



ผลกระทบของระยะเวลาและสภาวะการเก็บรักษาต่อปริมาณและลักษณะของไมโครพลาสติก (1-5,000 ไมโครเมตร) ในน้ำดื่มบรรจุขวด PET

Impact of Storage Duration and Conditions on the Quantity and Characteristics of Microplastics (1-5,000 μm) in PET Bottled Drinking Water

ฐิติวัฒน์ มาตฤปโยธร¹, ธนอมศักดิ์ บุญภักดี^{1,2*}, สุบันจิต นิมรัตน์³

¹หลักสูตรบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

²ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

³ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี 20131

Thitiwat Mataroepayotorn¹, Thanomsak Boonphakdee^{1,2*}, Subandhit Nimrat³

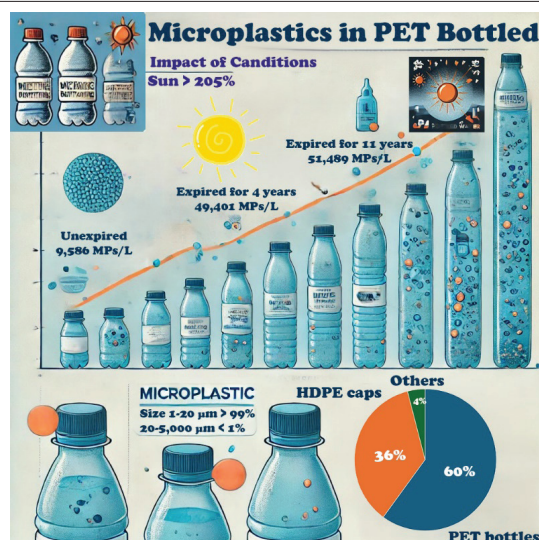
¹Graduate Program in Environmental Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131

²Department of Aquatic Science, Faculty of Science Burapha University, Chonburi 20131

³Department of Microbiology, Faculty of Science Burapha University, Chonburi 20131

Received 18 January 2025; Received in revised 10 March 2025; Accepted 17 March 2025

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

This study aimed to evaluate the increase in microplastics (1 to 5,000 μm) in PET (polyethylene terephthalate) bottled drinking water under varying storage durations and preservation conditions. The concentration of microplastics in unexpired bottled water was 944 ± 307 MPs/L, which increased significantly to $5,239 \pm 84$ MPs/L in water stored for four years beyond its expiration date, and peaked at $6,065 \pm 60$ MPs/L in bottles that had expired for 11 years. These results demonstrate a clear correlation between storage duration and microplastic accumulation. Notably, over 99% of the detected microplastics were smaller than 20 μm . SEM-EDX analysis revealed that most microplastics originated from PET bottles (60%) and HDPE caps (36%). Environmental storage conditions also played a crucial role in microplastic release: bottles stored outdoors exhibited accelerated plastic degradation, resulting in a 205% higher microplastic concentration compared to those stored in dark, room-temperature environments. These findings underscore the importance of enforcing expiration dates for PET bottled water and highlight the need for proper storage practices to minimize health risks associated with microplastic-contaminated water. Moreover, the study provides crucial insights for developing standards to ensure safe and sustainable plastic packaging production and effective waste management in the future.

คำสำคัญ	บทคัดย่อ
ไมโครพลาสติก; น้ำดื่มบรรจุขวด; บรรจุภัณฑ์ PET; สุขภาพผู้บริโภค Keywords Microplastics; Bottled drinking water; PET packaging; Consumer health	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติก (ขนาด 1-5,000 ไมโครเมตร) ในน้ำดื่มบรรจุขวดชนิด Polyethylene terephthalate (PET) ภายใต้ระยะเวลาและรูปแบบการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน โดยปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำดื่มที่ยังไม่หมดอายุอยู่ที่ 944 ± 307 ชิ้นต่อลิตร น้ำดื่มที่หมดอายุ 4 ปีเพิ่มขึ้นเป็น $5,239\pm84$ ชิ้นต่อลิตร และในน้ำดื่มที่หมดอายุ 11 ปี เพิ่มขึ้นสูงสุดถึง $6,065\pm60$ ชิ้นต่อลิตร แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามระยะเวลาการเก็บรักษา ไมโครพลาสติกที่พบมากกว่า 99% มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร การวิเคราะห์ด้วย SEM-EDX บ่งชี้ว่าไมโครพลาสติกส่วนใหญ่ในน้ำดื่มบรรจุขวดมาจากขวด PET (60%) และฝาพลาสติก HDPE (36%) สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษายังส่งผลสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติก โดยการตั้งไวกลางแจ้งนั้น ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเสื่อมสภาพเร็วขึ้นและมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงกว่าการเก็บรักษาในที่มืด ณ อุณหภูมิห้องถึง 205% ผลการศึกษานี้ช่วยยืนยันความสำคัญของการกำหนดวันหมดอายุของขวดน้ำดื่ม PET และให้คำแนะนำเกี่ยวกับวิธีการเก็บรักษาเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการบริโภคน้ำดื่มที่ปนเปื้อนไมโครพลาสติก อีกทั้งยังเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการพัฒนามาตรฐานการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ปลอดภัยและยั่งยืนในอนาคต

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลาสติกในชีวิตประจำวันเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ที่มีปริมาณการใช้สูงถึง 2.048 ล้านตันต่อปี [1] เมื่อบรรจุภัณฑ์พลาสติกเหล่านี้ถูกจัดการอย่างไม่เหมาะสม สามารถแตกสลายกลายเป็นไมโครพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร [2] ที่สามารถเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในระยะยาว [3, 4, 5] ทำให้เกิดความตระหนักถึงการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระบบผลิตน้ำประปาเพื่อการอุปโภคบริโภคของมนุษย์ [6, 7, 8, 9, 10]

ความกังวลเกี่ยวกับการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการค้นพบอนุภาคพลาสติกในเลือดมนุษย์เป็นครั้งแรก โดยพบพอลิเมอร์ที่สำคัญคือ Polyethylene terephthalate (PET) ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่ใช้ผลิตขวดน้ำดื่ม ที่ความเข้มข้นเฉลี่ย 1.6 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร [11] นอกจากนี้ ไมโครพลาสติกยังอาจเป็นพาหะนำจุลินทรีย์ก่อโรคเข้าสู่ร่างกายและส่งผลต่อประสิทธิภาพของยาปฏิชีวนะ [12] ซึ่งไมโครพลาสติกที่สะสมอยู่ในร่างกายของมนุษย์ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร โดยมาจากการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่ปนเปื้อนไมโครพลาสติก [13] ซึ่งขวดพลาสติกบรรจุน้ำดื่มที่นิยมใช้กันมากที่สุดนั้นโดยทั่วไปผลิตมาจากพลาสติกชนิด Polyethylene terephthalate (PET) ส่วนมากขวดชนิดนี้เป็นแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง [14] และน้ำดื่มที่บรรจุขวด PET พบว่ามีไมโครพลาสติกขนาดเล็กกว่า 20 μm เป็นจำนวนมาก [15]

แม้ว่าจะมีการศึกษาพบไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด PET ที่ยังไม่หมดอายุในหลายประเทศ [3, 16, 17] แต่ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณไมโครพลาสติกระหว่างขวดน้ำดื่มที่หมดอายุและยังไม่หมดอายุมาก่อนเลย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษา 1) เปรียบเทียบปริมาณและขนาดของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มที่มีอายุการเก็บรักษาต่างกัน 2) ตรวจสอบชนิด แหล่งที่มา และ 3) ปัจจัยการเก็บรักษาน้ำดื่มบรรจุขวด PET ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของไมโครพลาสติก

ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็พื้นฐานเชิงประจักษ์ที่สำคัญสำหรับการกำหนดนโยบายด้านความปลอดภัยของน้ำดื่มบรรจุขวด การให้คำแนะนำแก่ผู้บริโภคเกี่ยวกับการเก็บรักษาน้ำดื่มที่เหมาะสม และการพัฒนามาตรฐานการผลิตบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มที่ปลอดภัยต่อสุขภาพในระยะยาว อีกทั้งยังเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษาผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อสุขภาพมนุษย์ต่อไปในอนาคตได้อีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

2.1. ปริมาณไมโครพลาสติก

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิด Polyethylene terephthalate (PET) แบบใส ยี่ห้อ A (Figure 1) ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ซึ่งสภาพของบรรจุภัณฑ์ยังอยู่ในสภาพเดิมจากโรงงานผลิต คือมีน้ำบรรจุอยู่เต็มขวดและยังไม่เปิดขวดและเก็บรักษาในกล่องทึบแสง แบ่งเป็นน้ำดื่มบรรจุขวดที่ยังไม่หมดอายุ 3 ตัวอย่าง (พ.ศ.2567) และน้ำดื่มบรรจุขวดที่หมดอายุแล้ว 6 ตัวอย่าง โดยหมดอายุมาแล้วเป็นเวลา 4 และ 11 ปี (หมดอายุในปี พ.ศ. 2562 และ พ.ศ. 2555 ตามลำดับ) (Table 1) ซึ่งก่อนทำการทดลองขวดน้ำตัวอย่างทั้งหมดถูกเก็บรักษาในกล่องทึบแสงที่อุณหภูมิห้อง และทำการวิเคราะห์ปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำดื่มหมดอายุในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566

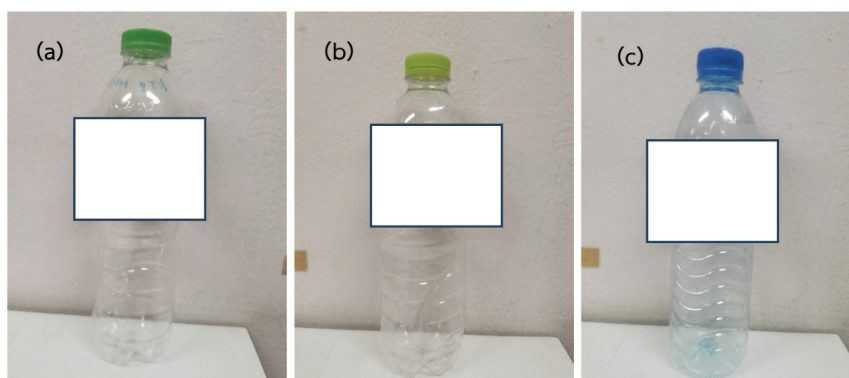


Figure 1 Brand a PET transparent bottled drinking water used in this study includes (a) Thin bottled drinking water that has not yet expired, (b) Thin bottled drinking water that has expired for 4 years, and (c) Bottled drinking water that has expired for 11 years.

Table 1 Details of expired and non-expired PET bottled drinking water from Brand A.

Brand	Expired date	Status	Volume (ml)	Characteristic	Number of samples.
A	23/03/2567	Unexpired	550	Thin, transparent bottles	1
	26/03/2567	Unexpired	550	Thin, transparent bottles	1
	06/04/2567	Unexpired	550	Thin, transparent bottles	1
	28/02/2562	Expired for 4 years	550	Thin, transparent bottles	3
	30/09/2555	Expired for 11 years	600	Transparent bottles.	1
	30/09/2555	Expired for 11 years	600	Transparent bottles.	1
	30/09/2555	Expired for 11 years	600	Transparent bottles.	1
Total					9

2.2. สภาวะการเก็บรักษาน้ำดื่มบรรจุขวด

เก็บตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิด Polyethylene terephthalate (PET) แบบใส ยี่ห้อ B ขนาด 600 ml ที่มาจากล็อตการผลิตเดียวกัน (Expired date: 30/04/2025) ทั้งหมด 156 ขวด เก็บรักษาในสภาวะที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ คือ 1) ชุตควบคุม เก็บที่อุณหภูมิห้องในสภาพทึบแสง 2) ตั้งไว้กลางแจ้งตลอดเวลา (Direct sunlight) 3) เก็บในสภาพแช่เย็น (Cool) สภาพ

ทึบแสงที่ 4°C และ 4) เก็บในสภาพแช่แข็ง (Frozen) สภาพทึบแสงที่ -10°C ทำการสุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ปริมาณไมโครพลาสติกทุกๆ 1 เดือน ตัวอย่างละ 3 ขวด เป็นเวลา 12 เดือน

2.3. วิธีการสกัดและวิเคราะห์ไมโครพลาสติก

กรองน้ำตัวอย่างจากตัวอย่างขวดน้ำดื่มผ่านตะแกรงกรองขนาดรูกรอง (Pore size) ขนาด 1,000-5,000, 300-1,000, 60-300, 20-60 μm และ กระดาษ

กรอง Polycarbonate ขนาดรูกรอง 1 μm น้ำตะแกรงกรองไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนกว่าจะแห้ง และหยด Nile-red จำนวน 3 หยด ลงบนกระดาษกรองเพื่อย้อมสีไมโครพลาสติกขนาด 1-20 μm [14, 18] แล้วจึงนับจำนวนไมโครพลาสติกแต่ละขนาด และบ่งชี้ลักษณะรูปร่างภายใต้กล้อง Fluorescence stereo microscopes (Model camera KÖnigsalle optronic, Germany) กำลังขยาย 40 เท่า เก็บชิ้นไมโครพลาสติกที่พบลงใน Microtiter plate ที่มีเอทานอล 50% [16] และทำการตรวจสอบลักษณะและธาตุนบนพื้นผิวของไมโครพลาสติกด้วย Scanning electron microscope - energy dispersive x-ray analysis (SEM-EDX) [15, 19] ยี่ห้อ LEO รุ่น LEO1450VP ณ ห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากสภาวะแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ ภาชนะทุกชิ้นที่ใช้ในการวิเคราะห์จะถูกล้างด้วยน้ำกลั่น RO (Reverse osmosis) ที่กรองผ่านกระดาษกรองขนาดรู 0.45 μm ก่อนการนำไปใช้งาน และทำการตรวจสอบวัตถุปลอมปนบนตะแกรงกรองด้วยกล้อง Stereo microscopes และยังจัดให้มีชุดควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 250 ml บรรจุน้ำกลั่น RO ที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรองขนาดรู 0.45 μm 100 ml แล้วนำไปตั้งไว้ในห้องปฏิบัติการบริเวณที่ทำการวิเคราะห์ปฏิบัติงานทำการแยกและนับจำนวนไมโครพลาสติกในชุดทดลองที่อาจปนเปื้อนจากสภาวะแวดล้อมในห้องปฏิบัติการและนำค่าที่ได้มาหักลบออกจากผลการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกที่พบในตัวอย่างน้ำดื่ม ทั้งนี้ปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในชุดควบคุมต้องมีไม่เกิน 0.5% ของปริมาณไมโครพลาสติกที่พบในตัวอย่างน้ำดื่ม [14] จึงจะสามารถใช้ผลการวิเคราะห์นั้นได้

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

PET เป็นพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตขวดน้ำดื่ม เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ทนทานและไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมีในน้ำ [20] แต่เมื่อเวลาผ่านไปพลาสติก PET จะเริ่มเสื่อมสภาพ โดยได้รับผลกระทบจากแสง UV, ความร้อน และการเก็บรักษาในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม [21]

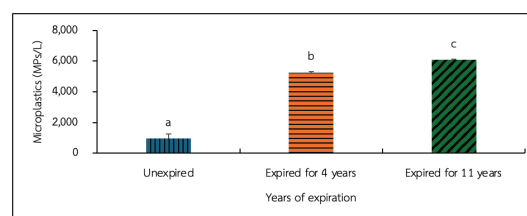
3.1. ปริมาณไมโครพลาสติกของน้ำในขวดน้ำดื่ม

ไมโครพลาสติกทุกขนาด 1-5000 ไมโครเมตรในน้ำดื่มบรรจุขวดยี่ห้อ A ที่ยังไม่หมดอายุ มีปริมาณ 944 ± 307 MPs/L (Table 2) ซึ่งมีปริมาณมากกว่าไมโครพลาสติกที่พบในน้ำดื่มบรรจุขวดจากประเทศจีน [17] ไทย [14] และอิตาลี [19] (Table 2) ทั้งนี้ไมโครพลาสติกจากการศึกษาข้างต้นนั้นมีขนาดอยู่ระหว่าง 6.5-2,000 μm ขณะที่ในน้ำดื่มบรรจุขวดจากอิตาลี [19] มีปริมาณไมโครพลาสติกขนาด 0.5-10 μm สูงถึง $5.42 \times 10^7 \pm 1.95 \times 10^7$ MPs/L เช่นเดียวกับการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (1-20 μm) มีสัดส่วนมากกว่า 99 % ของไมโครพลาสติกที่พบทั้งหมด (Figure 3) แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างขนาดและปริมาณของไมโครพลาสติกในน้ำดื่ม โดยไมโครพลาสติกขนาดเล็กมีปริมาณมากกว่าไมโครพลาสติกขนาดใหญ่ [14, 16, 17] ทั้งนี้เป็นผลมาจากการแตกตัวของไมโครพลาสติกขนาดใหญ่เป็นอนุภาคไมโครพลาสติกขนาดเล็กผ่านกระบวนการทางกายภาพและเคมี ซึ่งส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของอนุภาคไมโครพลาสติกขนาดเล็กในน้ำดื่มบรรจุขวด

Table 2 Total amount of all sizes of microplastics (1-5,000 μm) in PET bottled drinking water. (MPs/L)

Samples	Microplastic size (μm)	Unexpired	Expired for 4 years	Expired for 10 years	Ref.
Brand A	1-5,000	944 $\pm$ 307	5,239 $\pm$ 84	6,065 $\pm$ 60	This study.
Germany	1.5-50	2,649 $\pm$ 2,857	-	-	Oßmann et al., 2018 [16]
China	10-2,000	72.32 $\pm$ 44.64	-	-	Li et al., 2023 [17]
Thailand	6.5-250	140 $\pm$ 19	-	-	Kankanige et al., 2020 [14]
Italy	0.5-10	5.42 $\times$ 107 $\pm$ 1.95 $\times$ 107	-	-	Zuccarello et al., 2019 [19]

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวดยี่ห้อ A ที่หมดอายุแล้ว พบว่ามีปริมาณมากกว่าน้ำดื่มบรรจุขวดที่ยังไม่หมดอายุถึง 5 เท่า (Figure 2) และน้ำดื่มบรรจุขวดที่หมดอายุแล้ว 11 ปี มีปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าน้ำดื่มบรรจุขวดที่หมดอายุแล้ว 4 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การที่น้ำดื่มบรรจุขวดที่หมดอายุแล้วมีปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าน้ำดื่มบรรจุขวดที่ยังไม่หมดอายุนั้น ก็เนื่องมาจากน้ำดื่มบรรจุขวด PET ที่ยังไม่หมดอายุนั้นยังคงมีความสมบูรณ์ของโครงสร้างโมเลกุลของขวด PET และการปลดปล่อยไมโครพลาสติกจากขวด PET ที่ยังไม่หมดอายุก็น้อย เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ยังคงความแข็งแรงและไม่เกิดการสลายตัวการเสื่อมสภาพและการแตกกร้าวของโครงสร้างขวด PET โดยเฉพาะเมื่อเก็บในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูงหรือสัมผัสกับแสงแดด นอกจากนี้ การเสื่อมสภาพยังเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำ เช่น การปลดปล่อยไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งทำให้โครงสร้างโมเลกุล PET แตกตัวจนกลายเป็นไมโครพลาสติก [22] Food and drug administration [23] ได้กำหนดให้ขวดพลาสติกชนิด PET ที่ผลิตออกมามีอายุการใช้งานไม่เกิน 2 ปี ดังนั้นการเสื่อมสภาพของขวด PET จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด การปรับปรุงมาตรฐานการผลิตและการกำจัดขวดอย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการลดผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคน้ำดื่ม [14, 24]

**Figure 2** Total amount of all size microplastics (1-5,000 μm) in Brand A PET drinking bottles.

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของไมโครพลาสติกที่พบในน้ำดื่มบรรจุขวด PET พบว่ามีปริมาณของไมโครพลาสติกขนาด 1-20 μm มากกว่า 99% ของไมโครพลาสติกทั้งหมด (Figure 3) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kankanige and Babel (2020) [14]; Oßmann et al. (2018) [16]; Zuccarello et al. (2019) [19] and Schymanski et al. (2018) [25] ที่พบว่ามีไมโครพลาสติกขนาดเล็กมากกว่า 70% เมื่อเทียบกับไมโครพลาสติกขนาดอื่นๆ ที่ใหญ่กว่า ทั้งนี้เนื่องจากการกระบวนการเสื่อมสภาพของขวด PET จากการได้รับแสง UV, ความร้อน, และการเคลื่อนไหว รวมถึงการผลิตหรือการบรรจุภัณฑ์ที่ทำให้พลาสติกแตกตัวเป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้ง่าย การสลายตัวนี้เป็นกระบวนการต่อเนื่องที่ส่งผลให้เกิดไมโครพลาสติกขนาดเล็กมากขึ้น [21] ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดจึงควรหลีกเลี่ยงการเก็บขวด PET ไว้ยาวนานไปหรือเก็บรักษาใน

สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการได้รับสัมผัสกับแสงแดดโดยตรง

ในประเทศเยอรมนี พบไมโครพลาสติกในน้ำดื่มขนาด 1-10 μm 100% [16] และขนาด 5-20 μm พบ 71% [25] ในประเทศจีน มีการตรวจไมโครพลาสติกขนาด 10-50 μm พบ 67.85% ของปริมาณทั้งหมด [17] สาเหตุของการพบไมโครพลาสติกขนาดเล็ก (<20 μm) เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการเสื่อมสภาพของขวดน้ำดื่มพลาสติกชนิด PET โดยมีที่มาจาก การแตกหักและเกิดกระบวนการย่อยสลายพลาสติกขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงจนเป็นไมโครพลาสติกมาปนเปื้อนอยู่ในน้ำดื่ม จึงเป็นเหตุผลที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กำหนดวันหมดอายุของขวดน้ำดื่มไว้ที่ 2 ปี [14, 23, 24]

รูปร่างของไมโครพลาสติกส่วนมากพบว่า มีรูปร่างเส้นใยโดยพบมากกว่า 50% ของไมโครพลาสติกทั้งหมด (Figure 4) ใกล้เคียงกับประเทศไทย ที่ตรวจพบไมโครพลาสติกรูปร่างเส้นใยในน้ำดื่มขวดชนิด PET ที่ยังไม่หมดอายุมากถึง 74.3% [14]

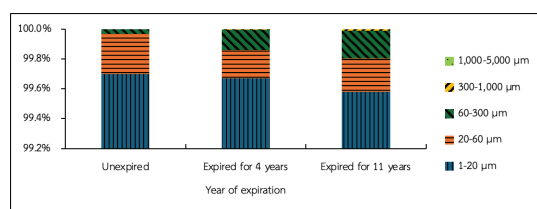


Figure 3 Comparison of the percentage proportions of microplastics of different sizes in PET bottled drinking water from Brand A: unexpired, expired for 4 years, and expired for 11 years.

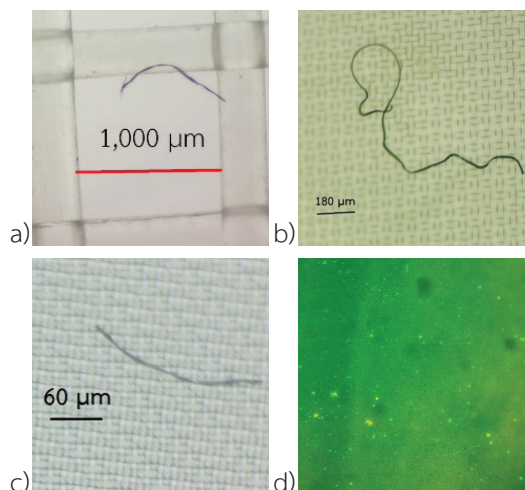


Figure 4 Microplastic samples under a stereo microscope: (a) Microplastics sized 1,000–5,000 μm , (b) microplastics sized 60–300 μm , (c) microplastics sized 20–60 μm , and (d) fluorescence of 1–20 μm microplastics under fluorescent light.

3.2. ผลของการเก็บรักษาต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด PET

จากการศึกษาวิธีการเก็บรักษาน้ำดื่มบรรจุขวดชนิด B จะพบว่า วิธีการเก็บรักษาน้ำดื่มที่แตกต่างกันก็ส่งผลต่อปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด PET อย่างชัดเจน (Figure 5) โดยขวดน้ำดื่ม PET ที่ตั้งกลางแจ้งนั้นมีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้น 3.6 เท่า ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดจากรังสี UV เข้าไปทำปฏิกิริยากับโครงสร้างของพอลิเมอร์ทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างกันแตกออก ส่งผลให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ไม่มั่นคงและเกิดการแตกออกจากชิ้นพลาสติกขนาดใหญ่เป็นไมโครพลาสติก [26]

ส่วนชุดควบคุม ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในสภาพที่บดแสงมีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้น 1.75 เท่าของปริมาณเริ่มต้น ซึ่งแตกต่างกับการเก็บรักษาขวดน้ำที่อุณหภูมิ -10°C ซึ่งเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้นเพียง 1.60 เท่า แต่กระบวนการแช่เย็นและแช่แข็งอาจส่งผลให้โครงสร้างของพอลิเมอร์มี

ความยืดหยุ่นน้อยลง ทำให้เกิดการแตกหักง่ายเมื่อมีแรงมากระทำ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการแตกหักออกเป็นชิ้นใหญ่ได้ [27] อีกทั้งการหลอมละลายน้ำแข็งและแช่แข็งบ่อยครั้งจะทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์เสื่อมสภาพได้เร็วยิ่งขึ้น [28] ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการดองทิ้งไว้ ซึ่งทำให้ไม่ได้รับการกระแทกหรือการสัมผัสจนถึงกระบวนการสกัดไมโครพลาสติกทำให้พบไมโครพลาสติกในปริมาณที่น้อย ดังนั้น สภาพการเก็บรักษาน้ำดื่มบรรจุขวด PET ที่เหมาะสมที่สุด คือ การเก็บในอุณหภูมิห้องและไม่ถูกแสงแดด

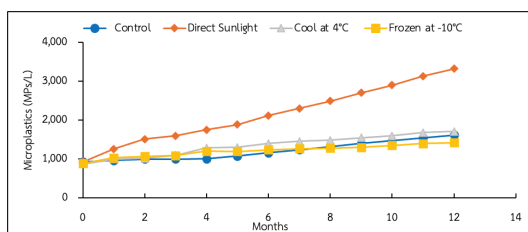


Figure 5 Increase in microplastics in PET bottled drinking water stored under different conditions for 12 months.

3.3. ลักษณะ และธาตุบนพื้นผิวของไมโครพลาสติกด้วยเทคนิค Scanning electron microscope - energy dispersive x-ray analysis (SEM-EDX)

ลักษณะพื้นผิวของฝาขวดน้ำพลาสติกในขวดน้ำดื่มหมดอายุ พบว่ามีความเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างชัดเจน (Figure 6) โดยฝาของขวดน้ำที่ยังไม่หมดอายุ มีร่องรอยของการแตกหรือหลุดออกจากฝาพลาสติกขนาดเล็กเพียงเล็กน้อย แตกต่างจากฝาของขวดน้ำที่หมดอายุแล้ว 4 ปี มีร่องรอยของการแตกและเป็นปุ่มขนาดเล็ก

หลุดออกมาปริมาณที่มากขึ้น โดยเฉพาะฝาของขวดน้ำที่ยังหมดอายุ 11 ปี มีชนิดส่วนที่หลุดลอกออกมาขนาดใหญ่ขึ้น แสดงให้เห็นว่าฝาของขวดน้ำเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการเสื่อมสภาพได้

ลักษณะพื้นผิวภายในของขวดพลาสติกมีการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตเห็นได้ภายใต้กล้อง Scanning electron microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000X (Figure 7) พบว่าพื้นผิวภายในของขวดพลาสติกที่ยังไม่หมดอายุค่อนข้างเรียบ และเริ่มมีร่องรอยการแตกและหลุดออกของพื้นผิวเมื่อเวลาผ่านไปเป็นปริมาณที่มากขึ้น โดยมีการแตกออกเป็นลักษณะเม็ดเล็กๆ แสดงให้เห็นว่าขวดน้ำพลาสติกเมื่อเวลาผ่านไปจะมีการเสื่อมสภาพ ทั้งนี้จากผลการศึกษาพบว่าพื้นผิวของขวดน้ำดื่มและฝาของขวดน้ำดื่มมีการเสื่อมสภาพและสลายตัวเมื่อระยะเวลาผ่านไป ส่งผลให้มีไมโครพลาสติกปนเปื้อนลงสู่น้ำดื่มซึ่งบรรจุอยู่ในขวดในสภาวะปิด

จากการทดสอบธาตุที่พื้นผิวของฝาและภายในผิวของขวดน้ำพลาสติกด้วยเทคนิค Energy dispersive x-ray analysis (EDX) พบว่าฝาพลาสติกมีคาร์บอน 94% ออกซิเจน 5% และธาตุอื่นๆ 1% ซึ่งสอดคล้องกับชนิดพลาสติกของฝาพลาสติกที่ทำมาจาก High density polyethylene (HDPE) และขวดน้ำพลาสติก พบธาตุคาร์บอน 73% ออกซิเจน 25% และธาตุอื่นๆ 2% สอดคล้องกับพลาสติกชนิด PET ซึ่งเป็นพลาสติกชนิดที่นำมาผลิตขวดพลาสติก (Figure 8)

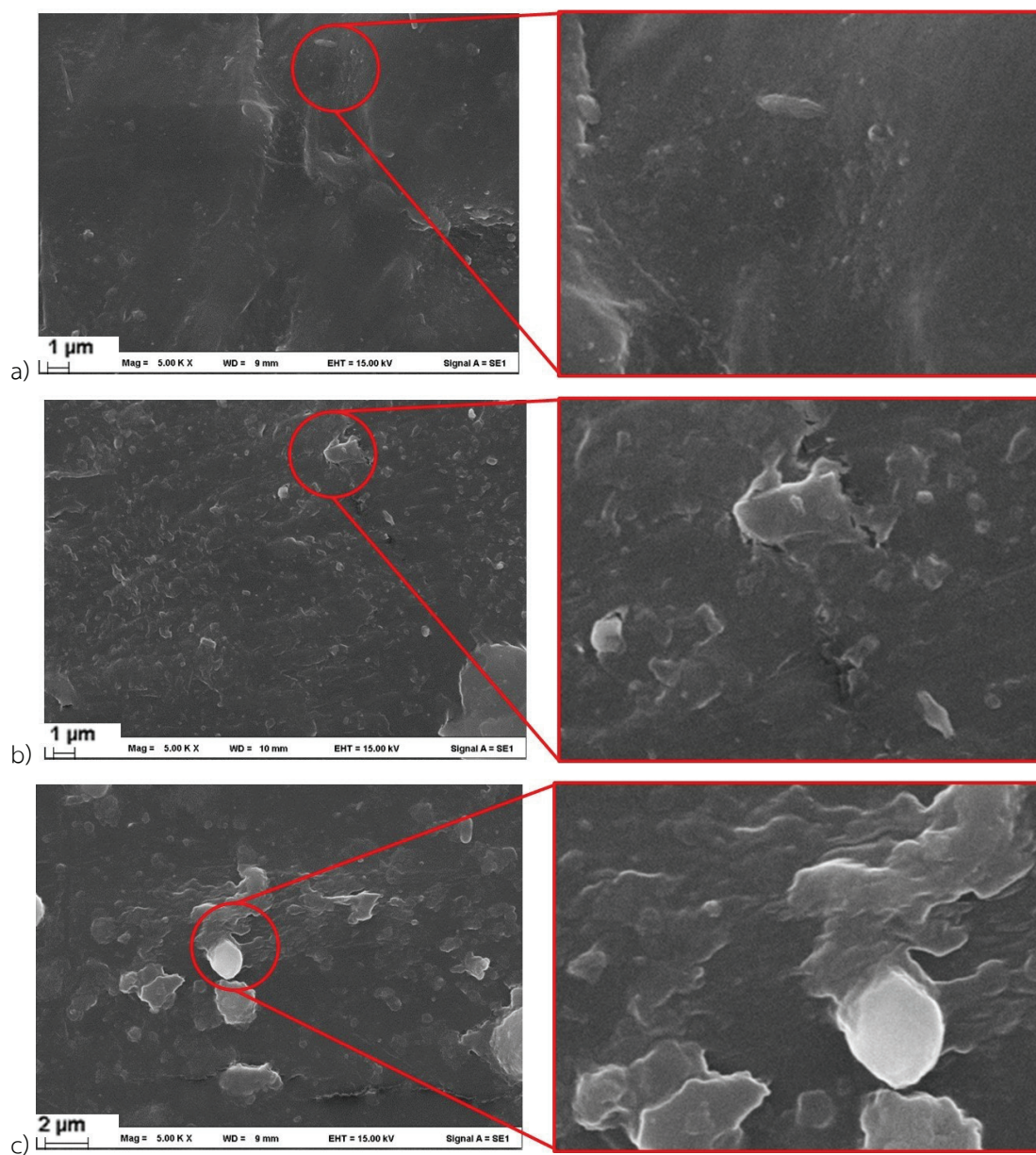


Figure 6 Surface of plastic water bottle caps viewed under a Scanning Electron Microscope (SEM) at 5,000X magnification: (a) unexpired cap, (b) cap expired for 4 years, and (c) cap expired for 11 years.

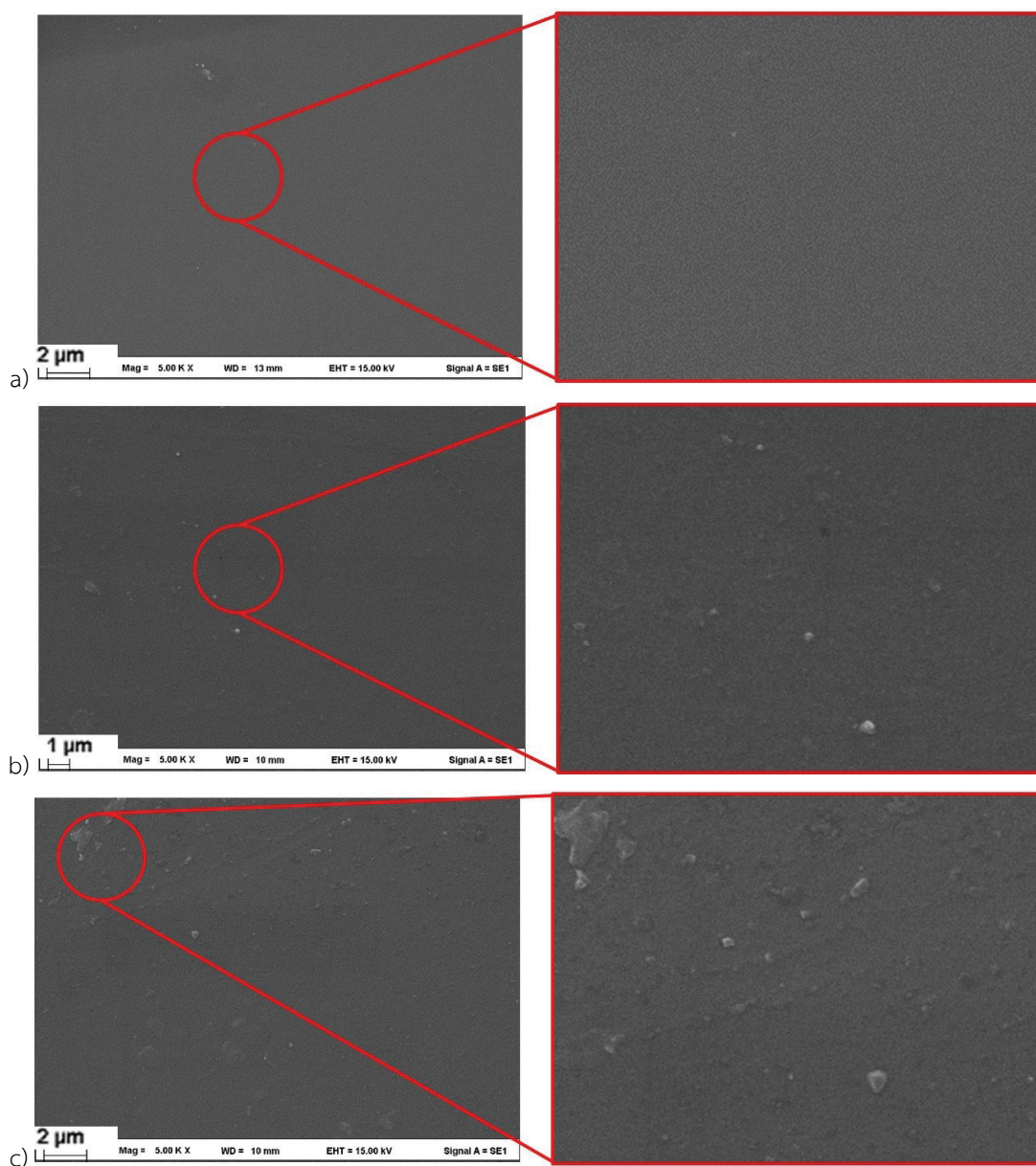


Figure 7 Internal surface of water bottles viewed under a Scanning Electron Microscope (SEM) at 5,000X magnification: (a) unexpired bottle, (b) bottle expired for 4 years, and (c) bottle expired for 11 years.

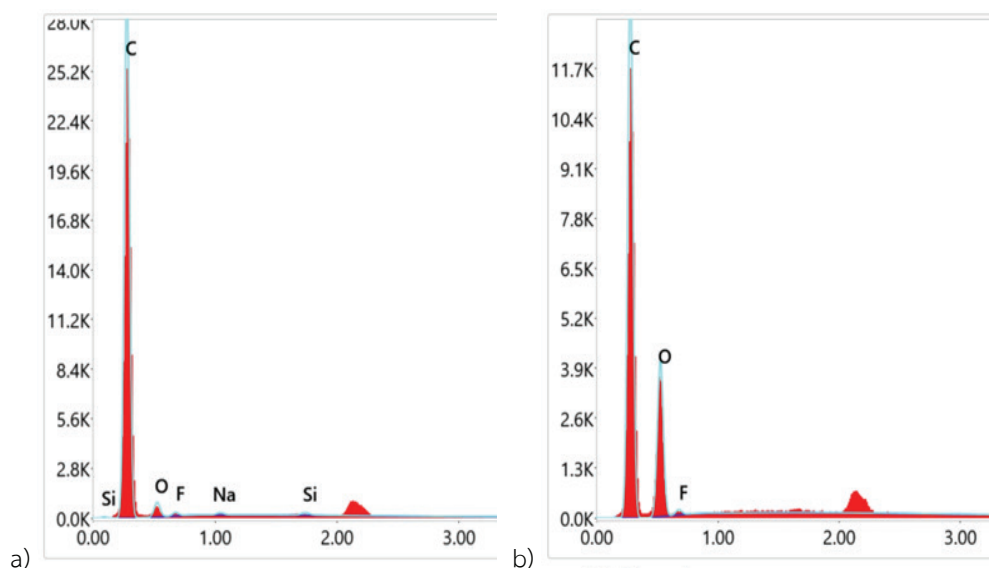


Figure 8 Chemical components detected on the surface of the cap - HDPE (a); and the internal surface of a plastic water bottle - PET (b); using Energy Dispersive X-ray (EDX) analysis.

เนื่องจากภายในขวดน้ำดื่มเป็นสภาวะปิดที่มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกจากภายนอกได้น้อย ผู้วิจัยจึงใช้ SEM-EDX ในการเปรียบเทียบชนิดของพอลิเมอร์ โดย EDX เป็นการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานของพอลิเมอร์ [29] โดยเปรียบเทียบจากปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนที่พบและสามารถใช้ศึกษาลักษณะการสึกกร่อนของผิวไมโครพลาสติกว่ามีมากน้อยเพียงใดได้อีกด้วย [19,30]

จากการสุ่มตัวอย่างไมโครพลาสติกทั้งหมดที่พบ 100 ชิ้นไปทำการวิเคราะห์ชนิดของพอลิเมอร์ด้วย SEM-EDX พบว่าเป็นไมโครพลาสติกชนิด HDPE 36 ชิ้น (36%) PET 60 ชิ้น (60%) และพอลิเมอร์อื่นๆ 4 ชิ้น (4%) ตัวอย่างไมโครพลาสติกมาจากน้ำดื่มที่ยังไม่หมดอายุ 24 ตัวอย่าง พบ HDPE 12 ชิ้นและ PET 12 ชิ้น น้ำดื่มที่หมดอายุ 4 ปี 30 ตัวอย่าง พบ HDPE 6 ชิ้นและ PET 24 ชิ้น น้ำดื่มที่หมดอายุ 11 ปี 46 ชิ้น พบ HDPE 18 ชิ้น PET 24 ชิ้น และพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ 4 ชิ้น (Figure 9)

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะและองค์ประกอบของไมโครพลาสติกด้วยเทคนิค SEM-EDX แสดงให้เห็นการเสื่อมสภาพของพลาสติกที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเฉพาะในขวดน้ำที่หมดอายุ 4 ปี และ 11 ปี มีการแตกตัวของพื้นผิวทั้งที่ผาขวดและผิวด้านในของขวดอย่างชัดเจน [19,30] และหากพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า ไมโครพลาสติกส่วนใหญ่มาจากตัวขวด (PET) คิดเป็น 60% และผาขวด (HDPE) 36% และอื่นๆ อีก 4% ในกรณีนี้ น้ำดื่มบรรจุขวด PET ที่หมดอายุ 11 ปี พบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกมากที่สุด และมีพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ด้วย แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของพลาสติกที่รุนแรงขึ้นตามระยะเวลา [31] ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การเก็บน้ำดื่มบรรจุขวดเป็นเวลานานเกินวันหมดอายุ มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากการเสื่อมสภาพของวัสดุบรรจุภัณฑ์ทั้งตัวขวดและผาขวด ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ ดังนั้น จึงไม่ควรบริโภคน้ำดื่มที่หมดอายุแล้ว และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในน้ำดื่มต่อสุขภาพในระยะยาว

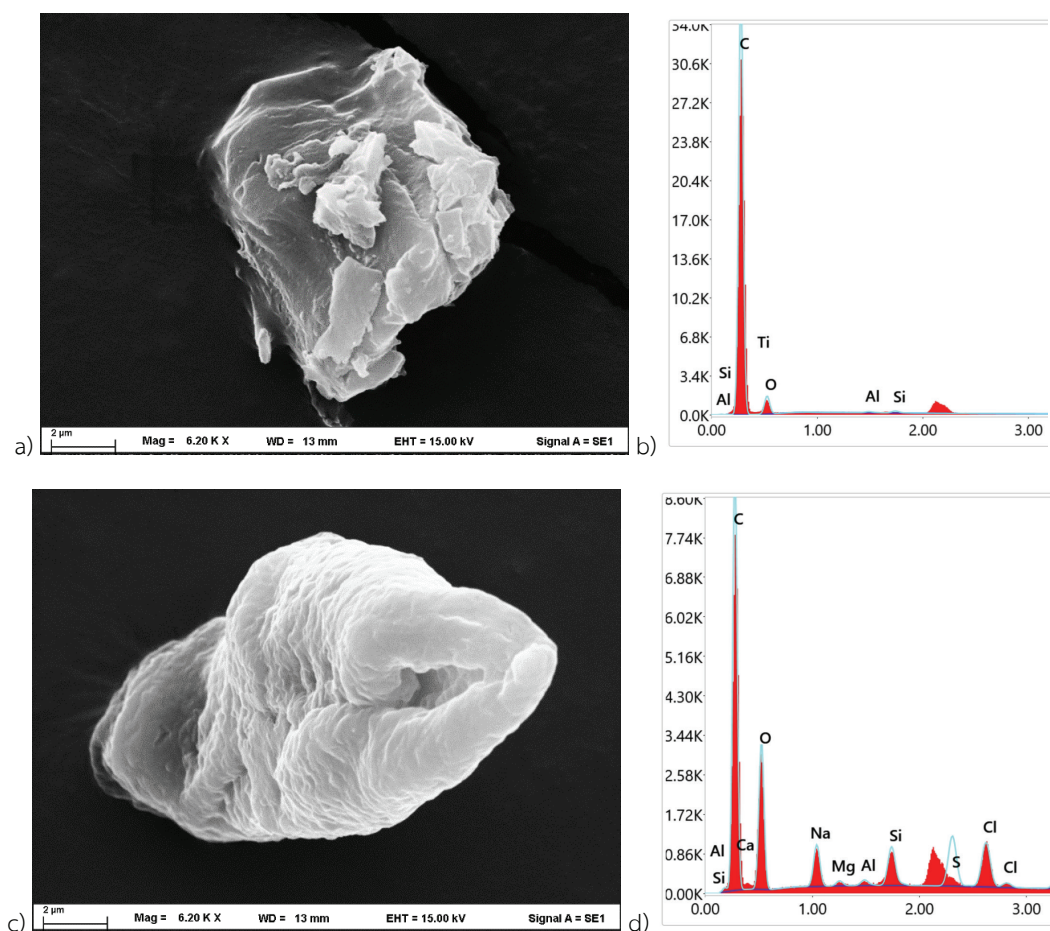


Figure 9 Characteristics of 1–20 µm microplastics observed under a Scanning Electron Microscope (SEM) at 6,200X magnification, with chemical composition analyzed using Energy Dispersive X-Ray (EDX) analysis: (a, b) HDPE microplastics, and (c, d) PET microplastics.

4. สรุป

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการศึกษาปริมาณและลักษณะของไมโครพลาสติกในน้ำดื่มบรรจุขวด โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาเก็บรักษาน้ำดื่มยาวนานขึ้น ไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยน้ำดื่มบรรจุขวด PET ที่หมดอายุแล้วมีปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าน้ำดื่มบรรจุขวดที่ยังไม่หมดอายุถึง 5 เท่า และยังเก็บไว้นานเท่าไรก็ยิ่งพบการปนเปื้อนมากขึ้นเท่านั้น โดยน้ำดื่มที่หมดอายุ 11 ปีมีปริมาณไมโครพลาสติกมากกว่าน้ำดื่มที่หมดอายุ 4 ปี อย่างมีนัยสำคัญ

สภาพแวดล้อมในการเก็บรักษามีผลต่อการปนเปื้อนอย่างมาก โดยเฉพาะการตั้งไว้กลางแจ้งที่ทำให้มีปริมาณไมโครพลาสติกเพิ่มขึ้นถึง 3.6 เท่า เนื่องจากรังสี UV ทำให้โครงสร้างของพลาสติกเสื่อมสภาพและแตกตัวเป็นชิ้นเล็กๆ วิธีการเก็บรักษาที่ดีที่สุดคือการเก็บในที่อุณหภูมิห้องและไม่โดนแสงแดด

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์ด้วยพลังงานกระจายรังสีเอกซ์ (EDX) พบการเสื่อมสภาพของพื้นผิวและองค์ประกอบทางเคมีของขวดพลาสติกชนิด PET และฝาพลาสติกชนิด HDPE โดยไมโครพลาสติกที่มาจาก

ขวดพลาสติกคิดเป็นสัดส่วน 60% และจากฝาพลาสติก 36% แสดงให้เห็นว่าขวดน้ำดื่ม PET ที่หมดอายุ มีความเสี่ยงสูงต่อการปล่อยไมโครพลาสติกเข้าสู่ น้ำดื่ม ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภคไมโครพลาสติกที่พบส่วนใหญ่ (มากกว่า 99%) มีขนาดเล็กมาก (1-20 ไมโครเมตร) ซึ่งมาจากการแตกตัวของชิ้นส่วนที่ใหญ่กว่า โดยแหล่งที่มาหลักคือจากตัวขวด PET (60%) และฝาขวด HDPE (36%) ที่เสื่อมสภาพตามกาลเวลา

งานวิจัยนี้มีคุณค่าในแง่ที่ช่วยยืนยันความสำคัญของการกำหนดวันหมดอายุขวดน้ำดื่ม PET ที่ 2 ปีโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา และชี้ให้เห็นถึงความเสี่ยงของการบริโภคน้ำดื่มที่หมดอายุแล้ว นอกจากนี้ยังให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับวิธีการเก็บรักษาน้ำดื่มที่เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนของไมโครพลาสติก ผลการศึกษานี้ควรนำไปสู่การสร้างความตระหนักในหมู่ผู้บริโภคและการพัฒนามาตรฐานการผลิตและการจัดการขวดน้ำดื่มที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ใช้เงินส่วนตัวของผู้วิจัยทั้งหมด และผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรบัณฑิตศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และห้องปฏิบัติการกล้องจุลทรรศน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

6. References

[1] Kittipongvises, S., Phetrak, A., Lohwacharin, J. and Polprasert, C., 2019, Microplastic pollution in raw wastewater sources and wastewater treatment systems, *Environ. J.* 23(1): 4. (in Thai)

[2] Arthur, C., Baker, J. E. and Bamford, H. A., 2009, Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris, September 9-11, 2008, University of Washington Tacoma, Tacoma, WA, USA, 49 p.

[3] Mason, S. A., Garneau, D., Sutton, R., Chu, Y., Ehmann, K., Barnes, J., Fink, P., Papazissimos, D. and Rogers, D. L., 2016, Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent, *Environ. Pollut.* 218(11): 1045-1054.

[4] Jung, J.-W., Kim, S., Kim, Y.-S., Jeong, S. and Lee, J., 2022, Tracing microplastics from raw water to drinking water treatment plants in Busan, South Korea. *Sci. Total Environ.* 825: 154015.

[5] Wu, S., Chen, Z., Zhou, M., Shao, Y., Jin, C., Tang, J., Fand, D., Guo, J., Stibany, F. and Schäffer, A., 2022, Freeze-thaw alternations accelerate plasticizers release and pose a risk for exposed organisms, *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 241: 113742.

[6] Faure, F., Corbaz, M., Baecher, H. and de Alencastro, L., 2012, Pollution due to plastics and microplastics in Lake Geneva and in the Mediterranean Sea, *Arch. Sci.* 65(1): 157-164.

- [7] Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., Farley, H. and S. Amato., 2013, Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes, *Mar. Pollut. Bull.* 77(1): 177-182.
- [8] Su, L., Xue, Y., Li, L., Yang, D., Kolandhasamy, P., Li, D. and Shi, H., 2016, Microplastics in taihu lake, China. *Environ. Pollut.* 216: 711-719.
- [9] Anderson, P. J., Warrack, S., Langen, V., Challis, J. K., Hanson, M. L. and Rennie, M. D., 2017, Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environ. Pollut.* 225: 223-231.
- [10] Di, M. and Wang, J., 2018, Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Sci. Total Environ.* 616-617: 1620-1627.
- [11] Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J. and Lamoree, M. H., 2022, Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ. Int.* 163: 107199.
- [12] Fournier, E., Etienne-Mesmin, L., Grootaert, C., Jelsbak, L., Syberg, K., Blanquet-Diot, S. and Mercier-Bonin, M., 2021, Microplastics in the human digestive environment: A focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development, *J. Hazard. Mater.* 415.
- [13] Wang, W., Do, A. T. N. and Kwon, J. H., 2022, Ecotoxicological effects of micro- and nanoplastics on terrestrial food web from plants to human beings, *Sci. Total Environ.* 834: 155333.
- [14] Kankanige, D. and Babel, S., 2020, Smaller-sized micro-plastics (MPs) contamination in single-use PET-bottled water in Thailand, *Sci. Total Environ.* 717: 137232.
- [15] Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T. and Janda, V., 2018, Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water, *Sci. Total Environ.* 643: 1644-1651.
- [16] Oßmann, B. E., Sarau, G., Holtmannspötter, H., Pischetsrieder, M., Christiansen, S. H. and Dicke, W., 2018, Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water, *Water Res.* 141: 307-316.
- [17] Li, H., Zhu, L., Ma, M., Wu, H., An, L. and Yang, Z., 2023, Occurrence of microplastics in commercially sold bottled water, *Sci. Total Environ.* 867: 161553.
- [18] Mataroepayotorn, T., Boonphakdee, T. and Kaewpirom, S., 2024, The Accumulation and Sources of Small-sized Microplastics (1-20 μm) of Canned Sardines in Tomato Sauce. *Proceeding of the 23rd National Environmental Conference* (pp. 86-93), ISBN 978-616-94130-6-6, 09R2-02, 363 p. (in Thai)

- [19] Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A., Sangregorio, D., Fiore, M. and Conti, G. O., 2019, Exposure to microplastics (< 10 µm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study, *Water Res.* 157: 365-371.
- [20] Fernández-Menéndez, T., García-López, D., Argüelles, A., Fernández, A. and Viña, J., 2020, Industrially produced PET nanocomposites with enhanced properties for food packaging applications, *Polym. Test.* 90: 106729.
- [21] Danopoulos, E., Twiddy, M. and Rotchell, J. M., 2020, Microplastic contamination of drinking water: A systematic review, *PloS one.* 15(7): e0236838.
- [22] Wang, L., Li, H. and Cai, J., 2023, Degradation of microplastics during wet air oxidation treatment, *Chem. Eng. J.* 474: 145653.
- [23] Food and Drug Administration, The Age of Plastic Water Bottles, Available Source: https://oryor.com/media/infoGraphic/media_printing/12, August 29, 2024. (in Thai)
- [24] Damrongsiri, S. and Chanpiwat, P., 2019, Microplastics in freshwater and water sources for consumption, *Environ. J.* 23(2): 4. (in Thai)
- [25] Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U. and Fürst, P., 2018, Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water, *Water Res.* 129: 154-162.
- [26] Masry, M., Rossignol, S., Gardette, J. L., Therias, S., Bussi re, P. O. and Wong-Wah-Chung, P., 2021, Characteristics, fate, and impact of marine plastic debris exposed to sunlight: A review, *Mar. Pollut. Bull.* 171: 112701.
- [27] Niu, F., Jiang, H., Su, W., Jiang, W. and He, J., 2021, Performance degradation of polymer material under freeze-thaw cycles: A case study of extruded polystyrene board, *Polym. Test.* 96: 107067.
- [28] Wu, J., Zhang, Y. and Tang, Y., 2022, Fragmentation of microplastics in the drinking water treatment process - A case study in Yangtze River region, China. *Sci. Total Environ.* 806: 150545.
- [29] Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C. K., Larat, V., Karbalaei, S. and Salamatinia, B., 2018, Microplastic and mesoplastic contamination in canned sardines and sprats, *Sci. Total Environ.* 612: 1380-1386.
- [30] Akhbarizadeh, R., Dobaradaran, S., Nabipour, I., Tajbakhsh, S., Darabi, A. H. and Spitz, J., 2020, Abundance, composition, and potential intake of microplastics in canned fish, *Mar. Pollut. Bull.* 160: 111633.
- [31] Kirstein, I. V., Gomiero, A. and Vollertsen, J., 2021, Microplastic pollution in drinking water, *Curr. Opin. Toxicol.* 28: 70-75.