ความเข้มข้นของโลหะหนักในบรรจุภัณฑ์พลาสติก และความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักจากอนุภาคไมโครพลาสติกของบรรจุภัณฑ์พลาสติกในน้ำทะเลสังเคราะห์

HEAVY METALS CONCENTRATION IN MICROPLASTIC PACKAGING AND THE RELEASING CAPABILITY OF RELEASE HEAVY METALS FROM MICROPLASTIC PARTICLES OF PLASTIC CONTAINERS IN SYNTHETIC MARINE WATER

ไอรดา โทบุดดี*[1] *คณิตา ตังคณานุรักษ์[2] วัชรพงษ์ วาระรัมย์[2] สัญญา สิริวิทยาปกรณ์[3]*

***Irada Tobuddee*[1]*,** *Kanita Tangkananurak[2], Watcharapong Wararam[2], Sanya Sirivithayapakron[3]*

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[1]Department of Environmental Science, Faculty of Environment, Kasetsart University.

[2]คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[2]Faculty of Environment, Kasetsart University.

[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3]Faculty of Engineering, Kasetsart University.

***Corresponding author, e-mail: gggluay364@gmail.com*

Received: *17 March 2020;* ***Revised:*** *15 October 2020;* ***Accepted:*** *13 November 2020*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นพิษ (สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม ทองแดง และแคดเมียม) ในไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติก 7 ประเภท ได้แก่ ถุงเย็น ถุงหูหิ้ว ขวดน้ำหลอดพลาสติก ฝาขวดน้ำ โฟม และฟิล์มห่ออาหาร ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอบชั่นสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างไมโครพลาสติกทุกชนิดมีค่าสังกะสี เท่ากับ 0.21, 0.24, 0.78, 0.16, 0.24, 3.25 และ 2.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบโครเมียม (0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม), ตะกั่ว (0.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และทองแดง (0.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทองแดง (0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และ แคดเมียม (0.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ทองแดง (0.21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และแคดเมียม (0.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ในหลอดพลาสติก ฝาขวดน้ำ โฟมและฟิล์มห่ออาหาร ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาตัวอย่างไมโครพลาสติกทั้งหมดที่ถูกแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนโลหะหนักในช่วงความเข้มข้น 0.3 - 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 7 วัน ผลการวิจัยพบว่าไมโครพลาสติกทุกประเภทไม่ดูดซับโลหะหนักในน้ำทะเล แต่ปลดปล่อยโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในพลาสติก ดังนั้น ไมโครพลาสติกจากขยะบรรจุภัณฑ์พลาสติกอาจส่งผลกระทบต่อมลพิษด้านโลหะหนักในน้ำทะเล

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก การดูดซับ การปลดปล่อย

Abstract

Toxic heavy metals (Zn, Pb, Cr, Cu and Cd) concentration in microplastic from 7 types of plastic food containers (cooler food bag, T-shirt bags, water bottle, plastic tube, water bottle cap, foam and film wrapped) were determined. by an Atomic Absorption Spectrophotometer. The results revealed that all samples of microplastic contained Zn at 0.21, 0.24, 0.78, 0.16, 0.24, 3.25 and 2.24 mg/kg, respectively. Moreover, Cr (0.07 mg/kg), Pb (0.01 mg/kg) and Cu (0.15 mg/kg), Cu (0.05 mg/kg) and Cd (0.10 mg/kg), Cu (0.21 mg/kg) and Cd (0.11 mg/kg) were determined in plastic tube, water bottle cap, foam and film wrapped, respectively. Furthermore, all microplastic samples were immersed in synthetic marine water with heavy metals concentration in the range 0.3 - 6.0 mg/L for 7 days. The results found that all types of microplastic did not adsorb heavy metals from marine water inside they released the heavy metals which contained in the products to the environment. The results obtained indicated that microplastic from plastic food container wastes could cause heavy metals pollution in marine water.

Keywords: Microplastic, Adsorption, Releasing

บทนำ

พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาใช้บรรจุหรืออำนวยความสะดวกต่างๆ เนื่องจากมีความคงทน น้ำหนักเบา สามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้ พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่ได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก ในกระบวนการผลิตพลาสติก จะมีการผสมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งด้วยคุณสมบัติของพลาสติกทำให้ได้รับความนิยมอย่างมากและกลายเป็นขยะมากที่สุดเช่นกัน โดยมากแล้วบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกจะเป็นประเภทใช้แล้วทิ้ง [1] ขยะจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกเหล่านี้เมื่อไม่ได้รับการจัดการที่ดีจะมีการตกค้างในสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันขยะพลาสติกนับว่าเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เนื่องจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ในระยะเวลาอันสั้นทำให้สะสมในสิ่งแวดล้อม ลงสู่แหล่งน้ำ และลงสู่ทะเลในที่สุด [2] โดยร้อยละ 13.84% ของขยะในทะเลเป็น ขยะประเภทบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ขวดน้ำดื่ม แก้วน้ำ หลอดพลาสติก และถุงพลาสติก เป็นต้น เมื่อขยะพลาสติกอยู่ในสภาพแวดล้อมมีปัจจัยที่เหมาะจะเกิดกระบวนการย่อยสลายหรือเกิดการแตกตัว มีขนาดเล็กลง ซึ่งพลาสติกที่มีขนาดที่เล็กลงตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรลงไปจนถึงระดับไมโครเมตร เรียกว่า “ไมโครพลาสติก” (Microplastic) Horton et al., 2017 [3] และจากการศึกษาพบว่าพบไมโครพลาสติกปนเปื้อนในทะเล เมื่อไมโครพลาสติกเหล่านี้ล่องลอยอยู่ในทะเล จะสามารถปนเปื้อนเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหาร เข้าสู่สิ่งมีชีวิต ตั้งแต่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กไปจนถึงมนุษย์ และจากงานวิจัยพบชิ้นส่วนไมโครพลาสติกในกระเพาะของปลาและสัตว์ทะเลชนิดอื่นๆ โดยเมื่อชิ้นส่วนไมโครพลาสติกเหล่านี้เข้าสู่ร่างกายของสัตว์ขนาดเล็กจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของร่างกาย ทำให้ระบบร่างกายอ่อนแอและตายลง เนื่องจากไปขัดขวางกระบวนการย่อยของระบบทางเดินอาหาร [4] ในน้ำทะเลมีโลหะหนักปนเปื้อน อันเนื่องมาจากการชะล้างจากธรรมชาติ กิจกรรมของมนุษย์ และปัจจุบันมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทะเล ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการคาดการณ์ว่าไมโครพลาสติกอาจมีความสามารถในการเป็นตัวดูดซับและปลดปล่อยโลหะหนักในทะเลได้ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาความสามารถของไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกต่อการดูดซับและปลดปล่อยโลหะหนัก ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความเป็นพิษของไมโครพลาสติก และบอกถึงภัยอันตรายที่มาจากไมโครพลาสติกอีกรูปแบบหนึ่ง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหาร

2. เพื่อศึกษาความสามารถในปลดปล่อยโลหะหนักในไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหาร แต่ละชนิดในตัวกลางที่เป็นน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีโลหะหนักปนเปื้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

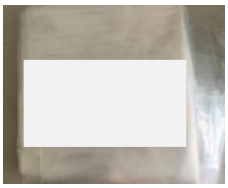
1 การเตรียมตัวอย่างไมโครพลาสติก

1.1 ชนิดของพลาสติกที่เป็นขยะประเภทบรรจุภัณฑ์อาหารที่พบมากในทะเล [5] ซึ่งบรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติกแต่ละชนิดผลิตจากพอลิเมอร์ที่ต่างกัน มีโครงสร้าง และคุณสมบัติ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 โครงสร้างและคุณสมบัติของพอลิเมอร์แต่ละชนิด

พลาสติกที่ศึกษา	ชนิดและโครงสร้างของพอลิเมอร์	คุณสมบัติ
ถุงเย็นและหลอด	โพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE)	เป็นพลาสติกที่ไอน้ำซึมผ่านได้เล็กน้อย แต่อากาศผ่านเข้าออกได้ มีลักษณะขุ่นและทนความร้อนได้พอควร เป็นพลาสติกที่นำมาใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม
ถุงหูหิ้ว	โพลีโพรพิลีน (Polypropylene : PP)	เป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้
ฝาขวด	โพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)	เป็นพลาสติกที่ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสันสวยงาม
ขวดน้ำ	โพลีเอทิลีนเทอเรพทาเลท (Polyethylene terephthalate PET)	เป็นพลาสติกที่ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม
โฟม	โพลีสไตรีน (Poly styrene : PS)	เป็นพลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะ และแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ ใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร
ฟิล์มห่ออาหาร	โพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ (Lowdensity polyethylene, LDPE)	เป็นพลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส

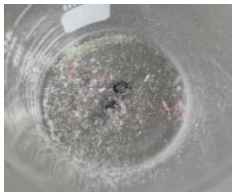
1.2 นำตัวอย่างบรรจุภัณฑ์อาหารพลาสติกที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน ได้แก่ ถุงเย็น ถุงร้อน ขวดน้ำ หลอด ฝาขวด โฟม และฟิล์มห่ออาหาร มาทำให้มีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร โดยการมาตัดย่อยด้วยกรรไกรและตะไบให้มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรจนถึงระดับ 1 ไมโครเมตร และนำไปกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 500 ไมครอน



ภาพที่ 1 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดถุงเย็นและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดถุงเย็น

ภาพที่ 2 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดถุงหูหิ้วและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดถุงหูหิ้ว

ภาพที่ 3 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดขวดน้ำและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดขวดน้ำ



ภาพที่ 4 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดหลอดพลาสติกและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดหลอดพลาสติก

ภาพที่ 5 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดฝาขวดและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดฝาขวด

ภาพที่ 6 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดโฟมและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดโฟม

ภาพที่ 7 บรรจุภัณฑ์อาหารชนิดฟิล์มห่ออาหารและไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารชนิดฟิล์มห่ออาหาร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

2.1 เตรียมสารละลายโลหะหนักเพื่อใช้เตรียมกราฟมาตรฐานของโลหะหนัก 5 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง โครเมียม และสังกะสี ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากสารละลายโลหะหนักมาตรฐานแต่ละชนิดความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแต่ละขวดปิเปตสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนักที่มีความเข้มข้นในช่วงกราฟมาตรฐานของโลหะหนักแต่ละชนิดโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานโลหะหนักแต่ละชนิด ดังตารางที่ 1 จากสารละลายมาตรฐานโลหะหนักแต่ละชนิดความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อที่ 2.1 ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

ตารางที่ 2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโลหะหนัก

โลหะหนัก	**ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโลหะหนักเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (มิลลิลิตร)**	**ความเข้มข้น (มิลลิลิตร)**
แคดเมียม (Cd)	0.1, 0.5, 0.6, 0.1, 1.5	0.1, 0.5, 0.6, 0.1, 1.5
ตะกั่ว (Pb)	1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 10.0	1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 10.0
ทองแดง (Cu)	0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2	0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2
โครเมียม (Cr)	1.5, 2, 2.5, 3, 3.5	1.5, 2, 2.5, 3, 3.5
สังกะสี (Zn)	0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0	0.1, 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0

3. การเตรียมน้ำทะเลสังเคราะห์

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมในการดูดซับและปลดปล่อยโลหะหนักของไมโครพลาสติกในตัวกลางน้ำทะเลสังเคราะห์

3.1 การเตรียมน้ำทะเลสังเคราะห์

เตรียมจากเกลือทะเลที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทะเล โดยชั่งเกลือทะเลสังเคราะห์ 10 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน 1 ลิตร จะได้น้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีคุณภาพเทียบเท่าน้ำทะเลจริง

3.2 การเตรียมสารละลายโลหะหนักเจือจางในน้ำทะเลสังเคราะห์

เตรียมสารละลายโลหะหนัก ทั้ง 5 ชนิดให้มีความเข้มข้น 0.3, 0.6, 1.0, 3.0 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากสารละลายโลหะหนักความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดปริมาตร 0.3, 0.6, 1.0, 3.0 และ 6.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดปรับปริมาตร 1000 มิลลิลิตรลงในแต่ละขวด เจือจางด้วยน้ำทะเลสังเคราะห์ที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.1 จะได้สารละลายโลหะหนักแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 1.0, 3.0 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4. การศึกษาปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิด [6]

นำไมโครพลาสติกใส่ถ้วยกระเบื้องเบ้าเคลือบแบบมีฝาปิด เผาด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 C^o จนกลายเป็นเถ้า เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 65 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่างที่ใช้สำหรับย่อยโดยใช้เครื่องย่อยไมโครเวฟนำตัวอย่างที่ย่อยแล้วกรองผ่านกระดาษกรองและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่สามารถวัดระดับความเข้มข้นได้ในหน่วยมิลลิกรัม โดยดำเนินการทดลอง 5 ซ้ำ

5. การศึกษาความสามารถในการดูดซับและปลดปล่อยโลหะหนักแต่ละชนิดของไมโครพลาสติกแต่ละชนิดในน้ำทะเลสังเคราะห์

นำไมโครพลาสติกในข้อที่ 1.2 ปริมาณ 0.2 กรัม แช่ในสารละลายโลหะหนัก ข้อที่ 3.2 ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 1.0, 3.0 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมได้จากข้อที่ 3.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดแก้วปิดฝามิดชิดที่อุณหภูมิห้อง แช่นานระยะเวลา 1 สัปดาห์ เมื่อครบระยะเวลานำตัวอย่างมากรองแยกไมโครพลาสติกด้วยกระดาษกรองทิ้งไว้จนตัวอย่างแห้ง และนำไมโครพลาสติกที่ได้ไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตามวิธีในข้อที่ 4 โดยดำเนินการทดลอง 5 ซ้ำ

ผลการวิจัย

1. ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในไมโครพลาสติกแต่ละชนิด

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหาร พบว่าในไมโครพลาสติกมีโลหะหนักปนเปื้อน โดยไมโครพลาสติกที่พบปริมาณโลหะหนักมากที่สุด ได้แก่ ไมโครพลาสติกจากโฟม รองมาได้แก่ ไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหาร ไมโครพลาสติกจากขวดน้ำ ไมโครพลาสติกจาก ฝาขวด ไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้ว ไมโครพลาสติกจากถุงเย็นและไมโครพลาสติกจากหลอดและโลหะหนักที่พบมากที่สุดคือ สังกะสี รองลงมาได้แก่ ทองแดง แคดเมียม โครเมียมและตะกั่วแสดงปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ชนิดของไมโครพลาสติก	ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ย (มิลกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
ไมโครพลาสติกจากถุงเย็น	0.21	ND	ND	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้ว	0.24	ND	ND	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากขวดน้ำ	0.78	ND	ND	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากหลอด	0.16	ND	0.07	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากฝาขวด	0.24	0.01	ND	0.15	ND
ไมโครพลาสติกจากโฟม	3.25	ND	ND	0.05	0.10
ไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหาร	2.24	ND	ND	0.21	0.11

ND = ตรวจไม่พบ

จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าไมโครพลาสติกที่นำมาศึกษาแต่ละชนิดเป็นพอลิเมอร์ที่แตกต่างชนิดกัน โดยไมโครพลาสติกจากถุงเย็น ไมโครพลาสติกจากขวดน้ำ ไมโครพลาสติกจากหลอด ไมโครพลาสติกจากฝาขวดและไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหาร เป็นพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้ว เป็นพลาสติกที่ได้จากเม็ดพลาสติกชนิดพอลิพอพิลีน และไมโครพลาสติกจากโฟม เป็นพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกชนิด พอลิสไตรีน โดยกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกมักจะมีการแต่งเติมในระหว่างกระบวนการผลิตพลาสติก เพื่อทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติที่ดีขึ้นและเป็นไปตามวัตถุประสงค์การใช้งาน [1] ซึ่งสารแต่งเติมนี้มีทั้งสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งโลหะหนักที่พบในที่พบในไมโครพลาสติกแต่ละชนิดจะมาจากสารให้สีในพอลิเมอร์ เช่น สีขาวได้จากไทเทเนียมออกไซด์ และซิงซัลไฟด์ มักปนกับซัลไฟด์ของโลหะอื่น เช่น เหล็ก, ตะกั่ว, แคดเมียม และทองแดง สีเหลืองและสีส้มได้จากตะกั่วโครเมทและตะกั่วโครเมตโมลิบเดท สีเหลืองส้มและสีน้ำตาลแดงได้จาก แคดเมียม สีเขียวได้จากโครเมียมออกไซด์ และการนำ Zinc Oxide (ซิงค์ออกไซด์) มาใช้เพื่อให้เกิดการต้านทานต่อความร้อน การเปลี่ยนแปลงเชิงกลและการกันน้ำหรือกันไฟ เป็นต้น

2. ปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกแต่ละชนิดที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

การศึกษาปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกแต่ละชนิดที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ ที่มีสารละลายโลหะหนัก ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม ทองแดงและแคดเมียม ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 1.0, 3.0, 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดำเนินการศึกษาทั้งหมด 5 ซ้ำ เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับและปลดปล่อยโลหะหนัก ได้ผลแสดงปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ย ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากถุงเย็นก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากถุงเย็นที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
0.3	0.17	ND	ND	ND	ND
0.6	0.14	ND	ND	ND	ND
1.0	0.18	ND	ND	ND	ND
3.0	0.19	ND	ND	ND	ND
6.0	0.14	ND	ND	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากถุงเย็นก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	0.21	ND	ND	ND	ND

ND = ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 5 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้วก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้วที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
0.3	0.17	ND	ND	ND	ND
0.6	0.18	ND	ND	ND	ND
1.0	0.21	ND	ND	ND	ND
3.0	0.18	ND	ND	ND	ND
6.0	0.20	ND	ND	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้วก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	0.24	ND	ND	ND	ND

ND = ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 6 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากขวดน้ำก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากขวดน้ำที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
0.3	0.64	ND	ND	ND	ND
0.6	0.63	ND	ND	ND	ND
1.0	0.67	ND	ND	ND	ND
3.0	0.68	ND	ND	ND	ND
6.0	0.68	ND	ND	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากขวดน้ำก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	0.78	ND	ND	ND	ND

ND = ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 7 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากหลอดก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากหลอดที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
0.3	0.14	ND	0.03	ND	ND
0.6	0.15	ND	0.03	ND	ND
1.0	0.14	ND	0.05	ND	ND
3.0	0.14	ND	0.05	ND	ND
6.0	0.15	ND	0.06	ND	ND
ไมโครพลาสติกจากหลอดก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	0.16	ND	0.07	ND	ND

ND = ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 8 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากฝาขวดก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากฝาขวดที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
0.3	0.25	0.02	ND	0.18	ND
0.6	0.25	0.03	ND	0.16	ND
1.0	0.26	0.03	ND	0.18	ND
3.0	0.26	0.03	ND	0.19	ND
6.0	0.26	0.02	ND	0.17	ND
ไมโครพลาสติกจากฝาขวดก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	0.31	0.05	ND	0.21	ND

ND = ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 9 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากโฟมก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากโฟมที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคดเมียม
0.3	3.22	ND	ND	0.02	0.08
0.6	3.20	ND	ND	0.03	0.08
1.0	3.21	ND	ND	0.03	0.09
3.0	3.17	ND	ND	0.03	0.09
6.0	3.19	ND	ND	0.02	0.08
ไมโครพลาสติกจากโฟมก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	3.25	ND	ND	0.05	0.10

ND = ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 10 ปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหารก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหารที่แช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์

ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)				
	สังกะสี	ตะกั่ว	โครเมียม	ทองแดง	แคเมียม
0.3	2.00	ND	ND	0.23	0.13
0.6	2.12	ND	ND	0.25	0.13
1.0	2.11	ND	ND	0.25	0.12
3.0	2.15	ND	ND	0.25	0.15
6.0	2.16	ND	ND	0.26	0.13
ไมโครพลาสติกจากฟิล์มก่อนแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์	2.24	ND	ND	0.28	0.18

ND = ตรวจไม่พบ

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยในไมโครพลาสติกหลังแช่ในน้ำทะเลมีค่าน้อยกว่าปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนแช่ แสดงว่าไมโครพลาสติกมีการปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่น้ำทะเล เนื่องจากไมโครพลาสติกมีขนาดอนุภาคเล็กทำให้เพิ่มโอกาสในการปลดปล่อยโลหะหนักที่ปนเปื้อนออกมาได้ โดยเฉพาะไมโครพลาสติกจากฝาขวดและโฟมที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์พบว่ามีการปลดปล่อยโลหะหนักได้มากกว่าไมโครพลาสติกชนิดอื่นๆ ที่ศึกษา เนื่องจากไมโครพลาสติกจากฝาขวดเป็นพลาสติกที่มีสีสัน มีการเติมสารให้เกิดสีและปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความแข็งแรง ซึ่งการแต่งเติมคุณสมบัติของพอลิเมอร์ มีผลต่ออนุภาคของฟิลเลอร์มีผลต่อคุณภาพ ความสม่ำเสมอของพอลิเมอร์ และทำให้มีช่องว่างระหว่างโครงสร้าง [1] และไมโครพลาสติกจากโฟมเป็นพลาสติกที่มีช่องว่างระหว่างโครงสร้างมากเนื่องจากกระบวนการเป่าขึ้นรูป ทำให้สารแต่งเติมในพอลิเมอร์ที่มีโลหะหนักหลุดออกมาได้ จึงทำให้มีการปลดปล่อยโลหะหนักออกมาได้มากกว่าไมโครพลาสติกจากถุงเย็น ไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้ว ไมโครพลาสติกจากขวด ไมโครพลาสติกจากหลอด และไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหาร เป็นพอลิเมอร์ที่มีสีใส มีความเหนียวและหนาแน่นมากมีช่องว่างระหว่างโครงสร้างที่หนาแน่นกว่า ทำให้การปลดปล่อยโลหะหนักน้อยกว่า ดังนั้นจากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าไมโครพลาสติกทั้ง 7 ชนิดที่ศึกษามีการปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่น้ำทะเลได้ โดยเฉพาะไมโครพลาสติกจากพลาสติกที่มีการแต่งเติมสารปรับปรุงคุณสมบัติ เช่น พลาสติกที่มีการแต่งเติมสีสันจะมีความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักที่มีอยู่ในตัวเองออกมาได้มากกว่าพลาสติกที่มีลักษณะใส แข็งและแน่นเหนียว และจากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำทะเลสังเคราะห์ไม่มีผลต่อการความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักของไมโครพลาสติก

3. ความสัมพันธ์ทางสถิติของปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์กับปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีไอออนโลหะหนัก การทดสอบความแตกต่างทางสถิติ โดยใช้เทคนิค T-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ พบว่า ไมโครพลาสติกจากถุงเย็น มีค่านัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.038 ไมโครพลาสติกจากหูหิ้ว มีค่านัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.028 ไมโครพลาสติกจากขวด มีค่านัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.046 ไมโครพลาสติกจากหลอด มีค่านัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.022 ไมโครพลาสติกจากฝาขวด มีค่านัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.000 ไมโครพลาสติกจากโฟมมีค่านัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.000 และไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหาร มีค่านัยสำคัญทางสถิติ

เท่ากับ 0.001 อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงว่าปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนแช่น้ำทะเลมีความแตกต่างกับปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกหลังแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ทางสถิติของปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีโลหะหนัก

ไมโครพลาสติก	ความสัมพันธ์ทางสถิติ		t	ค่าความเชื่อมั่นที่ 95%
	ค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในไมโครพลาสติก	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
ถุงเย็น	0.00920	0.02100	2.190	0.038
ถุงหูหิ้ว	0.01040	0.02226	2.336	0.028
ขวดน้ำ	0.02000	0.04752	2.104	0.046
หลอด	0.00880	0.01269	3.468	0.022
ฝาขวด	0.02240	0.02185	5.126	0.000
โฟม	0.01840	0.02135	4.310	0.000
ฟิล์มห่ออาหาร	0.04240	0.05629	3.766	0.001

*ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

4. การวิเคราะห์พฤติกรรมของไมโครพลาสติกที่นำไปแช่ในน้ำทะเลที่มีโลหะหนักปนเปื้อน

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกก่อนนำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์กับปริมาณโลหะหนักใน ไมโครพลาสติกที่นำไปแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นโลหะหนักในช่วง 0.3-6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากข้อมูลในตารางที่ 4-10 พบว่าปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยของไมโครพลาสติกหลังผ่านการนำไปแช่ในน้ำทะเลมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังตารางที่ 11 แสดงว่าไมโครพลาสติกทุกชนิดที่ศึกษามีการปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่น้ำทะเล

ตารางที่ 12 ร้อยละของปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยที่ลดลงต่ำสุดและสูงสุดของไมโครพลาสติกหลังแช่ในน้ำทะเล

ชนิดของไมโครพลาสติก	ร้อยละของปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกที่ลดลง				
	Zn	Pb	Cr	Cu	Cd
ถุงเย็น	9.5-33.3	ND	ND	ND	ND
ถุงหูหิ้ว	12.5-29.2	ND	ND	ND	ND
ขวดน้ำ	1.0-19.2	ND	ND	ND	ND
หลอด	6.3-12.5	ND	28.6-57.1	ND	ND
ฝาขวดน้ำ	6.5-25.8	40.0-60.0	ND	9.5-19.0	ND
โฟม	3.0-3.2	ND	40.0-60.0	ND	10.0-20.0
ฟิล์มห่ออาหาร	1.8-10.7	ND	ND	1.0-17.9	16.7- 33.3

ND = ตรวจไม่พบ

จากการศึกษาร้อยละของปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยที่ลดลงของไมโครพลาสติกแต่ละชนิดพบว่าไมโครพลาสติกจากฝาขวดน้ำมีพฤติกรรมในการปลดปล่อยมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ไมโครพลาสติกจากโฟม

ไมโครพลาสติกจากหลอด ไมโครพลาสติกจากฟิล์ม ไมโครพลาสติกจากถุงเย็น ไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้ว และไมโครพลาสติกจากขวดน้ำ ตามลำดับ

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาปริมาณโลหะหนักที่พบในไมโครพลาสติกก่อนนำไปทดลองแช่ในน้ำทะเลสังเคราะห์ พบว่าในไมโครพลาสติกเองมีปริมาณโลหะหนักสะสมอยู่แล้ว ซึ่งจากงานวิจัยของชลธิชา เทียนสุวรรณ [7] พบปริมาณโลหะหนักในถุงพลาสติกชีวภาพ เนื่องมาจากพลาสติกผลิตมาจากพอลิเมอร์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ได้มาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ ซึ่งมีการปะปนของโลหะหนักอยู่จำนวนเล็กน้อย ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว โครเมียม ทองแดง และแคดเมียม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง นอกจากนี้การปนเปื้อนในพลาสติกอาจมาจากกระบวนการผลิตพลาสติก เช่น หล่อลื่นแม่พิมพ์และโครงความร้อนในกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมพลาสติก การเติมสารแต่งเติมลงไปในพอลิเมอร์ สารเติมแต่งที่ใช้ผสมกับพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงหรือดัดแปลงสมบัติของพอลิเมอร์ และจากการศึกษาไมโครพลาสติกที่ผ่านการนำไปแช่น้ำทะเลสังเคราะห์ พบว่าปริมาณโลหะหนักในไมโครพลาสติกที่ศึกษาทั้งหมดมีค่าโลหะหนักโดยเฉลี่ยลดลง แสดงว่าไมโครพลาสติกที่ศึกษามีความสามารถในการปลดปล่อยโลหะหนักน้ำทะเล เนื่องจากเมื่อแช่อยู่ในน้ำทะเลที่มีความเป็นด่าง ความหนาแน่น ค่าการนำไฟฟ้า และไอออนของโลหะหนักในน้ำทะเล ทำให้โดยโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์หลุดจากโครงสร้างและออกสู่น้ำทะเลได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของยุพิน เชื้อใจ [8] ที่พบว่าในการทดลองหมักผักกาดดองในถังพลาสติกชนิดโพลีพอพิลีน พบว่าถังพลาสติกมีการปลดปล่อยตะกั่วออกมาปนเปื้อนในผักกาดดองและน้ำผักกาดดอง จากการศึกษาพบว่าไมโครพลาสติกที่มีความสามารถในการปลดปล่อยมากที่สุด คือ ไมโครพลาสติกจากฝาขวดรองลงมาได้แก่ ไมโครพลาสติกจากโฟม ไมโครพลาสติกจากหลอดไมโครพลาสติกจากฟิล์มห่ออาหาร ไมโครพลาสติกจากถุงเย็น ไมโครพลาสติกจากถุงหูหิ้ว และไมโครพลาสติกจากขวดน้ำ ตามลำดับ โดยไมโครพลาสติกที่มีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนมากก็จะสามารถปลดปล่อยโลหะหนักออกมาได้มาก เมื่อนำปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยของไมโครพลาสติกก่อนแช่และปริมาณโลหะหนักโดยเฉลี่ยของไมโครพลาสติกหลังแช่ในน้ำทะเลที่ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ พบว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าไมโครพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่นำมาศึกษาทั้ง 7 ชนิดนี้ เมื่ออยู่ในน้ำทะเลจะมีความสามารถใน การปลดปล่อยโลหะหนักออกสู่น้ำทะเล

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการปลดปล่อยความเป็นพิษในพลาสติกที่ขนาดแตกต่างกัน ว่ามีความสามารถในการปลดปล่อยความเป็นพิษแตกต่างกันหรือไม่

2. ควรมีการศึกษาปัจจัยและสภาพแวดล้อมแบบใดที่มีผลต่อการย่อยสลายของพลาสติก และต่อการปลดปล่อยความเป็นพิษในพลาสติกออกสู่สิ่งแวดล้อมมากที่สุด

3. ควรศึกษาพลาสติกที่ทราบที่มาและทราบสารแต่งเติมที่แน่นอน เพื่อให้สามารถระบุต้นกำเนิดของความเป็นพิษของพลาสติก

เอกสารอ้างอิง

[1] Anodath Ratchawet. (2016). *Polymer.* Bangkok. DK book center.

[2] Nicha Buranasingh. (2559. February). Plastic waste: danger close. Academic Focus. (2559). (14). Retrieved 18 June 2019. from https://library2.parliament.go.th/ejournal/content_af/2559/feb2559-7.pdf

[3] Suwanna Tianwansuwan. (2018). *Policies and guidelines for managing plastic waste in Thailand*. Retrieved November 20, 2019, from http://www.pcd.go.th/file/wst20181112_03.pdf

[4] Pornphimon Chuamuangphai. (2012). Heavy Metal (Pb, Cd, Cu and Zn) Contents in Some Economic Marine Animals in Fishing Ground along the Coast of Langu District, Satun Province. (Faculty of Natural Resources). Songkla: Prince of Songkla University.

[5] Seelawut Pamrongsin. (2019). Microplastic in the source Freshwater and water resources Water for consumption. *Environmental Research Institute Chulalongkorn University*. 23(2): 1-11.

[6] Horton, A.A., Wlton, A., Spurgeon D.J., Lahive, E., Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Science of the Total Environment*, 586, 127–141.

[7] Chonticha Praingam. (2015). *Analysis of Heavy Metals in Polyethylene Biodegradable Plastic Bags by Atomic Absorption Spectrophotometry*. (Bachelor of Education Chemistry). Nakhon Ratchasima: Ratchasima Rajabhat University.

[8] Yupin Cheuci. (2014, 1 January). *Solubility of lead colour from polypropylene recycle plastic in pickled vagatables. Science Journal of Phetchaburi Rajabhat University.* 11(1): 16-25.