

การแปรผันตามฤดูกาลของลักษณะและปริมาณไมโครพลาสติกในดิน ณ ศูนย์จัดการขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร

SEASONAL VARIATION OF MICROPLASTICS ABUNDANCE AND CHARACTERISTICS IN LANDFILL SOIL AT AN INTEGRATED WASTE MANAGEMENT FACILITY

ศุภวัฒน์ ชัยเกษม¹ วีร์ราภัสร์ ณ ร้อยเอ็ด^{2*} กนกวรรณ เอี่ยมเพ็ชร² รวิตะวัน พูลทรัพย์²
พรพิมล ทำทอง² สุนิภา วงษ์ทอง²

Supawat Chaikasem¹ Veerapas Na Roi-et^{2*} Kanokwan Aiemphet² Riwtawan Poolsup²
Pornpimol Tamtong² Sunipa Wongtong²

¹คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชลบุรี 20230

¹Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Sriracha Campus, Chonburi 20230

²คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง ลำปาง 52190

²Faculty of Public Health, Thammasat University, Lampang Center, Lampang 52190

*Corresponding author E-mail: veerapas.n@fph.tu.ac.th

Received: November 5, 2025

Revise: December 30, 2025

Accepted: December 30, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรผันตามฤดูกาลของลักษณะและปริมาณไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ ณ ศูนย์จัดการขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร จังหวัดลำปาง โดยวิเคราะห์องค์ประกอบขยะพลาสติกประเภท สันฐานวิทยา และปริมาณไมโครพลาสติก เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง กระบวนการศึกษาได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน และสุ่มตัวอย่างขยะ (quartering) เพื่อคัดแยกองค์ประกอบขยะและประเภทพลาสติก 7 ชนิด จากนั้นสกัดและแยกไมโครพลาสติกด้วยวิธี Wet Peroxide Oxidation และ Density Separation จำแนกลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ และระบุชนิดด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบขยะพลาสติกมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20.19 ± 2.20 พบว่า Low-density Polyethylene (LDPE) เป็นประเภทที่พบมากที่สุดทั้งในฤดูฝน (ร้อยละ 71.57) และฤดูแล้ง (ร้อยละ 68.20) ปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในฤดูแล้ง ($1,013.33 \pm 220.30$ ชิ้น/กิโลกรัม) สูงกว่าในฤดูฝน (413.33 ± 151.44 ชิ้น/กิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สันฐานวิทยาที่พบเด่นคือแบบ Fragment (ฤดูฝน ร้อยละ 63.46, ฤดูแล้ง ร้อยละ 85.71) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองฤดูกาล ชนิดของโพลีเมอร์ที่พบส่วนใหญ่คือ Polypropylene (PP), Polyethylene Terephthalate (PET) และ Polystyrene (PS) มีการกระจายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองฤดูกาล ข้อค้นพบที่สำคัญคือ แม้ LDPE จะเป็นขยะพลาสติกที่พบมากที่สุด (> ร้อยละ 68) แต่ไม่พบไมโครพลาสติกประเภท LDPE หรือ High-density Polyethylene (HDPE) ในตัวอย่างดิน แสดงให้เห็นถึงอัตราการย่อยสลายที่แตกต่างกันของโพลีเมอร์แต่ละชนิด ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมและลักษณะของไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ โดยสภาวะในฤดูแล้งเอื้อต่อการย่อยสลายของพลาสติกและลดการชะล้างของไมโครพลาสติกออกจากดินผิวดิน

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก ดินจากบ่อฝังกลบขยะ องค์ประกอบขยะ ขยะพลาสติก ฤดูกาล

Abstract

This study examines the seasonal variation in the abundance and characteristics of microplastics in soil from a landfill site at an integrated waste management facility in Lampang Province, Thailand. Soil samples were collected during wet and dry seasons, and waste composition analysis was conducted to classify plastic waste into seven types. Microplastics were isolated using wet peroxide oxidation and density separation, characterized by fluorescence microscopy, and identified using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Results showed that plastic waste comprised an average of $20.19 \pm 2.20\%$ of total waste, with low-density polyethylene (LDPE) being predominant in both wet (71.57%) and dry (68.20%) seasons. Microplastic abundance was significantly higher in the dry season ($1,013.33 \pm 220.30$ particles/kg) compared to the wet season (413.33 ± 151.44 particles/kg). Fragments were the dominant morphology, accounting for 63.46% and 85.71% in wet and dry seasons, respectively, with a statistically significant difference between seasons. The major polymer types identified were polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), and polystyrene (PS), with significantly different distributions between seasons. Notably, despite LDPE being the most abundant plastic waste type ($> 68\%$), no LDPE or high-density polyethylene (HDPE) microplastics were detected in soil samples, suggesting differential degradation rates among polymer types. These findings highlight that seasonal variation plays a crucial role in influencing microplastic accumulation and distribution in landfill soil, with dry season conditions favoring both enhanced photodegradation of plastics and reduced leaching of microplastics from surface soil. The study provides baseline data for developing season-specific waste management strategies to mitigate microplastic pollution from landfill sites.

Keywords: Microplastic, Landfill soil, Waste composition, Plastic waste, Seasonality

1. บทนำ

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม และการเติบโตของชุมชนเมือง รวมถึงพฤติกรรมบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะการสั่งซื้อสินค้าและอาหารผ่านช่องทางออนไลน์ ส่งผลให้ปริมาณขยะทั่วทั้งโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะขยะพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single use plastics) การสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชัน ก่อให้เกิดขยะพลาสติกเฉลี่ยประมาณ 7 ชิ้นต่อครั้ง [1] ขณะที่การซื้อของออนไลน์ก่อให้เกิดขยะบรรจุภัณฑ์มากกว่าการซื้อของแบบออฟไลน์ถึง 4.8 เท่า [2] ทั้งนี้ มีการคาดการณ์ว่าปริมาณขยะทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นจาก 2.1 พันล้านตันในปี พ.ศ. 2566 เป็น 3.8 พันล้านตันในปี พ.ศ. 2593 [3] สำหรับประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณขยะเกิดขึ้นเฉลี่ยประมาณ 74,529 ตันต่อวัน โดยเป็นขยะพลาสติกร้อยละ 12 ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือคิดเป็นขยะพลาสติกหลังการบริโภคประมาณ 2 ล้านตันต่อปี [4, 5] พลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น ทนทาน น้ำหนักเบา และมีต้นทุนการผลิตต่ำ ส่งผลให้มีอัตราการผลิตพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จาก 30 ล้านตันต่อปี ในปี พ.ศ. 2531 เป็น 430.9 ล้านตันในปี พ.ศ. 2567 โดยแบ่งเป็นพลาสติกประเภท โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) 19%, โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low-density Polyethylene: LDPE) 13.9%, โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) 12.8%, โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-density Polyethylene: HDPE) 12.1%, โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PETE/PET) 6.2%, โพลียูรีเทน (Polyurethane: PUR) 5.3% โพลีสไตรีน (Polystyrene: PS) 5.1% และพลาสติกประเภทอื่นๆ (Other) ประมาณ 25.6% [6, 7] พลาสติกเหล่านี้มีอายุการใช้งานสั้นและมักถูกใช้เพียงครั้งเดียวก่อนที่จะถูกนำไปทิ้งเป็นขยะพลาสติกจึงก่อให้เกิดการสะสมและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง

การฝังกลบขยะเป็นวิธีการกำจัดขยะที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก สำหรับประเทศไทยพบว่า มีขยะพลาสติกเกิดขึ้นประมาณ 2 ล้านตันต่อปี โดยมากกว่าร้อยละ 62 ของขยะพลาสติกทั้งหมดถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการ

ฝังกลบ (Landfill) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าบ่อฝังกลบขยะเป็นแหล่งสะสมไมโครพลาสติกในปริมาณมาก โดยขยะพลาสติกที่นำไปกำจัดส่วนใหญ่เป็นประเภท PP, HDPE และ LDPE เนื่องจากไม่คุ้มค่าต่อการเก็บรวบรวมและทำความสะอาด [4] จึงถูกนำไปทิ้งที่บ่อฝังกลบขยะ ซึ่งภายในบ่อฝังกลบ ขยะพลาสติกเหล่านี้จะเกิดการเสื่อมสภาพจากกระบวนการทางกายภาพ เคมี ชีวภาพ ส่งผลให้พลาสติกเกิดการแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ ที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ไมโครเมตร ถึง 5 มิลลิเมตร หรือที่เรียกว่าไมโครพลาสติก [8, 9] งานวิจัยของ Mahesh et al. [10] ได้ทำการศึกษาดินจากบ่อฝังกลบและพบไมโครพลาสติก จำนวน 180-1,120 ชิ้นต่อกิโลกรัมของดิน โดยพบไมโครพลาสติกประเภท PE และ PP มากที่สุด ในขณะที่ยานวิจัยของ Puthcharoen and Leungprasert [11] ได้ศึกษาไมโครพลาสติกจากดินและน้ำขยะในบ่อฝังกลบ 12 แห่งทั่วประเทศไทย พบว่ามีไมโครพลาสติกในดินเฉลี่ย $1,457.99 \pm 489.71$ ชิ้นต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง และในน้ำขยะ 20.90 ± 4.96 ชิ้นต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง โดยประเภทพอลิเมอร์หลักที่พบคือ PE, PP และ PET ซึ่งสอดคล้องกับประเภทของขยะพลาสติกที่พบในบ่อฝังกลบ นอกจากนี้งานวิจัยของ Koonmee et al. [12] ได้ศึกษาไมโครพลาสติกในน้ำขยะและน้ำผิวดินบริเวณศูนย์จัดการขยะจังหวัดนนทบุรี พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียสามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้ประมาณ 71.88% แต่ยังคงมีไมโครพลาสติกหลงเหลือในน้ำทิ้งที่อาจปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำโดยรอบ

แม้ไมโครพลาสติกจะมีขนาดเล็กแต่มีความคงทนและย่อยสลายได้ยาก ทำให้ตกค้างในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลานาน อีกทั้งสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหารและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทางพิษวิทยา เนื่องจากไมโครพลาสติกมีคุณสมบัติพื้นผิวแบบ Hydrophobic จึงสามารถดูดซับและรวมตัวกับมลพิษอื่นๆ ที่ปนเปื้อนในบริเวณเดียวกัน ดังนั้น บ่อฝังกลบขยะจึงไม่ได้เป็นเพียงแหล่งเก็บกักไมโครพลาสติกเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการปลดปล่อยไมโครพลาสติกออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ผ่านกระบวนการชะละลาย (Leaching) จากฝนหรือลม ซึ่งนำพาไมโครพลาสติกออกสู่ดิน น้ำ และอากาศ ก่อให้เกิดการปนเปื้อนในระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ [13] งานวิจัยของ Wisitthammassri et al. [14] ได้ศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในดิน น้ำขยะ และน้ำบาดาลบริเวณบ่อฝังกลบในจังหวัดระยอง พบว่าไมโครพลาสติกสามารถเคลื่อนย้ายจากพื้นผิวดินลงสู่ชั้นน้ำบาดาลได้ โดยพบความเข้มข้นสูงกว่าในพื้นที่นอกบ่อฝังกลบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของบ่อฝังกลบขยะในฐานะแหล่งปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบนิเวศดินและน้ำบาดาล

ปัญหาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมถือเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากไมโครพลาสติกสามารถสะสมและก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศและสุขภาพของมนุษย์ แหล่งสำคัญของการเกิดไมโครพลาสติกในระบบนิเวศมาจากการเสื่อมสลายของขยะพลาสติกที่ถูกกำจัดในบ่อฝังกลบขยะ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการขยะพลาสติก และมักถูกมองว่าเป็นแหล่งเก็บสะสมไมโครพลาสติกที่สำคัญ ปัญหานี้เชื่อมโยงโดยตรงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) หลายประการ โดยเฉพาะ SDG 11 (เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน) ซึ่งเน้นการจัดการขยะในเมืองอย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม SDG 12 (การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน) ที่ส่งเสริมการลดของเสียและการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และ SDG 15 (ชีวิตบนบก) ที่มุ่งเน้นการป้องกันการเสื่อมโทรมของดินและระบบนิเวศบนบก การศึกษาไมโครพลาสติกในบ่อฝังกลบจึงไม่เพียงแต่เป็นประเด็นเชิงวิชาการเท่านั้น แต่ยังมีคามหมายสำคัญต่อการพัฒนาโยบายการจัดการขยะที่ยั่งยืนและการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

อย่างไรก็ตาม การศึกษาไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะยังมีจำนวนจำกัด ทั้งที่พื้นที่ดังกล่าวมีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนและการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยเฉพาะในบริบทของประเทศไทย ซึ่งมีการขยายตัวของพื้นที่เมืองและการผลิตขยะพลาสติกอย่างต่อเนื่อง การทำความเข้าใจองค์ประกอบ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเปลี่ยนแปลงของไมโครพลาสติกตามฤดูกาลจึงมีความจำเป็น เพื่ออธิบายกลไกการสะสมและแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ การศึกษาความแปรผันตามฤดูกาลมีความสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากปัจจัยด้านสภาพอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้น มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายและการเคลื่อนย้ายของไมโครพลาสติก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนการออกแบบมาตรการจัดการขยะและลดการปนเปื้อนไมโคร

รพลาสติคที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่และช่วงเวลา ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบ ประเภท สันฐานวิทยา และปริมาณของไมโครพลาสติกในดินบริเวณหลุมฝังกลบขยะตามฤดูกาล ผลการศึกษานี้ช่วยอธิบายถึง ลักษณะและพฤติกรรมของไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผน จัดการขยะพลาสติกอย่างยั่งยืน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ในระยะยาว

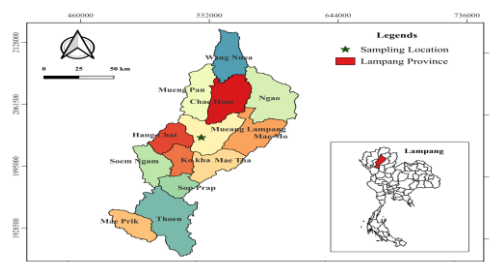
2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 1) เพื่อจำแนกองค์ประกอบขยะ และประเภทของขยะพลาสติก
- 2) เพื่อวิเคราะห์ประเภท สันฐานวิทยา และปริมาณของไมโครพลาสติกในดิน
- 3) เพื่อศึกษาความแตกต่างตามฤดูกาลขององค์ประกอบขยะพลาสติก และไมโครพลาสติกในดิน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา จุดเก็บตัวอย่างและวิธีการเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างดินเก็บจากหลุมฝังกลบภายในศูนย์จัดการขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร ซึ่งตั้งอยู่ที่พิกัด $18^{\circ}21'48.92''\text{N}$, $99^{\circ}29'3.44''\text{E}$ ศูนย์ดังกล่าวเป็นระบบกำจัดขยะมูลฝอยที่ประกอบด้วยกระบวนการคัดแยกขยะรีไซเคิล กระบวนการผลิต เชื้อเพลิงอัดแท่ง และกระบวนการหมักปุ๋ยจากขยะอินทรีย์ ส่วนขยะที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ถูกนำไปกำจัดด้วยวิธี ฝังกลบเชิงวิศวกรรม (Engineered Landfill) ศูนย์มีพื้นที่ 311 ไร่ เริ่มเปิดดำเนินการในปี พ.ศ. 2560 และมีปริมาณขยะเข้าสู่ สถานที่กำจัดประมาณ 156 ตันต่อวัน [5] พื้นที่ศึกษาและการสุ่มเก็บตัวอย่างดินดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำการเก็บตัวอย่าง ดินจากบ่อฝังกลบขยะจำนวน 1 บ่อ ในช่วงฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม) และฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) [15] โดยใช้ เครื่องมือเจาะดิน (Hand auger) ที่ระดับความลึกประมาณ 15 เซนติเมตรจากผิวดิน จุดเก็บตัวอย่างถูกกำหนดให้มี ระยะห่างเท่ากัน เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่อย่างเหมาะสม และมีการระบุตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุดด้วยค่าพิกัดทาง ภูมิศาสตร์โดยใช้ GPS รวมทั้งสิ้น 10 จุด โดยตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของจุดเก็บตัวอย่างดินซึ่งครอบคลุมพื้นที่บ่อฝัง กลบขยะแสดงไว้ในตารางที่ 1 ตัวอย่างดินจากแต่ละจุดจะถูกนำมาผสมรวมกันให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Composite sample) โดยมีปริมาณตัวอย่างดินไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อบ่อฝังกลบขยะ จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างในภาชนะสแตนเลสที่ หุ้มด้วยฟอยล์อลูมิเนียมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอก ก่อนนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในที่มีด จนกว่าจะนำไปทำการวิเคราะห์



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและการสุ่มเก็บตัวอย่างดิน

ตารางที่ 1 ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จุดเก็บตัวอย่างดิน

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์	
	ละติจูด	ลองจิจูด
1	$18^{\circ}21'44.48''\text{N}$	$99^{\circ}28'49.68''\text{E}$
2	$18^{\circ}21'44.65''\text{N}$	$99^{\circ}28'47.91''\text{E}$
3	$18^{\circ}21'45.04''\text{N}$	$99^{\circ}28'46.00''\text{E}$
4	$18^{\circ}21'45.24''\text{N}$	$99^{\circ}28'44.77''\text{E}$
5	$18^{\circ}21'45.34''\text{N}$	$99^{\circ}28'43.89''\text{E}$
6	$18^{\circ}21'43.49''\text{N}$	$99^{\circ}28'43.71''\text{E}$

7	18°21'43.32"N	99°28'44.67"E
8	18°21'43.06"N	99°28'45.99"E
9	18°21'42.79"N	99°28'47.73"E
10	18°21'42.47"N	99°28'49.26"E

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะพลาสติก

1) ดำเนินการสุ่มตัวอย่างขยะ เพื่อคัดแยกองค์ประกอบขยะจากรถบรรทุกเก็บขนขยะ ณ สถานที่กำจัดขยะ โดยหลังจากรถบรรทุกเก็บขนขยะกลับมาจากการเก็บขนขยะในแต่ละวัน ขยะจากรถบรรทุกเก็บขนขยะจะถูกสุ่มตัวอย่างให้เหลือประมาณ 450 กิโลกรัม จากนั้นทำการแบ่งขยะออกเป็น 4 กอง (Quartering) ทำการสุ่มโดยเลือก 2 กองที่อยู่ตรงข้ามกัน และทำการสุ่มจำนวน 2 ครั้ง จนเหลือขยะประมาณ 100 กิโลกรัม จากนั้นนำขยะทั้งหมดมาเทกองรวมกันเพื่อคลุกเคล้าขยะให้กระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน

2) คัดแยกองค์ประกอบขยะตามคู่มือการคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย [16] ประกอบด้วย 15 ประเภท คือ 1. เศษอาหาร 2. มูลฝอยจากสวน 3. กระดาษ (ไม่รวมกระดาษชำระ) 4. ไม้ 5. ผ้า 6. ยาง และหนัง 7. ผ้าอ้อม 8. พลาสติก (พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว, พลาสติกหลายชั้น, พลาสติกทน) 9. โฟม 10. โลหะ 11. แก้ว 12. ของเสียอันตรายจากชุมชน 13. ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 14. มูลฝอยติดเชื้อ 15. อื่นๆ

3) หลังจากทำการคัดแยกขยะครบ 15 ประเภทแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคัดแยกขยะเฉพาะขยะพลาสติก โดยประกอบด้วย 7 ชนิด คือ 1. PET, 2. HDPE, 3. PVC, 4. LDPE, 5. PP, 6. PS และ 7. Other

4) ทำการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ความละเอียด 0.1 กิโลกรัม เพื่อคำนวณหาองค์ประกอบของขยะ และประเภทของขยะพลาสติก โดยใช้สมการที่ 1

$$C = \frac{W_i}{W_t} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C = ร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบขยะแต่ละประเภท (% by weight)
 W_i = น้ำหนักขยะแต่ละประเภท
 W_t = น้ำหนักขยะรวมทุกประเภท

3.3 วิธีการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกในตัวอย่างดิน

1) การสกัดไมโครพลาสติกออกจากตัวอย่างดิน

การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณไมโครพลาสติกในดินจากหลุมฝังกลบขยะดัดแปลงมาจากกระบวนการ Wet Peroxide Oxidation (WPO) ตามวิธีของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) protocol [17] โดยนำตัวอย่างดิน 50 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างดินไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนสเตนเลส (Stainless sieve) แล้วเติมสารละลายซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) ใช้แท่งแก้วกวนผสมให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที และปิดด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน (ไมโครพลาสติกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นของสารละลาย $ZnCl_2$ จะลอย แต่ถ้ามีความหนาแน่นมากกว่าความหนาแน่นของสารละลาย $ZnCl_2$ จะจมลงที่ก้นบีกเกอร์) จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างที่ลอยอยู่บนผิวน้ำใสในบีกเกอร์ และนำไปอบอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร (v/v) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เพื่อขจัดสารอินทรีย์ [18] หลังจากนั้นนำไปตั้งบนเครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน (Hot plate stirrer) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกวนสารด้วยแท่งแม่เหล็ก (Stirrer bar) (เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์ ทำซ้ำจนกว่าจะได้สารละลายใส) จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 6 กรัมต่อตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร หรือความเข้มข้น 25%

โดยน้ำหนัก (w/w) โดยความหนาแน่นของ NaCl เท่ากับ 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [19] ผสมให้เข้ากันพร้อมทั้งให้ความร้อนด้วยเครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อนต่อไปจนเกลือละลาย ทั้งไว้ให้เย็น นำสารละลายใส่กรวยกรองแก้ว (Funnel Glass) ทำการปิดด้วยเยื่อใยพอลิเอทิลีนบริเวณปากของกรวยกรองแก้ว ทั้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองอลูมิเนียมออกไซด์ (Whatman, 25 mm diameter, 0.2 μm pore size, aluminium oxide filter; Anodisc) โดยใช้เครื่องดูดสุญญากาศ และนำกระดาษกรองวางลงบนจานเพาะเชื้อ (Petri dish) นำไปอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเก็บที่ตู้ Desiccator จนกว่าจะนำมาวิเคราะห์

2) การระบุรูปร่าง ขนาดและประเภทของไมโครพลาสติก

กระดาษกรอง จะถูกนำไปถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescent microscope) พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพและประมวลผล (OLYMPUS BX53) เพื่อศึกษาปริมาณ (Amount) รูปร่าง (Shape) สี (Color) ขนาด (Size) ความยาว (Length) จากนั้นนำตัวอย่างไปตรวจสอบชนิดของไมโครพลาสติกด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrometer (Bruker, LUMOS II) โดยใช้โหมด Attenuated Total Reflectance (ATR) เพื่อค้นหาสเปกตรัมของตัวอย่างเทียบกับสเปกตรัมอ้างอิงใน Library (IR Library) ในกรณีที่สเปกตรัมมีค่าความถูกต้องของการจับคู่ต่ำกว่า 70% (Hit quality) จะไม่ถูกนำมารวมในการวิเคราะห์

3.4 การประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพ

ในการเก็บตัวอย่างและการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ได้มีการนำมาตรการด้านการประกันคุณภาพและการควบคุมคุณภาพมาใช้อย่างเคร่งครัด เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและเพื่อให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือและสามารถทำซ้ำได้ ทั้งก่อน ระหว่าง และหลังการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ ผู้ปฏิบัติงานสวมเสื้อผ้าที่ทำจากฝ้ายและถุงมือไนไตรล์ โดยกระบวนการทั้งหมดดำเนินการด้วยอุปกรณ์ที่ทำจากแก้วหรือสแตนเลสเท่านั้นและหุ้มด้วยฟอยล์อลูมิเนียม อุปกรณ์ทุกชนิดได้รับการทำความสะอาดและล้างด้วยน้ำ Milli-Q จำนวนสามครั้งก่อนการใช้งานทุกครั้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากวัสดุที่มีแหล่งกำเนิดจากพลาสติก

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้วิเคราะห์

ข้อมูลองค์ประกอบขยะและประเภทขยะพลาสติกนำเสนอในรูปค่าร้อยละโดยน้ำหนัก และค่าเฉลี่ยพร้อมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) ปริมาณไมโครพลาสติกคำนวณเป็นจำนวนชิ้นต่อกิโลกรัมของดิน (ชิ้นต่อกิโลกรัม) และขนาดของไมโครพลาสติกวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (μm) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้งดำเนินการโดยใช้สถิติที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล โดยก่อนการวิเคราะห์ได้ทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test พบว่าข้อมูลไม่เป็นไปตามการแจกแจงตามปกติ ($p < 0.05$) จึงเลือกใช้สถิติแบบไม่อาศัยการแจกแจงปกติ ปริมาณและขนาดเฉลี่ยของไมโครพลาสติกเปรียบเทียบด้วย Mann-Whitney U test ในขณะที่การวิเคราะห์ความแตกต่างของการกระจายตัวของสัณฐานวิทยาและประเภทโพลีเมอร์ใช้ Chi-square test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการโดยใช้โปรแกรม SPSS

4. ผลการวิจัย

4.1 องค์ประกอบขยะ และประเภทขยะพลาสติก

1) องค์ประกอบขยะโดยรวม

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอยในสถานที่กำจัดขยะ (ตารางที่ 2) พบว่าขยะเศษอาหารและมูลฝอยจากสวนเป็นองค์ประกอบหลัก ($26.53 \pm 13.72\%$ และ $22.30 \pm 4.89\%$ ตามลำดับ) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะขยะชุมชนทั่วไปของประเทศไทย ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างฤดูฝน (36.23%) และฤดูแล้ง (16.82%) สะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมและพฤติกรรมกรรมการบริโภคตามฤดูกาล โดยในฤดูฝน ความชื้นสูงส่งเสริมการเน่าเสียของอาหาร ทำให้น้ำหนักขยะอินทรีย์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ฤดูแล้งมีการระเหยของน้ำสูง ส่งผลให้น้ำหนักขยะอินทรีย์ลดลง ผลที่คล้ายคลึงกันพบในการศึกษาของ Saengchut et al. [18] ที่บ่งชี้กลไกในจังหวัดนครนายก ซึ่งรายงานว่ขยะอินทรีย์มีความแปรผันตามฤดูกาลอันเนื่องมาจากความชื้นและอุณหภูมิ

สำหรับขยะที่สามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์หรือรีไซเคิลได้ พบว่า ขยะพลาสติกเป็นองค์ประกอบหลักของขยะรีไซเคิล ($20.19 \pm 2.20\%$) โดยมีความคงที่ในทั้งสองฤดูกาล สะท้อนถึงการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี ปริมาณขยะพลาสติกที่พบสูงกว่าการศึกษาของ Wisitthamasri et al. [14] ที่บ่อฝังกลบจังหวัดระยอง (ร้อยละ 15.2) อาจเกิดจากความแตกต่างของรูปแบบการบริโภคและระดับการพัฒนาเศรษฐกิจของพื้นที่ ขยะรีไซเคิลอื่นๆ ได้แก่ ผ้า ($8.51 \pm 4.70\%$) กระดาษ ($7.50 \pm 2.40\%$) และแก้ว ($5.50 \pm 4.45\%$) มีความแปรผันสูงระหว่างฤดูกาล ในขณะที่ยาง-หนังและโลหะมีสัดส่วนต่ำ ($< 3\%$) ของเสียอันตรายและซากอิเล็กทรอนิกส์แม้มีสัดส่วนรวมน้อยกว่า 2% แต่มีความสำคัญเชิงสิ่งแวดล้อมสูง เนื่องจากเป็นแหล่งของสารเคมีและโลหะหนักที่อาจปนเปื้อนสู่ดินและน้ำใต้ดิน หากไม่มีการคัดแยกอย่างเหมาะสม

องค์ประกอบของขยะที่พบแสดงให้เห็นว่า ขยะอินทรีย์และขยะพลาสติก เป็นกลุ่มหลักที่ควรได้รับการจัดการอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการส่งเสริมการแยกขยะตั้งแต่ต้นทางและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตปุ๋ยหมักหรือก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ และการรีไซเคิลขยะพลาสติก เพื่อลดปริมาณของเสียที่เข้าสู่บ่อฝังกลบขยะ ทั้งนี้ ความแตกต่างขององค์ประกอบขยะในแต่ละฤดูกาลชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการกำหนดมาตรการจัดการขยะเชิงฤดูกาลเพื่อให้การเก็บรวบรวมและกำจัดขยะมีประสิทธิภาพ

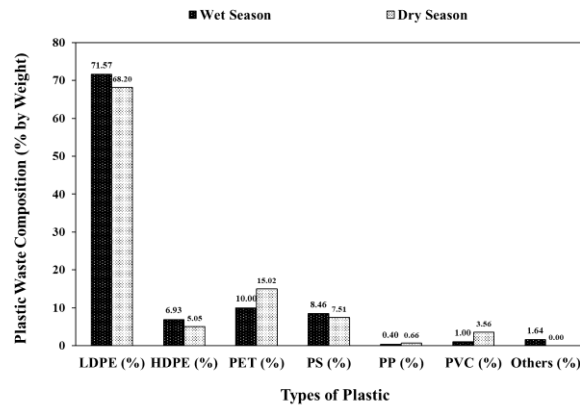
ตารางที่ 2 องค์ประกอบของขยะในสถานที่กำจัดขยะจำแนกตามฤดูกาล

องค์ประกอบของขยะ	องค์ประกอบขยะในสถานที่กำจัดขยะ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	Mean $\pm$ SD
ขยะอาหาร	36.23	16.82	26.53 ± 13.72
มูลฝอยจากสวน	18.84	25.76	22.30 ± 4.89
กระดาษ	5.80	9.20	7.50 ± 2.40
ไม้	0.83	0.37	0.60 ± 0.33
ผ้า	5.18	11.83	8.51 ± 4.70
ยางและหนัง	0.62	4.73	2.68 ± 2.91
ผ้าอ้อม	1.45	3.15	2.30 ± 1.20
พลาสติก	18.63	21.74	20.19 ± 2.20
โฟม	1.46	0.53	1.00 ± 0.66
โลหะ	0.01	0.39	0.20 ± 0.27
แก้ว	8.64	2.35	5.50 ± 4.45
ของเสียอันตรายจากชุมชน	2.28	0.58	1.43 ± 1.20
ซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์	-	0.30	0.15 ± 0.21
มูลฝอยติดเชื้อ	0.04	1.33	0.69 ± 0.91
อื่นๆ	-	0.92	0.46 ± 0.65

2) ประเภทขยะพลาสติก

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะพลาสติกจำแนกตามประเภทของโพลีเมอร์ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง (รูปที่ 2) พบว่า LDPE เป็นพลาสติกที่พบมากที่สุดทั้งสองฤดูกาล โดยมีสัดส่วนร้อยละ 71.57 และ 68.20 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า LDPE เป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะในรูปของถุงพลาสติกและฟิล์มห่ออาหาร จึงทำให้พบที่สถานที่กำจัดขยะมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการใช้พลาสติกบรรจุภัณฑ์ในครัวเรือน พลาสติกชนิดที่พบรองลงมา ได้แก่ พลาสติกประเภท PET คิดเป็นร้อยละ 10.00 และ 15.02, PS ร้อยละ 8.46 และ 7.51, และ HDPE ร้อยละ 6.93 และ 5.05 ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพลาสติกประเภท PET มีสัดส่วนเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง กลไกนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Puthcharoen and Leungprasert [11] ที่พบว่า องค์ประกอบขยะพลาสติกในบ่อฝังกลบ 12 แห่งทั่วประเทศไทยมี PE และ PET เป็นชนิดหลัก ซึ่งอาจสัมพันธ์กับพฤติกรรมบริโภคของประชากรในแต่ละพื้นที่ พลาสติกประเภท PP, PVC และ Others พบในสัดส่วนต่ำ ($< \text{ร้อยละ } 5.00$) โดย

PVC เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในฤดูแล้ง (ร้อยละ 1.00 ถึง 3.56) ซึ่งอาจเชื่อมโยงกับการใช้วัสดุก่อสร้างหรือท่อพลาสติกที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ในขณะที่ Other พบเฉพาะในฤดูฝน (ร้อยละ 1.64) แสดงถึงความหลากหลายของแหล่งที่มาของขยะตามฤดูกาล ทั้งนี้ ความแตกต่างขององค์ประกอบขยะพลาสติกในแต่ละฤดูกาลเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการจัดการขยะพลาสติกเฉพาะฤดูกาล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม



รูปที่ 2 ประเภทขยะพลาสติกในสถานที่กำจัดขยะจำแนกตามฤดูกาล

4.2 ปริมาณและขนาดของไมโครพลาสติกในดิน

1) ปริมาณไมโครพลาสติกในดิน

ผลการเปรียบเทียบไมโครพลาสติกที่พบจำแนกตามฤดูกาลดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเห็นว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมของไมโครพลาสติกในดิน โดยปริมาณไมโครพลาสติกช่วงฤดูแล้ง ($1,013.33 \pm 220.30$ ชิ้นต่อกิโลกรัม) มีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝน (413.33 ± 151.44 ชิ้นต่อกิโลกรัม) ประมาณ 2.45 เท่า แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมของไมโครพลาสติกในดิน โดยในฤดูแล้ง ความชื้นในดินลดลงและการชะล้างด้วยน้ำฝนมีน้อย จึงส่งผลให้มีการสะสมของไมโครพลาสติกมากกว่าฤดูฝน ผลการทดสอบทางสถิติด้วย Mann-Whitney U test แสดงให้เห็นว่าปริมาณไมโครพลาสติกระหว่างสองฤดูกาลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($U = 0.000$, $Z = -2.449$, $p = 0.014$) แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมของไมโครพลาสติกในดิน โดยในฤดูแล้ง ความชื้นในดินลดลงและการชะล้างด้วยน้ำฝนมีน้อย จึงส่งผลให้มีการสะสมของไมโครพลาสติกมากกว่าฤดูฝน เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่นในประเทศไทย พบว่าปริมาณไมโครพลาสติกในการศึกษานี้น้อยในช่วงเดียวกับที่ Puthcharoen and Leungprasert [11] รายงานจากบ่อฝังกลบ 12 แห่ง ($1,458 \pm 490$ ชิ้นต่อกิโลกรัม) และ Mahesh et al. [10] ในอินเดีย ($180 - 1,120$ ชิ้นต่อกิโลกรัม) แต่ต่ำกว่า Wisitthammasri et al. [14] ที่จังหวัดระยอง อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของอายุบ่อฝังกลบ ประเภทของขยะ และสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของฤดูกาลต่อปริมาณไมโครพลาสติกอย่างชัดเจน

2) ขนาดของไมโครพลาสติก

การเปรียบเทียบไมโครพลาสติกจำแนกตามฤดูกาล (ตารางที่ 3) พบว่า ขนาดไมโครพลาสติกในฤดูฝน ($27.89 - 1,503.8 \mu\text{m}$, ค่าเฉลี่ย $270.44 \mu\text{m}$) และฤดูแล้ง ($42.13 - 932.06 \mu\text{m}$, ค่าเฉลี่ย $245.71 \mu\text{m}$) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mann-Whitney U test, $p > 0.05$) แม้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน แต่ช่วงการกระจายตัวในฤดูฝนกว้างกว่า (Coefficient of variation สูงกว่า) ซึ่งเห็นว่าไมโครพลาสติกขนาดใหญ่และเล็กปะปนกันมากกว่า การกระจายตัวที่กว้างขึ้นในฤดูฝน ผลที่คล้ายคลึงกันพบในการศึกษาของ Naji et al. [19] ที่อ่าวเปอร์เซีย ซึ่งรายงานว่าคุณภาพแวดล้อมที่ต่างกันส่งผลต่อการกระจายขนาดของไมโครพลาสติก

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบไมโครพลาสติกที่พบจำแนกตามฤดูกาล

ฤดูกาล	ปริมาณ ไมโครพลาสติก (ชั้นต่อกิโลกรัม)	การกระจายขนาด (μm)	ขนาดเฉลี่ย (μm)	รูปร่าง	สี	ประเภทของ ไมโครพลาสติก
ฤดูฝน	413.33 $\pm$ 151.44	27.89 – 1,503.8	270.44	Fragment, Fiber, Film	น้ำเงิน, น้ำตาล, ดำ, ใส, เทา, ม่วง	PS, PP, PET, PVC, Other
ฤดูแล้ง	1,013.33 $\pm$ 220.30	42.13 – 932.06	245.71	Fragment, Fiber	เทา, ดำ, ใส, ฟ้า	PS, PP, PET, Other

4.3 ลักษณะของไมโครพลาสติก

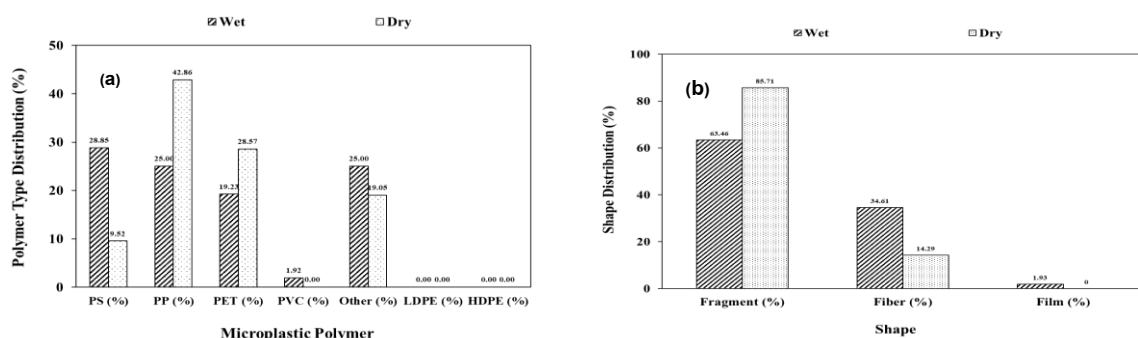
1) ประเภทโพลีเมอร์ (Polymer Types)

ผลการระบุชนิดของโพลีเมอร์ด้วยเครื่อง FTIR (รูปที่ 3(a) และรูปที่ 4) พบว่าโพลีเมอร์ที่พบส่วนใหญ่ในฤดูฝน ได้แก่ PS (ร้อยละ 28.85), PP (ร้อยละ 25.00), PET (ร้อยละ 19.23), PVC (ร้อยละ 1.92) และอื่นๆ (ร้อยละ 25.00) ขณะที่ ในฤดูแล้งพบ PP (ร้อยละ 42.86), PET (ร้อยละ 28.57), PS (ร้อยละ 9.52) และอื่นๆ (ร้อยละ 19.05) ผลการทดสอบ Chi-square test แสดงให้เห็นว่าการกระจายของประเภทโพลีเมอร์แตกต่างกันระหว่างสองฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2 = 15.8$, $df = 4$, $p = 0.003$) โดยสัดส่วนของ PP และ PET เพิ่มขึ้นในฤดูแล้ง ขณะที่ PS ลดลง ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะ PP และ PET ที่มักพบในขวดน้ำและภาชนะบรรจุอาหาร ข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ แม้ LDPE จะเป็นขยะพลาสติกที่พบมากที่สุด (> 68%) ในทั้งสองฤดูกาล แต่กลับไม่พบไมโครพลาสติกประเภท LDPE หรือ HDPE ในตัวอย่างดิน ขณะที่ไมโครพลาสติกที่พบส่วนใหญ่เป็นชนิด PP, PET และ PS ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่มีแนวโน้มแตกตัวเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กได้ง่ายภายใต้สภาพแวดล้อมภายในบ่อฝังกลบขยะ

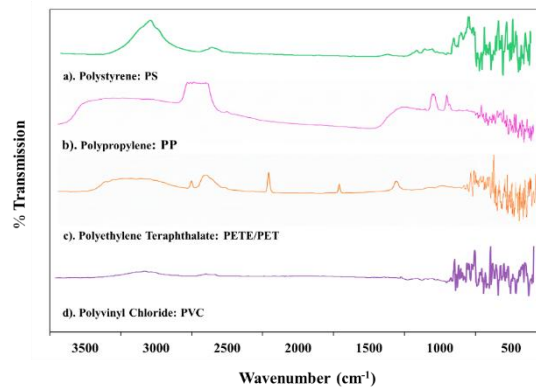
2) สัณฐานวิทยา (Morphology) และสี (Color)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของไมโครพลาสติกที่พบเด่นในทั้งสองฤดูกาล (รูปที่ 3) คือ Fragment โดยมีสัดส่วนร้อยละ 63.46 ในฤดูฝน และร้อยละ 85.71 ในฤดูแล้ง ตามด้วย Fiber ที่มีสัดส่วนร้อยละ 34.61 ในฤดูฝน และร้อยละ 14.29 ในฤดูแล้ง ผลการทดสอบ Chi-square test แสดงให้เห็นว่าการกระจายของสัณฐานวิทยาแตกต่างกันระหว่างสองฤดูกาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\chi^2 = 98.1$, $df = 2$, $p < 0.001$) โดย Fragment มีสัดส่วนเพิ่มสูงขึ้นในฤดูแล้ง ขณะที่ Fiber มีสัดส่วนลดลง อย่างไรก็ตาม พบไมโครพลาสติกรูปร่างแบบ Film เฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น (ร้อยละ 1.93) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการใช้ฟิล์มพลาสติกห่ออาหารในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้ การที่พบ Fragment เป็นสัณฐานวิทยาหลักสอดคล้องกับประเภทโพลีเมอร์ที่พบ (PP, PET, PS) ซึ่งมีแนวโน้มแตกตัวเป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กได้ง่าย

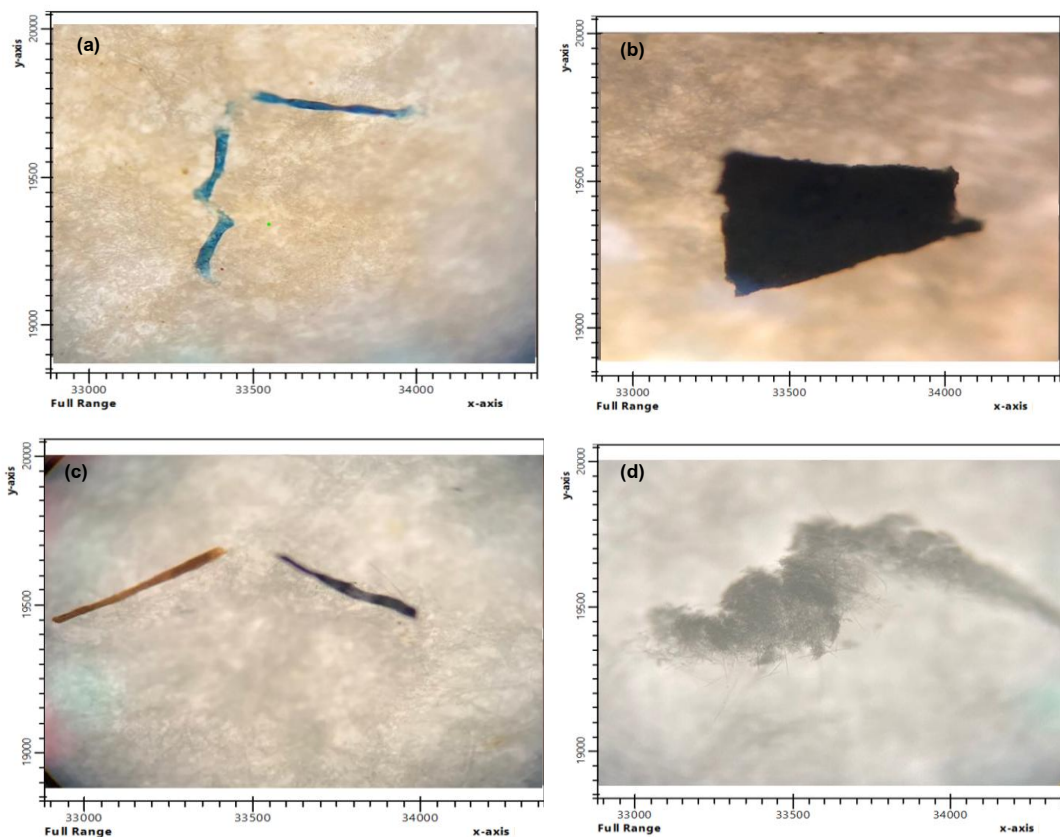
การสังเกตลักษณะไมโครพลาสติกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนซ์ (รูปที่ 5) พบความหลากหลายของสีและรูปร่าง โดยในฤดูฝนพบสีน้ำเงิน น้ำตาล ดำ ใส เทา และม่วง เช่น Blue fiber (รูปที่ 5(a)), Black film (รูปที่ 5(b)) และ Brown and dark blue fiber (รูปที่ 5(c)) ส่วนในฤดูแล้งพบสีเทา ดำ ใส และฟ้า เช่น Grey fragment (รูปที่ 5(d)) การเปลี่ยนแปลงของสีที่พบอาจสะท้อนถึงแหล่งที่มาและประเภทของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ถูกทิ้งในแต่ละช่วงฤดูกาล



รูปที่ 3 ไมโครพลาสติกที่พบจำแนกตามฤดูกาล (a) ประเภทและ (b) สัณฐานวิทยา



รูปที่ 4 กราฟความยาวคลื่นของการระบุชนิดของไมโครพลาสติกด้วยเครื่อง FTIR



รูปที่ 5 สัณฐานวิทยาไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษา (a) Blue fiber, (b) Black film, (c) Brown and dark blue fiber, และ (d) Grey fragment

5. อธิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแปรผันตามฤดูกาลของลักษณะและปริมาณไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกบขะ ณ ศูนย์จัดการขยะมูลฝอยรวมแบบครบวงจร องค์การบริหารส่วนจังหวัดลำปาง โดยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง ผลการศึกษาพบว่า องค์ประกอบขยะพลาสติกมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 20.19 ± 2.20 โดย LDPE เป็นประเภทที่พบมากที่สุดทั้งในฤดูฝน (ร้อยละ 71.57) และฤดูแล้ง (ร้อยละ 68.20) ปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในฤดูแล้ง ($1,013.33 \pm 220.30$ ชิ้นต่อกิโลกรัม) สูงกว่าในฤดูฝน (413.33 ± 151.44 ชิ้นต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Mann-Whitney U test, $p = 0.014$) แสดงให้เห็นว่าฤดูกาลมีอิทธิพลต่อการสะสมของไมโครพลาสติกในดิน สัณฐานวิทยาที่พบเด่นคือ Fragment (ฤดูฝน ร้อยละ 63.46, ฤดูแล้ง ร้อยละ 85.71) และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ระหว่างสองฤดูกาล (Chi-square test, $p < 0.001$) ชนิดของโพลีเมอร์ที่พบส่วนใหญ่คือ PP, PET และ PS โดยการกระจายของประเภทโพลีเมอร์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างสองฤดูกาล (Chi-square test, $p = 0.003$)

ผลของฤดูกาลต่อปริมาณไมโครพลาสติก พบว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการสะสมของไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ โดยปริมาณไมโครพลาสติกในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนประมาณ 2.45 เท่า ($p = 0.014$) ความแตกต่างนี้อาจเกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมหลายประการ ในฤดูแล้ง ความชื้นในดินลดลง การระเหยของน้ำสูง และปริมาณฝนน้อย ส่งผลให้การชะล้างของไมโครพลาสติกออกจากดินมีน้อย จึงทำให้ไมโครพลาสติกสะสมอยู่ในดินมากกว่า นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงและการได้รับแสงแดดที่เพิ่มขึ้นในฤดูแล้งอาจเร่งกระบวนการเสื่อมสลายทางกายภาพและทางเคมีของพลาสติก ทำให้พลาสติกขนาดใหญ่แตกตัวเป็นไมโครพลาสติกได้เร็วขึ้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Mahesh et al. [10] ที่พบว่าสภาพแวดล้อมที่แห้งและมีอุณหภูมิสูงส่งเสริมการสะสมของไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ ในฤดูฝน ปริมาณฝนที่สูงส่งผลให้เกิดการชะล้างและการเคลื่อนย้ายของไมโครพลาสติกออกจากดินผิวดินไปยังชั้นดินที่ลึกขึ้นหรือระบบน้ำใต้ดิน ส่งผลให้ปริมาณไมโครพลาสติกที่วัดได้ในชั้นดินผิวดิน (15 เซนติเมตร) มีค่าต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม การชะล้างนี้อาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกสู่พื้นที่โดยรอบและแหล่งน้ำใกล้เคียง ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบขยะพลาสติกและไมโครพลาสติกที่พบ เป็นข้อค้นพบที่น่าสนใจ แม้ LDPE จะเป็นขยะพลาสติกที่พบมากที่สุด (> 68%) ในทั้งสองฤดูกาล แต่กลับไม่พบไมโครพลาสติกประเภท LDPE หรือ HDPE ในตัวอย่างดิน ขณะที่ไมโครพลาสติกที่พบส่วนใหญ่เป็นชนิด PP (ร้อยละ 25.00 - 42.86), PET (ร้อยละ 19.23 - 28.57) และ PS (ร้อยละ 9.52 - 28.85) ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีสัดส่วนในขยะน้อยกว่า LDPE มาก ความขัดแย้งนี้สามารถอธิบายได้จากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ต่างกันของโพลีเมอร์แต่ละชนิด โดย LDPE มีความยืดหยุ่นสูงและทนทานต่อการแตกตัว จึงมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าและต้องใช้เวลานานกว่าในการแตกตัวเป็นไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (< 5 มม.) ในทางตรงกันข้าม PP, PET และ PS มีความเปราะบางมากกว่า โดยเฉพาะ PS ที่แตกหักได้ง่ายและ PET ที่เสื่อมสลายได้เร็วภายใต้สภาวะที่มีแสงแดดและความร้อน ทำให้แตกตัวเป็น Fragment ได้เร็วกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Alva and Thomas [8] ที่รายงานว่าอัตราการย่อยสลายของพลาสติกแตกต่างกันไปตามชนิดของโพลีเมอร์ โดย PS และ PET มีแนวโน้มแตกตัวเป็นไมโครพลาสติกได้เร็วกว่า PE นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของ PET ในช่วงฤดูแล้ง (จากร้อยละ 10.00 เป็น 15.02 ในขยะ และจากร้อยละ 19.23 เป็น 28.57 ในไมโครพลาสติก) สะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการบริโภคเครื่องดื่มบรรจุขวด PET ที่เพิ่มขึ้นในช่วงอากาศร้อนและการแตกตัวเป็นไมโครพลาสติกที่รวดเร็วของ PET ภายใต้สภาวะแสงแดดและความร้อนสูง ในขณะที่ PP เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในฤดูแล้ง (จากร้อยละ 25.00 เป็น 42.86) อาจเป็นผลมาจากการใช้ภาชนะบรรจุอาหารและผลิตภัณฑ์ประเภท PP ที่เพิ่มขึ้น

ฐานวิทยาศาสตร์และกระบวนการเสื่อมสลายของไมโครพลาสติก การที่พบ Fragment เป็นฐานวิทยาศาสตร์หลัก (ร้อยละ 63.46-85.71) ในทั้งสองฤดูกาล แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเสื่อมสลายทางกายภาพเป็นกลไกหลักในการเกิดไมโครพลาสติกในบ่อฝังกลบขยะ ตามที่ Upadhyay and Bajpai [9] ได้อธิบายว่าพลาสติกขนาดใหญ่ถูกบดอัด ถูกกระแทก และผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง ความร้อน และความเค้นกล จนแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ (Fragment) การเพิ่มขึ้นของสัดส่วน Fragment จากร้อยละ 63.46 ในฤดูฝนเป็นร้อยละ 85.71 ในฤดูแล้ง ($p < 0.001$) ชี้ให้เห็นว่าฤดูแล้งเอื้อต่อกระบวนการแตกตัวของพลาสติกมากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิสูงและแสงแดดที่เข้มข้นเร่งกระบวนการ Photodegradation และ Thermal degradation กระบวนการสลายตัวของพลาสติกส่งผลโดยตรงต่อความแตกต่างของปริมาณไมโครพลาสติกระหว่างสองฤดูกาล โดยในฤดูแล้ง ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการสลายตัวประกอบด้วยแสงยูวี (UV radiation) ที่มีความเข้มข้นสูง อุณหภูมิที่สูงซึ่งเร่งกระบวนการ Thermal oxidation และความชื้นต่ำที่ทำให้พื้นผิวพลาสติกแห้งและเปราะบางมากขึ้น สภาวะเหล่านี้ทำให้โครงสร้างโพลีเมอร์ถูกทำลาย พันธะเคมีแตกหัก และพลาสติกชิ้นใหญ่แตกตัวเป็นไมโครพลาสติกได้มากขึ้นในอัตราที่สูงกว่าฤดูฝน นอกจากนี้ ในฤดูแล้งยังมีการชะล้างของน้ำฝนน้อย ทำให้ไมโครพลาสติกที่เกิดขึ้นใหม่สะสมอยู่ในดินผิวดินมากกว่าที่จะถูกพัดพาไป ในทางตรงกันข้าม ฤดูฝนแม้จะมีการสลายตัวทางเคมีและชีวภาพในระดับหนึ่ง

แต่กระบวนการชะล้างด้วยน้ำฝนกลับนำพาไมโครพลาสติกออกจากพื้นที่เก็บตัวอย่างไปยังชั้นดินที่ลึกขึ้นหรือบริเวณโดยรอบ ส่งผลให้ปริมาณไมโครพลาสติกในดินผิวดินลดลง ความแตกต่างของกลไกเหล่านี้จึงอธิบายได้ว่าทำไมปริมาณไมโครพลาสติกในฤดูแล้ง ($1,013.33 \pm 220.30$ ชิ้นต่อกิโลกรัม) จึงสูงกว่าฤดูฝน (413.33 ± 151.44 ชิ้นต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ Fiber มีสัดส่วนลดลงจากร้อยละ 34.61 ในฤดูฝนเป็นร้อยละ 14.29 ในฤดูแล้ง อาจเป็นผลจากการชะล้างของเส้นใยที่มีน้ำหนักเบาออกจากพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูฝน หรือการเปลี่ยนแปลงของแหล่งที่มาของขยะ การพบ Film เฉพาะในฤดูฝน (ร้อยละ 1.93) อาจสัมพันธ์กับการใช้ฟิล์มพลาสติกห่ออาหารที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูฝน หรือเนื่องจากฟิล์มมีน้ำหนักเบาและบางมาก จึงสลายตัวเป็น Fragment ได้เร็วในสภาวะอุณหภูมิสูงของฤดูแล้ง

ผลกระทบและนัยสำคัญเชิงสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าบ่อฝังกลบขยะไม่เพียงแต่เป็นแหล่งเก็บสะสมไมโครพลาสติกเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของไมโครพลาสติกที่สามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมโดยรอบ โดยเฉพาะผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำฝนในฤดูฝน และการกระจายตัวด้วยลมในฤดูแล้ง ตามที่ Upadhyay and Bajpai [9] ได้รายงานว่ไมโครพลาสติกจากบ่อฝังกลบขยะสามารถปนเปื้อนในดิน แหล่งน้ำ และระบบนิเวศโดยรอบ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในห่วงโซ่อาหารและสุขภาพของมนุษย์ในระยะยาว ไมโครพลาสติกมีคุณสมบัติพื้นผิวแบบ Hydrophobic ทำให้สามารถดูดซับและรวมตัวกับสารมลพิษอื่นๆ เช่น โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลาย และจุลินทรีย์ก่อโรค ทำให้ไมโครพลาสติกกลายเป็นพาหะของสารพิษที่สามารถเคลื่อนย้ายและปล่อยสารเหล่านี้ออกมาเมื่อเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิต ตามที่ Mewaldt et al. [13] ได้รายงาน

6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้พบว่าขยะพลาสติกคิดเป็นร้อยละ 20 ของขยะทั้งหมด โดยชนิด LDPE เป็นประเภทที่พบมากที่สุด (ประมาณร้อยละ 70) ปริมาณไมโครพลาสติกในฤดูแล้ง (ประมาณ 1,000 ชิ้นต่อกิโลกรัม) สูงกว่าฤดูฝน (ประมาณ 400 ชิ้นต่อกิโลกรัม) อย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือชนิด Fragment (ร้อยละ 65 - 85) รองลงมาคือชนิด Fiber (ร้อยละ 15 - 35) ชนิดโพลีเมอร์ที่ตรวจพบ ได้แก่ PP, PET และ PS ขณะที่ไม่พบ LDPE และ HDPE ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอัตราการย่อยสลายของโพลีเมอร์แต่ละชนิดภายใต้สภาพแวดล้อมของบ่อฝังกลบขยะ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณและลักษณะของไมโครพลาสติกในดินบริเวณบ่อฝังกลบขยะ

ผลการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบมาตรการจัดการขยะที่คำนึงถึงปัจจัยตามฤดูกาล เช่น การเพิ่มความถี่ในการคลุมดินบริเวณหน้าบ่อฝังกลบในช่วงฤดูแล้งเพื่อลดการเสื่อมสภาพของพลาสติกจากการได้รับแสงแดด การปรับปรุงระบบระบายน้ำฝนเพื่อควบคุมการชะล้างและการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในช่วงฤดูฝน รวมถึงการส่งเสริมการคัดแยกขยะพลาสติกประเภท PP, PET และ PS ซึ่งมีแนวโน้มแตกตัวเป็นไมโครพลาสติกได้อย่างรวดเร็ว องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถใช้ข้อมูลนี้ในการวางแผนการจัดเก็บและกำจัดขยะพลาสติกอย่างเหมาะสมกับช่วงเวลาและฤดูกาล อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัด ได้แก่ จำนวนพื้นที่ในการเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างเพียงสองฤดูกาล (ฤดูฝนและฤดูแล้ง) และการวิเคราะห์เฉพาะชั้นผิวดิน ซึ่งอาจยังไม่สะท้อนภาพรวมของการกระจายตัวของไมโครพลาสติกในชั้นดินลึกหรือพื้นที่อื่น

การศึกษาต่อในอนาคตควรขยายขอบเขตไปสู่การติดตามการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกจากบ่อฝังกลบไปยังแหล่งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินโดยรอบ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการศึกษาในระยะยาวเพื่อทำความเข้าใจแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการสะสมและลักษณะของไมโครพลาสติกตามช่วงเวลาซึ่งจะช่วยสนับสนุนการกำหนดนโยบายและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณองค์การบริหารส่วนจังหวัดลำปาง นายปฐมพงศ์ มะลิ (วิศวกรสุขาภิบาลปฏิบัติการ) นายบุรินทร์ เมืองมูล (นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ) นางสาวอังคณา ปินตาเทพ (เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ข้อมูล) ที่ได้กรุณาให้

ความอนุเคราะห์การเก็บข้อมูลและสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์ลำปาง) กองทุนค่าธรรมเนียมการศึกษาเพื่อการพัฒนาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่สนับสนุนอุปกรณ์และงบประมาณในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] The active. (2025, August. 2). เร่งหาวิธีแนวทางลดขยะพลาสติกดีลิเวอรี่ 840 ล้านชิ้นต่อปี, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://theactive.thaipbs.or.th/news/pollution-20221227>
- [2] Y. Kim, J. Kang, and H. Chun, "Is online shopping packaging waste a threat to the environment?", *Economics Letters*, 214, 2022, pp. 110398.
- [3] United Nations Environment Programme. (2025, Aug. 7). Global waste management outlook 2024: Beyond an age of waste – Turning rubbish into resource, [Online] Available: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>
- [4] กรมควบคุมมลพิษ, แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 1 (พ.ศ. 2563 – 2565), กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ, 2564.
- [5] กรมควบคุมมลพิษ, รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย, กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย, กรุงเทพฯ, 2568.
- [6] I.E. Napper, and R.C. Thomson, "Plastic debris in the marine environment: History and Future Challenges", *Global Challenges*, 4, 2020, pp. 1900081.
- [7] Plastics Europe. (2025, Oct 13). Plastics-the fast facts 2025, [Online] Available: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2025/09/PE_TheFacts_25_digital-1pager-scrollable.pdf
- [8] P.P. Alva, and T.A. Thomas, "Microplastics: a global threat to life and living", *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(725), 2025, pp. 1-28.
- [9] K. Upadhyay, and S. Bajpai, "Microplastics in landfills: A comprehensive review on occurrence, characteristics and pathways to the aquatic environment", *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(5), 2021, pp. 1935-1945.
- [10] S. Mahesh, N.K. Gowda, and S. Mahesh, "Identification of microplastics from urban informal solid waste landfill soil; MP associations with COD and chloride", *Water Science and Technology*, 87(1), 2023, pp. 115-129.
- [11] A. Puthcharoen, and S. Leungprasert, "Determination of microplastics in soil and leachate from the landfills", *Thai Environmental Engineering Journal*, 33(3), 2019, pp. 39-46.
- [12] P. Koonmee, P. Vibhatabandhu, and S. Srihongthai, "Microplastic contamination in landfill leachate and surface water: Assessment of wastewater treatment efficiency at the Nonthaburi waste management center, Thailand", *South Eastern European Journal of Public Health*, XXV(S1), 2024, pp. 1451-1457.
- [13] C. Mewaldt, W. Armand, J. Slutzman, and J. Eisen, "The plastic pandemic: Quantification of waste on an inpatient medicine unit", *The Journal of Climate Change and Health*, 11, 2023, pp. 100230.
- [14] W. Wisitthamasri, P. Promduang, and S. Chotpantararat, "Characterization of microplastics in soil, leachate and groundwater at a municipal landfill in Rayong Province, Thailand", *Journal of Contaminant Hydrology*, 267(104455), 2024, pp. 1-14.
- [15] สำนักงานจังหวัดลำปาง, บรรยายสรุปจังหวัดลำปาง, กลุ่มงานยุทธศาสตร์และข้อมูลเพื่อการพัฒนาจังหวัด, ลำปาง, 2568
- [16] กรมควบคุมมลพิษ, คู่มือการคัดแยกองค์ประกอบขยะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย, กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย, กรุงเทพฯ, 2565.

- [17] J. Masura, J. Baker, G. Foster, and C. Arthur, *Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*, National Oceanic and Atmospheric Administration, USA, 2015.
- [18] P. Saengchut, H. Viriya, and N. Kongritti, "Source apportionment of microplastics in environment from sanitary landfill: A case study of Muangpak municipality landfill, Thailand", *Journal of Ecological Engineering*, 25(1), 2024, pp. 278-284.
- [19] A. Naji, Z. Esmaili, S.A. Mason, and A.D. Vethaak, "The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran", *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 2017, pp. 20459-20468.