ยงจากอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง ซึ่งคำนวณตามสมการที่ (3) และสมการที่ (4) ตามลำดับ

2.1 ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง

$$\text{Cancer Risk} = I \times SF \quad (3)$$

โดย

I = ปริมาณสารที่ได้รับ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

SF = Slope factor (มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน)

ค่าความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการสัมผัสที่เป็นสาเหตุของการเกิดมะเร็ง โดยค่าที่ยอมรับได้มักกำหนดให้เป็นช่วงของค่าที่ยอมรับได้อยู่ระหว่าง 10^{-6} - 10^{-4}

2.2 ความเสี่ยงจากความเป็นอันตรายนอกจากมะเร็ง (Non Cancer Risk) หรือ Hazard Quotient (HQ) เป็นค่าประมาณที่ได้จากการรับสัมผัสสารมลพิษในทุก ๆ วันของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง

$$\text{Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{CDI}}{\text{RfD}} \quad (4)$$

โดย

HQ = ดัชนีความเสี่ยงจากการเป็นอันตรายอื่นนอกจากมะเร็ง

การอธิบายลักษณะความเสี่ยง พิจารณาจากค่าสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการสัมผัส สามารถแบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

HQ < 0.1 หมายถึง ไม่มีอันตราย

HQ 0.1 < HQ < 1.0 หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับต่ำ

HQ < 1.1 HQ < 10 หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับปานกลาง

HQ > 10 หมายถึง มีอันตรายอยู่ในระดับสูง

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษานี้วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง แต่ละกลุ่มมี 3 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทำการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics subscription ver. 28 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวมทางเดียวด้วยวิธี One way analysis of variance (ANOVA) เพื่อประเมินความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs กับจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละจุด และประเมินความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษาเรื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติก ปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสโลหะหนัก มีผลการศึกษาดังนี้

4.1 การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำชะขยะ

4.2 การศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ

4.3 การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักบนไมโครพลาสติก

4.4 การศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันในระบบบำบัดน้ำชะขยะ

4.5 การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในดินรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ และการประเมินความเสี่ยงการสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกลืนกินจากดินโดยรอบพื้นที่บริเวณเทกองขยะ

การศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำชะขยะ

การศึกษาคุณลักษณะของน้ำชะขยะทางกายภาพและทางเคมีของแต่ละขั้นตอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ pH ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ (DO) การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชะขยะเบื้องต้น ทางผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือวัดคุณภาพน้ำหลายพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับภาคสนาม โดยเทน้ำตัวอย่างลงใส่ปิเกตอร์หรือภาชนะรองรับ จากนั้นใช้หวัคค่า อุณหภูมิ pH DO และ EC จุ่มลงในน้ำชะขยะ ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ และทำการบันทึกค่าที่ได้ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำโดยวิธีการใช้สารเคมีย่อยสลายอินทรีย์ (COD) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) แสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 คุณลักษณะเบื้องต้นทางกายภาพและเคมีของน้ำในระบบบำบัดน้ำชะขยะ

พารามิเตอร์	ระบบบำบัดน้ำชะขยะ			
	จุดน้ำเข้าระบบ (W1)	บ่อเติมอากาศ (W2)	บ่อดกตะกอน (W3)	จุดออกจากระบบ (W4)
EC (ไมโครซีเมนส์/ เซนติเมตร)	2,847±1.15	1,673±13.78	1,451±1	1,455±2.51

ตาราง 10 (ต่อ)

พารามิเตอร์	จุดน้ำเข้าระบบ	บ่อเติมอากาศ	บ่อตกตะกอน	จุดออกจากระบบ
pH	7.07±0.01	6.94±0.46	6.45±0.02	7.07±0.158
DO (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.13±0.05	2.67±0.15	2.78±0.01	3.79±0.18
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	353.06±2.10	152.5±9.17	237.3±9.64	221.5±3.95
COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	1420±4.50	721±7.63	411.66±7.63	382.67±28.30
SS (มิลลิกรัม/ลิตร)	705±77.94	965.83±64.08	826.66±51.07	271.66±7.63
TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)	8,391.11±143.65	8,420±293.19	8,733.33±65.65	7,617.77±276.83

จากตารางที่ 10 แสดงการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำในระบบบำบัดน้ำชะขยะ จากจุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะ 4 จุด ได้แก่ จุดน้ำเข้าระบบ น้ำบ่อเติมอากาศ น้ำบ่อตกตะกอน และจุดน้ำออกจากระบบ ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำชะขยะที่ตรวจพบอยู่ที่ 33.2-35.30 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วงระหว่าง 6.45-7.07 และมีค่าการนำไฟฟ้า (EC) อยู่ในช่วง 1,451-2,847 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 0.13-3.79 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สาร (BOD) อยู่ในช่วง 152.5-353.06 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ โดยวิธีการใช้สารเคมีย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) อยู่ในช่วง 411.66-1420 มิลลิกรัม/ลิตร ในส่วนของน้ำที่เป็นของแข็ง (Solids in water) พบปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS) อยู่ในช่วง 271.66-965.83 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) อยู่ในช่วง 7,617.77-8,733.33 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของน้ำชะขยะ ทั้ง 4 จุด อุณหภูมิและค่า pH ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำยกเว้น DO, BOD, COD, EC, SS และ TDS ซึ่งพบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเรื่อง การกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน อุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป ลงวันที่ 29 มีนาคม 2560

การศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำชะขยะ

1. ปริมาณไมโครพลาสติกในระบบบำบัดน้ำชะขยะ

การศึกษาปริมาณการปนเปื้อน MPs ในน้ำชะขยะ โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะในระบบบำบัด เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของ MPs ในน้ำชะขยะ โดยใช้ปริมาตร 1 ลิตร ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างการวิเคราะห์หาปริมาณ MPs จำนวน 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง

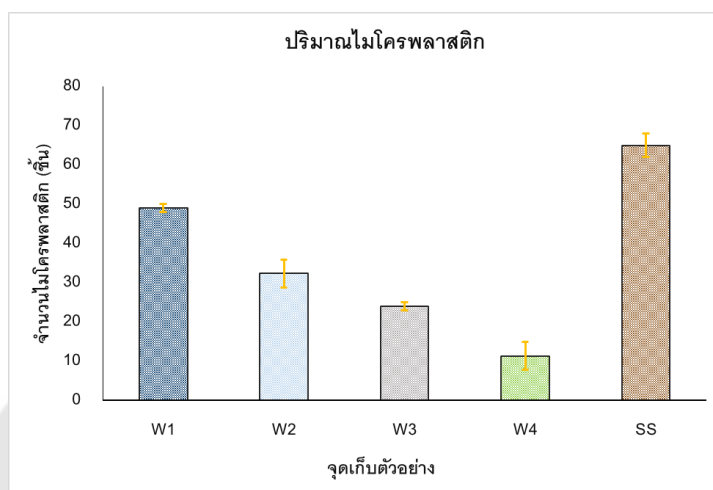
การเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะ แบ่งได้ดังนี้ เก็บตัวอย่างน้ำ (W1) (W2) (W3) (W4) และเก็บกากตะกอน (SS) ผลการตรวจวัดปริมาณ MPs ในน้ำชะขยะ และปริมาณ MPs ในกากตะกอน แสดงในตาราง 11 ตามลำดับ

ตาราง 11 ปริมาณ MPs ในน้ำชะขยะและกากตะกอน

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ปริมาณ MPs (ชิ้น/ลิตร)	ปริมาณ MPs (ชิ้น/กิโลกรัม)	Removal efficiency (%)
จุดน้ำเข้าระบบ (W1)	49±1	-	-
บ่อเติมอากาศ (W2)	32±4	-	34.69
บ่อตกตะกอน (W3)	24±1	-	25
จุดน้ำออกจากระบบ (W4)	11±5	-	54.17
กากตะกอน (SS)	-	65±3	-

จากตัวอย่างน้ำชะขยะและตัวอย่างกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ แสดงดังตารางที่ 11 พบว่าจุดน้ำเข้าระบบพบ MPs จำนวน 49±1 ชิ้น/ลิตร ในขณะที่จุดบ่อเติมอากาศพบ MPs จำนวน 32±4 ชิ้น/ลิตร โดยพบว่าประสิทธิภาพการลดลงของจำนวน MPs จากจุดน้ำเข้าถึงบ่อเติมอากาศ เท่ากับ 34.69% จุดบ่อตกตะกอนพบ MPs จำนวน 24±1 ชิ้น/ลิตร โดยมีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวน MPs จากจุดบ่อเติมอากาศถึงจุดบ่อตกตะกอนเท่ากับ 25% เนื่องจากบ่อเติมอากาศมีระยะเวลาในการกักเก็บน้ำชะขยะไว้ภายในบ่อ และการเติมอากาศช่วยเร่งให้เกิดการตกตะกอนของ MPs ตียิ่งขึ้น จึงอาจทำให้ MPs สามารถตกตะกอนภายในบ่อเติมอากาศได้ได้ดีกว่าบ่อตกตะกอน (ธนกาญจน์ ไพศาลพงศ์, 2022) และจุดน้ำออกจากระบบพบ MPs จำนวนลดลงเหลือ 11±5 ชิ้น/ลิตร มีประสิทธิภาพการลดลงของจำนวน MPs จากจุดบ่อตกตะกอนถึงจุดน้ำออกเท่ากับ 54.17% ซึ่งในการบำบัด MPs โดยรวมจากจุดน้ำเข้าระบบมาจนถึงจุดน้ำออกจากระบบมีเปอร์เซ็นต์ลดลงอยู่ที่ 77.55 % แสดงดังภาพประกอบ 15 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Z. Zhang et al. (2021) ซึ่งได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะด้วยกระบวนการ การบำบัดขั้นสูง พบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัด MPs อยู่ที่ 16.67-75% นอกจากนี้การศึกษานี้จำนวน MPs ในตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำชะขยะ พบว่า จำนวน MPs จากตัวอย่างกากตะกอนในจุดเก็บตัวอย่างบ่อตกตะกอนเท่ากับ 65±3 ชิ้น/กิโลกรัม จากการศึกษาของ อารยา คงขวัญเมือง (2564) พบว่าการที่ MPs ในน้ำทิ้งมี

ปริมาณลดลงเนื่องจากกลไกการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองโดย MPs จะจมตัวลงไปพร้อมกับตะกอนจุลินทรีย์ตามแรงโน้มถ่วงของโลกและความหนาแน่น



ภาพประกอบ 15 ปริมาณ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี โดย W1: จุดน้ำเข้าระบบ W2: บ่อเติมอากาศ W3: บ่อตกตะกอน W4: จุดน้ำออกจากระบบ และ SS: ตัวอย่างกากตะกอน

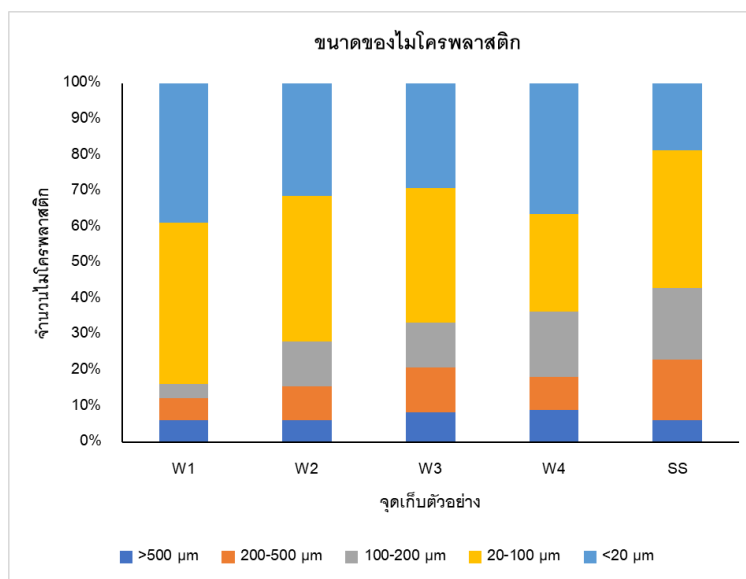
2. ขนาดของ MPs

การกระจายขนาดในระหว่างการวิเคราะห์ด้วยสายตาตรวจพบลักษณะทางสัณฐานวิทยา ของ MPs ในน้ำชะขยะและตัวอย่างกากตะกอน การแยกขนาดก่อน จะทำให้จำแนกรายละเอียดอื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น การศึกษานี้ ตัวอย่างทั้งหมดถูกแยกออกเป็น 5 ช่วงขนาด โดยแบ่งเป็นขนาดมากกว่า 500 ไมโครเมตร ขนาด 200-500 ไมโครเมตร ขนาด 100-200 ไมโครเมตร 20-100 ไมโครเมตร และขนาดน้อยกว่า 20 ไมโครเมตร ผลลัพธ์แสดงดังตาราง 12

ตาราง 12 ขนาดของ MPs

จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาดของ MPs (ไมโครเมตร)				
	>500	200-500	100-200	20-100	<20
จุดน้ำเข้าระบบ (W1)	3	3	2	22	19
บ่อเติมอากาศ (W2)	2	3	4	13	10
บ่อตกตะกอน (W3)	2	3	3	9	7
จุดน้ำออกจากระบบ (W4)	1	1	2	3	4
กากตะกอน (SS)	4	11	13	25	12
รวม	12	21	24	71	52

ผลการศึกษขนาดของ MPs ในตัวอย่างน้ำชะขยะ ในจุดเก็บตัวอย่างน้ำเข้าพบ MPs ขนาด 20-100 ไมโครเมตร เท่ากับ 44.89% มากที่สุด รองลงมาคือ MPs ขนาด <20 ไมโครเมตร เท่ากับ 38.77% ขนาด >500 ไมโครเมตร เท่ากับ 6.12% MPs ขนาด 200-500 ไมโครเมตร เท่ากับ 6.12% และ MPs ขนาด 100-200 ไมโครเมตร เท่ากับ 4.08% จุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศ พบ MPs ขนาด 20-100 ไมโครเมตร มากที่สุด เท่ากับ 40.62% รองลงมาคือ ขนาด <20 ไมโครเมตร เท่ากับ 31.25% ไมโครพลาสติกขนาด 100-200 ไมโครเมตร เท่ากับ 12.5% ขนาด 200-500 ไมโครเมตร เท่ากับ 9.37% และขนาดของ MPs >500 ไมโครเมตร เท่ากับ 6.25% จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อตกตะกอนจากการศึกษาพบ MPs ขนาด 20-100 ไมโครเมตร มากที่สุด เท่ากับ 37.5% รองลงมาคือ ขนาด <20 ไมโครเมตร เท่ากับ 29.16% และ MPs ขนาด 100-200 ไมโครเมตร เท่ากับ 12.5% ขนาด 200-500 ไมโครเมตร เท่ากับ 12.5% และพบจำนวน MPs ที่มีขนาด >500 ไมโครเมตร เท่ากับ 8.33% จุดเก็บตัวอย่างน้ำออกจากระบบ ขนาดของ MPs ที่พบมากที่สุดคือ <20 ไมโครเมตร เท่ากับ 36.36% รองลงมาคือ MPs ในช่วงขนาด 20-100 ไมโครเมตร เท่ากับ 27.27% ขนาด 100-200 ไมโครเมตร เท่ากับ 18.18% ขนาด >500 ไมโครเมตร เท่ากับ 9.09% และขนาด 200-500 ไมโครเมตร เท่ากับ 9.09% ในขณะที่ได้ทำการศึกษา MPs ในตัวอย่างกากตะกอน ขนาดของ MPs ที่พบมากที่สุดอยู่ในช่วง 20-100 ไมโครเมตร เท่ากับ 38.46 % รองลงมาคือขนาด <20 ไมโครเมตร เท่ากับ 18.46% ขนาดของ MPs 100-200 ไมโครเมตร 20% ขนาด 200-500 ไมโครเมตร 16.92 % และขนาดของ MPs >500 ไมโครเมตร เท่ากับ 6.15 % จากการศึกษาพบว่า ลักษณะการกระจายตัวของ MPs ในขนาดต่างๆ มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยในจุดน้ำเข้าระบบ น้ำในบ่อเติมอากาศ และน้ำในบ่อตกตะกอน พบว่าจำนวนอนุภาคขนาดเล็กลดลงในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยการลอยตัวของอนุภาคขนาดเล็กที่มีความหนาแน่นต่ำจะถูกกำจัดออกไป ในทางตรงกันข้ามในถังเติมอากาศพบว่าไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กเพิ่มขึ้นและอนุภาคขนาดใหญ่ลดลง นอกจากนี้ไมโครพลาสติกยังสามารถแตกและเป็นหลุมภายใต้การกระทำทางกายภาพและเคมี เช่น คลื่นลม จุลินทรีย์ และจากรังสียูวี (Bandow et al. (2017) และ Kokalj et al. (2019) พบว่าอนุภาคขนาดใหญ่บางชนิดสามารถแตกออกได้ด้วยแรงเสียดทานของถังเติมอากาศ (Yang et al. (2021) และในจุดเก็บกากตะกอนก็เป็นส่วนหนึ่งที่ไม่โครพลาสติกเกิดจากการตกตะกอนจากถังเติมอากาศ ดังนั้นในการศึกษานี้แสดงให้เห็นความเข้มข้นที่สูงขึ้นของอนุภาคขนาดเล็กในจุดเก็บกากตะกอน อาจมาจากการแตกของอนุภาคจากถังเติมอากาศที่นำไปสู่การรวมตัวกับตะกอนเร่งปฏิกิริยาโดยจุลินทรีย์ เวลาสัมผัส และความเข้มข้นของสารเคมีที่เติมลงไป (Pittura et al 2021)



ภาพประกอบ 16 ขนาดของ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบ
 เทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานีจุดเก็บตัวอย่าง W1: จุดน้ำเข้าระบบ
 W2: บ่อเติมอากาศ W3: บ่อตกตะกอน W4: จุดน้ำออกจากระบบ และ SS: ตัวอย่างกากตะกอน

3. รูปร่างของ MPs

ผลจากการเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะทั้ง 5 จุดและตะกอน 1 จุด พบว่ามี MPs 5 ประเภท ได้แก่ เส้นใย (Fiber) ชิ้นส่วนแตกหัก (Fragment) ทรงกลม (Pellets) แบบเกล็ด (Flake) และ แผ่นฟิล์ม (Films) แสดงดังตาราง 13

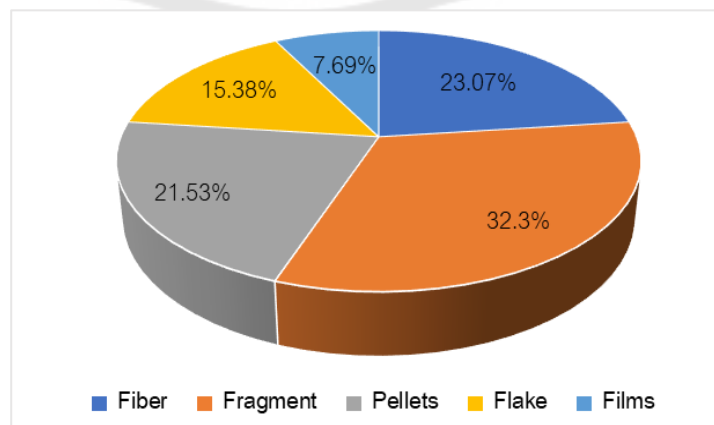
ตาราง 13 รูปร่างของ MPs

จุดเก็บตัวอย่าง	รูปร่างของ MPs (ชิ้น/ลิตร/กิโลกรัม)				
	Fiber	Fragment	Pellets	Flake	Films
จุดน้ำเข้าระบบ (W1)	11	16	12	4	6
บ่อเติมอากาศ (W2)	6	9	9	3	5
บ่อตกตะกอน (W3)	4	6	5	4	5
จุดน้ำออกจากระบบ (W4)	3	3	2	1	2
กากตะกอน (SS)	15	21	14	10	5
รวม	39	55	42	22	23

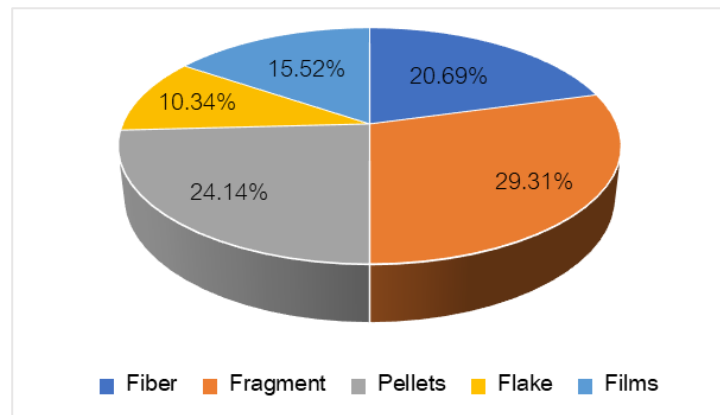
ผลจากการเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะทั้ง 4 จุดและกากตะกอน 1 จุด พบว่ามี MPs 5 ประเภทในการศึกษานี้ ได้แก่ เส้นใย (Fiber) ชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ (Fragment) ทรงกลม (Pellets)

แบบเกล็ด (Flake) และแผ่นฟิล์ม (Films) จากผลการศึกษาพบว่ารูปร่างของ MPs ที่พบส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ โดยพบมากที่สุดในตัวอย่งน้ำชะขยะ รองลงมาคือ เส้นใย ทรงกลม แผ่นฟิล์ม และพบปริมาณของ MPs แบบเกล็ด พบน้อยที่สุด โดยจุดน้ำเข้าระบบ พบชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ เท่ากับ 32.65% เส้นใย เท่ากับ 24.48% ทรงกลม เท่ากับ 24.48% แผ่นฟิล์ม เท่ากับ 12.24% และแบบเกล็ด เท่ากับ 6.12% จุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศ พบชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ เท่ากับ 28.12% เส้นใย เท่ากับ 28.12% รองลงมาคือ ทรงกลม เท่ากับ 18.75% แผ่นฟิล์ม เท่ากับ 15.62% และแบบเกล็ด 9.37% จุดเก็บตัวอย่างจากบ่อตกตะกอนพบ MPs รูปร่างชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ เท่ากับ 25% รองลงมาคือ เส้นใย เท่ากับ 20.83% แผ่นฟิล์ม เท่ากับ 20.83% รูปร่างทรงกลม เท่ากับ 16.66% แบบเกล็ด เท่ากับ 16.67% จุดปล่อยน้ำทิ้ง พบ MPs รูปร่างแบบชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ เท่ากับ 27.27% เส้นใย 27.27% ทรงกลม เท่ากับ 18.18% แผ่นฟิล์ม เท่ากับ 18.18% แบบเกล็ด เท่ากับ 9.09% และตัวอย่างกากตะกอน พบว่าชนิดของ MPs ส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ เท่ากับ 32.30% รองลงมาคือ เส้นใย เท่ากับ 23.07% ทรงกลม เท่ากับ 21.53% แบบเกล็ด เท่ากับ 15.38% และพบ MPs รูปร่างเป็นแผ่นฟิล์ม น้อยที่สุด เท่ากับ 7.69% แสดงดังภาพประกอบ 17 โดยผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ He, Chen, Shao, Zhang, and Lü (2019) ที่ตรวจพบ MPs 5 ประเภท โดยพบสัดส่วนของเส้นใย แบบเกล็ด ชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ แบบทรงกลม หรือเม็ดปัดส์ และโฟม ตามลำดับ โดยพบชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบเป็นส่วนใหญ่ 99.36% ของอนุภาคพลาสติกทั้งหมดในน้ำชะขยะประเทศนอร์ดิค การปนเปื้อนของ MPs ประเภทเส้นใยในระบบบำบัดน้ำชะขยะ (De Falco et al., 2021)

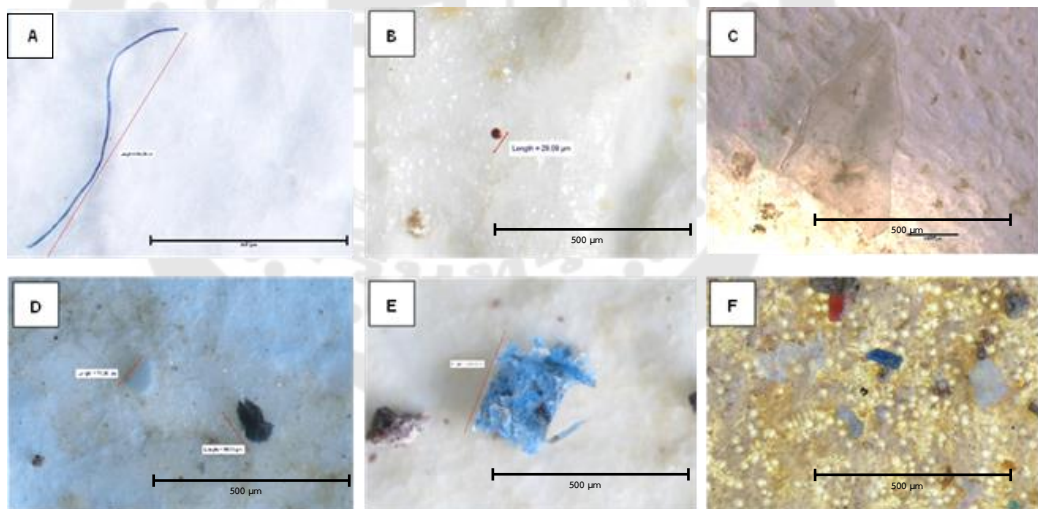
(A)



(B)



ภาพประกอบ 17 รูปร่างของ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานีโดย (A) รูปร่าง MPs ในตัวอย่างน้ำชะขยะ (B) รูปร่าง MPs ในตัวอย่างตะกอน



ภาพประกอบ 18 ตัวอย่างรูปร่าง MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง A: เส้นใย (Fiber) B: ทรงกลม (Pellets) C: फिल्म (Films) D: เกล็ด (Flake) และ E-F: ชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ (Fragment)

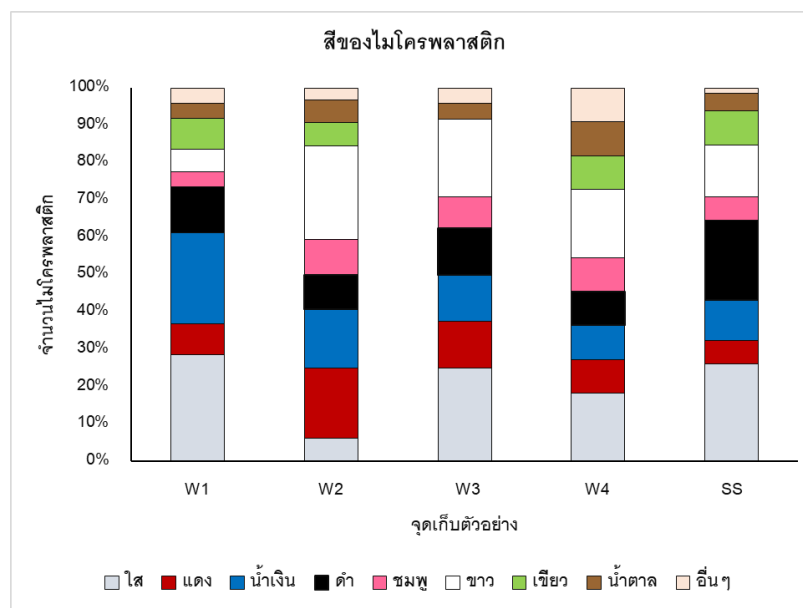
4. สีของ MPs

จากการศึกษาในจุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะแต่ละจุดและภาคตะกอน ตรวจพบสีของ MPs ทั้งหมด ได้แก่ สีใส สีแดง สีน้ำเงิน สีดำ สีชมพู สีขาว สีน้ำตาล สีเขียว และสีอื่น ๆ แสดงดังตาราง 14

ตาราง 14 สีของ MPs

จุดเก็บตัวอย่าง	สีของ MPs								
	ใส	แดง	น้ำเงิน	ดำ	ชมพู	ขาว	เขียว	น้ำตาล	สีอื่น ๆ
จุดน้ำเข้าระบบ (W1)	14	4	12	6	2	3	4	2	2
บ่อเติมอากาศ (W2)	2	6	5	3	3	8	2	2	1
บ่อดกตะกอน (W3)	6	3	3	3	2	5	0	1	1
จุดน้ำออกจากระบบ (W4)	2	1	1	1	1	2	1	1	1
ภาคตะกอน (SS)	17	4	7	14	4	9	6	3	1
รวม	41	18	28	27	12	27	13	9	6

ผลจากการศึกษาในจุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะทั้ง 4 จุด พบ MPs สีใส มากที่สุด 20.68% รองลงมาคือสีน้ำเงิน 18.10% สีขาว 15.51% สีแดง 12.06% สีดำ 11.20% สีชมพู 6.89% สีเขียว 6.03% สีน้ำตาล 5.17% และสีอื่น ๆ 4.3% ตามลำดับ โดยในจุดเก็บภาคตะกอน พบ MPs สีใส มากที่สุด 26.15% รองลงมาคือ สีดำ 21.53% สีขาว 13.84% สีน้ำเงิน 10.76% สีเขียว 9.23% สีชมพู 6.15% สีน้ำตาล 4.61% และสีอื่น ๆ 1.53% ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 19 การเพิ่มหรือการเติมแต่งสีในกระบวนการผลิตพลาสติก ทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น มีความเหนียวและความอ่อนตัว ความคงทน การนำไฟฟ้า เสถียรภายใต้การขึ้นรูปและการใช้งาน (Y. Zhang et al., 2020) และยังทำให้มีความสวยงาม เพิ่มมูลค่า และเหมาะสมกับชนิดของพลาสติกที่ถูกนำไปใช้งานแตกต่างกัน โดยสีของ MPs สามารถช่วยบ่งบอกถึง แหล่งที่มาของขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นได้ เช่น MPs สีใสและขาวเป็นสีตั้งต้นของกระบวนการผลิตหลักในอุตสาหกรรม อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพอากาศ แสงแดดทำให้มีสีที่ซีดจางหรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงถูกพบมากที่สุด แสดงว่า MPs ที่เป็นสีขาวใสอาจเกิดจากพลาสติกที่สามารถนำไปรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยพลาสติกที่มีสีขาวใสจะถูกเก็บไปรีไซเคิล ส่วนสีน้ำเงินมาจากฝาขวดน้ำหรือบรรจุภัณฑ์ พลาสติกสีดำนิยมนำมาใช้ในการเกษตร เช่น ฟิล์มคลุมดินทางการเกษตร (Li et al., 2018) เป็นต้น



ภาพประกอบ 19 สีของ MPs ที่ MPs ที่พบในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี โดย W1: จุดน้ำเข้าระบบ W2: บ่อเติมอากาศ W3: บ่อตกตะกอน W4: จุดน้ำออกจากระบบ และ SS: ตัวอย่างกากตะกอน

5. องค์ประกอบของ MPs

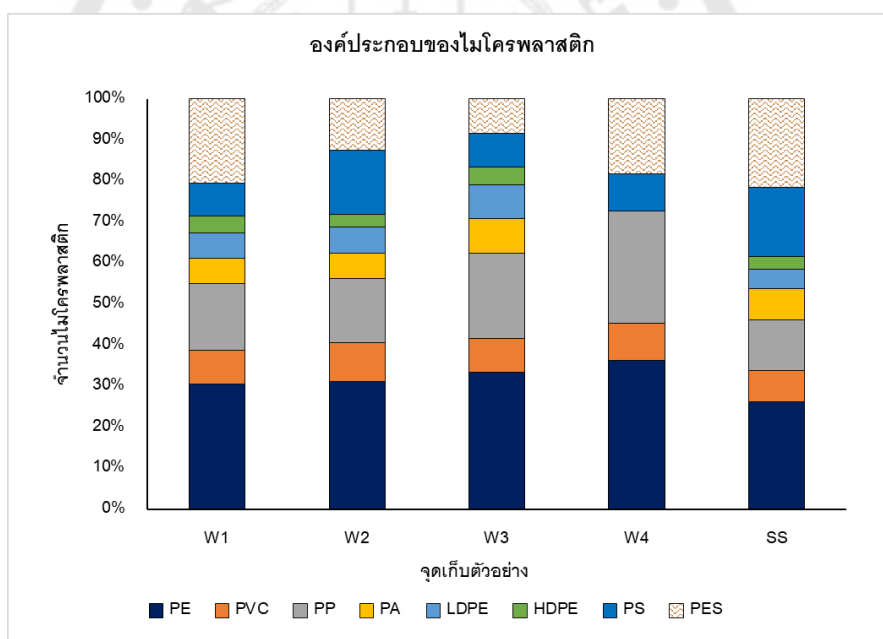
การศึกษาชนิดองค์ประกอบของ MPs ในน้ำชะขยะและกากตะกอนโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) แสดงดังตารางที่ 15

ตาราง 15 องค์ประกอบของ MPs

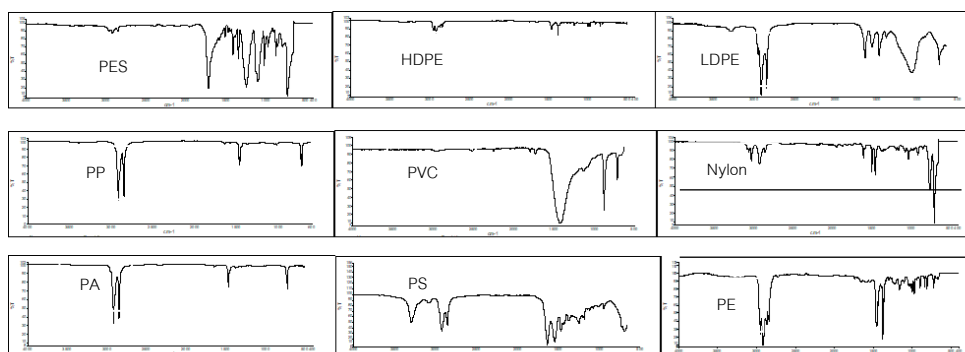
จุดเก็บตัวอย่าง	องค์ประกอบของ MPs							
	PE	PVC	PP	PA	LDPE	HDPE	PS	PES
จุดน้ำเข้าระบบ (W1)	15	4	8	3	3	2	4	10
บ่อเติมอากาศ (W2)	10	3	5	2	2	1	5	4
บ่อตกตะกอน (W3)	8	2	5	2	2	1	2	2
จุดน้ำออกจากระบบ (W4)	4	1	3	0	0	0	1	2
กากตะกอน (SS)	17	5	8	5	3	2	11	14
รวม	54	15	29	12	10	6	23	32

ตารางที่ 15 แสดงองค์ประกอบของพลาสติกที่พบในน้ำชะขยะและกากตะกอน ในระบบบำบัดน้ำชะขยะโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) พบชนิดองค์ประกอบพลาสติก 8 ชนิด ได้แก่ พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly vinyl chloride: PVC) พอลิเอสเตอร์ (Polyester: PES) พอลิเอไมด์ (Poly amide: PA) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene: LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene: HDPE) และ พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) โดยพบว่าจุดเก็บตัวอย่างจุดน้ำเข้าระบบบำบัด พบพอลิเอทิลีน มากที่สุดเท่ากับ 15 ชิ้น/ลิตร (30.61%) และพบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง น้อยที่สุดเท่ากับ 2 ชิ้น/ลิตร (4.08%) ลิตร บ่อเติมอากาศ พบพอลิเอทิลีนมากที่สุดเท่ากับ 10 ชิ้น/ลิตร (31.25%) และพบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง น้อยที่สุด เท่ากับ 1 ชิ้น/ลิตร (3.12%) และในบ่อตกตะกอน พบประเภทพอลิเอทิลีนมากที่สุดเท่ากับ 8 ชิ้น/ลิตร (33.33%) พบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง น้อยที่สุด เท่ากับ 1 ชิ้น/ลิตร (4.16%) จุดน้ำออกจากระบบ พบพอลิเอทิลีนมากที่สุด เท่ากับ 4 ชิ้น/ลิตร (36.36%) และไม่พบพอลิเอไมด์ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Talvitie, Mikola, Koistinen, and Setälä (2017) ได้ทำการศึกษา ลักษณะของ MPs ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยตรวจพบพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันทั้งหมด 12 ชนิดในตัวอย่างทั้งหมด โดยพบ พอลิเอทิลีนมากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเอสเตอร์ (20%) พอลิเอไมด์ (11.1%) และอะคริลิก (11.1%) ในขณะเดียวกันก็สอดคล้องกับการศึกษาของ สัญญา สิริวิทยาปกรณ์ (2562) พบว่าแหล่งที่มาของขยะพลาสติก อุณหภูมิความเข้มของแสงยูวี และสภาพอากาศของพื้นที่ที่ศึกษาส่งผลให้มีปริมาณ MPs ที่มีความแตกต่างกัน หากยังพบ MPs ขนาดเล็กมากเท่าใดก็คุกคามต่อระบบนิเวศและการสะสมในห่วงโซ่อาหารก็必将มีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ขณะที่การศึกษาชนิดสารพอลิเมอร์ MPs ในตัวอย่างในกากตะกอน พบพอลิเอทิลีนมากที่สุดเท่ากับ 17 ชิ้น/กิโลกรัม (26.15%) รองลงมาคือ พอลิเอสเตอร์ 14 ชิ้น/กิโลกรัม (21.53%) และพบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงน้อยที่สุด เท่ากับ 2 ชิ้น/กิโลกรัม (3.07%) จากการศึกษาพบว่าพลาสติกพอลิเอทิลีน เป็นพอลิเมอร์ที่ผลิตและใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก (Plastics Europe, 2018) โดยพอลิเอทิลีนส่วนใหญ่เกิดจากการแตกของพลาสติกชิ้นเล็ก ๆ ในหลุมฝังกลบ หรือมาจากเครื่องสำอางขนาดเล็ก และอนุภาคที่มีฤทธิ์กัดกร่อน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hongprasith et al. (2020) ที่ทำการตรวจวัด MPs ในน้ำเสียและกากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบบำบัดประเภทต่าง ๆ ได้แก่ระบบ Sequence batch reactor ระบบ Oxidation ditch และระบบ Conventional activated sludge ในประเทศไทย

พบว่า MPs จำพวกโพลีเอสเตอร์จัดเป็นอนุภาค MPs ที่พบในสัดส่วนสูงที่สุด (32-37%) โดยเฉพาะพลาสติกชนิด โพลีเอสเตอร์ โพลีโพรพิลีน และโพลีเอทิลีน เป็นต้น องค์ประกอบของพลาสติกชนิดอื่น ๆ ที่พบเนื่องจากบริเวณที่ทำการศึกษาเป็นแหล่งสุดท้ายในการกำจัดโดยการเทกองขยะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ซึ่งย่อยสลายแตกตัวเป็นประเภททุติยภูมิและมีการเคลื่อนที่โดยกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ โดยพลาสติกส่วนใหญ่มาจากการใช้งานในชีวิตประจำวันเช่น กล่องของเล่นเด็ก เข็อก ถุงหิ้ว ขวดใส่เครื่องดื่ม รวมถึงซองบรรจุขนม ปลูกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล พลาสติกสำหรับใช้งานในทางการแพทย์หรือในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น โพลีโพรพิลีน เช่น ถุงร้อน ฝาขวดน้ำ ฉลากขวดน้ำ ถุงกระสอบ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ หรือท่อ PVC ในการขึ้นรูปหรือผลิตโดยโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ อาจมาจากการใช้เพื่อเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารถุงเย็น ฟิล์มยืด ใช้เป็นแผ่นฟิล์ม ทำบรรจุภัณฑ์โดยใช้ร่วมกับวัสดุอื่น โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง ผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก



ภาพประกอบ 20 องค์ประกอบของ MPs ที่ MPs ที่พบในน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบ
 เทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง W1: จุดน้ำเข้าระบบ
 W2: บ่อเติมอากาศ W3: บ่อตกตะกอน W4: จุดน้ำออกจากระบบ SS: ตัวอย่างกากตะกอน



ภาพประกอบ 21 กราฟสเปกตรัม จากเครื่อง FTIR ของ MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ และกากตะกอน อยู่ในช่วงคลื่นที่ $400-4000\text{ cm}^{-1}$

การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักบนไมโครพลาสติก

การศึกษาโลหะหนักบน MPs ทั้ง 5 จุด ด้วยเครื่อง ICP-OES โดยสร้างกราฟมาตรฐาน ระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน กับค่า Intensity โดยแกน X เป็น ค่า Intensity และแกน Y เป็น ค่าความเข้มข้นของปริมาณโลหะหนัก โดยมีค่า R square เท่ากับ 0.99 ในทุกพารามิเตอร์ของโลหะหนัก โดยทำการตรวจวัดโลหะหนักที่ปนเปื้อน 9 พารามิเตอร์ ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Huang et al.) โครเมียม (Cr) สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) และสารหนู (As) แสดงดังตาราง 16

ตาราง 16 ความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ในน้ำชะขยะและกากตะกอน

โลหะหนัก	จุดเก็บตัวอย่าง					Sig.(p<0.05)
	W1	W2	W3	W4	SS	
Zn	22.177±0.23	21.98±0.11	20.150±0.03	19.70±0.10	26.687±0.03	.000
Fe	0.532±0.01	0.116±0.01	0.013±0.01	0.007±0.00	1.760±0.01	.000
Cu	0.274±0.02	0.114±0.01	0.007±0.00	ND	0.175±0.01	.000
Ni	0.240±0.01	0.025±0.01	ND	ND	0.075±0.01	.000
Cr	0.264±0.01	0.053±0.15	ND	ND	0.170±0.14	.000
Mn	0.043±0.01	0.015±0.01	ND	ND	0.004±0.00	.000
Pb	0.050±0.02	0.023 ±0.01	ND	ND	0.012±0.00	.248
As	0.034±0.01	0.013±0.01	ND	ND	0.003±0.00	.000
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	-

ND = NOT Detected

ตาราง 16 ผลจากการศึกษาโลหะหนักบน MPs ทั้ง 5 จุด คือ จุดเก็บน้ำชะขยะก่อนเข้าระบบ (W1) จุดเก็บน้ำบ่อเติมอากาศ (W2) จุดเก็บน้ำบ่อตกตะกอน (W3) จุดเก็บน้ำก่อนปล่อยทิ้ง (W4) และจุดเก็บกากตะกอน (SS) โดยในการศึกษาปริมาณโลหะหนักบน MPs ในจุดเก็บตัวอย่างน้ำเข้าระบบ พบสังกะสีมีปริมาณโลหะหนักสูงสุด 22.177 ± 0.23 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก เท่ากับ 0.532 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และตรวจพบความเข้มข้นของสารหนูน้อยที่สุดเท่ากับ 0.043 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และไม่พบแคดเมียม จุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศ พบสังกะสี มีปริมาณโลหะหนัก คือ 21.98 ± 0.11 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก เท่ากับ 0.116 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร และไม่พบแคดเมียม จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อตกตะกอน พบสังกะสี มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด เท่ากับ 20.150 ± 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก 0.013 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ทองแดง เท่ากับ 0.007 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ไม่พบนิกเกิล โครเมียม แมงกานีส ตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม จุดเก็บตัวอย่างน้ำออกจากระบบ มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด คือ สังกะสี เท่ากับ 19.70 ± 0.10 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก เท่ากับ 0.007 ± 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่พบ ทองแดง นิกเกิล โครเมียม แมงกานีส ตะกั่ว สารหนู และแคดเมียม ในขณะที่ได้ทำการศึกษากปริมาณโลหะหนักบน MPs ในตัวอย่างกากตะกอน พบมากที่สุดคือ มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด คือ สังกะสี เท่ากับ 26.687 ± 0.03 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก เท่ากับ 1.760 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ทองแดง 0.175 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร โครเมียม เท่ากับ 0.170 ± 0.14 มิลลิกรัม/ลิตร นิกเกิล 0.075 ± 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร ตะกั่ว เท่ากับ 0.012 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร แมงกานีส เท่ากับ 0.004 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร และสารหนู เท่ากับ 0.003 ± 0.00 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากการศึกษานี้ไม่พบแคดเมียม ในกากตะกอน

จากตาราง 16 ตรวจพบความเข้มข้นสูงสุดของโลหะหนักอยู่ในจุดน้ำเข้าระบบและลดลงตามลำดับ แต่ในทางตรงกันข้ามโลหะหนักบน MPs ใน กากตะกอน มีปริมาณสูงเช่นกัน โดยสังกะสี และเหล็ก มีความเข้มข้นสูงเนื่องจากเป็นธาตุตามธรรมชาติที่สามารถพบได้อาหารและผักผลไม้ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs มีปริมาณลดลงหรือแตกต่างกันของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างคือ ปริมาณ MPs คุณสมบัติของ MPs เช่น พื้นผิว ขั้ว อายุ ชนิดของ MPs พอลิเมอร์ประเภทต่าง ๆ ของ MPs เป็นต้น จากการศึกษาของ Naqash, Prakash, Kapoor, and Singh (2020) พบว่า MPs ที่ผ่านกระบวนการฟูก่อน การสีก่อน และปฏิกิริยาไฟโตออกซิเดชัน เป็นเวลานานในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ จะทำให้พื้นผิวของ MPs มีประจุลบซึ่งมีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกของโลหะจากสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก

บน MPs ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างด้วย One-way ANOVA พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างทั้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .005 ยกเว้น ตะกั่ว จากงานวิจัยของ โทบุคตี ไอรดา (2021) ได้ศึกษาปริมาณโลหะหนักใน MPs จากบรรจุภัณฑ์อาหาร พบว่าใน MPs มีโลหะหนักปนเปื้อน โดย MPs ที่พบปริมาณโลหะหนักมากที่สุด ได้แก่ MPs จากโฟม รองลงมา ได้แก่ ขวดน้ำ และโลหะหนักที่พบมากที่สุดคือ สังกะสี รองลงมา ได้แก่ ทองแดง แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โลหะหนักที่พบบน MPs ส่วนใหญ่มาจากพลาสติก ที่ผ่านการแต่งเติมสารปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น พลาสติกที่มีการแต่งเติมสีส้นจะมีความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักที่มีอยู่ในตัวเองออกมาได้มากกว่าพลาสติกที่มีลักษณะใสแข็งและแน่นเหนียว สารเติมแต่งถูกใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกในกระบวนการผสมซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของเม็ดพลาสติกในระหว่างกระบวนการผลิต เช่น พิลเลอร์ส่งผลให้คุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลง มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เช่น ทนแรงกระแทก แรงอัด สารกันการเสื่อมสภาพ พลาสติกเป็นวัสดุที่มีการยึดโมเลกุลภายในเป็นสายโซ่ให้ติดกัน แต่เมื่อได้รับพลังงานกระตุ้น เช่น ความร้อน หรือ ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Kang & Geckeler, 2000) จะทำให้เกิดการแตกหักออกจากกันพลาสติกไฮเซอรัล สารดัดแปลงสมบัติเชิงกลของพลาสติก ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น อ่อนตัว เช่น พทาเลต และ สารหล่อลื่น เป็นต้น ซึ่งจากงานวิจัยของคุณ Sarkar et al. (2021) ได้ทำการศึกษากาเกิดขึ้นและการกำจัด MPs ที่เป็นพาหะของโลหะหนักในระบบพื้นที่ชุ่มน้ำบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณโลหะหนักที่เป็นพิษสูง สารหนู แคดเมียม โครเมียม ทองแดง และสังกะสี MPs ที่มี พอลิเอทิลีนเทเรพทาเลต และ พอลิเอทีน เป็นพลาสติก ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับค่า pH ของสารละลายภายนอก จากการศึกษาของ Khalid, Aqeel, Noman, Khan, and Akhter (2021) พบว่า การลดลงของโลหะหนักบน MPs อาจมาจากตกตะกอนด้วยสารเคมีหรือบ่อตกตะกอน การแลกเปลี่ยนไอออน การดูดซับการกรองเมมเบรน

การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

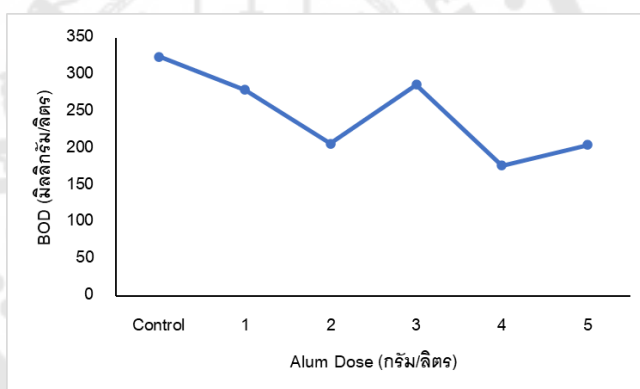
การทดลองการตกตะกอน (Jar test) ในสภาวะต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ ได้แก่ ชนิดของสารตกตะกอน ปริมาณสารส้ม และปริมาณพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ โดยค่า Optimum dose ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีเงื่อนไขความเร็วรอบวนเร็วที่ 100 รอบ/นาที และกวนช้าที่ 30 รอบ/นาที และทิ้งไว้ให้สารตกตะกอนเป็นเวลา 10 - 60 นาที เมื่อได้รับความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมแล้ว นำน้ำส่วนที่ใสเหนือตะกอนที่ได้จากการตะกอนมาทำการทดลอง ค่า BOD, COD, SS และ TDS ซึ่งแสดงดังตาราง 17 และ 18

ตาราง 17 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์โดยใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารเร่งการตกตะกอน

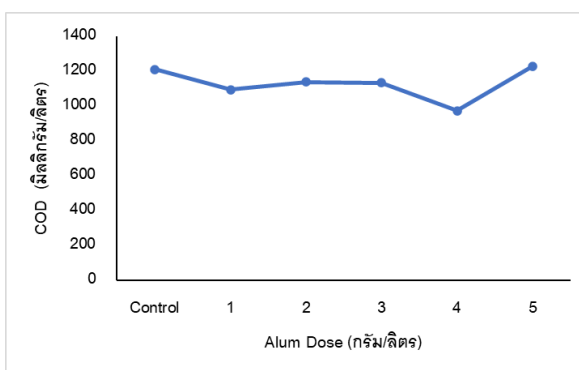
ปริมาณสารส้ม (กรัม/ลิตร)	BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	SS (มิลลิกรัม/ลิตร)	TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)
Control	152.50	721.00	965.83	8,420.00
1	280.00	1095.00	645.00	6,853.33
2	207.00	1138.00	670.00	6,183.33
3	287.00	1135.00	520.00	6,501.66
4	177.00	974.00	426.67	4,060.00
5	150.00	785.00	398.00	3,988.00

จากผลการวิเคราะห์ คุณลักษณะของน้ำชะขยะก่อนหน้าในบ่อเติมอากาศที่นำมาเป็น Control ในการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำชะขยะมีสีเข้ม และมีความขุ่น และมีการปนเปื้อนของน้ำที่เป็นของแข็ง (Solids in water) โดยพบปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS) ในน้ำ เท่ากับ 965.83 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) เท่ากับ 8,420 มิลลิกรัม/ลิตร ขณะเดียวกันค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สาร (BOD) เท่ากับ 152.50 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (COD) ในน้ำชะขยะยังมีค่าสูง เท่ากับ 721 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งบ่งชี้ให้ทราบว่าในตัวอย่างน้ำชะขยะมีสารอินทรีย์สูงมากเนื่องจาก น้ำชะขยะเป็นตัวกลางในการดูดซับสารอาหารและสารปนเปื้อนจากของเสียซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อแหล่งน้ำที่รองรับ ในน้ำชะขยะจะมีสารหลายชนิด ซึ่งน้ำชะขยะที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ เมื่อระยะเวลาผ่านไป จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะเริ่มย่อยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ให้ไปเป็นสารประกอบอนินทรีย์จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลชนิดและปริมาณในการตกตะกอนที่เหมาะสม โดยใช้ สารส้มและในการทดลองได้ปรับค่า pH ของตัวอย่างน้ำชะขยะให้อยู่ในค่า 6.25 โดยทำการปรับด้วย H_2SO_4 ในทุกปีเกอร์มันดิน ดัชนีทุลเวคน์ (2537) กล่าวว่า pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนของสารส้มควรอยู่ในช่วง 6-7 ได้ทำการเติมสารเร่งการตกตะกอนสารส้มลงในน้ำชะขยะในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม/ลิตร จากการศึกษาด้วยการตกตะกอนด้วยสารส้มที่ความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร ในตาราง 17 พบว่าในน้ำชะขยะที่ผ่านการตกตะกอนมีค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) เท่ากับ 150 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (COD) เท่ากับ 785 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) 3,988 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) 398

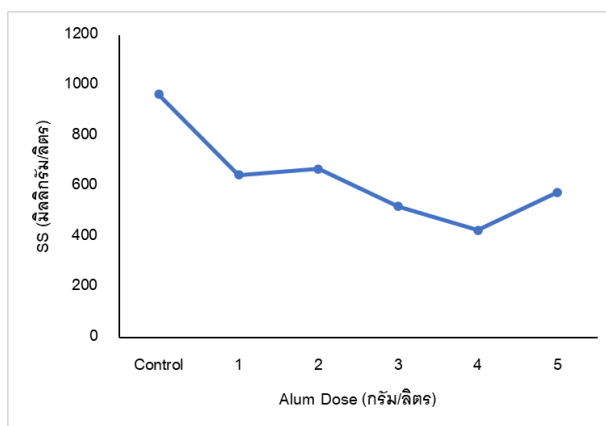
มีค่าลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปริญาสิริ โสสุริยะ (2549) ได้ทดลองบำบัดน้ำตัวอย่าง ด้วยสารตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้น 20, 50, 80, 110, 140 และ 170 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่าในน้ำที่ผ่านการตกตะกอนจะมีปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ของแข็งทั้งหมด และของแข็งระเหยได้ (TVS) ลดลงตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ ความขุ่น (Turbidity) โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการทดลองคือ 100 – 150 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสามารถลดความขุ่น จาก 1,539 NTU เหลือ 60 NTU และของแข็งแขวนลอย จาก 145 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือน้อยกว่า 35 มิลลิกรัม/ลิตร และทั้งสองคิดเป็นร้อยละการบำบัดได้มากกว่า 80 ทั้งนี้ของแข็งทั้งหมดและของแข็งระเหย ได้ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารละลายนั้นถูกบำบัดเพียงเล็กน้อยคือประมาณร้อยละ 12 และร้อยละ 25 เนื่องจากการตกตะกอนด้วยสารส้มไม่สามารถจับ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำให้ตกตะกอนได้ จึงยังคงมีสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำที่ไม่สามารถบำบัดโดยการตกตะกอน



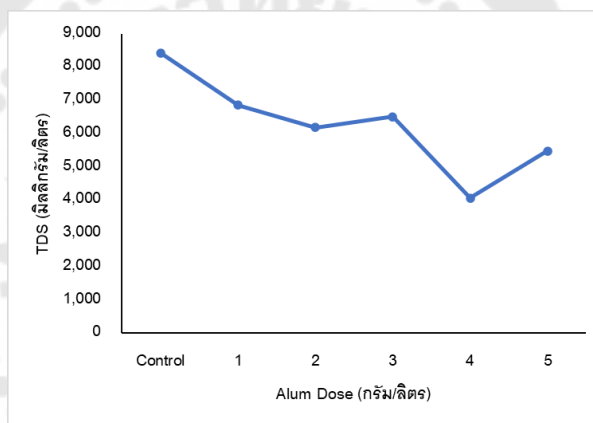
ภาพประกอบ 22 ค่า BOD ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารเร่งการตกตะกอน



ภาพประกอบ 23 ค่า COD ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum) เป็นสารเร่งการตกตะกอน



ภาพประกอบ 24 ค่า SS ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum)
เป็นสารเร่งการตกตะกอน

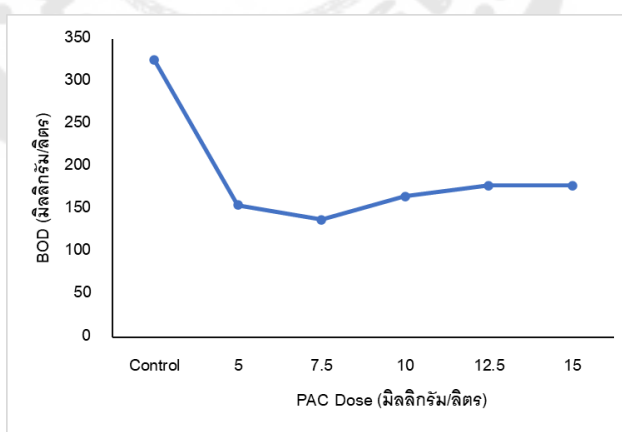


ภาพประกอบ 25 ค่า TDS ที่ผ่านการบำบัดในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารส้ม (Alum)
เป็นสารเร่งการตกตะกอน

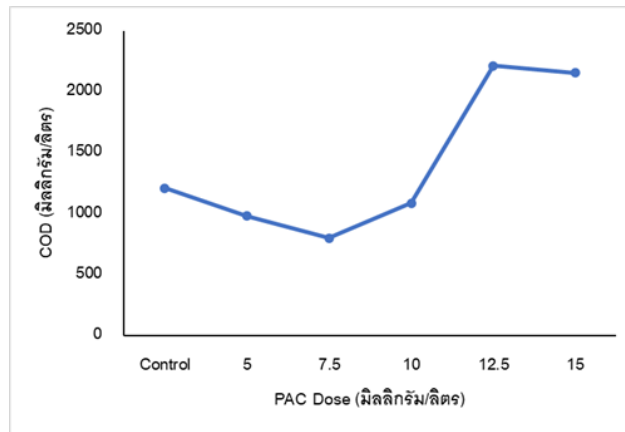
ตาราง 18 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์โดยใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน

ปริมาณ PAC (มิลลิกรัม/ลิตร)	BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)	SS (มิลลิกรัม/ลิตร)	TDS (มิลลิกรัม/ลิตร)
Control	325.00	1210.00	965.83	8420.00
5	155.00	982.00	782.00	6540.00
7.5	138.00	802.00	226.66	4210.00
10	165.00	1087.00	271.00	6670.00
12.5	178.00	2214.00	648.33	6913.00
15	178.00	2157.00	373.33	7275.00

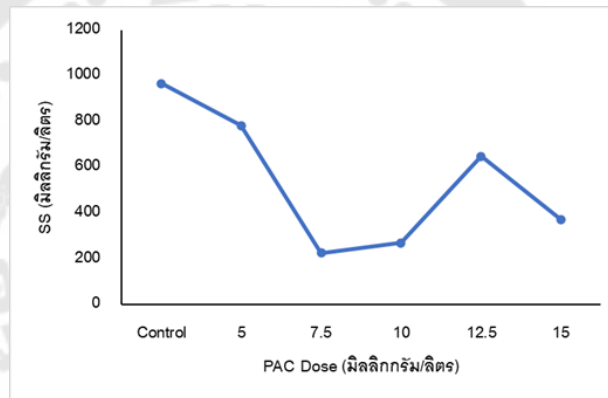
จากตาราง 18 ทดลองหาปริมาณสารละลายพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (PAC) จากการสู่มปริมาณสารที่ความเข้มข้น 5, 7.5, 10, 12.5, 15 จากผลการศึกษาโดยใช้สารเร่งการตกตะกอน พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ได้ทำการปรับค่า pH ให้เท่ากันในทุกบีกเกอร์ จากข้อมูลในตาราง เห็นได้ว่าคุณสมบัติของตัวอย่างน้ำชะขยะจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ ได้ค่า pH อยู่ในช่วง 6.25 ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) อยู่ในช่วง 145-178 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (COD) อยู่ในช่วง 886-2214 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) 4210-7275 มิลลิกรัม/ลิตร และพบปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำชะขยะ 226.66-648.33 มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยพบว่า จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ค่า pH จะลดลง ในขณะที่ค่า BOD COD SS และ TDS จะเพิ่มมากขึ้น กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ปริมาณความเข้มข้นใน 7.5 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ pH 6.25 มีค่า BOD เท่ากับ 145 ± 9.37 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่า COD เท่ากับ 886 ± 6.08 มิลลิกรัม/ลิตร TDS 4210 ± 3231.59 มิลลิกรัม/ลิตร SS 226.66 ± 132.79 มิลลิกรัม/ลิตร แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่าหากมีการใช้ปริมาณของพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์มากเกินไป จะเกิดปัญหาการตกค้างของพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ในรูปของอนุภาคแขวนลอยจะเกิดขึ้นได้ยากกว่าการใช้สารส้ม อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่ละลายน้ำได้ดี (กาญจนาภา, 2536)



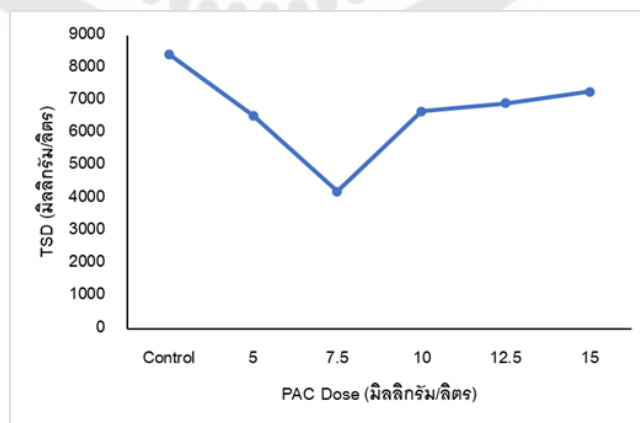
ภาพประกอบ 26 ค่า BOD ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน



ภาพประกอบ 27 ค่า COD ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้
พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน



ภาพประกอบ 28 ค่า SS ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้
พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน



ภาพประกอบ 29 ค่า TDS ที่ผ่านการบำบัด ในสภาวะที่เหมาะสมโดย
ใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เป็นสารเร่งการตกตะกอน

จากผลการศึกษาระงับการตกตะกอนทั้งสองตัวพบว่า ระดับของค่า pH ของตัวอย่างน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารสร้างตะกอน (Coagulant) แต่ละชนิด ดังนั้นในการเลือกที่ใช้สารในการสร้างตัวตะกอนชนิดใดนั้นจะต้องคำนึงถึงค่า pH ของน้ำการสร้างตะกอนแต่ละชนิดนั้น ต้องจัดสภาวะที่เหมาะสม จึงจะทำให้เกิดการตกตะกอนที่ดี เช่น สารส้ม (Alum) พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ (De Falco, #140) ช่วงที่ทำให้เกิดการสร้างตะกอนได้ดีควรอยู่ในช่วง pH 5-8 และความขุ่นในน้ำ ปริมาณอนุภาคคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์แขวนลอยจำนวนมากจะใช้สารสร้างในปริมาณจำนวนน้อยกว่า อีกทั้งยังตกตะกอนได้ดีกว่าเนื่องจากมีการสัมผัสมากกว่าน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยกว่า อุณหภูมิ เนื่องจากแปรผกผันกับค่าความหนืด คือ ถ้าอุณหภูมิลดลงจะทำให้ความหนืดเพิ่ม ซึ่งเมื่อความหนืดเกิดขึ้น จะไปเพิ่มความเสียดทาน ทำให้ฟล็อกตกตะกอนช้าลง การกวนก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยในช่วงแรกของกระบวนการจะต้องมีการกวนผสมที่จะสามารถทำให้เกิดการสร้างตะกอนกระจายอย่างทั่วถึง เพื่อให้มีโอกาสที่จะสัมผัสกับอนุภาคในน้ำ หลังจากนั้นจึงควรลดความเร็วในการกวน เพื่อให้อนุภาคต่าง ๆ สามารถจับตัวกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้ การศึกษาของ กศรินทร์ วรเดชวิทยา (2552) ที่ได้เปรียบเทียบสารโคแอกกูแลนต์ ได้แก่ Aluminum Chlorohydrate พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ และสารส้ม ร่วมกับโพลีเมอร์ พบว่า Aluminum Chlorohydrate และ พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ เหมาะสม มากกว่า สารส้ม โดยเปรียบเทียบถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ปริมาณการตกตะกอน และปริมาณตะกอนของอลูมิเนียม และจากการศึกษาพบว่าสารส้มมีการใช้สารเร่งตกตะกอนในปริมาณที่สูงกว่าสารเร่งตกตะกอนอีก 3 ชนิด พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ชนิดเหลวพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ชนิดความเป็นเบสสูง และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรต ใช้ความเข้มข้นในปริมาณน้อย แต่สารส้มต้องใช้ความเข้มข้นสูงกว่า ซึ่งเป็นผลจากกลไกหลักของการทำลายเสถียรภาพและการรวมตะกอนของสารตกตะกอนแต่ละชนิด โดยสารส้มมีกลไกหลักเป็นการห่อหุ้มอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น ซึ่งต้องใช้ปริมาณในการตกตะกอนสูงเพื่อที่จะไปเกาะทำให้อนุภาคคอลลอยด์ทำให้น้ำหนัก ปริมาณและขนาดที่เพิ่มขึ้น เพื่อที่จะสามารถทำให้เกิดตกตะกอนได้ ส่วนพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมคลอไรด์ไฮเดรตจะเข้าไปทำลายเสถียรภาพของอนุภาคด้วยกลไกการดูดติดผิว (Hongxiao, Xiao, & Wang, 2015)

การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนักผ่านเส้นทางการกสิกรรมจากดินบริเวณ
โดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี

การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในดินรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ

จากการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนัก จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม(Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ปรอท (Hg) และสารหนู (As) ในดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะจำนวน 6 จุดแสดงดัง ตาราง 19

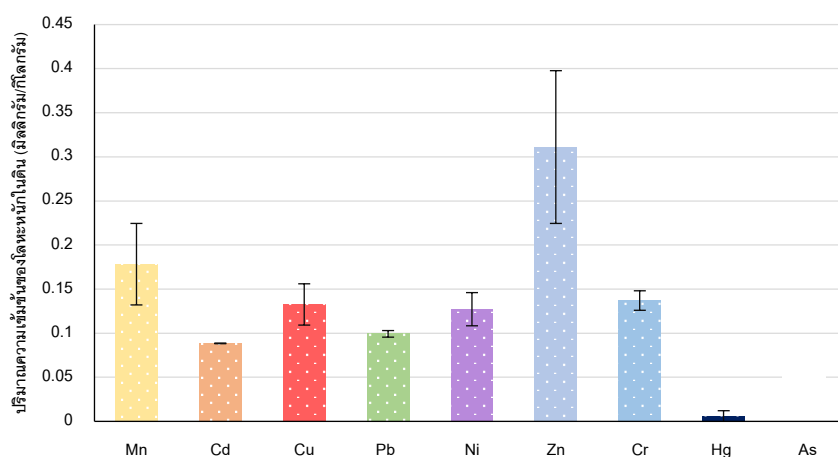
ตาราง 19 ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี

โลหะหนัก	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Mn	0.190	0.151	0.199	0.220	0.100	0.210
Cd	0.022	0.090	0.088	0.089	0.088	0.088
Cu	0.130	0.120	0.120	0.13	0.116	0.139
Pb	0.090	0.090	0.098	0.108	0.096	0.101
Ni	0.100	0.130	0.110	0.120	0.107	0.122
Zn	0.270	0.240	0.369	0.415	0.196	0.345
Cr	0.130	0.140	0.137	0.145	0.118	0.124
Hg	0.019	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002
As	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND = NOT Detected

จากการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนัก จำนวน 9 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม(Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) นิกเกิล (Ni) แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) ปรอท (Hg) และสารหนู (As) ในดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะจำนวน 6 จุด พบว่ามี การปนเปื้อนของตะกั่ว อยู่ในช่วง 0.09-0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดคือ 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) ความเข้มข้นของแคดเมียม อยู่ในช่วง 0.09-0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ กรมควบคุมมลพิษกำหนดคือ 800 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (USEPA, 2002) โครเมียม อยู่ในช่วง 0.12-0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด คือ 212 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) ทองแดง อยู่ในช่วง 0.12-0.18 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด คือ 35,040 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) นิกเกิล อยู่ในช่วง 0.11-0.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์ มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด คือ 5,205 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

แมงกานีส มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.10-0.22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด คือ 19,640 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) สังกะสี 0.20-0.42 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกาที่กำหนด คือ 23,600 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (USEPA, 2002) ปะลูบ อยู่ในช่วง 0.000-0.02 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด คือ 263 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) และตรวจไม่พบสารหนูในพื้นที่ดังกล่าว ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบมากหรือน้อยอาจขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ หรือสภาพอากาศ ปริมาณฝน ความชื้นในดิน ที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินโดยพบความเข้มข้นเฉลี่ยของทุกจุดตัวอย่าง 6 จุด พบว่ามีปริมาณโลหะหนัก แสดงดังภาพประกอบ 29 โดยโลหะหนักที่พบทั้ง 9 ชนิด มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด



ภาพประกอบ 29 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่พบในดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี

จากผลการศึกษาดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียมในตัวอย่างดินบริเวณที่ฝั่งกลบขยะ 5 แห่งรวม 10 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียม มีค่าระหว่าง 1.09-3.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.08-0.12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และจากการศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยและพื้นที่นาข้าวโดยรอบจังหวัดกาฬสินธุ์ ดินในพื้นที่ทิ้งขยะ พบว่ามีสอดคล้องกับงานวิจัยโดย แมงกานีสอยู่ระหว่าง 19.32-737.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ ยกเว้นปริมาณตะกั่วที่พบ

มีค่า $1,208.87 \pm 0.15$ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานกำหนด (Kanchak, Passago, Ponkham, & Trisupakitti, 2021) จากการศึกษาการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในดิน และน้ำรอบ ๆ บริเวณฝังกลบขยะมูลฝอย จ.สุพรรณบุรี พบว่าปริมาณตะกั่วและแคดเมียมในดินในช่วงฤดูแล้งมีการแพร่กระจาย สูงกว่าในช่วงฤดูฝน และพบเฉพาะดินบน เท่านั้น ส่วนดินล่างไม่พบการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของปริมาณตะกั่วและแคดเมียมจากบริเวณฝังกลบขยะมูลฝอย (อนุรัทธิพันธุ์, 2003) โดยปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักที่เกิดขึ้นในดินอาจมาจากการซึมผ่านของน้ำใต้ดินหรือน้ำที่มีความเข้มข้นสูงส่งผลให้มีการแพร่กระจายมายังดินบริเวณรอบ ๆ พื้นที่เทกอง จากการศึกษางานวิจัยของ (Ali, Pervaiz, Afzal, Hamid, & Yasmin, 2014) ได้ทำการศึกษาคุณภาพดินและพืชที่ปลูกบนกองขยะ และการปนเปื้อนจากขยะที่เทกองกลางแจ้ง (Open Dump) ลงสู่ดิน พบว่าบริเวณกองขยะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของดิน ทำให้มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของโลหะหนักลงสู่ดิน เนื่องจากขยะที่ถูกทิ้งแบบเทกองกลางแจ้งบนดินโดยตรงทำให้เกิดการปนเปื้อนจำนวนมาก โลหะหนักจะปนเปื้อนกับน้ำชะขยะและในที่สุดก็จะปนเปื้อนลงสู่ดิน

การศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการปนเปื้อนโลหะหนักในดินในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไปสู่การคาดการณ์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดินบริเวณพื้นที่เทกองขยะที่อาจเกิดจากน้ำชะขยะที่ผ่านการบำบัดที่นำมาหมุนเวียนใช้ในบริเวณพื้นที่โดยรอบเช่น การนำน้ำมารดน้ำต้นไม้หรือฉีดทำความสะอาดบริเวณรอบ ๆ โดยน้ำชะขยะอาจเกิดการปนเปื้อนหรือซึมผ่านสู่ชั้นดิน ส่งผลให้บริเวณโดยรอบที่มีการทำการเกษตรอาจได้รับการปนเปื้อนดังกล่าว ซึ่งการเปรียบเทียบความแตกต่างของการปนเปื้อนโลหะหนักในดินในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมาจากการวิเคราะห์ทางสถิติในการวิเคราะห์ ข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) ผลการศึกษาแสดงดังตาราง 20

ตาราง 20 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของการปนเปื้อนโลหะหนักในดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

		Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.
Mn	Between Groups	.032	5	.006	52417.678	.000
	Within Groups	.00	12	.000		
	Total	.032	17			
Cd	Between Groups	.000	5	.000	.029	.999
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.000	17			

ตาราง 20 (ต่อ)

		Sum of squares	df	Mean Square	F	Sig.
Cu	Between Groups	.008	5	.002	50161.685	.000
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.008	17			
Pb	Between Groups	.000	5	.000	133.813	.000
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.000	17			
Ni	Between Groups	.005	5	.001	110.817	.000
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.005	17			
Zn	Between Groups	.113	5	.023	244045.590	.000
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.113	17			
Cr	Between Groups	.002	5	.000	58.519	.000
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.002	17			
Hg	Between Groups	.001	5	.000	445.136	.000
	Within Groups	.000	12	.000		
	Total	.001	17			

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One-way ANOVA และจากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้น แคดเมียม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะขยะในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกัน คือ ปริมาณขยะ องค์ประกอบ และชนิดของขยะที่ถูกนำมาเทกองในบริเวณพื้นที่เทกองที่สภาวะต่าง ๆ

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากโลหะหนักในดิน

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากโลหะหนักในดิน บริเวณพื้นที่รอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี เป็นการประเมินโดยใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบปริมาณการปนเปื้อนโลหะหนักจำนวน 9 ชนิด และผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัส ใน

การศึกษานี้ เป็นการประเมินเฉพาะการรับสัมผัสของผู้ใหญ่เท่านั้น ซึ่งค่าสัดส่วนความเสี่ยงในดิน จะแสดงในรูปแบบ Hazard Quotient: HQ และค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง แสดงดังตาราง 21

ตาราง 21 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากโลหะหนักในดิน

พารามิเตอร์	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
แมงกานีส (Mn)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	2.547E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00000
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
แคดเมียม (Cd)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.2642E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00002
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
ทองแดง (Cu)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.89452E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00003
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
ตะกั่ว (Pb)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.41786E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.000004
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
นิกเกิล (Ni)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.81738E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00000
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
สังกะสี (Zn)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	4.44E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00000
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
โครเมียม (Cr)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	1.96E-08
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00000
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง

ตาราง 21 (ต่อ)

พารามิเตอร์	ปัจจัยการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ	ผลการวิเคราะห์
ปรอท (Hg)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	7.44E-10
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.00002
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	-
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง
สารหนู (As)	ปริมาณโลหะหนักที่ร่างกายได้รับจากดิน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	0.0000
	ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)	0.0000
	ค่าความเสี่ยงในการเกิดมะเร็ง	0.0000
	ค่าความเสี่ยงจากการสัมผัส	ไม่มีความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากการได้รับโลหะหนัก ในดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ ผลการศึกษาพบว่า แมงกานีส มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 2.55×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน แคดเมียม มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 1.26×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ทองแดง มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 1.90×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน การปนเปื้อนของ ตะกั่ว มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 1.42×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน นิกเกิล มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 1.82×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน สังกะสี มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 4.44×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน โคโรเนียม มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 1.96×10^{-8} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน ปรอท มีค่าการเข้าสู่ร่างกายทางการรับประทานเท่ากับ 7.44×10^{-10} มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน และไม่พบสารหนูสำหรับโลหะหนักที่ได้ทำการศึกษาทั้ง 9 ชนิด จากการรายงานตาม รายงานของ US-EPS (2011) พบว่ามีโลหะหนักเพียงชนิดเดียวที่เป็นสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารหนู (As) ส่วนโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ตะกั่ว แคดเมียม โคโรเนียม ทองแดง นิกเกิล แมงกานีส สังกะสี ปรอท และสารหนู ไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็ง เนื่องจากไม่พบค่า Slope Factor (Heiderscheidt et al.) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ระบุค่าความเป็นพิษที่ใช้ในการประเมินความเป็นพิษของสารก่อมะเร็ง ดังตาราง 6 จากผลการศึกษาความเข้มข้นโลหะหนักที่ตรวจพบในดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ ตรวจไม่พบค่าสารหนู (As) แต่พบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักตัวอื่น ๆ ซึ่งไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้นจึงประเมินได้ว่า ไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับโลหะหนักจากการกลืนกินดินในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ผลการประเมินความเสี่ยงแสดงให้เห็นว่า หากได้รับปริมาณโลหะหนักผ่าน

การสัมผัสทางการกลืนกินตลอดอายุขัยหรือในระยะเวลาสั้นในสถานที่นั้น ๆ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น การรับสัมผัสสารหนูเป็นเวลานาน ๆ จะส่งผลเป็นพิษต่อสมอง ไต ระบบทางเดินอาหาร ระบบเลือดและยังขัดขวางการสร้างวิตามินดี ทำให้เด็กเติบโตช้าและอาจเกิดภาวะที่มีระดับสติปัญญาต่ำหรือต่ำกว่าปกติ (อนามัย เทศกะทีก, 2552) นิกเกิล เมื่อเข้าไปสู่อวัยวะแล้วจะเกิดการสะสมที่ปอดและต่อมน้ำเหลืองเป็นส่วนใหญ่ จากนั้นจะกระจายไปอวัยวะอื่น ๆ ผ่านกระแสเลือด อีกทั้งยังก่อให้เกิดโรกระบบทางเดินอาหาร โรคมะเร็งปอด ก่อให้เกิดอาการวิงเวียนและไอ (วิซชากร จารุศิริ, 2561) โครเมียม มีความเป็นพิษสูงมาก ถ้ามีโครเมียมในร่างกายนานจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อตับ ไต (วิซชากร จารุศิริ, 2561) แคดเมียม ทำให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง ปวดกระดูกสันหลัง ซึ่งจะทำให้ไตพิการได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่าโรคอิไต-อิไต การได้รับแคดเมียมจำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ แต่ส่วนใหญ่โรคที่เกิดจากแคดเมียมมักเป็นชนิดเรื้อรัง (อนามัย เทศกะทีก, 2552) และในพื้นที่ศึกษา มีค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตรายของสารไม่ก่อมะเร็ง (Hazard Quotient: HQ) น้อยกว่า 0.1 แสดงถึงการไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสดินในพื้นที่ศึกษา โดยสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพหากมีการสัมผัสดินในพื้นที่ศึกษาที่มีการปนเปื้อนของตะกั่ว เท่ากับ 4.05×10^{-6} แคดเมียม 2.53×10^{-5} โครเมียม 1.31×10^{-8} ทองแดง 3.78×10^{-6} นิกเกิล 9.09×10^{-7} แมงกานีส 1.82×10^{-7} สังกะสี 1.48×10^{-7} พรอท 2.48×10^{-5} และสารหนู 1.65×10^{-5} จากการศึกษาสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะทั้งหมดพบว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสที่มีอันตรายต่อสุขภาพ จากผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพสอดคล้องกับการศึกษาของคุณ สิริพงษ์ สูดางาม (2561) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากโลหะหนักในดินบริเวณที่มีการฝังกลบขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาลกรณีศึกษาภาคใต้ตอนกลาง ประเทศไทย พบว่ามีระดับการปนเปื้อนไม่เกินค่ามาตรฐานที่องค์กรต่าง ๆ ได้กำหนดไว้ จากการคำนวณค่า HQ พบว่าค่า HQ มีค่าน้อยกว่า 1 โดยตะกั่วจากการบริโภคดินบริเวณที่ฝังกลบมีสัดส่วนความเสี่ยงต่อสุขภาพเท่ากับ 4.36×10^{-7} และแคดเมียม 5.93×10^{-5} คาดว่าจะไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสารโลหะหนักที่ปนเปื้อนในตัวกลางสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ฝังกลบขยะแบบถูกหลักสุขาภิบาลในพื้นที่ที่ทำการศึกษาดังกล่าว และสอดคล้องกับ ผลการประเมินความเสี่ยงการสัมผัส พบว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสที่มีอันตรายต่อสุขภาพ ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม นิกเกิล แมงกานีส โครเมียม สารหนู มีค่าสัดส่วนความเสี่ยงเท่ากับ 0.1 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.02 และ 0.0 ตามลำดับ จากการประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสการปนเปื้อนโลหะหนักในดินจาก

การคัดแยกซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ในจังหวัดบุรีรัมย์ (Nattapong Boonchum, Witchakorn Charusiri, Naphat Phowan, & Chukiad Chantarot, 2021)

แม้ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนักในดิน บริเวณพื้นที่เทกองขยะ จะอยู่ในระดับที่ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ แต่ก็ควรมีการเฝ้าระวังการสะสมของโลหะหนักที่อาจเพิ่มขึ้นได้จากการใช้ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในทุกวัน และไม่มีการคัดแยกขยะอย่างต่อเนื่อง เพราะอันตรายจากโลหะหนักอาจเกิดการสะสมในร่างกายในระยะยาว ซึ่งลักษณะของอาการที่เกิดขึ้นกับร่างกายขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนัก เช่นการสะสมของตะกั่วในร่างกาย จะสามารถทำลายอวัยวะได้โดยการไปจับกับเม็ดเลือดแดงและแพร่ไปตามเนื้อเยื่อในร่างกาย (Tiwari, Tripathi, & Tiwari, 2013) และความเป็นพิษของสังกะสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปสะสมที่บริเวณตับและไต จนทำลายอวัยวะ ไตทำงานล้มเหลว โลหิตจาง และเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง (Huang et al., 2017) เมื่อมีการสะสมของปรอทมากขึ้น อาจทำให้มีภาวะผิดปกติทางร่างกายในระบบต่าง ๆ เช่น ระบบประสาท ไต และลำไส้ถูกทำลาย เนื้อเยื่อในช่องปากเน่า เศร้าซึม ความจำเสื่อม ง่วงเหงา และปวดอึกเสบ พบโรคสำคัญอีกโรคหนึ่งที่เกิดจากการได้รับปรอทเป็นระยะเวลานาน คือ โรคมินามาตะ (Clifton, 2007) ถ้าได้รับทองแดงในปริมาณมาก ทำให้เนื้อเยื่อจุกอึกเสบ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง และเมื่อร่างกายได้รับสารแมงกานีสเข้าไปในปริมาณที่มากพอเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยการรับประทานอาหารและการดื่มน้ำที่มีแมงกานีสเจือปนอยู่ด้วย ทำให้เกิดอาการกระดูกและบางครั้งมีอาการเป็นอัมพาตของร่างกายบางส่วน เป็นต้น การจัดการขยะภายในบริเวณพื้นที่เทกองขยะ พบว่าไม่มีการคัดแยกขยะอันตรายออกจากขยะประเภทอื่น ๆ ไม่มีการจัดการขยะอันตรายที่ถูกต้อง ดังนั้น ขยะอันตรายที่นำมากำจัดยังบริเวณเทกอง อาจเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในดิน จากขยะประเภทบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็น กระป๋อง อุปกรณ์ไฟฟ้า สายไฟฟ้า สายเคเบิล แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามควรมีการติดตาม เฝ้าระวังคัดระวัง ตรวจสอบการปนเปื้อนของโลหะหนักในดินอย่างสม่ำเสมอ และควรมีการจัดการขยะประเภทอันตรายอย่างเหมาะสมและถูกวิธีเพื่อป้องกันไม่ให้โลหะหนักจากขยะเหล่านี้เกิดการปนเปื้อนลงสู่สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสผิวดิน บริเวณโดยรอบพื้นที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำชะขยะทางกายภาพ ทางเคมี และศึกษาปริมาณ ลักษณะสัณฐานวิทยาของ MPs ประกอบด้วย สี ชนิด และองค์ประกอบของพลาสติก และศึกษากระบวนการโคแอกกูเลชันในระบบบำบัดน้ำชะ รวมถึงการศึกษาปริมาณการสะสมของโลหะหนักบน MPs และโลหะหนักในดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ เพื่อนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสผิวดินผ่านเส้นทางการกลืนกิน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

การวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทางกายภาพและเคมีในน้ำชะขยะ

การศึกษานี้ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัด MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกองกลางแจ้ง จังหวัดปทุมธานี ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิของน้ำชะขยะที่ตรวจพบอยู่ที่ 33.2-35.30 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วงระหว่าง 6.45-7.07 และมีค่าการนำไฟฟ้า(EC) อยู่ในช่วง 1,451-2,847 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) อยู่ในช่วง 0.13-3.79 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สาร (BOD) อยู่ในช่วง 152.5-353.06 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำโดยวิธีการใช้สารเคมีย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD) อยู่ในช่วง 411.66-1420 มิลลิกรัม/ลิตร ในส่วนของน้ำที่เป็นของแข็ง (Solids in water) พบปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (SS) อยู่ในช่วง 271.66-965.83 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) อยู่ในช่วง 7,617.77-8,733.33 มิลลิกรัม/ลิตร ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของน้ำชะขยะ ทั้ง 4 จุด อุณหภูมิและค่า pH ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำยกเว้น DO, BOD, COD, EC, SS และ TDS ซึ่งพบว่ามีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเรื่องการกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน อุตสาหกรรม นิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม ตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป ลงวันที่ 29 มีนาคม 2560

การวิเคราะห์ปริมาณ ลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครพลาสติก

1. ปริมาณ MPs จากน้ำชะขยะและกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ พบ MPs ในน้ำชะขยะ 4 จุดและกากตะกอน 1 จุด โดยพบปริมาณ MPs ในกากตะกอน(SS) มากที่สุด จำนวน 65 ± 3 ชิ้น/กิโลกรัม รองลงมาคือ จุดน้ำเข้าระบบ (W1) 49 ± 1 ชิ้น/ลิตร บ่อเติมอากาศ (W2) 32 ± 4 ชิ้น/ลิตร และบ่อตกตะกอน (W3) 24 ± 1 ชิ้น/ลิตร และจุดน้ำปล่อยออกจากระบบ (W4) 11 ± 5 ชิ้น/ลิตร ตามลำดับ

2. ขนาดของ MPs การศึกษานี้ตัวอย่างทั้งหมดถูกแยกออกเป็น 5 ช่วงขนาด โดยแบ่งเป็น MPs ขนาดมากกว่า 500 ไมโครเมตร MPs ขนาด 200–500 ไมโครเมตร MPs ขนาด 100-200 ไมโครเมตร MPs ขนาด 20-100 ไมโครเมตร และ MPs ขนาดน้อยกว่า 20 ไมโครเมตร ผลการศึกษาขนาดของ MPs ในตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอน พบ MPs ในช่วงขนาด 20-100 ไมโครเมตร มากที่สุด รองลงมาคือ MPs ขนาด < 20 ไมโครเมตร MPs ขนาด > 500 ไมโครเมตร MPs ขนาด 200-500 ไมโครเมตร และพบ MPs ขนาด 100-200 ไมโครเมตร น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 39.77, 28.72, 13.25, 11.60 และ 6.62 ตามลำดับ

3. ชนิดของ MPs ซึ่งจำแนกตามรูปร่างและลักษณะที่พบแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ เส้นใย (Fiber) ชิ้นส่วนแตกหัก (Fragment) ทรงกลม (Pellets) เกล็ด (Flake) และแผ่นฟิล์ม (Film) จากการศึกษาพบว่าชนิดของ MPs ที่พบส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนไม่มีรูปแบบ (Fragment) พบมากที่สุดทั้งในตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอน รองลงมาคือ แบบเส้นใย (Fiber) ทรงกลม (Pellets) แผ่นฟิล์ม (Film) และพบปริมาณของ MPs แบบเกล็ด (Flake) น้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 30.38, 23.20, 21.54, 12.70 และ 12.15 ตามลำดับ

4. สีของ MPs ในแต่ละจุดอาจมีสีที่แตกต่างกันตามชนิด ประเภท และแหล่งที่มาของขยะพลาสติก ผลการศึกษาในจุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะแต่ละจุดและกากตะกอน ตรวจพบสีของ MPs ทั้งหมด 9 สี ได้แก่ สีใส สีแดง สีนํ้าเงิน สีดำ สีชมพู สีขาว สีนํ้าตาล สีเขียว และสีอื่น ๆ โดยพบ สีใสมากที่สุดในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอน รองลงมา คือ สีนํ้าเงิน สีดำ สีขาว สีแดง สีเขียว สีชมพู สีนํ้าตาล และสีอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 22.65, 15.46, 14.17, 14.17, 9.94, 7.18, 6.62, 4.97 และ 3.31 ตามลำดับ

5. องค์ประกอบของพลาสติก ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) จากตัวอย่างน้ำชะขยะในแต่ละจุดและตัวอย่างกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ พบชนิดองค์ประกอบพลาสติก 8 ชนิด โดยพบ พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) มากที่สุด รองลงมาคือ พอลิเอสเทอร์ (Polyester: PES) พอลิโพรพิลีน

(Polypropylene: PP) พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly vinyl chloride: PVC) พอลิเอไมด์ (Poly amide: PA) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene: LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene: HDPE) ตามลำดับ

6. ประสิทธิภาพในการกำจัด MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ พบว่าน้ำเข้าสู่ระบบถึงบ่อเติมอากาศมีประสิทธิภาพในการกำจัด MPs 34.69% บ่อเติมอากาศถึงบ่อตกตะกอนมีประสิทธิภาพในการกำจัด MPs 25% บ่อตกตะกอนถึงจุดน้ำออกจากระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด MPs 54.26% ประสิทธิภาพในการกำจัด MPs โดยรวมในระบบบำบัด คือ 77.55%

การศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักบนไมโครพลาสติก

ปริมาณโลหะหนักบน MPs ที่พบมากที่สุดคือ สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) และสารหนู (As) ตามลำดับ ไม่พบแคดเมียม (Cd) ทั้งในตัวอย่างน้ำชะขยะและกากตะกอน ความเข้มข้นของโลหะหนักบน MPs ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .005 ยกเว้น ตะกั่ว (Pb) การศึกษาปริมาณโลหะหนักบน MPs ในจุดเก็บตัวอย่างน้ำเข้าสู่ระบบ พบ สังกะสี มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด 22.177 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก และพบสารหนู น้อยที่สุด และไม่พบแคดเมียม จุดเก็บตัวอย่างบ่อเติมอากาศ พบสังกะสี มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด คือ 21.98 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก และไม่พบแคดเมียม จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อตกตะกอน พบสังกะสี มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด เท่ากับ 20.150 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก ทองแดง ตามลำดับ ไม่พบโครเมียม แมงกานีส นิกเกิล สารหนู ตะกั่ว และแคดเมียม จุดเก็บตัวอย่างน้ำออกจากระบบ มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด คือ สังกะสี เท่ากับ 19.70 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก ไม่พบ นิกเกิล แมงกานีส ทองแดง สารหนู เหล็ก และแคดเมียม ในขณะที่ได้ทำการศึกษาปริมาณโลหะหนักบน MPs ในตัวอย่างกากตะกอน พบมากที่สุดคือ มีปริมาณโลหะหนักเข้มข้นสูงสุด คือ สังกะสี เท่ากับ 26.687 มิลลิกรัม/ลิตร รองลงมาคือ เหล็ก ทองแดง โครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว และสารหนู ตามลำดับ จากการศึกษาไม่พบแคดเมียม ในกากตะกอน

การศึกษาชนิดและปริมาณที่เหมาะสมในกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการศึกษาการบำบัดน้ำชะขยะโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ด้วย Jar test โดยใช้สารสร้างตะกอน 2 ชนิดคือ สารส้ม และพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ พบว่า การใช้สารส้มที่ความเข้มข้น 4 กรัม/ลิตร ควบคุมค่า pH 6.25 มีประสิทธิภาพในการบำบัด ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) เท่ากับ 177 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (COD) เท่ากับ 974 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) 4060 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) 426.67 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนพอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ ที่ใช้ความเข้มข้น 7.5 มิลลิกรัม/ลิตร ควบคุม pH 6.25 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้สูงกว่าการใช้สารส้มเล็กน้อย คือ มีค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (BOD) เท่ากับ 145 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายอินทรีย์สารที่มีอยู่ในน้ำ (COD) เท่ากับ 886 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (TDS) 4210 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) 271 มิลลิกรัม/ลิตร

ผลจากการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบสารสร้างตะกอนทั้งสองตัวแล้ว สามารถสรุปได้ว่า พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ มีความเหมาะสมเป็น สารสร้างตะกอนมากที่สุดที่ ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 6.25 สามารถบำบัด BOD, COD, SS, TDS ได้ร้อยละ 55.38, 26.77, 76.53 และ 50 ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบค่านวนค่าใช้จ่ายถึงแม้ว่าการใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์จะมีค่าใช้จ่ายดำเนินการที่ค่อนข้างสูง แต่สามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม มีราคาที่ถูกกว่าแต่ต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าและอาจมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นมา และการใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนมากกว่า ในกรณีที่ไม่สามารถใช้พอลิอะลูมิเนียมคลอไรด์ หากมีงบประมาณไม่เพียงพออาจจะเลือกใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยสารส้ม ร่วมด้วยได้เช่นเดียวกัน

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนักในดินบริเวณพื้นที่เทกองขยะ

จากผลการศึกษาการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก จากดินโดยรอบบริเวณพื้นที่เทกองขยะ จังหวัดปทุมธานี โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES ตรวจพบว่ามีการปนเปื้อนของโลหะหนักปริมาณมากไปน้อยเรียงลำดับได้ดังนี้ สังกะสี แมงกานีส โครเมียม ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว แคดเมียม พรอทและ สารหนูตามลำดับ ซึ่งการปนเปื้อนโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด จากผลการศึกษาความเข้มข้นโลหะหนักที่ตรวจพบในดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ ตรวจไม่พบค่าสารหนู แต่พบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก

ตัวอื่น ๆ ซึ่งไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้นจึงประเมินได้ว่า ไม่พบความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งจากการได้รับโลหะหนักจากการกลืนกินดินในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว โดยเรียงลำดับสัดส่วนความเสี่ยงของโลหะหนักแต่ละชนิดจากความเสี่ยงสูงไปความเสี่ยงต่ำ ดังนี้ แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว ทองแดง นิกเกิล แมงกานีส สังกะสี โครเมียม และสารหนู ตามลำดับ แม้ว่าผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสโลหะหนักในดินบริเวณโดยรอบพื้นที่เทกองขยะ จะอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ แต่ก็ยังพบการตกค้างสะสมของโลหะหนักในดินในพื้นที่ศึกษา หากมีการสะสมในปริมาณมากพออาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ จากการศึกษาครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่าไม่ว่าจะเป็นการปนเปื้อนของ MPs ในระบบบำบัดน้ำชะขยะ และโลหะหนักในดิน บริเวณเทกองขยะที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลมีความเป็นพิษและมีความอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะ

1. ปัจจัยภายนอก การเก็บ MPs ในแต่ละช่วงและปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ ปริมาณน้ำฝน ปริมาณความเข้มข้นของน้ำชะขยะในแต่ละฤดู อาจทำให้ปริมาณ MPs ที่ตรวจพบมีความแปรปรวนได้
2. ควรมีการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในตัวอย่างน้ำชะขยะเพิ่มเติม เพื่อจะได้เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่าง โลหะหนักที่เกิดขึ้นจากน้ำชะขยะกับโลหะหนักที่เกิดขึ้นบน MPs
3. ควรศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนของ โดยเปลี่ยนสารตกตะกอนเป็นชนิดอื่น หรือเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารตกตะกอนให้มากขึ้น
4. ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ควรส่งเสริมให้คนในชุมชนมีการคัดแยกขยะตั้งแต่ต้นทาง เริ่มจากในระดับครัวเรือน โดยเฉพาะขยะพลาสติก ขยะอันตรายและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของสารมลพิษต่าง ๆ
5. ควรมีการเฝ้าระวัง วางแผนฟื้นฟูให้ถูกหลักสุขาภิบาล พร้อมทั้งมีเทคนิคและวิธีในการบำบัดน้ำชะขยะที่ถูกต้อง เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นว่าน้ำชะขยะที่ออกจากระบบบำบัดซึ่งอาจดูดซึมไปสู่ผิวดินที่อยู่บริเวณพื้นที่เทกองขยะจะไม่มีการแพร่กระจายมลสาร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม

บรรณานุกรม

- Ali, S. M., Pervaiz, A., Afzal, B., Hamid, N., & Yasmin, A. (2014). Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. *Journal of King Saud University-Science*, 26(1), 59-65.
- Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., & Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189-195.
- Clifton, J. (2007). Mercury Exposure and Public Health. *Pediatric clinics of North America*, 54, 237-269.
- De Falco, F., Di Pace, E., Avella, M., Gentile, G., Errico, M. E., Krzan, A., . . . Cocca, M. (2021). Development and Performance Evaluation of a Filtration System for Washing Machines to Reduce Microfiber Release in Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 232(10), 406.
- GESAMP. (2015). SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: A GLOBAL ASSESSMENT. *GESAMP REPORTS & STUDIES MICROPLASTICS IN THE OCEAN* (90), 96.
- Goh, P., Pradit, S., Towatana, P., Khokkiatiwong, S., Kongket, B., & Hwei, Z. (2021). Microplastic Abundance in Blood Cockles and Shrimps from Fishery Market, Songkhla Province, Southern Thailand. *Sains Malaysiana*, 50, 2899-2911.
- Gupta, P. K. (2016). Chapter 18 - Toxic effects of metals P. K. Gupta *Fundamentals of Toxicology* (pp. 203-213): Academic Press.
- Haerul, H., & Tae-Gwan, L. (2019). A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 696-702.
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., & Lü, F. (2019). Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Research*, 159, 38-45.

- Heiderscheidt, E., Tesfamariam, A., Pulkkinen, J., Vielma, J., & Ronkanen, A.-K. (2020). Solids management in freshwater-recirculating aquaculture systems: Effectivity of inorganic and organic coagulants and the impact of operating parameters. *Science of The Total Environment*, 742, 140398.
- Hongprasith, N., Kittimethawong, C., Lertluksanaporn, R., Eamchotchawalit, T., Kittipongvises, S., & Lohwacharin, J. (2020). IR microspectroscopic identification of microplastics in municipal wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18557-18564.
- Hongxiao, T., Xiao, F., & Wang, D. (2015). Speciation, stability, and coagulation mechanisms of hydroxyl aluminum clusters formed by PACl and alum: A critical review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 226, 78-85.
- Huang, S., Yuan, C., Li, Q., Yang, Y., Tang, C., Ouyang, K., & Wang, B. (2017). Distribution and risk assessment of heavy metals in soils from a typical Pb-Zn mining area. *Pol J Environ Stud*, 26(3), 1105-1112.
- Kanchak, A., Passago, S., Ponkham, P., & Trisupakitti, S. (2021). Heavy Metal Contamination of Soil at Waste Disposal Site and Surrounding Paddy Field Area in Khok Sa-At Subdistrict Administrative Organization, Khong Chai District, Kalasin Province. *Burapha Science Journal*, 26(1), 610-627.
- Katekanya, T., & Sandhya, B. (2021). Microplastic contamination in a conventional wastewater treatment plant in Thailand. *Waste Management & Research*, 39(5), 754–761.
- Kitay, J. (1994). Book Reviews : Robert Clark (1992) Human Resources Management: Framework and Practice (2nd edn) Sydney: McGraw-Hill, xvi+504 pp, \$47.95. *Asia Pacific Journal of Human Resources*, 32(1), 110-111.
- Koehler, A., Anderson, A., Andrady, A., Arthur, C., Baker, J., Bouwman, H., . . . Wyles, K. (2015). *SOURCES, FATE AND EFFECTS OF MICROPLASTICS IN THE MARINE ENVIRONMENT: A GLOBAL ASSESSMENT*.

- Kofi Asante-Duah. (2002). *Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals*. Kluwer Academic: Netherland.
- Li, X., Chen, L., Mei, Q., Dong, B., Dai, X., Ding, G., & Zeng, E. Y. (2018). Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China. *Water Research*, 142, 75-85.
- Lina, F. (2021). Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 112207.
- Lormpong, S., Miyashita, K., Morioka, I., Chaikittiporn, C., Miyai, N., & Yamamoto, H. (2003). Lead Exposure and Blood Lead Level of Workers in a Battery Manufacturing Plant in Thailand. *Industrial health*, 41, 348-353.
- Morrow, J. J., & Rausch, E. G. (1974). Colloid Destabilization With Cationic Polyelectrolytes as Affected by Velocity Gradients. *Journal AWWA*, 66(11), 646-653.
- Nattapong Boonchum, Witchakorn Charusiri, Naphat Phowan, & Chukiad Chantarot. (2021). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝัสดโลหะหนักปนเปื้อนในดิน ของผู้ประกอบการร้านรับซื้อและคัดแยกซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ในพื้นที่ ตำบลแดงใหญ่ อำเภอบ้านใหม่ไชยพจน์ จังหวัดบุรีรัมย์ *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 17(2), 60-81.
- Plastics Europe. (2018). *An analysis of European plastics production, demand and waste data*.
- Purwiyanto, A. I. S., Suteja, Y., Trisno, Ningrum, P. S., Putri, W. A. E., Rozirwan, . . . Koropitan, A. F. (2020). Concentration and adsorption of Pb and Cu in microplastics: Case study in aquatic environment. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111380.
- Rajala, K., Grönfors, O., Hesampour, M., & Mikola, A. (2020). Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals. *Water Res*, 183, 116045.
- Ronald, A., Happé, F., Bolton, P., Butcher, L. M., Price, T. S., Wheelwright, S., . . . Plomin, R. (2006). Genetic heterogeneity between the three components of the autism spectrum: a twin study. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry*, 45(6), 691-699.

- Ta, A. T., & Babel, S. (2020). Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Chao Phraya River Estuary, Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111747.
- 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 Res*, 123, 401-407.
- Thompson, R. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838-838.
- Tiwari, S., Tripathi, I., & Tiwari, H. (2013). Effects of Lead on Environment. 2278-9359.
- Trzcinka-Ochocka, M., Gazewski, A., & Kuras, R. (2007). Exposure to Mercury Vapors in Dental Workers in Poland. *International journal of occupational medicine and environmental health*, 20, 147-153.
- USEPA, M. (2002). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. *United States Environ. Prot. Agency*, 12, 1-187.
- Viraraghavan, & Wimpey, (1988). *Polyaluminium chloride as an alternative to alum coagulation: a case study* In: *Proceedings of Canadian society of civil engineers annual conference*. In (pp. 480-498).
- Xu, W., Gao, B., Wang, Y., Yue, Q., & Ren, H. (2012). Effect of second coagulant addition on coagulation efficiency, floc properties and residual Al for humic acid treatment by Al₁₃ polymer and polyaluminum chloride (PACl). *J Hazard Mater*, 215-216, 129-137.
- Yang, S., He, M., Zhi, Y., Chang, S. X., Gu, B., Liu, X., & Xu, J. (2019). An integrated analysis on source-exposure risk of heavy metals in agricultural soils near intense electronic waste recycling activities. *Environment International*, 133, 105239.
- Zhang, G. S., & Liu, Y. F. (2018). The distribution of microplastics in soil aggregate fractions in southwestern China. *Sci Total Environ*, 642, 12-20.
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118.

Zhang, Z., Su, Y., Zhu, J., Shi, J., Huang, H., & Xie, B. (2021). Distribution and removal characteristics of microplastics in different processes of the leachate treatment system. *Waste Management*, 120, 240-247.

กรมควบคุมมลพิษ. (2547). การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล. กรุงเทพฯ: ส่วนขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย.

กรมควบคุมมลพิษ. (2552). การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล. กรุงเทพฯ: ส่วนขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). ผลการสำรวจคุณภาพน้ำทะเลพื้นที่ย่านชายฝั่งทั่วประเทศ ครั้งที่ 2

กรมควบคุมมลพิษ. (2564). ข้อมูลขยะมูลฝอยชุมชน เอกสารประกอบการจัดทำรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. , (2564b).

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

กุสุมาลย์ นพทิพย์. (2563). ประเมินการปนเปื้อนโลหะหนักและชนิด MPs ในหลุมฝังกลบ ขยะมูลฝอยชุมชน เทศบาลเมืองกำแพงเพชร. (Master of Engineering (Environmental Engineering) (M.Eng. (Environmental Engineering)). Kasetsart University. <https://ethesis.lib.ku.ac.th/dspace/handle/123456789/254>

เกศรินทร์ วรเดชวิทยา. (2552). การกำจัดความขุ่นและสารรัยจากน้ำโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. (ปริญญาโท). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. (สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย).

จุฑาทิพย์ อ้อมกิ่ง. (2557). การปนเปื้อนสารมลพิษในน้ำบาดาล บริเวณเขตอุตสาหกรรมและสถานที่ฝังกลบมูลฝอย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

<http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/handle/123456789/5211>

ชวลิต เชียงกุล. (2545). โลหะวิทยา (Vol. 4). กรุงเทพฯ: ส่วนตำราสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ธนาบุญจน์ ไพศาลพงศ์. (2022). การปนเปื้อนของ MPs ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสระเติมอากาศ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อปรับเสถียร. วารสารสาธารณสุข มหาวิทยาลัยบูรพา, 17(1), 1-14.

- ธมนวรรณ ภูประเสริฐ. (2564). การประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาของ MPs และโลหะหนักใน
 โรงบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมส่วนกลาง. (Degree of Master of Science in Industrial
 Toxicology and Risk Assessment). Chulalongkorn University.
- ธิดารัตน์ โชคนาคะวโร. (2550). การวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารโลหะหนักในดิน น้ำ และ ตะกอน
 บริเวณสวนผักในเขตอำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี (ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต).
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.
- นันทวุฒิ จำปางาม. (2563). MPs : ปัญหาในระบบนิเวศแหล่งน้ำ Micro Plastics: Problems in
 Water Source Ecosystems. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์
 และเทคโนโลยี, 14(2).
- นันทิรา วรกาญจนบุญ. (2020). การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด MPs ในน้ำเสีย. *Journal of
 Council of Community Public Health*, 2(1), 29-34.
- นุชรา สีนบัวทอง. (2564). กระบวนการบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีการตกตะกอนหนัก (Coagulation).
 Retrieved from file:///C:/Users/Windows/Downloads/coagulation_method%20(1).pdf
- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง การกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบาย
 น้ำทิ้งจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล. (2565). ราชกิจจานุเบกษา (เล่ม
 139 ตอนพิเศษ 141 ง). Retrieved from <https://shorturl.asia/TxWvg>
- ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง
 จากโรงงานอุตสาหกรรมนิคมอุตสาหกรรมและเขตประกอบการอุตสาหกรรม. (2539, 6
 มิถุนายน). ราชกิจจานุเบกษา (เล่ม 13 ตอนพิเศษ 129 ง). Retrieved from
<https://shorturl.asia/HC0dg>
- พรพรรณ ปัญญาสงค์. (2565). ขยะพลาสติก. <https://shorturl.asia/NpYCu>
- พิมาน อีระรัตนสุนทร. (2558). การประเมินผลกระทบสุขภาพและคุณภาพชีวิตของคนเก็บขยะ จาก
 การสัมผัสขยะและสิ่งแวดล้อม ในพื้นที่ฝังกลบขยะทุ่งท่าลาด เทศบาลนคร นครศรีธรรมราช.
Journal of Health Science, 26
- มนัส สติรจินดา. (2538). วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก - [มนัส สติรจินดา พิมพ์ครั้งที่ 4 2538]. กรุงเทพฯ:
 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- มันดิน ตันกุลเวศน์. (2537). เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1 กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่ง
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- มูลนิธิสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2556). คู่มือแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งแวดล้อมโดยชุมชน กรุงเทพมหานคร: กรุงเทพฯ : สำนัก.
- วิชาการ จารุศิริ. (2561). การจัดการของเสียอันตรายและกากอุตสาหกรรม (*Hazardous and Industrial Waste Management*). กรุงเทพฯ: บริษัท อีพทูยู เซอร์วิส จำกัด.
- ศิริพร สิงห์ทอง. (2547). สารดูดซับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในดินตะกอนแม่น้ำบางปะกง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2556). กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก. <https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/plastic-usage.html>
- สัญญา สิริวิทยาปกรณ์. (2562) ประเภทและการแพร่กระจายของ MPs ในน้ำทะเลและในตะกอนดินในพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์:กรุงเทพฯ.
- สันต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). ระบบบำบัดน้ำเสีย = *Wastewater treatment system*: กรุงเทพฯ : ท้อป.
- สิริพงศ์ สูดางาม. (2018). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับโลหะหนักในน้ำใต้ดินและน้ำประปาของประชาชนในบริเวณหลุมฝังกลบของเสียที่ไม่อันตราย อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี. *Science and Technology* 5(กันยายน - ตุลาคม 2561).
- สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ. (2562). มลสาร MPs ในแหล่งน้ำเสียดิบและระบบบำบัดน้ำเสีย. วารสารสิ่งแวดล้อม, 23 (1).
- สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์, & วีระนุช บุญรุ่ง. (2553). การกำจัดสารอินทรีย์และสีด้วยกระบวนการเฟ้นต้นและกระบวนการสร้างตะกอนในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม. วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 23 (72), 10-16
- สุธรรม แยมเนียม. (2519). ตะกั่ว-สังกะสี: เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา กรุงเทพฯ: กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี.
- โสเมศิริ เดชรัตน์. (2559). การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมและความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนงานที่ทำงานในกระบวนการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล. มหาวิทยาลัยทักษิณวิทยาเขตสงขลา
- อนามัย เทศกะทีก. (2552). การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ = *Health risk assessment* (พิมพ์ครั้งที่ 1.): กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- อนุรัตน์พันธุ์, ย. (2003). การปนเปื้อนของตะกั่วและแคดเมียมในดิน น้ำ และพืช จากบริเวณฝังกลบขยะมูลฝอย อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้ระดับสารสนเทศภูมิศาสตร์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อานิติ ต๊ะปิ่นตา. (2553). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อารยา คงขวัญเมือง. (2564). MPs ในระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร. (Master of Engineering (Environmental Engineering) (M.Eng. (Environmental Engineering))). Kasetsart University. <https://ethesis.lib.ku.ac.th/dspace/handle/123456789/855> (6)
- แอนน์. (2561). สภาพแวดล้อมในการทำงานและความเสี่ยงทางสุขภาพ : หลักการและการประยุกต์ใช้ทางการพยาบาลอาชีวอนามัย = *Work environment and health risk : principles and application for occupational health nursing* (พิมพ์ครั้งที่ 1.): กรุงเทพฯ : แดเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.
- ไอรดา โทบุตรดี. (2021). ความเข้มข้นของโลหะหนักในบรรจุภัณฑ์พลาสติก และความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักจากอนุภาค MPs ของบรรจุภัณฑ์พลาสติกในน้ำทะเลสังเคราะห์. *Journal of Science and Technology*, 13(25).



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก
หนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัย

ที่ อว ๘๗๑๑.๑/ ๒๕๖๒

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท ๒๓ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ ๑๐๑๑๐

๑๒ ตุลาคม ๒๕๖๕

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์เข้าพื้นที่บริเวณการเทกองขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม เพื่อให้หนังสือเก็บข้อมูลประกอบการวิจัย

เรียน นายกองค้การบริหารส่วนตำบลคลองสาม

ด้วยคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้กำหนดให้หนังสือจัดทำปฏิญานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร โดย นางสาวเกวลี ทองซึ้ง ได้ดำเนินการจัดทำปฏิญานิพนธ์เรื่อง ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก โดยมีอาจารย์ ดร.ณภัทร โพธิ์วัน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ปฏิญานิพนธ์ ซึ่งงานวิจัยดังกล่าว มีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเทกองของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสามนั้น

ในการนี้จึงขอความอนุเคราะห์ข้อมูลการจัดการขยะแบบเทกอง ข้อมูลธรณีวิทยา ลักษณะพื้นที่โดยรอบบริเวณการเทกองของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม และขอความอนุเคราะห์ให้หนังสือเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะและอากาศ บริเวณสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม ระหว่างวันที่ ๒๕ ตุลาคม - ๒๕ พฤศจิกายน ๒๕๖๕ เวลา ๘.๓๐ - ๑๖.๓๐ น. โดยมี นายพิสิรศักดิ์ กล่อมเกลี้ยง เป็นนิสิตผู้ประสานงานวิจัย หมายเลขโทรศัพท์ ๐๙๑-๐๑๘๐๕๕๘๘ อีเมล pisan.klomklang@g.swu.ac.th

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุเคราะห์ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิซชกร จารุศิริ)

คณบดีคณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
ปฏิบัติการแทน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ

โทรศัพท์ ๐ ๒๖๔๙ ๕๐๐๐ ต่อ ๑๑๓๐๘

โทรสาร ๐ ๒๖๖๐ ๒๙๐๓



ภาคผนวก ข
หนังสือขอจริยธรรมการวิจัย

MF-04-version-2.0

วันที่ 18 ธ.ค. 61



หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

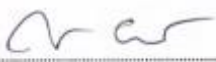
ชื่อโครงการวิจัย : ประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกปนเปื้อนในระบบบำบัดน้ำชะขยะและการประเมิน
ความเสี่ยงการรับสัมผัสโลหะหนัก
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นางสาว เกวลี ทองซึ้ง
หน่วยงานต้นสังกัด : คณะพัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ
รหัสโครงการวิจัย : SWUEC-G-440/2565X

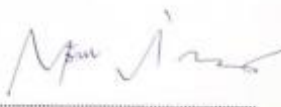
โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยื่นยื่น : 24 พฤศจิกายน 2565
ยื่นยื่นโดย : คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดำเนินการ
รับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the
Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical
Practice (ICH-GCP)

ออกให้ ณ วันที่ 19 ธันวาคม 2565

(ลงชื่อ) 
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทพงษ์ หงษ์สงกรณ์)
กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ) 
(แพทย์หญิงสุวิพร กัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X/G-440/2565



ข้อปฏิบัติสำหรับผู้วิจัยที่ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ขอแจ้งให้ทราบเกี่ยวกับหน้าที่ และความรับผิดชอบของผู้วิจัยหลังจากโครงการวิจัย ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์แล้ว ขอความกรุณาดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยจะต้องดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่างๆ ที่ระบุไว้ในโครงการวิจัยโดยเคร่งครัด โดยใช้เอกสารชี้แจงอาสาสมัคร (Information Sheet) หนังสือแสดงเจตนายินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย (Informed Consent Form) ป้ายประชาสัมพันธ์ รวมถึงเอกสารอื่น ที่ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการฯ แล้วเท่านั้น
2. ผู้วิจัยมีหน้าที่รายงานต่อคณะกรรมการฯ เมื่อ
 - 2.1 มีการดำเนินงานวิจัยครบระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะต้องมีการรายงานความก้าวหน้าของการวิจัยตามระยะเวลาที่คณะกรรมการฯ กำหนดในเอกสารใบรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ (แบบเอกสารที่ MF 04) หรือเมื่อครบหนึ่งปีจากวันที่ระบุไว้ในเอกสารใบรับรองของโครงการวิจัย โดยใช้แบบรายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 13-1)
 - 2.2 สำหรับโครงการวิจัยที่ยังไม่เสร็จสิ้นแต่เอกสารใบรับรองฯ หมดอายุ ผู้วิจัยจะต้องส่งหนังสือบันทึกข้อความเพื่อขอต่ออายุใบรับรองฯ ภายใน 30 วัน ก่อนวันหมดอายุตามที่กำหนดไว้ในเอกสารใบรับรองฯ พร้อมส่งรายงานความก้าวหน้าของการวิจัย มีฉบับนั้น คณะกรรมการฯ จะไม่รับรองการทำวิจัย หรือ การเก็บข้อมูลในระยะเวลาหลังจากเอกสารใบรับรองหมดอายุ
 - 2.3 หากผู้วิจัยมีความจำเป็นในการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย (Protocol Amendment) หรือมีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัย/เพิ่มเติมผู้ร่วมวิจัย ฯลฯ ผู้วิจัยจะต้องเสนอการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม โดยใช้แบบรายงานส่วนแก้ไขเพิ่มเติมโครงการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 07-1) โดยผู้วิจัยจะต้องระบุให้ชัดเจนว่า มีการเปลี่ยนแปลงอะไร อย่างไร และเหตุผลที่ต้องการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ในกรณีการเปลี่ยนแปลงหัวหน้าโครงการวิจัย หรือเพิ่มเติมผู้ร่วมวิจัยคนใหม่ ให้แนบแบบประวัติผู้วิจัย (แบบเอกสารที่ MF 09-1) และใบประกาศนียบัตรการอบรม (ถ้ามี)
 - 2.4 หากมีเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงในอาสาสมัคร จากการดำเนินโครงการวิจัย (Serious Adverse Events) เกิดขึ้นแก่อาสาสมัครของโครงการวิจัยในสถาบัน ผู้วิจัยจะต้องทำเอกสารแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 7 วัน และหากเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ร้ายแรงนั้น เป็นเหตุให้อาสาสมัครถึงแก่ชีวิต ผู้วิจัยจะต้องทำเอกสารแจ้งคณะกรรมการฯ ภายใน 24 ชั่วโมง (โดยทางหนังสือบันทึกข้อความ จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือ โทรสาร) หลังจากผู้วิจัยทราบเหตุการณ์ โดยใช้แบบรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ สำหรับอาสาสมัครในสถาบันให้ใช้แบบเอกสารที่ MF 19 แบบรายงานเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ที่เกิดแก่อาสาสมัครนอกสถาบันให้ใช้แบบเอกสารที่ MF 18 และ/หรือ CIOMS Form แบบเอกสารที่ MF 19-2

- 2.5 หากมีการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด (Non-Compliance/Protocol deviation) ผู้วิจัยจะต้องรายงานให้คณะกรรมการฯ รับทราบ ภายใน 7 วัน นับจากที่ตรวจพบ โดยใช้แบบรายงานการไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด (แบบเอกสารที่ MF 21)
- 2.6 โครงการวิจัยที่อยู่ติโครงการวิจัยก่อนกำหนด ให้ผู้วิจัยส่งหนังสือแจ้งปิดโครงการวิจัยนั้นพร้อมเหตุผลในการยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด โดยใช้แบบรายงานเพื่อยุติโครงการวิจัยก่อนกำหนด (แบบเอกสารที่ MF 14-1) และการดูแลอาสาสมัครหลังจากยุติโครงการวิจัยแก่คณะกรรมการฯ
- 2.7 โครงการวิจัยที่เสร็จสิ้นแล้ว ให้ผู้วิจัยส่งรายงานสรุปผลการวิจัย โดยใช้แบบรายงานสรุปผลการวิจัย (แบบเอกสารที่ MF 15-1)

คณะกรรมการฯ อาจมีการสุ่มเข้าตรวจเยี่ยมโครงการวิจัย (Site Monitoring Visit) เพื่อดูความเรียบร้อยของการดำเนินงาน รับฟัง และให้คำปรึกษาข้อปัญหาที่อาจมีในระหว่างการทำงานโครงการวิจัย โดยสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย จะมีหนังสือแจ้งให้ผู้วิจัยได้ทราบล่วงหน้า เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผลการตรวจเยี่ยมโครงการวิจัยจะแจ้งเพื่อทราบในที่ประชุมคณะกรรมการฯ และจะแจ้งผลการพิจารณาให้ผู้วิจัยได้ทราบ และอาจมีข้อเสนอแนะนำไปปฏิบัติต่อไป

ผู้วิจัยสามารถ download เอกสารต่างๆ ได้ที่

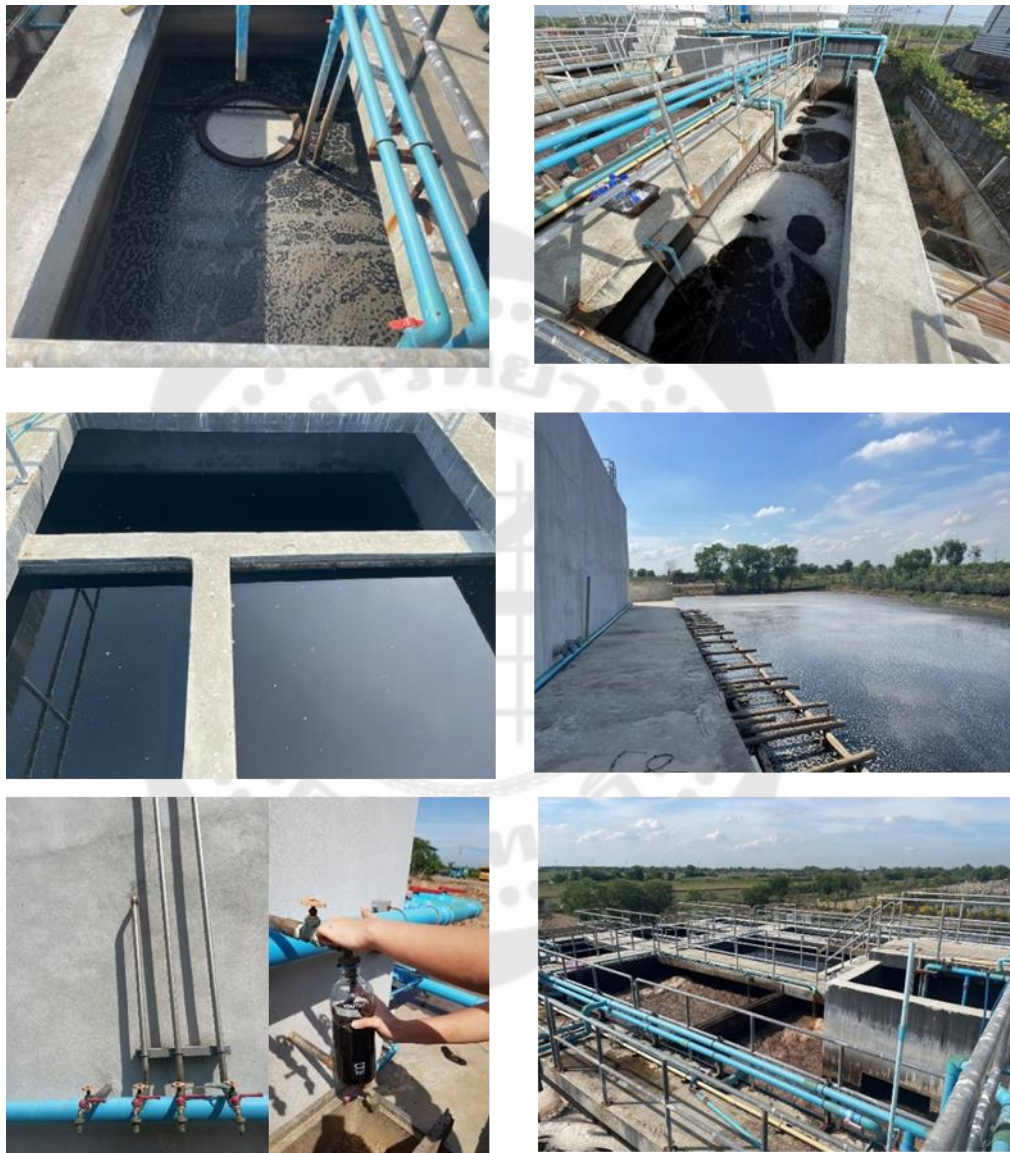
<http://research.swu.ac.th/index.php?option=download6> งานมาตรฐานจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย หากมีข้อสงสัยสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมในวิธีดำเนินการมาตรฐาน (SOPs) หรือสอบถามเจ้าหน้าที่สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมฯ ได้ที่หมายเลขโทรศัพท์ 0-2649-5000 ต่อ 11019, 11014 หมายเลขโทรสาร 0-2259-1822



ภาคผนวก ค
ประมวลภาพการดำเนินงาน



ภาพประกอบ 30 การลงพื้นที่สำรวจและสอบถามข้อมูลเบื้องต้น องค์การบริหารส่วนตำบลคลอง
สาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี



ภาพประกอบ 31 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและกากตะกอนในระบบบำบัดน้ำชะขยะ
บริเวณสถานที่กำจัดขยะแบบเทกอง จังหวัดปทุมธานี



ภาพประกอบ 32 การเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะ



ภาพประกอบ 33 ตัวอย่างจุดเก็บตัวอย่างดินและการเก็บตัวอย่างดิน



ภาพประกอบ 34 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของน้ำ



ภาพประกอบ 35 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของ MPs ด้วยกล้องสตอริโอไมโครสโคป และ เครื่อง

FTIR

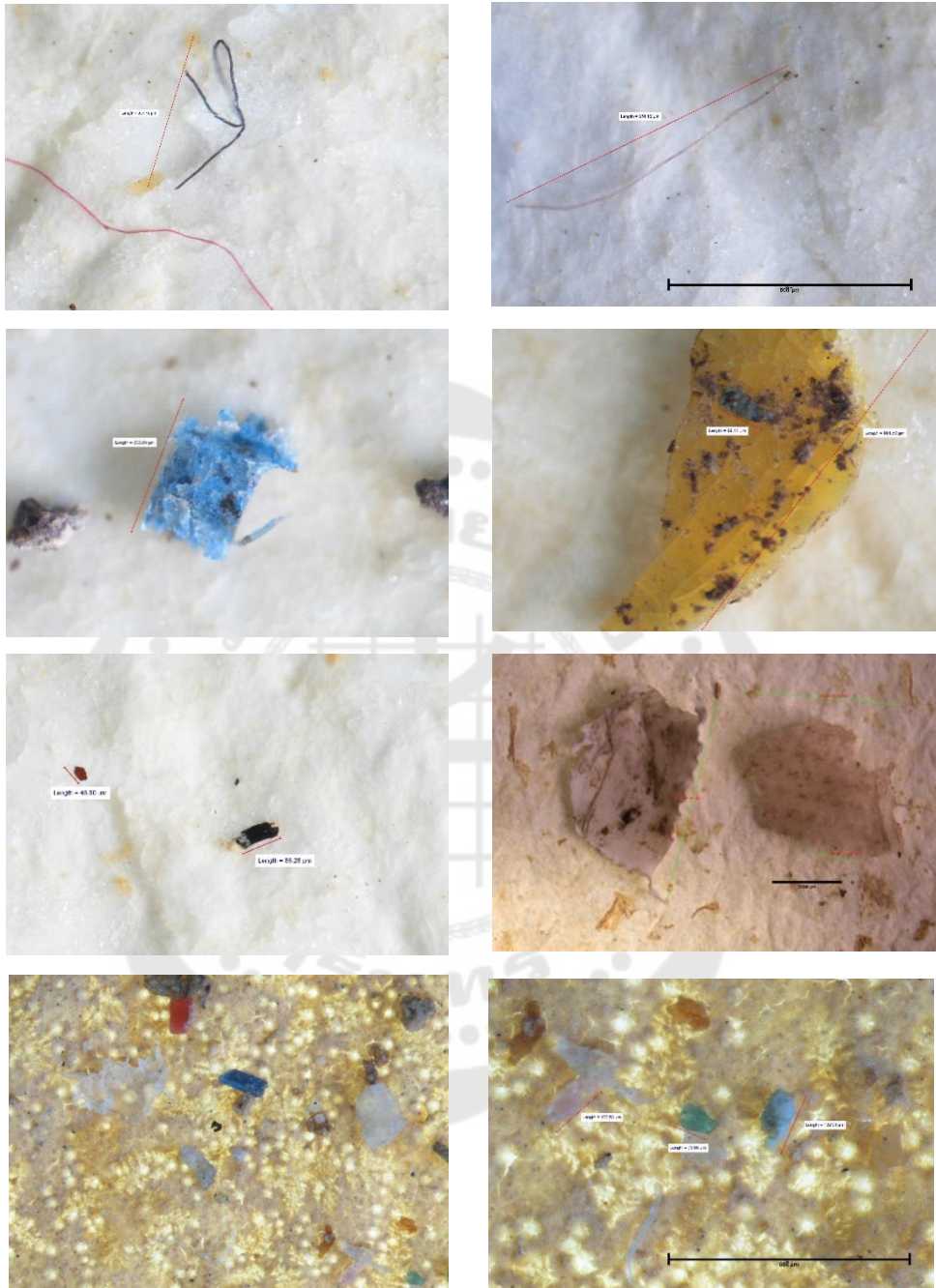


ภาพประกอบ 36 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักจากตัวอย่างดิน และ MPs ด้วยเครื่อง ICP-OES



ภาพประกอบ 37 วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารตกตะกอน ด้วยเครื่อง Jar test





ภาพประกอบ 38 ผลการวิเคราะห์รูปร่าง MPs ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ
(Stereo Microscope)

การวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES

ตาราง 22 พารามิเตอร์และการทำงานของ ICP-OES PQ9100 Elite สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

พารามิเตอร์	การตั้งค่า
Power	1200 W
Plasma Gas Flow	12.0 L/min
Auxiliary Gas Flow	0.50 L/min
Nebulizer Gas Flow	0.60 L/min
Nebulizer	Concentric nebulizer, 2.0mL/min, Borosilicate glass
Spray Chamber	Cyclonic Spray Chamber, 50 mL, Borosilicate glass
Torch Position	0 mm
Injector	Quartz, inner diameter 2.0 mm
Outer Tube / Inner Tube	Quartz/Quartz
Pump Tubing	PVC (black-black)
Fast mode	60 sec
Delay time	4.0 ml/min
Pump Rate	2.0 ml/min
Fast mode time	30 sec
Wash time	30 sec
Integration Time	10 sec
Sample Introduction	Teledyne ASX-560

ตาราง 23 วิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-OES

Element/Line	Plasma view	Auto Integrate range	Peaks evaluate	Background correction
Cu 324.754 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Mn 257.610 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Ni 221.648 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Zn 213.856 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Cr 226.502 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Pb 267.716 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Cd 228.802 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
Hg 220.353 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic
As 188.979 (mg/L)	Axial	Peak	3 Pixel	Dynamic

ตาราง 24 การเทียบระดับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Cu, Mn, Ni, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg และ As Chemicals and Reagents

Element	Cal.0	Cal.1	Cal.2	Cal.3	Cal.4	Cal.5
Cu 324.754 (mg/L)	0	0.5	1	2	5	10
Mn 257.610 (mg/L)	0	0.5	1	2	5	10
Ni 221.648 (mg/L)	0	0.5	1	2	5	10
Zn 213.856 (mg/L)	0	0.5	1	2	5	10
Cr 226.502 (mg/L)	0	1	5	10	50	100
Pb 267.716 (mg/L)	0	1	5	10	50	100
Cd 228.802 (mg/L)	0	1	5	10	50	100
Hg 220.353 (mg/L)	0	1	5	10	50	100
As 188.979 (mg/L)	0	1	5	10	50	100

- 1000 mg/L Copper multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Nickel multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Manganese multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Zinc multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Cadmium multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Chromium multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Lead multi element standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Mercury standard solution, Sigma-Aldrich
- 1000 mg/L Arsenic standard solution, Sigma-Aldrich
- Nitric acid 65%, EMSURE® grade, Merck
- Hydrochloric acid 37%, EMSURE® grade, Merck
- DI water

ตาราง 25 การเทียบระดับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน Cu, Mn, Ni, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg, และ As

Elements	Cal.0	Cal.1	Cal.2	Cal.3	Cal.4	Cal.5
Cu 327.396 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Mn 257.610 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Ni 231.604 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Zn 206.200 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Cr 267.716 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Pb 220.353 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Cd 226.502 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
Hg 220.353 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5
As 193.698 (mg/L)	0	0.2	0.5	1	2	5

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักเริ่มต้นด้วยการเตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างกัน ปริมาณโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ โดยขีดจำกัดของการตรวจวัด (Brennecke, Duarte, Paiva, Caçador, & Canning-Clode) และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ LOQ (Estimated) สำหรับ Cu, Ni, Mn, Zn, Cd, Cr, Pb, Hg และ As ใน 1% (v/v) HCl, 1%

ตาราง 26 ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

Element / Line	LOD*	LOQ
Cu 324.754	0.01264 (mg/L)	0.0379 (mg/L)
Mn 257.610	0.001448 (mg/L)	0.0043 (mg/L)
Ni 221.648	0.001057 (mg/L)	0.0032 (mg/L)
Zn 213.856	0.000142 (mg/L)	0.0004 (mg/L)
Cd 226.502	0.03049 (µg/L)	0.0915 (µg/L)
Cr 267.716	0.07029 (µg/L)	0.2109 (µg/L)
Pb 220.353	0.6070 (µg/L)	1.821 (µg/L)
Hg 194.159	0.5740 (µg/L)	1.722 (µg/L)
As 188.979	0.7230 (µg/L)	2.169 (µg/L)

- Limit of detection were measured via DL-measurement function of Aspect PQ software. Based on standard deviation of 11 replicates and 10 integrate

ประวัติผู้เขียน

