

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและไขมันโดยกระบวนการ Coalescer ร่วมกับ
กระบวนการ Coagulation : กรณีศึกษาคลองเปรมประชากร
WASTEWATER TREATMENT OF FAT, OIL, AND GREASE USING COALESCER
AND COAGULATION PROCESS: A CASE STUDY
OF PREMPRACHAKORN CANAL

สิรรุคร วิชิต

Siraruk Wichit

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Siraruk.wic@student.mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันโดยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ กระบวนการโคแอกกูเลชัน และกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโคอะเลสเซอร์และกระบวนการโคแอกกูเลชัน กรณีศึกษาคลองเปรมประชากร โดยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยในแต่ละกระบวนการการบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ศึกษาชนิดตัวกลาง ความสูงตัวกลาง และอัตราการไหล จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันได้แก่ ตัวกลางชนิดเส้นใย ความสูง 7 เซนติเมตร อัตราการไหลของน้ำเสีย 2 ลิตร/ชั่วโมง โดยประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 76 ทั้งนี้พบว่าชนิดตัวกลาง (ทรงกลม, เส้นใย และทรงกระบอก) ความสูงตัวกลาง (3, 5 และ 7) และอัตราการไหล (2, 6 และ 10) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยกระบวนการโคแอกกูเลชันศึกษาชนิดของสารเคมี ปริมาณสารเคมี และความเร็วในการปั่นกววน จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ความเร็วในการปั่นกววน 20 รอบต่อนาที โดยประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 92.66 ทั้งนี้พบว่าชนิดสารเคมี (แคลเซียมคลอไรด์และอะลูมิเนียมซัลเฟต) ปริมาณสารเคมี (0.2, 0.6 และ 1) และความเร็วในการปั่นกววน (20, 30 และ 40) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันโดยกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโคอะเลสเซอร์และกระบวนการโคแอกกูเลชัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 94.03

คำสำคัญ : กระบวนการโคอะเลสเซอร์, กระบวนการโคแอกกูเลชัน

Abstract

The objective of this thesis was to study the efficiency of Coalescer process, Coagulation process and combined process of Coalescer and Coagulation process to treatment of domestic wastewater from Premprachakorn canal by studying the optimum conditions of factors that affect the efficiency of wastewater treatment in each process. Coalescer process was to study the optimum of factors such as type and height of media and flow rate of wastewater. This study found that

optimal conditions for treating oil contaminated wastewater are: fibrous-type media, height 7 cm and flow rate of 2 liters / hour, with the efficiency of treatment 76 percent. It was found that the medium (spherical, fibrous and cylindrical), medium height (3, 5 and 7) and flow rate (2, 6 and 10) resulted in the mean values of fats, oils and grease after water treatment by using the coalescer process was statistically significant at the 0.05 level. Coagulation process was to study the optimum of factor such as type and quantity of coagulant and speed of stirring in coagulation process. This study found that optimal conditions for treatment of oil contaminated wastewater are: aluminum sulphate concentration of 1 g / liter and stirring speed of 20 rpm, with the efficiency of treatment 92.66 percent. It was found that the chemical type (Calcium chloride and aluminum sulphate), chemical concentration (0.2, 0.6 and 1) and stirring speed (20, 30 and 40) resulted in the mean values of fats, oils and grease after the wastewater treatment by using the coagulation was statistically significant at the 0.05 level. The efficiency of treating oil contaminated wastewater by using coalescer process and the coagulation process was 94.03 percent.

Keywords : Coalescer process, Coagulation process

1. บทนำ

พื้นที่คลองเปรมประชากรในเขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร มีความกว้างประมาณ 40-50 เมตร ความยาว 6.60 กิโลเมตร โดยมีอัตราการระบายน้ำเสีย 33,851.8 ลูกบาศก์เมตร/วัน คำนวณจากจำนวนประชากรเขตดอนเมือง 169,259 คน และอัตราการใช้น้ำ 200 ลิตร/คน-วัน [1] จากงานวิจัยเพื่อการศึกษาคุณภาพน้ำคลองเปรมประชากรพบว่า คลองเปรมประชากรจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดินของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประเภท 5 ประเภทแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม [2] โดยน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันในพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นน้ำเสียที่มาจากชุมชนบ้านเรือนที่อยู่อาศัยถึง 75% จากกิจกรรมอุตสาหกรรม 25% และน้ำเสียจากชุมชนนั้นเป็นน้ำเสียที่มาจากบ้านเรือนประมาณ 54% จากร้านอาหารประมาณ 36% โดยลักษณะน้ำเสียชุมชนในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล มีลักษณะดังนี้ [3]

ลักษณะ	หอพัก		กักตุน		ตลาดสด
	จากส่วน	จากส่วน	จากส่วน	จากครัว+	
	ล้าง	อื่นๆ	บำบัดแล้ว	อื่นๆ	
กรด - ด่าง (pH)	8.55	7.78	6.54	6.74	6.67
ค่าซีไอดี (mg/L)	1,290	135	1,785	3,164	2,528
ค่าบีไอดี (mg/L)	723	75	919	1,759	1,172
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	666	29	401	913	662
น้ำมันและไขมัน FOG (mg/L)	377	411	1,136	1,570	897

จากตารางจะเห็นได้ว่ามีในน้ำเสียมีส่วนประกอบของน้ำมันและไขมันในปริมาณที่มาก ซึ่งเกินค่ามาตรฐานน้ำผิวดินที่กำหนด ซึ่งมลพิษจากการปนเปื้อนน้ำมันเกิดจากน้ำมันส่วนที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็ก ในน้ำที่มีประจุเป็นลบ (Negative charge) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จะเข้าไปรบกวนกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียลดลงหากไม่ได้รับการบำบัดเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ซึ่งน้ำมันที่มีอนุภาคขนาดเล็กนี้จะรวมตัวกันได้ยากเนื่องจากเกิดแรงกระทำต่ออนุภาคน้ำมันที่ประกอบด้วยแรงผลักเนื่องจากไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาคน้ำมัน (Electrostatic force) ทำให้น้ำมันมีเสถียรภาพสูงและรวมตัวกันได้ยาก

เกิดการแขวนลอยในน้ำซึ่งอนุภาคเหล่านี้จะสามารถกำจัดได้ยาก

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมัน กรณีศึกษาคลองเปรมประชากร โดยอาศัยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ร่วมกับกระบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนน้อยและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียเบื้องต้นได้ โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นการบำบัดขั้นต้นก่อนการเข้าระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันในน้ำเสียจากคลองเปรมประชากรด้วยกระบวนการโคอะเลสเซอร์ ได้แก่ ชนิดตัวกลาง ความสูงของตัวกลาง อัตราการไหลของน้ำเสีย เป็นต้น

2. เพื่อศึกษาสภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันในน้ำเสียจากคลองเปรมประชากรด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชัน เช่น ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้เป็น Coagulant ความเร็วในการปั่นกววน เป็นต้น

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโคอะเลสเซอร์และกระบวนการโคแอกกูเลชันในการแยกน้ำมันในน้ำเสียจากคลองเปรมประชากร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียของกระบวนการ Coalescer และกระบวนการ Coagulation

ตัวแปรตาม คือ ร้อยละของประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากคลองเปรมประชากร

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. การกำหนดพื้นที่ศึกษา บริเวณคลองเปรมประชากร ได้แก่ บริเวณถนนสรองประภา โดยการเก็บ

วิเคราะห์น้ำตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการเก็บน้ำแบบจ้วง (Grab sampling) ซึ่งเป็นการเก็บน้ำตัวอย่างครั้งเดียวที่จุดเดียว ณ เวลาใดเวลาหนึ่งแล้วนำมาทำการวิเคราะห์ โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงคุณสมบัติของน้ำเสีย ณ จุดและเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง [4] โดยการเก็บพิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างและจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำอาศัยระบบ GPS

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธี Standard Method for the Examination of Water and wastewater 22th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2012)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย ออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยกระบวนการ Coalescer และกระบวนการ Coagulation และกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการ Coalescer และกระบวนการ Coagulation กรณีศึกษา คลองเปรมประชากร โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน รายละเอียด ดังนี้

1) การศึกษาตอนที่ 1 ศึกษาองค์ประกอบของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันจากคลองเปรมประชากร เขตดอนเมือง เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันจากคลองเปรมประชากร ได้แก่ ค่าไขมันและน้ำมัน, ค่าซีไอดี, ค่าความขุ่น และค่าของแข็งแขวนลอย โดยวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธี Standard Method for the Examination of Water and wastewater 22th Edition (APHA, AWWA and WEF, 2012)

2) การศึกษาตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโคอะเลสเซอร์ (Coalescer Process) ผู้วิจัยทำการศึกษาศักยภาพที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการโคอะเลสเซอร์ จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. ชนิด

ของตัวกลาง จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ ทรงกลม, เส้นใย และ ทรงกระบอก 2. ความสูงของตัวกลางจำนวน 3 ค่า ได้แก่ 3, 5, 7 เซนติเมตร และ 3. อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 2, 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็น การทดลองแฟคทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย ออกแบบการทดลอง แบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ดำเนินการทดลองโดยการบำบัด น้ำเสียจากคลองเปรมประชากร จำนวน 81 ครั้ง โดยทำ การเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร จากนั้น ทำการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ทั้งนี้มีการแบ่งกลุ่ม ตัวอย่างเป็น 3 กลุ่มย่อย (บล็อก) โดยมีวันที่ทำการทดลอง เป็นบล็อก (BL) และกำหนดให้แต่ละบล็อกต้องได้รับ ทริทเมนต์ครบทุกทริทเมนต์ การดำเนินการ random ในแต่ละบล็อก

3) การศึกษาตอนที่ 3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation Process) ผู้วิจัยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อ กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation Process) จำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. ชนิดของสารเคมี (Coagulant) จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมซัลเฟต 2. ปริมาณสารเคมี ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.2, 0.6 และ 1.0 กรัมต่อลิตร, อะลูมิเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อลิตร และ 3. ความเร็วในการปั่นกววน ได้แก่ 20, 30, 40 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นการทดลองแฟคทอเรียลที่มี 3 ปัจจัย ออกแบบ การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) ดำเนินการทดลอง โดยการบำบัดน้ำเสียจากคลองเปรมประชากร จำนวน 81 ครั้ง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูง 80 เซนติเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ทั้งนี้ มีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 3 กลุ่มย่อย (บล็อก) โดยมี วันที่ทำการทดลองเป็นบล็อก (BL) และกำหนดให้แต่ละบล็อก ต้องได้รับทริทเมนต์ครบทุกทริทเมนต์ การดำเนินการ random ในแต่ละบล็อก

4) การศึกษาตอนที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของ กระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการโคเคสเซอร์และ กระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยนำสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จากทั้งสองกระบวนการมาทำการศึกษาเพื่อหาร้อยละ ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันจาก คลองเปรมประชากร เขตดอนเมือง โดยการนำสภาวะที่ได้ จากการทดลองในกระบวนการโคเคสเซอร์ ได้แก่ ชนิด ตัวกลาง ความสูง และอัตราการไหลที่เหมาะสม และ สภาวะที่ได้จากการทดลองในกระบวนการโคแอกกูเลชัน ได้แก่ ชนิดของสาร Coagulant, ปริมาณของสาร Coagulant และความเร็วที่เหมาะสมในการปั่นกววน แล้วนำสภาวะ ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อบำบัดน้ำเสียปนเปื้อน น้ำมันจากคลองเปรมประชากร

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ Coalescer โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและ ไขมัน รายละเอียด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ที่ปนเปื้อนน้ำมันโดยกระบวนการ Coalescer

ชนิด ตัวกลาง (A)	ความสูงตัวกลาง (B)								
	3 เซนติเมตร			5 เซนติเมตร			7 เซนติเมตร		
	อัตราการไหล (C)			อัตราการไหล (C)			อัตราการไหล (C)		
	2	6	10	2	6	10	2	6	10
ทรงกลม	56.02	55.26	51.80	65.42	68.95	54.70	70.47	68.88	66.60
เส้นใย	66.11	58.92	56.98	74.97	66.94	57.83	76.00	74.34	70.40
ทรงกระบอก	51.59	49.31	46.27	55.19	52.70	49.31	56.92	54.77	53.32

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของค่าไขมัน และน้ำมัน (Fat, oil and grease : FOG) หลังผ่าน กระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer ด้วยการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าไขมันและน้ำมัน ระหว่างชนิดตัวกลาง (A) ความสูงของตัวกลาง (B) และ อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย (C) ที่มีระดับนัยสำคัญทาง สถิติ < 0.05 ดำเนินการทดลองโดยการบำบัดน้ำเสียจาก

ทดลองเปรมประชากร จำนวน 81 ครั้ง ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

ค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer ของชนิดตัวกลาง (A) ทรงกลม เส้นใย และกระบอก มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ความสูงของตัวกลาง (B) ของความสูง 3, 5 และ 7 ซม. มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย (C) 2, 6 และ 10 ลิตรต่อชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ชนิดตัวกลาง (A) และความสูงของตัวกลาง (B) มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และชนิดตัวกลาง (A) และอัตราการไหล (C) มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความสูงของตัวกลาง (B) และอัตราการไหล (C) มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะเดียวกัน Block ระหว่าง Block1 Block2 และ Block3 มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมันหลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coalescer แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

โดยพบว่าสภาวะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าไขมันและน้ำมัน (Fat, oil and grease : FOG) คือที่สภาวะตัวกลางชนิดเส้นใย ที่ความสูง 7 เซนติเมตร อัตราการไหลของน้ำเสีย 2 ชั่วโมงต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการลดลดค่าไขมันและน้ำมัน (Fat, oil and grease : FOG) อยู่ที่ร้อยละ 76.00

4.2 ผลการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการ

Coagulation โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมัน รายละเอียด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันโดยกระบวนการ Coagulation

ความเข้มข้นสารเคมี (A)	ชนิดของสารเคมี (B)					
	แคลเซียมคลอไรด์			อะลูมิเนียมซัลเฟต		
	ความเร็วในการปั่นกว			ความเร็วในการปั่นกว (C)		
	20	30	40	20	30	40
0.2	55.20	39.09	37.80	83.14	81.58	70.56
0.6	66.42	61.05	57.99	88.99	86.47	84.64
1.0	73.01	68.39	63.15	92.66	91.03	89.26

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไขมันและน้ำมัน (Fat, oil and grease : FOG) หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation ด้วยการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมัน ระหว่างปริมาณสารเคมี (A) ชนิดของสารเคมี (B) และความเร็วในการปั่นกว (C) ที่มีระดับนัยสำคัญทางสถิติ < 0.05 ดำเนินการทดลองโดยการบำบัดน้ำเสียจากคลองเปรมประชากร จำนวน 54 ครั้ง ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

ค่าไขมันและน้ำมัน หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation ของปริมาณสารเคมี (A) ของระหว่างความเข้มข้น 0.2, 0.6 และ 1.0 กรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมัน หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ชนิดของสารเคมี (B) ของแคลเซียมคลอไรด์ และอะลูมิเนียมซัลเฟต มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมัน หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

โดยกระบวนการ Coagulation แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และความเร็วในการปั่นกววน (C) ระหว่าง 20, 30, 40 รอบต่อนาที มีค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมัน หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ปริมาณสารเคมี (A) และชนิดของสารเคมี (B) รวมทั้งปริมาณสารเคมี (A) และความเร็วในการปั่นกววน (C) และชนิดของสารเคมี (B) รวมกับความเร็วในการปั่นกววน (C) มีค่าเฉลี่ยไขมันและน้ำมัน หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในขณะที่ปริมาณสารเคมี (A) ชนิดของสารเคมี (B) และความเร็วในการปั่นกววน (C) และเมื่อพิจารณา Block ระหว่าง Block1 Block2 และ Block3 มีค่าเฉลี่ยของค่าไขมันและน้ำมัน หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการ Coagulation แตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

โดยพบว่าสถานะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่าไขมันและน้ำมัน คือ ที่สภาวะชนิดสารเคมี อะลูมิเนียมซัลเฟต ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร ความเร็วในการปั่นกววน 20 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าไขมันและน้ำมัน อยู่ที่ร้อยละ 92.66

4.3 ผลการวิเคราะห์ของค่าไขมันและน้ำมัน (Fat, oil and grease : FOG) หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการ Coalescer ร่วมกับ กระบวนการ Coagulation โดยพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการร่วมระหว่างกระบวนการ Coalescer ร่วมกับกระบวนการ Coagulation ในการลดค่าไขมันและน้ำมัน (Fat, oil and grease : FOG) อยู่ที่ร้อยละ 94.03 ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand : COD) อยู่ที่ร้อยละ 35.04 ประสิทธิภาพในการลดค่าความขุ่น (Turbidity) อยู่ที่ร้อยละ 94.68 ประสิทธิภาพในการลดค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended solid : SS) อยู่ที่ร้อยละ 95.30

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรมีการบำบัดแบบเบื้องต้น โดยการกำจัดของแข็งแขวนลอยก่อนนำเข้าสู่กระบวนการโคแอกกูเลชัน เนื่องจากทำให้ระบบอุดตันได้ง่าย และควรนำตะกอนที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชันไปใช้ให้เกิดประโยชน์หรือกำจัดอย่างถูกวิธีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ. ดร. สยาม อรุณศรีมรกต, ผศ.ดร. กอบแก้ว มโนมัยพิบูลย์ และ ผศ.ดร. วิมล สอนแจ่ม ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเขตดอนเมือง. สืบค้น มี.ค. 2563 จาก <http://www.bangkok.go.th/donmueang/page/sub/523> /ข้อมูลทั่วไปของเขต
- [2] อัจฉราภรณ์ และคณะ. (2556). *การศึกษาคูณภาพน้ำคลองเปรมประชากรเพื่อนำไปสู่การบริหารจัดการน้ำ*. (ปริญญาณิพนธ์ ภาควิชาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2530). สืบค้น มี.ค. 2563 จาก www.greenandclean.com/solution.com/ ความรู้ทางวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม/น้ำเสียชุมชน-Domestic-Wastewater.html
- [4] สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2540). *คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย*. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: เรือนแก้วการพิมพ์.

ฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์สังเคราะห์ต่อการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้
จากน้ำเชื้อพ่อสุกร

The Antimicrobial Activity of Synthetic Peptides to Inhibit
Microorganisms Isolated from Boar Semen

ศนิชา ชุมทอง^{1,2,3}, Sophorn Keath¹, รัตนรุจิ พุ่มวิเศษ⁴, นัทธี อ่าอินทร์⁵, สิทธีรักษ์ รอยตระกูล⁶
และธัญจิรา เทพรัตน์^{1,2,3*}

Sanicha Chumtong^{1,2,3}, Sophorn Keath¹, Rattanaruji Pomwised⁴, Nutthee Am-inn⁵,
Sittirik Roytrakul⁶ and Thunchira Thepparat^{1,2,3*}

¹สาขาวิชานวัตกรรมการผลิตสัตว์และการจัดการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา 90110; sanicha43620@gmail.com

²ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตรและทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 3 คณะทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา 90110

³ศูนย์ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กรุงเทพฯ 10900

⁴ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จ.สงขลา 90110; rattanaruji.p@psu.ac.th

⁵ภาควิชาสัตวศาสตร์-เรณูเวชวิทยาและวิทยาการสืบพันธุ์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; Nutthee.A@chula.ac.th.

⁶ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี 12120; sittirik@biotec.or.th.

*Corresponding author: Charuay.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาก่อนหน้านี้มีการค้นพบว่า เปปไทด์สังเคราะห์มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *E. coli* ATCC25922, *E. coli* ATCC8739 และ *E. coli* ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพ่อสุกรการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบฤทธิ์ของเปปไทด์สังเคราะห์ 8 เส้น (Sam1, Sam2, Sam3, Sam4, Sam5, Sam7, Sam8 และ Sam9) มาทดสอบกับเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้น้ำเชื้อสุกร จำนวน 14 ชนิด ได้แก่ *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Serratia marcescens*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella aerogenes*, *Citrobacter koseri*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Providencia stuartii*, *Providencia rettgeri*, *Aeromonas hydrophila*, และ *Edwardsiella tarda* โดยทดสอบฤทธิ์การต้านจุลชีพที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 100, 200 และ 400 µg/ml ด้วยวิธีการวัดค่าความขุ่น (Turbidimetric method) หลังจากบ่มรักษาที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ยับยั้งแบคทีเรีย ซึ่งพบว่าเปปไทด์ต้านจุลชีพที่สามารถยับยั้งการยับยั้งได้ดีที่สุด และมีฤทธิ์ยับยั้งเพิ่มมากขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของเปปไทด์เพิ่มขึ้นคือ Sam8 สามารถยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus* spp. (99.7%) และ *Staphylococcus* spp. (65.1%) ได้ สรุปได้ว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าเปปไทด์เส้นนี้มาพัฒนาต่อไป เพื่อใช้สำหรับควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเชื้อพ่อสุกรได้

คำสำคัญ : เปปไทด์สังเคราะห์, ฤทธิ์การต้านเชื้อจุลินทรีย์, เชื้อจุลินทรีย์, น้ำเชื้อสุกร

Abstract

The results of previous study showed antimicrobial potency of synthetic peptides to inhibit *E. coli* ATCC 25922, *E. coli* ATCC 8739 and *E. coli* isolated from boar semen. The objective of this study was to investigate the antimicrobial activity of 8 synthetic peptides (Sam 1, Sam 2, Sam 3, Sam 4, Sam 5, Sam 7, Sam 8 and Sam 9) that was found against the 14 strains of microorganisms isolated from boar semen which were *Staphylococcus* spp., *Streptococcus* spp., *Serratia marcescens*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella aerogenes*, *Citrobacter koseri*, *Klebsiella oxytoca*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Providencia stuartii*, *Providencia rettgeri*, *Aeromonas hydrophila*, and *Edwardsiella tarda*. Antimicrobial activity was tested at the concentrations of 100, 200 and 400 µg/ml by turbidimetric method after incubated at 37 °C for 24 hours. The percentage of bacterial inhibition was calculated. The results showed that peptide Sam8 had the highest inhibition percentage against *Staphylococcus* spp. (99.7%) and *Streptococcus* spp. (65.1%) with concentration-dependent inhibition. It can be concluded from this study that peptide Sam8 had the potential to inhibit *Staphylococcus* spp. and *Streptococcus* spp. isolated from boar semen. It will be used to control the microorganism growth of boar semen.

Keywords : Synthetic Peptides, Antimicrobial Activity, Microorganisms, Boar Semen

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตสุกรนิยมใช้เทคโนโลยีการผสมเทียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสืบพันธุ์การปรับปรุงพันธุกรรมและประสิทธิภาพการผลิต [1], [2] ในกระบวนการผลิตน้ำเชื้อ เพื่อใช้ผสมเทียมนั้นแม้จะมีการจัดการด้านสุขอนามัยที่ถูกสุขลักษณะมักจะประสบปัญหาการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเชื้อหลายชนิด เช่น *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Escherichia coli* และ *P. aeruginosa* เป็นต้น [3], [4], [5], [6], [7] ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสืบพันธุ์โดยเฉพาะแบคทีเรียแกรมลบจำพวก *Escherichia coli* มีผลเป็นพิษต่อตัวสุจิ ทำให้คุณภาพของสุจิตดลงอีกทั้งส่งผลให้ขนาดต่อครอกลดลงด้วย [7], [8] ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะในสารละลายเจือจางน้ำเชื้อ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น Gentamicin, Kanamycin, Amoxicillin และ Penicillin เป็นต้น [5], [9], [10] อย่างไรก็ตามการใช้ยาปฏิชีวนะมีผลเป็นพิษต่อตัวสุจิและมีการตกค้างอยู่ในสัตว์เพศเมียได้ อีกทั้งยังทำให้เชื้อจุลินทรีย์สามารถดื้อต่อยา

ปฏิชีวนะได้ [11], [12] ดังนั้นจึงเห็นความสำคัญในการมองหาแนวทางการแก้ไขอื่น ๆ เพื่อทดแทนการใช้ยาปฏิชีวนะ

ในปัจจุบันนี้มีแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก มีการรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เปปไทด์ต้านจุลชีพ PG-1, PMAP-23, LL-37, Indolicidin, Cathelicidin-BF, Cationic Antimicrobial peptides cyclic 2 hexapeptide (c-WWW, c-WFW) และ helical magainin II amide analog (MK5E) สามารถต้านต่อจุลินทรีย์ก่อโรคจำพวก *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae* และ *Salmonella typhimurium* ได้ [10], [13], [14], [15] ซึ่งเปปไทด์สังเคราะห์ต้านจุลชีพนี้เป็นเปปไทด์สายสั้น ๆ ที่เข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) มีผลทำให้เซลล์ตายหรือหยุดการเจริญเติบโตไปในที่สุด [16]

นอกจากนี้จากการศึกษาก่อนหน้านี้ พบเปปไทด์ต้านจุลชีพจำนวน Sam1, Sam2, Sam3, Sam4, Sam5, Sam6, Sam7, Sam8 และ Sam9 มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *E. coli* ATCC25922 [17] และยังพบเปปไทด์ในระดับความเข้มข้น 100 µg/ml ที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *E. coli* ที่แยก

ได้จากน้ำเชื้อพ่อสุกรได้อีกด้วย (Sam1, Sam2, Sam3, Sam4, Sam5, Sam7, Sam8 และ Sam9) [18] จึงเป็นเรื่องที่สนใจจะทำการศึกษาต่อด้วยการทดสอบฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์นี้ ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพ่อสุกรชนิดอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำมาใช้ทดแทนหรือลดปริมาณการใช้ยาปฏิชีวนะในสารเจือจางน้ำเชื้อต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งแยกได้จากน้ำเชื้อพ่อสุกร 14 ชนิด ได้แก่ 1=*Staphylococcus* spp., 2 = *Streptococcus* spp., 3=*Serratia marcescens*, 4=*Klebsiella pneumoniae*, 5=*Enterobacter cloacae*, 6 = *Enterobacter aerogenes*, 7=*Klebsiella aerogenes*, 8=*Citrobacter koseri*, 9=*Klebsiella oxytoca*, 10=*Pseudomonas aeruginosa*, 11=*Providencia stuartii*, 12=*Providencia rettgeri*, 13=*Aeromonas hydrophila* และ 14 = *Edwardsiella tarda* [6] โดยเชื้อโคโลนีเดี่ยว ๆ ชนิดละ 1 โคโลนี ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton broth (MHB) ปริมาตร 4ml แล้วเขย่าให้เข้ากันด้วยการ vortex หลังจากนั้นนำไปบ่มพร้อมกับการเขย่าด้วยเครื่อง shaking incubator ด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่ 37°C เป็นเวลา 3-6 ชั่วโมง เพื่อเพาะเลี้ยงเชื้อ แล้วทำการปรับความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดให้ได้ความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 1×10^6 CFU/ml โดยการนำไปเจือจางกับสารละลาย Normal saline solution (NSS) 0.85% ปริมาตร 4 ml และวัดค่าความขุ่นด้วยด้วยเครื่อง Suspension turbidity meter ให้ได้ค่าที่ 0.5 McFarland (ความเข้มข้นเท่ากับ 1×10^8 CFU/ml) ตามวิธีการที่แนะนำโดย CLSI [19] และเจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB จนได้ความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดเท่ากับ 1×10^6 CFU/ml

2.2 การทดสอบฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์สังเคราะห์ต่อเชื้อจุลินทรีย์

เปปไทด์ต้านจุลชีพทั้ง 8 เส้น ได้แก่ Sam 1, Sam 2, Sam 3, Sam 4, Sam 5, Sam 7, Sam 8 และ Sam 9 ถูกเตรียมโดยการสังเคราะห์จากบริษัทผลิต (GenScript Leiden, Netherlands) ในรูปแบบผง และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20°C หลังจากนั้นทำการละลายเปปไทด์สังเคราะห์แต่ละเส้นด้วยสารละลาย 2% Dimethyl sulfoxide (2% DMSO) (ความเข้มข้น 4,096 $\mu\text{g/ml}$) และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เมื่อนำมาใช้ จะทำการปรับความเข้มข้นเปปไทด์สังเคราะห์แต่ละเส้นด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อให้มีความเข้มข้น 200, 400 และ 800 $\mu\text{g/ml}$ แล้วปิเปตเปปไทด์แต่ละเส้นในปริมาตร 100 μl ของแต่ละความเข้มข้น ใส่ลงในหลุม 96-well microplate เป็นจำนวนความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ และเตรียมหลุมที่เป็น Negative control โดยปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB ปริมาตร 100 μl และเตรียมหลุม Positive control โดยปิเปตยาปฏิชีวนะชนิด Amikacin (256 $\mu\text{g/ml}$) ในปริมาตร 100 μl หลังจากนั้น ทำการปิเปตเชื้อจุลินทรีย์ 1 ชนิด (ความเข้มข้น 1×10^6 CFU/ml) ปริมาตร 100 μl ใส่ลงไปในแต่ละหลุมที่เตรียมไว้ (รวมปริมาตรเป็นหลุมละ 200 μl) และเตรียมหลุม Blank โดยปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB และน้ำกลั่นที่มีส่วนผสมของสารละลาย 2% DMSO อย่างละ 100 μl ซึ่งความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อจุลินทรีย์ ในแต่ละหลุมมีค่าเท่ากับ 5×10^5 CFU/ml และความเข้มข้นสุดท้ายของเปปไทด์แต่ละเส้นมีค่าเท่ากับ 100, 200 และ 400 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ จากนั้นนำไปบ่มไว้ที่ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการวัดค่าความขุ่น (Turbidimetric method) เป็นค่า OD ด้วยเครื่อง Microplate reader ที่ค่าความยาวคลื่น 600nm (OD_{600}) ทำการเก็บข้อมูลค่า OD_{600} ชั่วโมงที่ 24 ของการบ่มเพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย (% inhibition)

2.3 การเก็บข้อมูล

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย (% inhibition) จากข้อมูลค่า OD₆₀₀ ที่ได้ทำการวัดที่ 24 ชั่วโมงของการบ่มโดยทำการคำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ inhibition} = 100 \times [1 - ((T600 - B600) / (C600 - B600))]$$

T600 = OD₆₀₀ ของตัวที่ทดสอบ OD₆₀₀; B600 =

OD₆₀₀ ของ Blank; C600 = OD₆₀₀ ของ

Negative control

โดยเปอร์เซ็นต์ยับยั้งแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้
มีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam1

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิดที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกรของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam1 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปปไทด์ Sam1 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Staphylococcus* spp. ที่ระดับความเข้มข้น 100 µg/ml ได้มากถึง 87.6 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ *Enterobacter cloacae*, *Aeromonas hydrophila* และ *Edwardsiella tarda* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 1)

4.2 ฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam2

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิด ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกรของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam2 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่สามารถยับยั้งต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 14 ชนิด (ภาพที่ 2) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้น

เมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella aerogenes* และ *Providencia rettgeri* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 2)

4.3 ฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam3

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิดที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกรของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam3 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปปไทด์ Sam3 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Providencia stuartii* ที่ระดับความเข้มข้น 100 µg/ml ได้มากถึง 76.3 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 3) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด ได้แก่ *Enterobacter aerogenes*, *Klebsiella oxytoca* และ *Edwardsiella tarda* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 3)

4.4 ฤทธิ์การต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam4

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิดที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกรของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam4 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปปไทด์ Sam4 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Providencia rettgeri* ที่ระดับความเข้มข้น 200 µg/ml ได้มากถึง 51.0 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ *Serratia marcescens* และ *Providencia stuartii* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 4)

4.5 การทดสอบการต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam5

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิดที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสูกร ของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam5 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปปไทด์ Sam5 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Enterobacter aerogenes* ที่ระดับความเข้มข้น 400 µg/ml ได้มากถึง 51.5 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 5) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ *Enterobacter aerogenes* และ *Klebsiella aerogenes* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 5)

4.6 การทดสอบการต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam7

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิด ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสูกร ของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam7 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปปไทด์ Sam7 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Edwardsiella tarda* ที่ระดับความเข้มข้น 200 µg/ml ได้มากถึง 55.5 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 6) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 1 ชนิด ได้แก่ *Enterobacter cloacae* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 6)

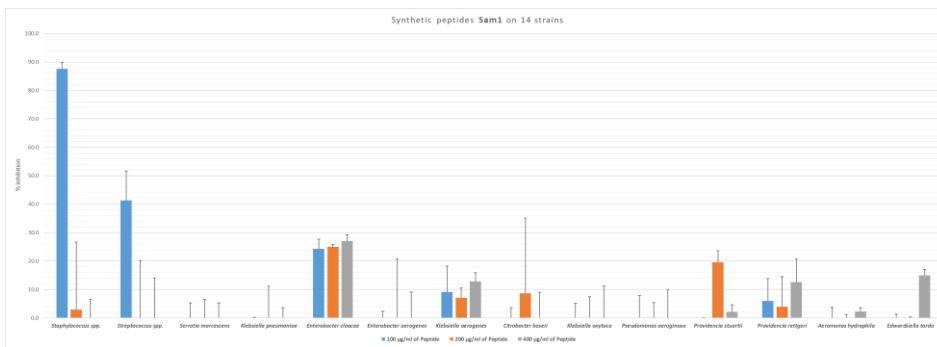
4.7 การทดสอบการต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam8

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิด ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสูกร ของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam8 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์พบว่า เปปไทด์ Sam8 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Staphylococcus* spp. และเชื้อ *Streptococcus* spp. ที่ระดับความเข้มข้น 400 µg/ml ได้มากถึง 99.7 เปอร์เซ็นต์ และ 65.1 เปอร์เซ็นต์

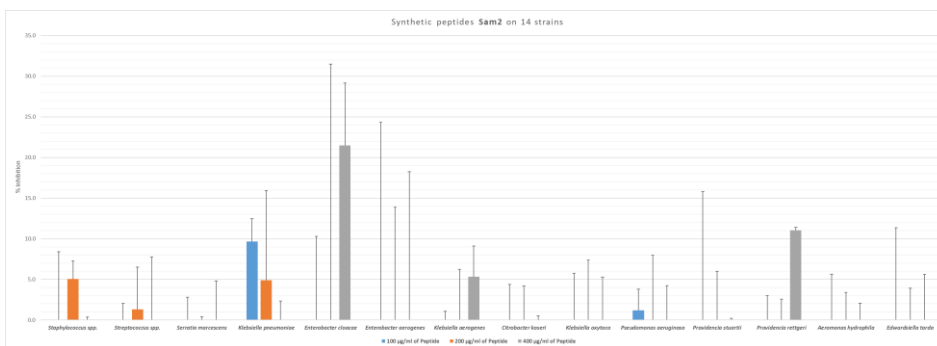
ตามลำดับ อีกทั้งฤทธิ์ในการยับยั้งต่อเชื้อ 2 ชนิดนี้ ยังเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกด้วย (ภาพที่ 7) และเปปไทด์ Sam8 สามารถยับยั้งต่อเชื้อ *Enterobacter cloacae* ที่ระดับความเข้มข้น 200 µg/ml ได้มากถึง 64.3 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 7) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 1 ชนิด ได้แก่ *Providencia stuartii* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 7)

4.8 การทดสอบการต้านจุลชีพของเปปไทด์ Sam9

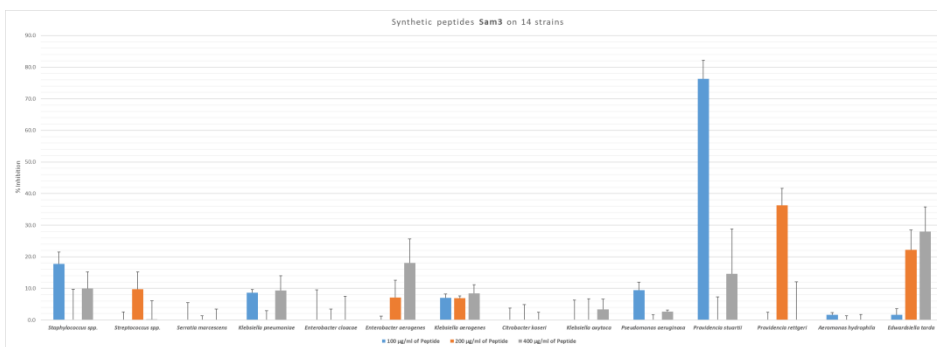
จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ทั้ง 14 ชนิด ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสูกร ของเปปไทด์สังเคราะห์ Sam9 โดยดูจากค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่สามารถยอมรับได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าไม่สามารถยับยั้งต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 14 ชนิด (ภาพที่ 8) ขณะเดียวกันพบเปอร์เซ็นต์การยับยั้งที่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ 4 ชนิด ได้แก่ *Providencia stuartii*, *Providencia rettgeri*, *Aeromonas hydrophila* และ *Edwardsiella tarda* จึงสามารถพัฒนาความเข้มข้นของเปปไทด์ให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อฤทธิ์ในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 1 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam1 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อฟอสสุกร 14 ชนิด

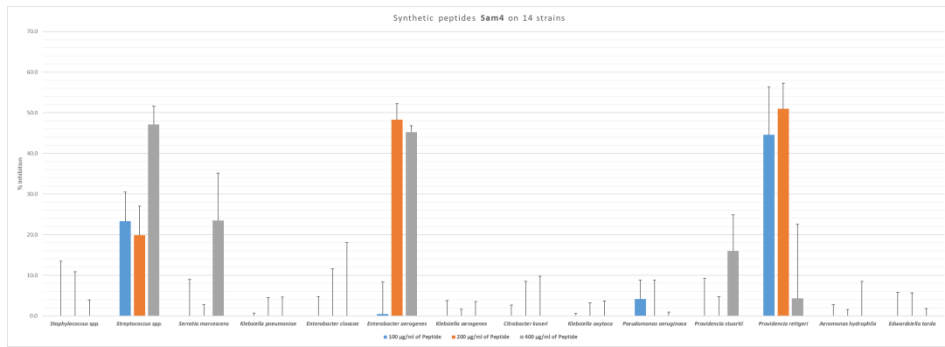


ภาพที่ 2 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam2 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อฟอสสุกร 14 ชนิด

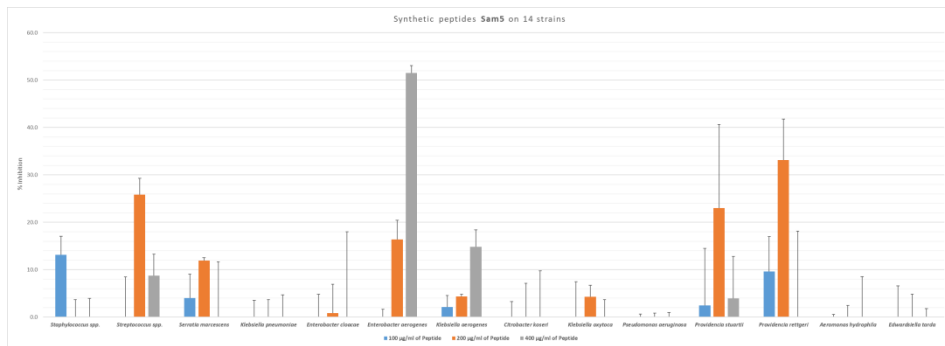


ภาพที่ 3 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam3 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อฟอสสุกร 14 ชนิด

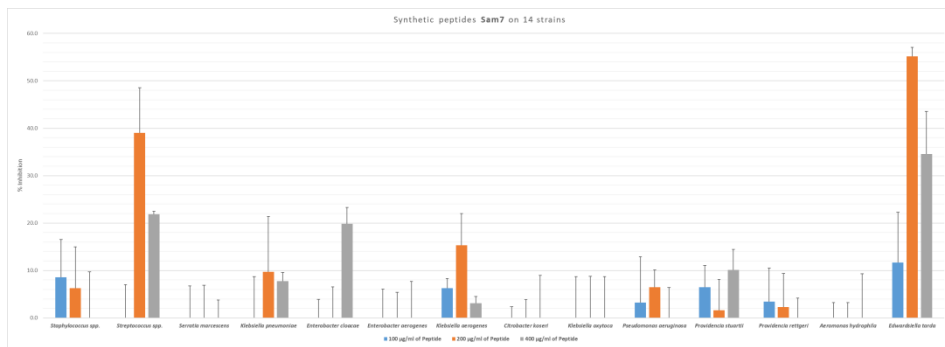
การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม



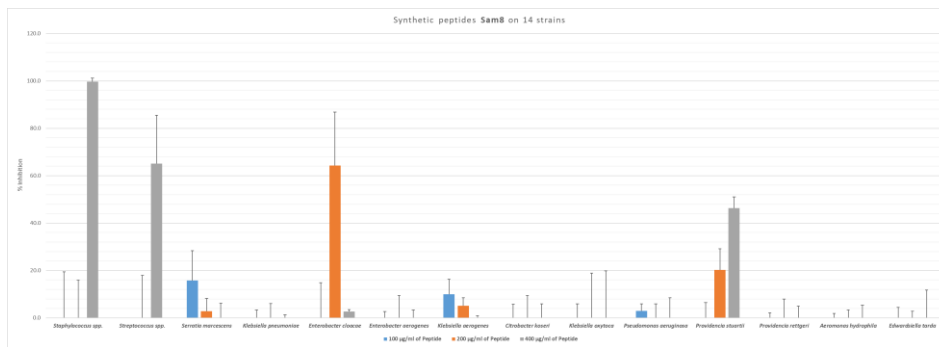
ภาพที่ 4 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam4 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อฟอสสุกร 14 ชนิด



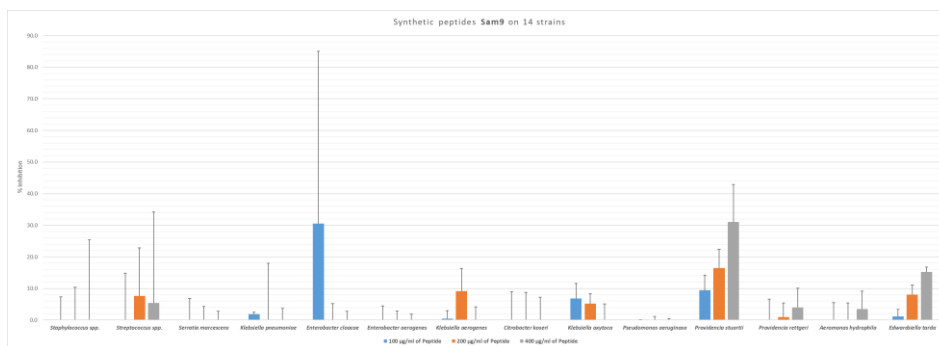
ภาพที่ 5 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam5 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อฟอสสุกร 14 ชนิด



ภาพที่ 6 เปรอ์เซ็นต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam7 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อฟอสสุกร 14 ชนิด



ภาพที่ 7 เปอร์เซนต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam8 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกร 14 ชนิด



ภาพที่ 8 เปอร์เซนต์การยับยั้งของเปปไทด์ Sam9 ที่ระดับความเข้มข้น 100, 200 และ 400 µg/ml ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกร 14 ชนิด

จากผลการศึกษาฤทธิ์การยับยั้งด้านจุลชีพของเปปไทด์สังเคราะห์ทั้ง 8 เส้นต่อเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 14 ชนิด ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกรแสดงให้เห็นว่า Sam8 ที่ระดับความเข้มข้น 400 µg/ml มีเปอร์เซนต์การยับยั้งที่สามารถยอมรับได้และยังเป็นการยับยั้งเชื้อเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยยับยั้งต่อเชื้อ *Staphylococcus* spp. (99.7%) และเชื้อ *Streptococcus* spp. (65.1%) ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกรได้ดีกว่าเส้นอื่นๆ เช่นเดียวกับกับรายงานของ Speck และคณะ [9] ที่พบว่าเปปไทด์สังเคราะห์ด้านจุลชีพ c-WWW และ c-WFW สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากน้ำเชื้อพอสุกร เช่นเดียวกัน ได้แก่ *E. coli*, *Klebsiella pneumoniae* และ *Enterobacter cloacae* เป็นต้น และยังสามารถยับยั้งเชื้ออ้างอิง *Staphylococcus aureus* ATCC

29213 ได้ซึ่งฤทธิ์ในการยับยั้งของ Sam8 นี้เป็นที่น่าสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากมีรายงานการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเชื้อพอสุกรพบการปนเปื้อนเชื้อ *Staphylococcus* spp. บ่อยที่สุดและยังพบในปริมาณมากอีกด้วย [5], [6] และถึงแม้ว่าผลเปอร์เซนต์การยับยั้งของเปปไทด์เส้นอื่น ๆ ที่น้อยกว่าร้อยละ 50 แต่มีฤทธิ์การยับยั้งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นนั้นแสดงให้เห็นได้ว่ายังสามารถเพิ่มความเข้มข้นของเปปไทด์ในแต่ละเส้นเพื่อพัฒนาฤทธิ์การยับยั้งต่อเชื้อจุลินทรีย์ต่อไปได้

จากผลการยับยั้งจุลชีพของเปปไทด์นี้ สอดคล้องกับรายงานของ สรศักดิ์ [16] และรายงานของ Saldit และคณะ [20] กล่าวถึงกลไกการทำงานของเปปไทด์ด้านจุลชีพ โดยส่วนใหญ่มักเข้าทำลายเชื้อจุลินทรีย์ผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) ซึ่งรูปแบบในการเข้า

ทำลายของเปปไทด์สายสั้น ๆ นี้ อาจเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ เช่น เปปไทด์ดึงดูดเข้าหาเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยแรงขั้วไฟฟ้า สถิติเรียงติดกันทำให้เยื่อหุ้มเซลล์หลุด และเกิดรูขึ้นได้ หรือเปปไทด์เข้าไปจับกับเยื่อหุ้มเซลล์ด้วยการใช้ด้านประจุบวกของเปปไทด์ จับกับประจุลบของ Phospholipid ในชั้นlipid bilayer ในเยื่อหุ้มเซลล์เรียงตัวกันจนเกิดรูได้ หรือเปปไทด์มีการสอดแทรกตัวเข้าไปทำลายโดยแทรกผ่านทางด้านhydrophobic core จนทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ เกิดเป็นรูได้เช่นเดียวกันหลังจากนั้นเกิดการรั่วไหลของสาร ออกนอกเซลล์ ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์คงที่การเจริญเติบโต หรือตายไปในที่สุด

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าเปปไทด์ต้านจุลชีพ Sam8 มีฤทธิ์ยับยั้งของต่อเชื้อ *Staphylococcus* spp. และเชื้อ *Streptococcus* spp. ได้ และยังมีฤทธิ์ยับยั้งเพิ่มมากขึ้น เมื่อระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจึงเป็นที่น่าสนใจ เพื่อสำหรับนำมาใช้ควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำเชื้อพ่อสุกรได้ และอาจเป็นอีกวิธีที่ทำให้ลดการใช้ยาปฏิชีวนะในสารละลาย เจือจางน้ำเชื้อพ่อสุกรอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากศูนย์ ความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร สำนักพัฒนา บัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และได้รับการสนับสนุน ส่วนหนึ่งจากศูนย์วิจัยความเป็นเลิศเทคโนโลยีชีวภาพเกษตร และทรัพยากรธรรมชาติ ระยะที่ 3 คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

[1] พีรศักดิ์ สุทธิโยธิน. (2529). *การผสมเทียม*. สงขลา: ภาควิชาสัตวศาสตร์คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- [2] พีรศักดิ์ สุทธิโยธิน. (2548). *สรีรวิทยาการสืบพันธุ์ของสัตว์เลี้ยง*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Althouse, G. C. and K. G. Lu. (2005). Bacteriospermia in extended porcine semen. *Theriogenology*. 63, 573-584.
- [4] Althouse, G. C. (2008). Sanitary procedures for the production of extended semen. *Reprod. Domes. Anim*, 43, 374-378.
- [5] Gaczarzewicz, D., J. Udala, M. Piasecka, B. Blaszczyk and T. Stankiewicz. (2016). Bacterial contamination of boar semen and its relationship to sperm quality preserved in commercial extender containing gentamicin sulfate. *Pol. J. Vet. Sci.*, 19, 451-459.
- [6] Keath, S., C. Sanicha, P. Rattanaruj, A. Nutthee, R. Sittiruk and T. Thunchira. (2019). Bacterial Contamination and Antibiotic Resistance of *Escherichia coli* Isolated from Boar Semen. *Khon. Kaen. Agr. J.*, 2, 105-110
- [7] Martin, M., L.O., E. C. Muñoz, F. D. Cupere, E. V. Driessche, D. Echemendia-Blanco, J. M. M. Rodriguez and S. Beeckmans. (2010). Bacterial contamination of boar semen affects the litter size. *Anim. Reprod. Sci.*, 120, 95-104.
- [8] Althouse, G. C., M. S. Pierdon and K. G. Lu. (2008). Thermotemporal dynamics of contaminant bacteria and antimicrobials in extended porcine semen. *Theriogenology*. 70, 1317-1323.
- [9] Schulze, M., C. Junkes, P. Mueller, S. Speck, K. Ruediger, M. Dathe and K. Mueller. (2014). Effects of cationic antimicrobial peptides on liquid preserved boar spermatozoa. *Plos one*. 9(6).

- [10] Speck, S., A. Courtiol, C. Junkes, M. Dathe, K. Müller and M. Schulze. (2014). Cationic synthetic peptides: Assessment of their antimicrobial potency in liquid preserved boar semen. *Plos one*. 9(8)
- [11] Morrell, J. M. (2016). Antimicrobials in boar semen extenders - A risk/benefit analysis. *J. Antimicrob.* 2, 107.
- [12] Vickram, A. S., Dhama Kuldeep, K. Archana, R. Parameswari, M. R. Pathy, H. M. N. Iqbal, and T.B. Sridharan. (2017). Antimicrobial peptides in semen extenders: A valuable replacement option for antibiotics in cryopreservation-a prospective review. *J. E. B. A. S.*, 5(5), 578-88.
- [13] Liu, Y., C. Luan, X. Xia, S. An and Y. Wang. (2011). Antibacterial activity, cytotoxicity and mechanisms of action of cathelicidin peptides against enteric pathogens in weaning piglets. *Int. J. Pept. Res. Ther.* 17(3), 175.
- [14] Sancho, S., M. Briz, M. Yeste, S. Bonet and E. Bussalleu. (2017). Effects of the antimicrobial peptide protegrin1 on sperm viability and bacterial load of boar seminal doses. *Reprod. Dom. Anim.*, 52, 69-71.
- [15] Timonet P, A., B. A. Pereira, E. Pinart, M. Yeste, M. Castillo-Martín and S. Bonet. (2018). Evaluation of porcine beta defensins-1 and 2 as antimicrobial peptides for liquid stored boar semen: Effects on bacterial growth and sperm quality. *Theriogenology*, 111, 9-18.
- [16] สรศักดิ์ อินทรสูตร. (2556). เปปไทด์ต้านจุลชีพ: โพรตีนจากธรรมชาติกับการประยุกต์ใช้เพื่อการรักษาโรคติดเชื้อในอนาคต. *ว. เทคนิคการแพทย์เชียงใหม่* 46, 1-19.
- [17] Sum, S. (2018). *A study on Antibacterial Activity of Low Molecular Weight Peptide in Boar Seminal Plasma: in Case of Escherichia coli ATCC 25922.* (Master' s thesis, Faculty of Natural Resources, Prince). Songkla: Songkla University.
- [18] Keath, S. (2020). *Assessment of Antimicrobial Activity of Synthetic Peptides on Escherichia coli Isolated from Boar Semen* (Master' s thesis, Faculty of Natural Resources). Songkla: Songkla University
- [19] CLSI. (2008). Performance standards for antimicrobial disk and dilution susceptibility test form bacteria isolated from animal; *approved standard M31-A3*, 28, 8(Clinical Laboratory Standard Institute Publ., Wayne, PA, USA.).
- [20] Saldit, T., C. Li and A. Spaar. (2006). Structure of antimicrobial peptides and lipid membranes probed by interface sensitive X-rays cattering. *Biochim. Biophys. Acta*, 1758, 1483-1498.

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์เคลือบคาร์บอน
เพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำ

Synthesis of carbon coated ironoxide nanoparticles
for the removal of methylene blue from water

จิตสุภา ไกรวัน¹, วรณา ศิริแสงตระกูล², สุภาวดี ดาวดี³, ธนัฐ ศรีวิเศษ⁴, ธีรยุทธ ชาญนวงศ์⁵
Jitsupa Kraiwan¹, Wanna Sirisangtragul², Supawadee Daodee³, Tanat srivises⁴,
Theerayut Charnnuwong⁵

^{1,2}หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์บูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³สาขาวิชาเภสัชเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

⁴ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 4 สำนักงานพิสูจน์หลักฐานตำรวจ จ.ขอนแก่น

⁵ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

¹jitsupakr@kkumail.com, ²wannas@kku.ac.th, ³csupawad@kku.ac.th, ⁴ferrir_t08062527@hotmail.com ⁵theerayt@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การกำจัดสีย้อมที่ตกค้างในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมด้วยวิธีดูดซับเป็นวิธีที่สะดวก ใช้ต้นทุนต่ำ แต่จากปัญหาการแยกวัสดุดูดซับบางชนิดออกนั้นทำได้ยาก การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กเคลือบคาร์บอน (carbon coated ironoxide nanoparticles, Fe₃O₄ @ C NPs) และประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำ อนุภาค Fe₃O₄ @ C NPs สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่าง Fe₃O₄ และสารละลายกรด L-ascorbic ที่เป็นแหล่งของคาร์บอน ใน Teflon lined stainless ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) แสดงให้เห็นอนุภาคที่มีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดระหว่าง 9.70 ±2.47 nm มีการกระจายตัวที่ดี มีค่าแม่เหล็กซีเอ็มทีวี่ 65.32 emu/g และพบสเปกตรัมที่ยืนยันพันธะของ Fe₃O₄ กับคาร์บอนที่เคลือบพื้นที่ผิวเมื่อวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) การทดสอบความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำ พบว่าสามารถดูดซับรวมทั้งการรีดักชันสีเมทิลีนบลู ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้อนุภาค Fe₃O₄ @ C NPs เป็นวัสดุดูดซับเพื่อบำบัดสีย้อมในน้ำทิ้ง

คำสำคัญ : อนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์, คาร์บอน, เมทิลีนบลู, แอล-แอสคอร์บิก

Abstract

The removal of dyes from wastewater by adsorptions is comfortable and low-cost method. However, the separation of some adsorbent material from an effluent is complicate. This study aims to synthesize carbon coated ironoxide nanoparticles (Fe₃O₄ @ C NPs) and evaluate the adsorptive capacity of methylene blue dye in aqueous solution. The Fe₃O₄ @ C NPs were synthesized in the present of Fe₃O₄ and carbon source; L-ascorbic acid solution in Teflon lined stainless at 180 °C for 4 h. Transmission electron microscope (TEM) showed spherical and high dispersion characteristic with an average particle size of 9.70 ±2.47 nm. The saturated magnetization was 65.32 emu/g. The FTIR spectrum confirmed the bonding of Fe₃O₄ and carbon coated. For investigation of adsorptive

capacity, it was found that the synthesized $Fe_3O_4 @ C$ NPs has adsorption capacity, and reduction ability. These results demonstrate that the $Fe_3O_4 @ C$ NPs can be applied for absorbent for dye from wastewater.

Keywords : Ironoxide nanoparticles, Carbon, Methylene blue, L-ascorbic acid

1. บทนำ

จากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย ส่งผลให้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมที่หลากหลาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และปัญหาที่มักเกิดติดตามมาจากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมคือ ปัญหามลภาวะโดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ เนื่องจากอุตสาหกรรมต่างๆ จำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตจะอยู่ในรูปของสารมลพิษอินทรีย์ต่างๆ ที่มีการปนเปื้อนของสีจากกระบวนการฟอกย้อม อาทิโรดามีน B (rhodamine B) เมทิลออเรนจ์ (methyl orange) คริสตัลไวโอเลต (crystal violet) คองโกเรด (congo red) เมทิลเรด (methyl red) รวมทั้งเมทิลีนบลู (methylene blue) ฯลฯ[1] สีย้อมเมทิลีนบลูจัดเป็นสีเบสิก (basic dyes) ที่นิยมใช้กันมากในกระบวนการย้อมสีสำหรับผ้าไหม ขนสัตว์ และฝ้าย [2] เนื่องจากการสลายตัวของชีวภาพเกิดได้ยากในสภาพธรรมชาติและมีความเป็นพิษ [3] การตกค้างของสีย้อมในน้ำทิ้งนอกจากสร้างผลกระทบต่อสุขภาพแก่ผู้พบเห็นจากสีที่เข้มแล้ว ยังสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมและเกิดการสะสมตกค้างได้ในดินก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม และส่งผลเกิดผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพได้ในคน เช่น ก่อให้เกิดอาการหายใจลำบาก คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย การกำจัดสีย้อมก่อนทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะจึงมีความจำเป็น ปัจจุบันการกำจัดน้ำเสียที่เกิดจากสีย้อมมีหลายวิธี เช่น ion exchange, chemical oxidation วิธีการตกตะกอน (precipitation) หรือการดูดซับ (adsorption) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายใช้ต้นทุนต่ำ [4] ด้วยตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เพอร์ไลท์ (perlite) เบนโตไนท์ (bentonite)

ซิลิกา (silica) ซีโอไลท์ (zeolite) แร่ดินเหนียว (clay minerals) รวมถึงวัสดุนาโนที่สังเคราะห์ได้จากวัสดุธรรมชาติ และวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร[5-8]

อนุภาคนาโน คือ อนุภาคมีขนาดเล็กในช่วง 1-100 นาโนเมตร จากการที่มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง มีการกระจายขนาดอย่างสม่ำเสมอ มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างไปจากอนุภาคชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ (bulk material) อาทิ คุณสมบัติเชิงแสง การนำความร้อน หรือการนำไฟฟ้า [9] จึงมีการประยุกต์ใช้งานในหลายลักษณะ เช่น อนุภาคแม่เหล็กนาโนเหล็กออกไซด์ (Iron oxide nanoparticles) แม่เหล็กชนิดซูเปอร์พารา (superparamagnetic) ที่มีสมบัติแม่เหล็กแบบไม่เสถียร และไม่มีอำนาจแม่เหล็กตกค้าง [10] ในปริมาณต่ำจะมีความเป็นพิษต่อเซลล์และมีการสังเคราะห์หลากหลายวิธีซึ่งมีการศึกษาการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียด้วย แต่ข้อจำกัดจากคุณสมบัติในการคงตัวต่ำเมื่ออยู่ในสภาวะเป็นกรดการปรับปรุงพื้นผิวด้วย polyacrylamide บน carbon-coated Fe_3O_4 [11] หรือ porous carbon nanosheets เพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดโลหะหนักในน้ำได้ [12] หรือการศึกษาการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูด้วย carbon dot @ zinc peroxide embedded poly vinyl alcohol (PVA/CZnO₂) [13] แต่จากปัญหาในการแยกวัสดุที่ใช้ในการดูดซับบางชนิดออกจากน้ำทิ้งพบว่า ทำได้ยาก การพัฒนาตัวดูดซับที่ใช้งานสะดวก แยกออกจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดได้ง่าย ความเป็นพิษต่ำ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้จึงเป็นสิ่งจำเป็นการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้อนุภาคนาโนเหล็กเคลือบคาร์บอน (carbon coated ironoxide nanoparticles, $Fe_3O_4 @ C$ NPs) โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นแหล่งคาร์บอน

เพื่อใช้ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำเพื่อพัฒนาเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีย้อมต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์ (Magnetite nanoparticles, Fe₃O₄ NPs)

ซึ่ง FeCl₂·4H₂O ปริมาณ 9.942 g และสาร FeCl₃·6H₂O ปริมาณ 6.758 g ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติมน้ำ deionized water (DI) ปริมาตร 100 ml และเอทานอล (50%) ปริมาตร 50 ml กวนให้สารละลายเข้ากัน ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำ Erlenmeyer flask ที่เตรียมมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมน้ำแอมโมเนีย (NH₄OH) ปรับ pH เป็น 10 แล้วหยุดให้ความร้อนกับสารละลายทิ้งให้สารละลายเย็นที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปแยกสารแขวนลอยของอนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์ ด้วยเครื่องเซนทริฟิวก์พร้อมกับล้างตะกอนด้วยน้ำ DI หลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งสารละลายมีความเป็นกลาง แล้วนำแมกนีไทต์ (Magnetite, Fe₃O₄) ที่สังเคราะห์ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 การสังเคราะห์คาร์บอนเคลือบอนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์ (Carbon coated Fe₃O₄ nanoparticles, Fe₃O₄@C NPs)

ซึ่ง Fe₃O₄ ที่สังเคราะห์ได้ปริมาณ 0.5 g ละลายในสารละลาย L-ascorbic acid ปริมาตร 50 ml กวนให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำสารละลายผสมเทใส่ลงใน Teflon lined stainless นำไป autoclave ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งให้สารละลายเย็นที่อุณหภูมิห้อง จะเปลี่ยนเป็นสารละลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นนำไป centrifuge เพื่อแยกเก็บส่วนตะกอนของ Fe₃O₄@C NPs นำไปอบที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง [14]

2.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์

ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของอนุภาค Fe₃O₄ และ Fe₃O₄@C NPs ที่สังเคราะห์ได้ วิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (FEI รุ่น

TECNAI G2 20) ศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กด้วย vibration sample magnetometer (VSM) วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Bruker รุ่น TENSOR27) และทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์ที่สังเคราะห์ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำด้วยวิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Shimadzu รุ่น UV-1800)

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์เคลือบคาร์บอน (Fe₃O₄@C NPs) ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู

การทดสอบนำร่องแบบกะ (batch experiment) เพื่อทดสอบการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู [15] ซึ่ง Fe₃O₄@C ที่สังเคราะห์ได้ 0.1 g ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 ml ทำให้กระจายตัวในรูปสารแขวนลอยในอ่างน้ำอัลตราโซนิก (ultrasonication bath) แบ่งสารแขวนลอยที่ได้ใส่ใน conical tube ขนาด 15 ml แต่ละหลอดให้ได้ความเข้มข้นเป็น 25, 50, 100, 150, 200, 600 และ 1200 mg/L แล้วเปิดสารละลายเมทิลีนบลูในความเข้มข้น 6 mg/L ปริมาตร 5 ml ลงในแต่ละหลอดทดลอง นำหลอดตัวอย่างไปเขย่า (100 rpm) เก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 1, 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์โดยแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกด้วยการ centrifugation ที่ความเร็ว 12000 rpm เป็นเวลา 5 นาที นำส่วนของสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลีนบลูที่เหลือในสารละลายด้วยเครื่องยูวี วิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่น 664 nm แล้วคำนวณร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลู (สมการที่ 1)

$$n = [(C_0 - C_t) / C_0] * 100 \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้ n คือ ร้อยละการกำจัดเมทิลีนบลู ค่า C₀ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู (mg/L) และ ค่า C_t คือ ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่เวลาต่าง ๆ (mg/L) คำนวณความสามารถในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู (removal capacity) ดังแสดงในสมการที่ 2

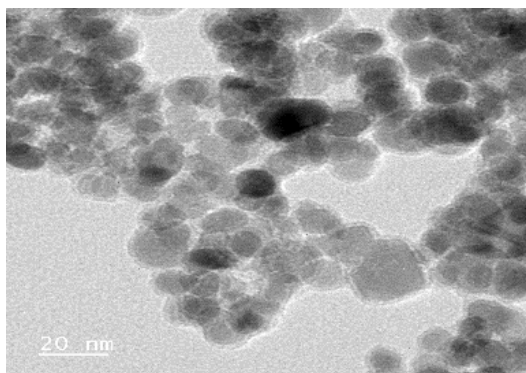
$$q_e = [(C_i - C_e) * V] / M \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้ q_e คือ ความสามารถในการกำจัดสี
ย้อมเมทิลีนบลู (mg/L) ค่า C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น
(mg/L) ค่า C_e คือ ความเข้มข้นที่สมดุล (mg/L) M คือ
มวลของอนุภาค $Fe_3O_4@C$ (g) และ V คือ ปริมาตรของ
สารละลายเมทิลีนบลู (L) ตามลำดับ

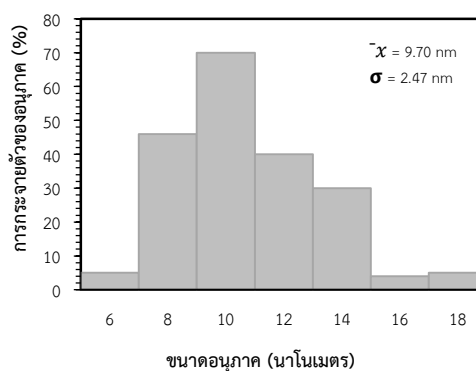
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์ เคลือบคาร์บอน

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์
เคลือบคาร์บอน ($Fe_3O_4@C$) แบบ 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย
การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กนาโนออกไซด์ (Fe_3O_4)
ด้วยวิธีการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) ที่เกิดจาก
การตกตะกอนร่วมระหว่างเฟอร์รัส (Fe^{2+}) และเฟอร์ริก
(Fe^{3+}) ในสารละลาย NH_4OH และการเคลือบคาร์บอน
บนอนุภาคของ Fe_3O_4 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
(Hydrothermal) โดยมี L-ascorbic acid เป็นแหล่งของ
คาร์บอนโดยคาร์บอนจะทำหน้าที่เป็นสารช่วยเสถียรและ
ป้องกันการรวมตัวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ของ Fe_3O_4 [16]
และที่ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากการ
วิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของอนุภาค
ที่เตรียมได้ด้วย TEM (ภาพที่ 1-A, B) แสดงให้เห็นอนุภาค
ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดระหว่าง 9.70 ± 2.47 nm
อนุภาคส่วนใหญ่มีการกระจายตัวที่ดี แต่ก็ยังมีอนุภาค
บางส่วนเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนมีรูปร่างไม่แน่นอน
ในขณะที่บริเวณผิวของ Fe_3O_4 พบลักษณะการเคลือบที่ผิว
ชั้นนอกคาดว่าเป็นชั้นของคาร์บอนที่เคลือบบนอนุภาค
($Fe_3O_4@C$)



(A)

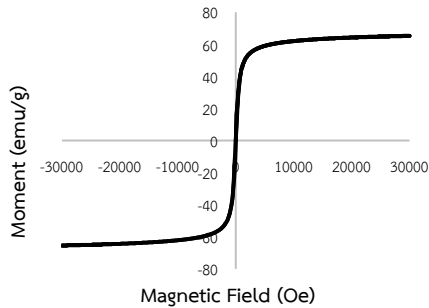


(B)

ภาพที่ 1 รูปร่างการกระจายตัวและขนาด (A) ของ
อนุภาค $Fe_3O_4@C$ NPs วิเคราะห์โดย TEM (B)

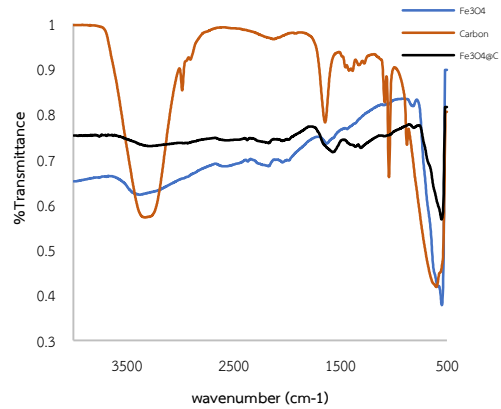
การศึกษาคูณสมบัติแม่เหล็กของอนุภาค โดยทดสอบ
สมบัติทางแม่เหล็กด้วยในเบื้องต้นด้วยแท่นแม่เหล็กถาวร
พบว่า $Fe_3O_4@C$ ที่ได้จากการสังเคราะห์สามารถดูดติดได้
โดยแท่นแม่เหล็กถาวร และสามารถเคลื่อนที่ได้ตามแท่น
แม่เหล็ก ถัดมานำมาศึกษาสมบัติฮิสเทอรีซิสเชิงแม่เหล็ก
ด้วยเครื่อง VSM ที่ 300 K ระหว่าง -30000 ถึง 30000 kOe
(ภาพที่ 2) แสดงสมบัติแม่เหล็กแบบซูเปอร์พารา โดยค่า
แมกเนติกไคเซชันเพิ่มขึ้นตามสนามแม่เหล็กภายนอกอย่างรวดเร็ว
ในช่วงแรก และไม่แสดงวงฮิสเทอรีซิสลูปเชิงแม่เหล็ก
แล้วเข้าสู่สภาวะแม่เหล็กอิ่มตัวในช่วง 30,000 Oe ที่อุณหภูมิ
300K พบว่า ตัวอย่าง $Fe_3O_4@C$ มีค่าแมกเนติกไคเซชันอิ่มตัว
(saturation magnetization: M_s) 65.32 emu/g

ในขณะที่เดียวกัน $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ มีการกระจายตัวที่ดีในน้ำและสามารถแยกออกได้ง่ายภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอก



ภาพที่ 2 วงฮิสเทอรีซิสลูปเชิงแม่เหล็กของอนุภาค $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$

แม่เหล็กภายนอกอนุภาคมีการเคลื่อนที่ตามแม่เหล็กภายนอก

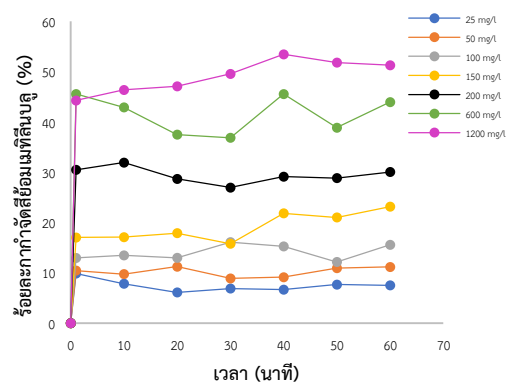


ภาพที่ 3 สเปกตรัม FTIR ของ Fe_3O_4 , carbon และ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$

สเปกตรัม FTIR ของ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ ที่เกิดจากแรงกระทำระหว่างอะตอมของธาตุเหล็กและคาร์บอนพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่การสั่นของหมู่ฟังก์ชัน จากภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ Fe_3O_4 , carbon และ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ ผลการวิเคราะห์พบสเปกตรัมของ carbon ที่มีพิคัลลักษณะกว้างที่เลขคลื่น $3736\text{-}3018\text{ cm}^{-1}$ ที่เกิดการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching) พิคที่เลขคลื่น 2974 cm^{-1} จากการสั่นแบบยืดระหว่างพันธะคาร์บอนและไฮโดรเจน (C-H stretching) พิคที่เลขคลื่น 1651 cm^{-1} จากการสั่นแบบยืดของ C=O พิคที่เลขคลื่น 1420 และ 1043 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นการยืดแบบไม่สมมาตรและสมมาตรของ C-O-C ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ[14]และพบพิคัลลักษณะกว้างในเลขคลื่น $500\text{-}600\text{ cm}^{-1}$ ที่เกิดจากการสั่นของพันธะ Fe-O ของ Fe_3O_4 เมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ และคาร์บอน พบการเปลี่ยนแปลงของเลขคลื่นของ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ สเปกตรัมซึ่งมีลักษณะพิคที่มีความเข้มสัญญาณต่ำกว่าสเปกตรัมของ Fe_3O_4 เนื่องจากการเกิดพันธะของ Fe_3O_4 กับคาร์บอนที่เคลือบพื้นผิว ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$) [16] ซึ่งทำให้อนุภาค $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ ที่สังเคราะห์มีการกระจายตัวที่ดี และมีความเสถียรสูงขึ้น กระจายตัวได้ดีในตัวกลางที่เป็นน้ำ แต่เมื่อตั้งทิ้งจะไวเกิดการแยกชั้นได้ เมื่อเหนี่ยวนำด้วย

3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทาลินบลู

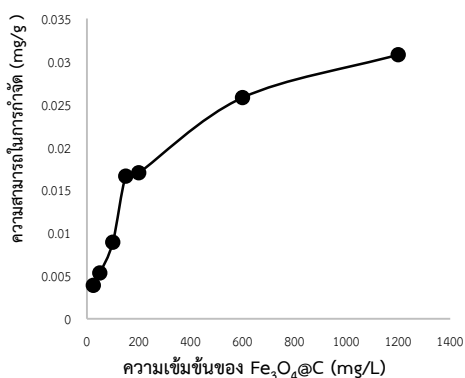
จากผลการทดสอบแบบกะ (batch experiment) ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมของ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ ในการดูดซับสีย้อมเมทาลินบลู ในช่วงเวลา 0-60 นาที พบอัตราเร็วการดูดซับสูงสุดที่เวลา 0-1 นาทีเริ่มคงที่และเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 40 นาที (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ร้อยละการดูดซับสีย้อมเมทาลินบลูเมื่อใช้ปริมาณ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ ที่ความเข้มข้นและเวลาต่าง ๆ

ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{C}$ ในการกำจัดสีย้อมเมทาลินบลูที่ความเข้มข้น 6 mg/L เมื่อความเข้มข้น

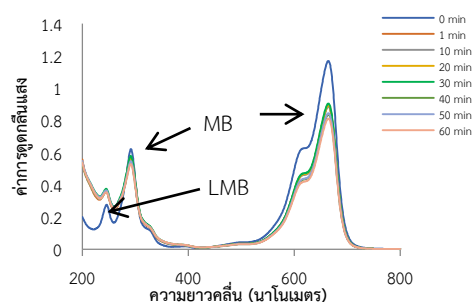
ของตัวดูดซับเป็น 25, 50, 100, 150, 200, 600 และ 1200 mg/L ตามลำดับ พบว่า $Fe_3O_4@C$ มีร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 6.66-53.45 โดยมีความสามารถในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูเท่ากับ 0.004-0.031 mg/g ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของตัวดูดซับมีผลทำให้ร้อยละการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นแปรผันตรงพื้นที่ผิวและบริเวณที่เกิดการดูดซับที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ความสามารถของ $Fe_3O_4@C$ ในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

จากการศึกษาของ El-Shamy [13] ที่สังเคราะห์ polyvinyl alcohol/carbon dots decorated zinc peroxide ($PVA/CZnO_2$) โดยเลือกใช้กลุ่มโคสเป็นแหล่งคาร์บอนในการสังเคราะห์ห่ออนุภาคนาโน C_{Dots} ที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็น $-COOH-$ และ $-OH$ และได้เสนอแนะกลไกการดูดซับสีเมทิลีนบลูของ C_{Dots} จากการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bonding) ระหว่างหมู่ฟังก์ชันนัล $COOH-$ และ $-OH$ กับไนโตรเจนอะตอมของเมทิลีนบลู เกิด Electrostatic interaction ระหว่างประจุลบบนพื้นผิวของ $CZnO_2$ กับประจุบวกบนสีย้อมเมทิลีนบลูและ $\pi-\pi$ stacking interaction ระหว่างวงแหวนอะโรมาติกของเมทิลีนบลูและ C_{Dots} ในขณะที่การศึกษานี้เลือกใช้ L-ascorbic acid เป็นแหล่งของคาร์บอนที่มี $COOH-$ และ $-OH$ บนผิวกลไกการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูอาจเป็นกลไกในลักษณะใดลักษณะหนึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาในข้างต้น และต้องได้รับการพิสูจน์ต่อไป นอกจากนี้

การกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูจากการดูดซับกับตัวดูดซับแล้ว การที่สีจางลงเมื่อสัมผัสกับอนุภาค $Fe_3O_4@C$ อาจเกิดจากปฏิกิริยาการฟอกจางสี (decolorization) และการย่อยสลาย (degradation) (ภาพที่ 6) ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง $Fe_3O_4@C$ ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอน และสารละลายเมทิลีนบลูทำหน้าที่รับอิเล็กตรอน แล้วเปลี่ยนแปลงรูปเป็น ลิวโคเมทิลีนบลู (leuco-methylene blue) ซึ่งไม่มีสี ทำให้เกิดการฟอกจางสีที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอีกทาง [15] ซึ่งการเลือกใช้วัสดุดูดซับที่เหมาะสม เช่น $Fe_3O_4@C$ จะช่วยลดปริมาณสีย้อมเมทิลีนบลูได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถนำไปใช้งานกับสิ่งแวดล้อมและทำการแยกวัสดุดูดซับออกได้ง่าย มีความเป็นพิษต่ำเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



ภาพที่ 6 ยูวีวิสิเบิลสเปกตรัมแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของเมทิลีนบลูที่เหลือจากปฏิกิริยาการดูดซับของ $Fe_3O_4@C$ (150 mg/L) ที่เวลาต่างๆ

4. สรุปผลการวิจัย

จากการสังเคราะห์ห่ออนุภาค $Fe_3O_4@C$ มีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 9.70 ± 2.47 nm มีการกระจายตัวที่ดี เหนียวนาให้เกิดการแยกตัวได้ด้วยแม่เหล็กภายนอก การศึกษานำร่องการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูโดยวิธีการดูดซับ (adsorption) พบมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลู

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tran, T.V. et al. (2020). Recyclable Fe₃O₄@C nanocomposite as potential adsorbent for a wide range of organic dyes and simulated hospital effluents. *Environmental Technology & Innovation*, 20, 1-11.
- [2] สุภาพร รัตนพันธ์ และพินิตา กิ่งชุ่น. (2561). การดูดซับเมทิลีนบลูด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกมังคุด. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 21(2), 51-59.
- [3] Chen, L. et al. (2017). High performance agar/graphene oxide composite aerogel for methylene blue removal. *Carbohydrate Polymers*, 155, 345-353.
- [4] Parida, K.M. et al. (2011). A Kinetic, Thermodynamic, and Mechanistic Approach toward Adsorption of Methylene Blue over Water-Washed Manganese Nodule Leached Residues. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50(2), 843-848.
- [5] Krysztafkiwicz, A. et al. (2002). Adsorption of dyes on a silica surface. *Applied Surface Science*, 199, 31-39.
- [6] Wang, C.C. et al. (2004). Adsorption of basic dyes onto montmorillonite. *Journal of Colloid Interface Science*, 273, 80-86.
- [7] Woolard, C.D. et al. (2002). Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams. *Applied Geochemistry*, 17, 1159-1164.
- [8] Zhang, W. et al. (2016). Citrus pectin derived ultrasmall Fe₃O₄@C nanoparticles as a high-performance adsorbent toward removal of methylene blue. *Journal of Molecular Liquids*, 222, 995-1002.
- [9] Khan, I. et al. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931.
- [10] จีระพงษ์ พวงมะลิ. (2556). การนำส่งยาด้วยอนุภาคนาโนแม่เหล็ก: กระสุนจิ๋วพิชิตมะเร็ง. *วารสารวิทยาศาสตร์ มช*, 41(3)ม, 607-620.
- [11] Habila, M. et al. (2017). One-Step Carbon Coating and Polyacrylamide Functionalization of Fe₃O₄ Nanoparticles for Enhancing Magnetic Adsorptive-Remediation of Heavy Metals. *Molecules*, 22(12), 2074.
- [12] Zhao, C. et al. (2019). Porous carbon nanosheets functionalized with Fe₃O₄ nanoparticles for capacitive removal of heavy metal ions from water. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2, 1-10.
- [13] El-Shamy, A. G. (2020). An efficient removal of methylene blue dye by adsorption onto carbon dot @ zinc peroxide embedded poly vinyl alcohol (PVA/CZnO₂) nano-composite: A novel Reusable adsorbent. *Polymer*, 202, 122565.
- [14] Zhan, B. et al. (2010). A Novel One-Step Approach to Synthesize Fluorescent Carbon Nanoparticles. *Journal of Inorganic Chemistry*, 28, 4411-4414.
- [15] พิชญ์สินี สมชัยดี และกระเกด เทศศรี. (2562). การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเหล็กเชิงประกอบสารสกัดเปลือกมังคุดโดยวิธีสะอาดเพื่อใช้ในการกำจัดสีย้อมเมทิลีนบลูในสารละลายน้ำ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 27(5), 777-791.
- [16] Niemiec, T. et al. (2017). The Method of Coating Fe₃O₄ with Carbon Nanoparticles to Modify Biological Properties of Oxide Measured in Vitro. *Journal of AOAC International*, 100(4), 905-915.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนภูมิควบคุม EXACT, WILSON และ
ISRT P EWMA เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของเสีย

A Comparison on Efficiency between EXACT, WILSON and ISRT P EWMA

Control Charts for Detection the Proportion

ณัฐวิภา ข่ายแก้ว

Nattawipa Khaikaew

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

nattawipa.aum@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่นำมาศึกษาประกอบด้วย แผนภูมิควบคุม EXACT, แผนภูมิควบคุม WILSON และแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA เมื่อกำหนดสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.3 และ 0.5 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) เท่ากับ 0.0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 และ 0.5 ซึ่งกำหนดขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 30, 50, 70, 100, 150 และ 200 ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม คือ ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม (ARL_1) จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าดังนี้ แผนภูมิควบคุม EXACT, WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 และแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียมีค่า $0.01 \leq \delta \leq 0.15$ ในทุกกรณีของขนาดตัวอย่าง

คำสำคัญ : แผนภูมิควบคุม EXACT, แผนภูมิควบคุม WILSON, แผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA, ความยาววิ่งเฉลี่ย

Abstract

The objective of this research was to compare the efficiency of detection the proportion control charts that are EXACT control chart, WILSON control chart and ISRT P EWMA control chart. This research considered the standard detection the proportion (p_0) are 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.3 and 0.5. The shift of detection the proportion (δ) are 0.0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 and 0.5. Sample sizes (n) are 30, 50, 70, 100, 150 and 200. For each studied situation, the criterion used to compare the performance of the control chart was the Average Run Length when the process out of control (ARL_1). The results of this study were as follows: EXACT, WILSON control chart are most efficient when $\delta = 0.5$. The ISRT P EWMA control chart is most efficient when $0.01 \leq \delta \leq 0.15$ in case of all sample size.

Keywords : EXACT control chart, WILSON control chart, ISRT P EWMA control chart, Average Run Length

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการแข่งขันด้านการผลิตในกระบวนการอุตสาหกรรมค่อนข้างสูงคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภค คุณภาพหมายถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค รวมทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ดึงดูดใจผู้ใช้มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและผู้บริโภคต้องการมีความเหมาะสมต่อการใช้งานทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความนิยมมากกว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดแต่ความเป็นจริงกระบวนการผลิตมักมีความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นซึ่งผู้ผลิตต้องการควบคุมความผันแปรให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดโดยปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรประกอบด้วยหลาย ๆ ปัจจัย เช่น พนักงานเครื่องจักรวัตถุดิบและวิธีการผลิตเป็นต้นหากเมื่อใดมีผลิตภัณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐานเกิดขึ้นจะสร้างความเสียหายแก่ผู้ผลิตเป็นอย่างมากดังนั้นควรมีการควบคุมคุณภาพโดยใช้การควบคุมกระบวนการทางสถิติมาช่วยในการเก็บข้อมูลและแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการเกิดของเสียการควบคุมกระบวนการทางสถิติประกอบด้วยเครื่องมือหลายชนิดเช่นใบตรวจสอบแผนภูมิพาเรโตฮิสโตแกรมแผนผังก้างปลาแผนภูมิควบคุมซึ่งเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิตคือแผนภูมิควบคุม (Control Charts) [1]

แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียเป็นแผนภูมิควบคุมที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาในครั้งนี้เนื่องจากแผนภูมิควบคุมดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายอุตสาหกรรมแต่เนื่องจากว่าแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย p ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายนั้นยังขาดความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตหรือตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ช้า [1], [2], [3], [4] จึงทำให้ให้นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาและพัฒนาแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียในหลายรูปแบบอาทิเช่นแผนภูมิควบคุม EWMA, แผนภูมิควบคุม ISRT P และแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA เป็นต้น [5]

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเสนอประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนด้วยวิธี EXACT, วิธี WILSON และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA [5], [6], [7], [8] พร้อมทั้งหาข้อสรุปสำหรับการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมโดยที่ประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมหมายถึงความไวในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการ[4]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียทั้ง 3 แผนภูมิ คือ แผนภูมิควบคุม EXACT, WILSON และ ISRT P EWMA
2. เพื่อหาข้อสรุปในการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้จำลองข้อมูลที่มีลักษณะการแจกแจงทวินาม โดยการทดลองแต่ละครั้งจะมีผลลัพธ์เกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ ดี และเสีย

สร้างข้อมูลตามขอบเขตการทดลอง ดังต่อไปนี้

ขอบเขตการทดลอง

1. แผนภูมิที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยแผนภูมิควบคุม EXACT, แผนภูมิควบคุม WILSON และแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA
2. ทำการศึกษาโดยการจำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โลภายใต้การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution)
3. กำหนดค่าสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (p_0) มีค่าเท่ากับ 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.3, 0.5 ตามลำดับ
4. กำหนดค่าสัดส่วนของเสียเมื่อกระบวนการไม่อยู่ภายใต้การควบคุม (p_1) = $p_0 + \delta$

5. กำหนดให้ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) มีค่าเท่ากับ 0.00, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ

6. กำหนดขนาดตัวอย่าง (n) มีค่าเท่ากับ 30, 50, 70, 100, 150 และ 200 ตามลำดับ

7. กำหนดค่าพารามิเตอร์ของแผนภูมิควบคุม (λ) มีค่าเท่ากับ 0.01, 0.05, 0.1, 0.5

8. กำหนดค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (ARL_0) มีค่าเท่ากับ 370

9. กำหนดจำนวนรอบในการทำซ้ำเท่ากับ 10,000 รอบ โดยอาศัยโปรแกรม R ในการจำลองข้อมูล

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. จำลองข้อมูลโดยกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงทวินามภายใต้สัดส่วนของเสีย (p_0), ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย (δ) และขนาดตัวอย่าง (n) ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ในขอบเขตการวิจัย

2. คำนวณค่าขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) ของแผนภูมิควบคุมทั้ง 3 แผนภูมิ และนำข้อมูลที่ได้จากการจำลองพล็อตลงในแผนภูมิควบคุม

3. บันทึกจำนวนครั้งก่อนพบข้อมูลออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกของการทำซ้ำในแต่ละรอบ

4. ในแต่ละสถานการณ์ทำซ้ำ 10,000 รอบ โดยใช้โปรแกรม R

5. คำนวณหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (ARL_0)

6. คำนวณหาค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม (ARL_1) โดยจำลองข้อมูลให้อยู่นอกขีดจำกัดควบคุม (กระบวนการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม)

7. พิจารณาค่า ARL_1 ของแผนภูมิควบคุม ทั้ง 3 แผนภูมิ ควบคุมว่าแผนภูมิใดที่ให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด แสดงว่าแผนภูมินั้นจะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสูงสุด

8. สรุปผลการทดลอง

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) คือ จำนวนตัวอย่างเฉลี่ยของจุดที่ตกอยู่ในขีดจำกัดการควบคุมก่อนที่กระบวนการส่งสัญญาณออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรก โดยแบ่งออกเป็น 2 สถานะ คือ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (ARL_0) และเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม (ARL_1) ซึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่ดีที่สุดนั้น จะพิจารณาจากวิธีที่ให้ผลลัพธ์ของ ARL_1 น้อยที่สุด เนื่องจากสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตได้เร็วกว่า

4.1 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (ARL_0)

ตารางที่ 1 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.04 และ δ มีค่าเท่ากับ 0.00

n	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	370.678	370.231	370.756
50	370.857	370.930	370.445
70	370.872	370.336	370.189
100	370.495	370.926	370.130
150	370.871	370.948	370.776
200	370.717	370.509	370.675

ตารางที่ 2 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.06 และ δ มีค่าเท่ากับ 0.00

n	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	370.450	370.043	370.189
50	370.756	370.056	370.503
70	370.073	370.176	370.970
100	370.202	370.439	370.992
150	370.557	370.030	370.949
200	370.172	370.566	370.454

ตารางที่ 3 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.08 และ δ มีค่าเท่ากับ 0.00

n	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	370.196	370.208	370.213
50	370.413	370.904	370.933
70	370.630	370.726	370.158
100	370.884	370.020	370.971
150	370.834	370.134	370.279
200	370.853	370.756	370.193

ตารางที่ 6 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.5 และ δ มีค่าเท่ากับ 0.00

n	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	370.207	370.312	370.747
50	370.763	370.546	370.913
70	370.312	370.472	370.275
100	370.253	370.749	370.929
150	370.129	370.282	370.118
200	370.845	370.800	370.733

ตารางที่ 4 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.1 และ δ มีค่าเท่ากับ 0.00

n	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	370.328	370.193	370.955
50	370.301	370.044	370.090
70	370.021	370.428	370.332
100	370.405	370.746	370.544
150	370.542	370.554	370.379
200	370.440	370.195	370.918

จากตารางที่ 1 ถึง 6 แสดงให้เห็นว่าในทุกกรณีที่ศึกษาตามขอบเขตการทดลองนั้น มีค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม (กระบวนการยังไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลง) มีค่าเท่ากับ 370

4.2 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกเหนือการควบคุม (ARL_1)

ตารางที่ 7 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.04

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	0.01	370.678	370.231	48.683*
	0.03	370.678	370.231	14.364*
	0.05	370.678	370.231	8.210*
	0.07	370.678	370.231	5.630*
	0.09	370.678	370.231	4.201*
	0.1	370.678	370.231	3.695*
	0.15	252.463	190.842	2.267*
	0.2	125.760	96.917	1.597*
	0.25	51.562	37.147	1.172*
30	0.3	15.930	16.089	0.939*
	0.5	0.000*	0.104	0.163

ตารางที่ 5 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_0) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.3 และ δ มีค่าเท่ากับ 0.00

n	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	370.876	370.989	370.990
50	370.330	370.304	370.774
70	370.977	370.994	370.664
100	370.419	370.900	370.699
150	370.284	370.639	370.350
200	370.301	370.644	370.721

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA	n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA	
50	0.01	370.857	370.930	37.485*		0.3	0.000*	0.000*	0.000*	
	0.03	370.857	370.930	8.305*		0.5	0.000*	0.000*	0.000*	
	0.05	355.469	358.387	4.322*		150	0.01	370.871	370.948	22.417*
	0.07	296.739	298.498	2.817*			0.03	291.430	295.539	3.032*
	0.09	222.908	221.064	2.010*			0.05	159.720	160.159	1.200*
	0.1	186.529	186.186	1.738*	0.07		60.568	56.099	0.570*	
	0.15	59.674	54.663	0.998*	0.09		15.481	14.683	0.237*	
	0.2	13.428	11.890	0.585*	0.1		6.504	6.943	0.143*	
	0.25	1.630	1.357	0.268*	0.15	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.3	0.257	0.086*	0.086*	0.2	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*	0.25	0.000*	0.000*	0.000*		
70	0.01	370.872	370.336	58.974*	0.3	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.03	369.178	369.730	6.856*	0.5	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.05	324.892	324.065	2.517*	200	0.01	369.550	370.509	26.956*	
	0.07	250.111	249.441	1.280*		0.03	261.252	273.294	2.365*	
	0.09	170.641	168.120	0.724*		0.05	106.469	114.275	0.712*	
	0.1	136.285	133.645	0.547*		0.07	26.724	28.098	0.221*	
	0.15	24.428	25.935	0.116*		0.09	4.007	4.131	0.053*	
	0.2	2.600	2.713	0.017*		0.1	1.206	1.554	0.020*	
	0.25	0.158	0.040	0.002*	0.15	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.3	0.000*	0.039	0.000*	0.2	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*	0.25	0.000*	0.000*	0.000*		
100	0.01	370.495	370.926	46.380*	0.3	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.03	338.243	340.452	4.815*	0.5	0.000*	0.000*	0.000*		
	0.05	238.570	240.410	1.651*	* หมายถึง แผนภูมิควบคุมนั้นให้ค่า ARL ₁ ต่ำที่สุด					
	0.07	135.584	134.643	0.766*						
	0.09	59.060	59.591	0.377*						
	0.1	37.554	37.628	0.253*						
	0.15	1.922	1.756	0.021*						
	0.2	0.000*	0.000*	0.000*						
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*						

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมนั้นให้ค่า ARL₁ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 7 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ แผนภูมิควบคุม EXACT จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 และ 50 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 และที่ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 70 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.3, แผนภูมิควบคุม WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสีย

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

เท่ากับ 0.3, แผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดในทุกกรณีที่ศึกษาและเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100, 150 และ 200 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.2 ถึง 0.5 พบว่า 3 แผนภูมิมีประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 8 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL₁) เมื่อ p₀ มีค่าเท่ากับ 0.06

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	0.01	370.450	370.043	61.264*
	0.03	370.450	370.043	16.368*
	0.05	370.450	370.043	8.976*
	0.07	370.450	370.043	6.022*
	0.09	366.828	368.804	4.460*
	0.1	349.707	352.034	3.971*
	0.15	247.816	190.006	2.472*
	0.2	135.914	119.102	1.728*
	0.25	60.450	52.947	1.276*
	0.3	20.545	21.116	1.003*
	0.5	0.044*	0.044*	0.205
50	0.01	370.756	370.056	78.501*
	0.03	370.756	370.056	12.496*
	0.05	370.756	370.056	5.909*
	0.07	311.356	363.344	3.706*
	0.09	259.346	306.337	2.618*
	0.1	232.700	273.748	2.251*
	0.15	96.083	97.556	1.256*
	0.2	24.896	28.928	0.837*
	0.25	5.096	5.666	0.505*
	0.3	0.584	0.413	0.229*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*
70	0.01	370.073	370.176	166.667*
	0.03	370.073	364.010	16.821*

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
70	0.05	340.148	309.736	4.720*
	0.07	277.642	229.981	2.220*
	0.09	203.410	158.774	1.235*
	0.1	166.583	123.723	0.947*
	0.15	41.735	24.459	0.282*
	0.2	5.626	3.232	0.052*
	0.25	0.319	0.160	0.008*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
100	0.01	370.202	370.439	41.267*
	0.03	347.863	347.469	5.788*
	0.05	271.821	273.357	2.531*
	0.07	178.246	181.673	1.466*
	0.09	97.200	95.269	0.926*
	0.1	68.674	66.586	0.759*
	0.15	5.280	6.105	0.200*
	0.2	0.197	0.120	0.023*
	0.25	0.000*	0.000*	0.002*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*
150	0.01	370.557	370.030	40.524*
	0.03	319.258	315.200	4.280*
	0.05	198.537	204.565	1.520*
	0.07	90.187	94.560	0.745*
	0.09	31.241	31.993	0.353*
	0.1	15.169	16.981	0.223*
	0.15	0.158	0.000*	0.011
	0.2	0.000*	0.000*	0.000*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
200	0.01	367.868	366.633	32.454*
	0.03	287.938	289.299	3.169*
	0.05	148.754	146.692	1.046*
	0.07	45.708	47.730	0.421*
	0.09	9.958	9.569	0.142*
	0.1	3.890	4.162	0.073*
	0.15	0.000*	0.000*	0.000*
	0.2	0.000*	0.000*	0.000*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*

* หมายถึงแผนภูมิควบคุมนั้นให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 8 สามารถสรุปผลได้ดังนี้ แผนภูมิควบคุม EXACT และ WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 และ 50 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5, แผนภูมิควบคุม WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 150 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.15, แผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดในทุกกรณีการศึกษา และเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 150 และ 200 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.2 ถึง 0.5 พบว่าทั้ง 3 แผนภูมิ มีประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 9 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.08

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	0.01	370.196	370.208	123.702*
	0.03	370.196	370.208	22.736*
	0.05	370.196	366.996	11.185*
	0.07	373.458	341.924	7.211*

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	0.09	351.157	308.591	5.279*
	0.1	340.612	293.867	4.620*
	0.15	246.319	180.109	2.731*
	0.2	152.389	89.975	1.900*
	0.25	70.013	36.269	1.380*
	0.3	26.341	12.066	1.060*
	0.5	0.081	0.041*	0.243
50	0.01	370.413	370.904	67.619*
	0.03	370.413	370.904	12.195*
	0.05	360.247	359.634	5.837*
	0.07	323.601	322.783	3.663*
	0.09	268.468	269.408	2.604*
	0.1	240.901	241.801	2.224*
	0.15	108.999	103.620	1.225*
	0.2	31.493	29.765	0.723*
	0.25	5.726	6.544	0.387*
	0.3	1.145	0.900	0.155*
70	0.01	370.630	370.726	68.316*
	0.03	365.620	370.495	9.826*
	0.05	325.382	330.595	4.164*
	0.07	258.439	261.228	2.450*
	0.09	187.173	186.422	1.640*
	0.1	150.126	156.238	1.353*
	0.15	35.916	36.469	0.589*
	0.2	4.282	5.227	0.204*
	0.25	0.081	0.239	0.042*
	0.3	0.000*	0.041	0.006
100	0.01	370.884	370.020	90.662*
	0.03	355.390	356.081	10.382*
	0.05	303.692	281.272	3.201*

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
100	0.07	224.064	188.867	1.460*
	0.09	140.312	106.439	0.762*
	0.1	107.597	74.437	0.550*
	0.15	13.226	8.180	0.094*
	0.2	0.661	0.160	0.008*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
150	0.01	370.834	370.134	60.010*
	0.03	332.478	330.572	5.937*
	0.05	236.434	236.395	1.961*
	0.07	129.148	127.903	0.728*
	0.09	54.304	52.865	0.457*
	0.1	29.875	31.431	0.331*
	0.15	0.856	0.599	0.021*
	0.2	0.000*	0.000*	0.000*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
200	0.01	367.994	369.745	46.567*
	0.03	305.132	305.560	4.227*
	0.05	180.729	184.230	1.349*
	0.07	72.665	68.931	0.549*
	0.09	20.189	19.995	0.206*
	0.1	9.219	8.325	0.117*
	0.15	0.000*	0.000*	0.000*
	0.2	0.000*	0.000*	0.000*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมนั้นให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 9 สามารถสรุปผลได้ดังนี้แผนภูมิควบคุม EXACT จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 70 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.3 และ 0.5, แผนภูมิควบคุม WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 และ 70 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5, แผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดในทุกกรณีการศึกษาและเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 100, 150 และ 200 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.25 ถึง 0.5 พบว่าทั้ง 3 แผนภูมิมีประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.1

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	0.01	370.328	370.193	89.631*
	0.03	370.211	370.193	20.579*
	0.05	357.880	370.193	10.430*
	0.07	340.025	370.193	6.821*
	0.09	315.246	359.030	4.948*
	0.1	295.446	347.096	4.332*
	0.15	199.790	204.407	2.578*
	0.2	109.192	112.398	1.729*
	0.25	48.431	49.795	1.234*
	0.3	15.716	20.334	0.980*
50	0.01	370.301	370.044	166.903*
	0.03	365.427	370.044	20.843*
	0.05	339.636	370.044	7.802*
	0.07	303.226	324.683	4.384*
	0.09	254.173	272.350	2.898*
	0.1	228.304	244.445	2.426*
	0.15	103.085	105.336	1.258*
	0.2	30.809	31.082	0.740*

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
50	0.25	6.535	6.264	0.388*
	0.3	0.895	0.712	0.154*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*
70	0.01	370.136	370.428	78.262*
	0.03	358.080	370.226	11.589*
	0.05	322.368	341.905	4.733*
	0.07	272.179	284.820	2.760*
	0.09	203.558	214.807	1.809*
	0.1	170.266	179.538	1.548*
	0.15	51.494	54.743	0.676*
	0.2	8.755	8.618	0.265*
	0.25	0.768	0.758	0.063*
	0.3	0.077	0.000*	0.009
100	0.01	368.832	370.746	83.942*
	0.03	349.402	358.861	10.105*
	0.05	293.216	305.514	3.563*
	0.07	213.965	221.724	1.799*
	0.09	138.278	143.999	1.060*
	0.1	106.714	109.845	0.832*
	0.15	14.976	14.564	0.217*
	0.2	0.960	0.918	0.027*
	0.25	0.038	0.000	0.002*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
150	0.01	367.449	370.908	64.692*
	0.03	321.431	331.489	6.776*
	0.05	235.073	239.041	2.292*
	0.07	129.887	137.575	1.098*
	0.09	58.194	59.531	0.579*
	0.1	35.088	34.514	0.417*
	0.15	0.934	1.397	0.041*

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
150	0.2	0.078	0.000*	0.000*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*
200	0.01	370.195	370.591	60.427*
	0.03	320.536	309.105	5.634*
	0.05	216.012	189.086	1.663*
	0.07	99.039	81.675	0.701*
	0.09	31.587	24.379	0.290*
	0.1	14.782	11.292	0.168*
	0.15	0.000*	0.000*	0.007
	0.2	0.000*	0.000*	0.000*
	0.25	0.000*	0.000*	0.000*
	0.3	0.000*	0.000*	0.000*
0.5	0.000*	0.000*	0.000*	

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมนั้นให้ค่า ARL₁ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 10 สามารถสรุปผลได้ดังนี้แผนภูมิควบคุม EXACT จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 50, 70 และ 100 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 แผนภูมิควบคุม WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 30 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 และขนาดตัวอย่างเท่ากับ 70 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.3, แผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดในทุกกรณีที่ศึกษา และเมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 150 และ 200 ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.25 ถึง 0.5 พบว่าทั้ง 3 แผนภูมิมิมีประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 11 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.3

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
30	0.01	375.009	370.6781	152.730*
	0.03	372.876	368.8887	37.293*
	0.05	366.420	361.0698	17.505*
	0.07	352.985	348.0383	10.767*
	0.09	333.048	333.373	7.640*
	0.1	324.735	320.497	6.700*
	0.15	254.879	250.866	3.873*
	0.2	169.223	168.632	2.617*
	0.25	91.093	86.475	1.940*
	0.3	37.075	35.905	1.474*
	0.5	0.000*	0.000*	0.752
	50	0.01	377.719	369.666
0.03		370.367	367.080	26.967*
0.05		360.214	349.923	11.974*
0.07		343.565	322.193	7.275*
0.09		314.390	284.048	5.044*
0.1		299.102	267.250	4.379*
0.15		193.061	158.323	2.448*
0.2		94.216	65.795	1.599*
0.25		31.781	17.357	1.155*
0.3		6.185	2.873	0.932*
0.5		0.000*	0.000*	0.031
70		0.01	373.726	369.122
	0.03	356.184	361.070	26.190*
	0.05	338.864	346.755	10.987*
	0.07	304.716	315.246	6.572*
	0.09	267.612	272.689	4.615*
	0.1	244.948	254.756	3.923*
	0.15	118.551	122.691	2.195*
	0.2	35.399	35.710	1.421*
70	0.25	6.178	6.341	1.049*
	0.3	0.455*	0.545	0.865
	0.5	0.000*	0.000*	0.005
100	0.01	371.764	368.344	83.617*
	0.03	349.632	351.734	15.436*
	0.05	316.070	320.808	7.089*
	0.07	268.838	271.561	4.395*
	0.09	204.058	213.289	3.099*
	0.1	175.488	178.045	2.618*
	0.15	50.342	53.176	1.459*
	0.2	6.374	7.741	0.984*
	0.25	0.346	0.195*	0.691
	0.3	0.000*	0.000*	0.300
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*
	150	0.01	373.051	367.838
0.03		353.679	345.588	11.213*
0.05		312.951	292.684	5.358*
0.07		244.487	222.625	3.294*
0.09		171.004	142.607	2.288*
0.1		134.049	105.964	1.969*
0.15		18.322	12.176	1.077*
0.2		0.895	0.462*	0.718
0.25		0.000*	0.039	0.257
0.3		0.000*	0.000*	0.028
0.5		0.000*	0.000*	0.000*
200		0.01	368.694	365.232
	0.03	335.863	337.458	9.000*
	0.05	274.167	270.666	4.315*
	0.07	185.592	184.230	2.658*
	0.09	100.829	97.717	1.848*
	0.1	66.480	68.659	1.590*
	0.15	4.046	3.384	0.908*

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA	n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
200	0.2	0.000*	0.039	0.412	50	0.01	370.580	370.227	148.018*
	0.25	0.000*	0.000*	0.050		0.03	369.589	364.207	31.135*
	0.3	0.000*	0.000*	0.001		0.05	359.047	346.272	13.434*
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*		0.07	340.336	320.038	8.060*
						0.09	313.845	282.532	5.592*
						0.1	294.940	264.138	4.814*
						0.15	191.194	152.777	2.696*
						0.2	84.257	57.296	1.757*
						0.25	21.901	11.731	1.219*
						0.3	2.529	1.157	1.003*
					0.5	0.000*	0.000*	0.000*	
					70	0.01	370.184	370.751	206.015*
						0.03	362.820	355.868	31.103*
						0.05	343.720	333.325	12.555*
						0.07	314.896	292.347	7.415*
						0.09	268.099	241.315	5.102*
						0.1	245.148	217.615	4.389*
						0.15	119.929	91.132	2.464*
						0.2	29.953	18.354	1.582*
						0.25	3.345	1.676	1.103*
						0.3	0.078	0.000*	0.983
					0.5	0.000*	0.000*	0.000*	
30	0.01	370.201	370.545	311.746*	100	0.01	369.869	366.438	93.279*
	0.03	367.099	368.189	67.255*		0.03	358.733	347.999	17.404*
	0.05	358.464	360.759	26.245*		0.05	332.006	316.335	7.883*
	0.07	347.455	346.560	14.633*		0.07	292.147	273.584	4.831*
	0.09	328.472	329.755	9.651*		0.09	239.539	208.932	3.363*
	0.1	317.424	322.131	8.127*		0.1	205.440	179.990	2.895*
	0.15	249.582	251.800	4.490*		0.15	65.395	48.197	1.584*
	0.2	160.774	160.385	2.981*		0.2	7.910	5.018	1.046*
	0.25	74.532	78.267	2.144*		0.25	0.154	0.039*	0.791
	0.3	23.184	22.679	1.600*					
	0.5	0.000*	0.000*	1.000					

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมนั้นให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 11 สามารถสรุปผลได้ดังนี้แผนภูมิควบคุม EXACT และ WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณีของขนาดตัวอย่างที่ศึกษา ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 และแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดในทุกกรณีของขนาดตัวอย่างที่ศึกษา ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.01 ถึง 0.15 และเมื่อทุกขนาดตัวอย่างที่ศึกษา ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 พบว่าทั้ง 3 แผนภูมิมีประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 ค่าความยาววิ่งเฉลี่ย (ARL_1) เมื่อ p_0 มีค่าเท่ากับ 0.5

n	δ	EXACT	WILSON	ISRT P EWMA
100	0.3	0.000*	0.000*	0.351
	0.5	0.000*	0.000*	0.000*
150	0.01	370.717	361.225	70.243*
	0.03	352.395	341.737	12.572*
	0.05	310.266	285.526	5.851*
	0.07	245.848	220.252	3.599*
	0.09	168.515	142.569	2.523*
	0.1	129.848	107.792	2.171*
	0.15	17.194	12.137	1.179*
	0.2	0.467	0.272*	0.846
	0.25	0.000*	0.000*	0.347
	0.3	0.000*	0.000*	0.029
200	0.01	370.756	362.159	84.674*
	0.03	344.965	332.362	12.134*
	0.05	289.260	268.449	5.598*
	0.07	207.532	181.507	3.410*
	0.09	123.430	97.017	2.380*
	0.1	84.141	69.048	2.041*
	0.15	4.435	2.840	1.095*
	0.2	0.000*	0.000*	0.806
	0.25	0.000*	0.000*	0.229
	0.3	0.000*	0.000*	0.007
0.5	0.000*	0.000*	0.000*	

* หมายถึง แผนภูมิควบคุมนี้ให้ค่า ARL₁ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 12 สามารถสรุปผลได้ดังนี้แผนภูมิควบคุม EXACT และ WILSON จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในทุกกรณีของขนาดตัวอย่างที่ศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5, และแผนภูมิควบคุม ISRT P EWMA จะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุดในทุกกรณีของขนาดตัวอย่างที่ศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.01 ถึง 0.15 และเมื่อทุกขนาด

ตัวอย่างที่ศึกษาระดับการเปลี่ยนแปลงค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.5 พบว่าทั้ง 3 แผนภูมิมีประสิทธิภาพการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ไม่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยจะนำเอาแผนภูมิควบคุมชนิดอื่นมาศึกษาและวิเคราะห์ เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบ และหาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์หรือเป็นแนวทางในการหาประสิทธิภาพที่ดีต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ รศ.ดร.จิตนันท จารุโรจน์เกียรติ ผศ.ดร.สุวิมล พันธุ์รัมย์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา และคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธิตาเดียว มยุรีสุวรรณ. (2553). การควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] Khoo BM. (2004). A moving average control chart for monitoring the fraction non-conforming. *Quality and Reliability Engineering International*, 20, 617-35.
- [3] Tsai, T-R. (2006). "Alternative Attribute Control Charts Based on Improved Square Root Transformation". *Journal of Mathematical Sciences*, 61-72.
- [4] อินทิพร กิติโสภาคกุล. (2546). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิพี (p-chart), แผนภูมิคิว (Q-chart) และแผนภูมิจีโอเมตริก (G-chart) ในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของเสีย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- [5] Sukparungsee, S. (2014). An EWMA p Chart Based On Improved Square Root Transformation. *Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering*, 8, 7.
- [6] Clopper, C. J., and Pearson, E. (1934). The use of confidence intervals for fiducial limits illustrated in the case of the binomial. *Biometrika*, 26, 404-413.
- [7] Agresti, A., and Coull, B. (1998). Approximate is better than 'exact' for interval estimation of binomial proportions. *The American Statistician*, 52, 119-126.
- [8] Wilson, E. B. (1927). Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *Journal of the American Statistical Association*, 22, 209-212.

ลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกในน้ำทะเลจังหวัดเพชรบุรี Physical Characterization of Microplastics in Seawater from Phetchaburi Province

ปัทมาพร ยอดสันติ¹, นพพล มิ่งเมือง², ดวงฤทัย บัวดวง³

PattamapornYodsanti ,NopponMingmuang , DoungruethaiBuadong

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี;pattamaporn.yod@mail.pbru.ac.th

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ;noppon.min@mail.pbru.ac.th

³คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ;doungruthai.bou@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติกในน้ำทะเลจังหวัดเพชรบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจำนวน 8 จุดเพื่อนำวิเคราะห์ไมโครพลาสติก พร้อมทั้งจำแนกสีและรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ผลการศึกษาพบว่า สีของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุด ได้แก่ สีใสและสีน้ำเงิน คิดเป็นร้อยละ 25.59 และร้อยละ 25.15 ตามลำดับ ส่วนรูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุด ได้แก่ รูปร่างเป็นชิ้นและเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 62.26 และร้อยละ 21.14 ตามลำดับ ไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษานี้จัดเป็นไมโครพลาสติกแบบทุติยภูมิและคาดว่าแหล่งกำเนิดมาจากหลายแหล่ง ได้แก่ ขยะพลาสติกขนาดใหญ่ อุปกรณ์การทำประมง พลาสติกห่อบรรจุภัณฑ์ น้ำทิ้งจากการซักเครื่องนุ่งห่ม การพบไมโครพลาสติกในน้ำทะเลจากการศึกษานี้ทำให้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของไมโครพลาสติกต่อสัตว์ทะเลโดยเฉพาะสัตว์ทะเลที่เป็นอาหารของมนุษย์

คำสำคัญ : ไมโครพลาสติก, ลักษณะทางกายภาพ, น้ำทะเล

Abstract

The purpose of this research was to study the physical characteristic of microplastics in seawater from Phetchaburi province. The eight seawater samples were collected for analysis of microplastics. Then the microplastics were then classified in color and shape by stereomicroscope. The results indicated that the dominant colors of microplastics were transparent and blue accounted for 25.59 percent and 25.15 percent, respectively. The most common shapes of microplastics are fragments and fibers.They were equal to 62.26 percent and 21.14 percent, respectively. The microplastics found in the study were classified as secondary microplastics and presumed from many sources such as large plastic debris, fishing equipment, plastic wraps, and laundry wastewater. Finding microplastics in seawater should result in further investigation on the impact of microplastics in marine animals especially human food marine animals.

Keywords : Microplastics, Physical characteristic, Seawater

1. บทนำ

“น้ำหนักเบา ราคาถูก คงทน ไม่นำไฟฟ้า โปร่งใส” เป็นคุณสมบัติเด่นของพลาสติก ด้วยเหตุนี้พลาสติกจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน อุตสาหกรรม และอื่นๆ ปี พ.ศ.2562 ทั่วโลกผลิตพลาสติกมากถึง 368,000,000 ตัน โดยประเทศจีนเป็นประเทศที่ผลิตพลาสติกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 31 ของพลาสติกทั้งหมด [1] ซึ่งพลาสติกร้อยละ 40 ของพลาสติกทั้งหมดถูกใช้เพื่อผลิตเป็นภาชนะและบรรจุภัณฑ์ [2] เช่นเดียวกับในประเทศไทยพลาสติกร้อยละ 41.4 หรือเท่ากับ 2,331,000 ตัน ถูกใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ รองลงมาได้แก่เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 838,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 14.9 นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน และอื่นๆ จากการใช้ประโยชน์ข้างต้นทำให้ประเทศไทยมีขยะพลาสติกหลังการบริโภคมากถึง 1,930,000 ตัน ส่วนใหญ่ไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อ มีขยะพลาสติกเพียง 390,000 ตันหรือร้อยละ 20.21 เท่านั้นที่ถูกนำไปรีไซเคิล และปริมาณขยะพลาสติกปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมเท่ากับ 30,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 1.55 [3]

การจัดการขยะพลาสติกที่ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรทำให้มีขยะพลาสติกบางส่วนปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมรวมถึงมหาสมุทร ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยถูกจัดอยู่ในอันดับ 6 ของโลกที่ทิ้งขยะพลาสติกลงสู่มหาสมุทรมากที่สุด [4] เมื่อขยะพลาสติกถูกทิ้งลงสู่มหาสมุทรแล้วจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นพลาสติกขนาดเล็กๆ ด้วยกระบวนการทางกายภาพ ความร้อน และจุลินทรีย์ พลาสติกที่มีขนาดเล็กนี้เรียกว่า ไมโครพลาสติกโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 5.0 มิลลิเมตร [5] เนื่องจากไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาจึงสามารถกระจายได้ทั่วไปในมหาสมุทร ทำให้พบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกได้ทั่วไปในระบบนิเวศมหาสมุทร เช่น ชายหาด [6] น้ำทะเล [7] สิ่งมีชีวิตบริเวณชายฝั่ง [8] เป็นต้น

จากเหตุผลข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำทะเลของจังหวัดเพชรบุรี เนื่องจาก

จังหวัดเพชรบุรีเป็น 1 ใน 23 จังหวัดของประเทศไทยที่มีพื้นที่ติดกับทะเล อีกทั้งทะเลในจังหวัดเพชรบุรียังเป็นพื้นที่ทำประมงพื้นบ้านที่สำคัญโดยเฉพาะในอำเภอบ้านแหลมและอำเภอชะอำ ซึ่งยังไม่มีการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำทะเลมาก่อน ผลจากการศึกษานี้ทำให้ทราบสถานการณ์ปัจจุบันของการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำทะเลและสามารถเชื่อมโยงแหล่งกำเนิดไมโครพลาสติกที่พบได้ อีกทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การจัดการขยะพลาสติกของจังหวัดเพชรบุรีต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สีและรูปร่างของไมโครพลาสติกในน้ำทะเล

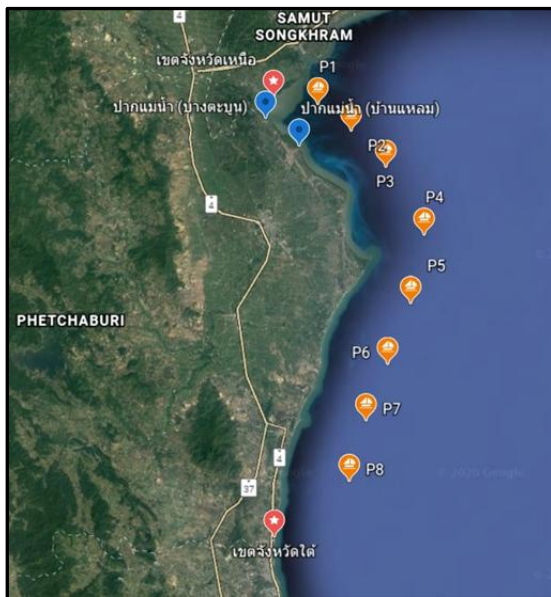
3. วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างในการวิจัย

น้ำทะเลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เก็บจากตำแหน่งห่างจากชายฝั่งประมาณ 6 ไมล์ทะเล (11 กิโลเมตร) ซึ่งเป็นระยะภายในเขตการทำประมงพื้นบ้านได้แก่ระยะ 1.62-12.00 ไมล์ทะเล จากชายฝั่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำทะเลมีทั้งหมด 8 จุดกระจายตามความยาวตลอดชายฝั่งของจังหวัดเพชรบุรี ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลเป็นการเก็บแบบจ้วงโดยในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างน้ำทะเลปริมาณ 20 ลิตรและแช่เย็นเพื่อเตรียมการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

จุด	พื้นที่	พิกัดทางภูมิศาสตร์	
		ละติจูด	ลองจิจูด
P1	บางตะบูน	13° 16' 12" N	100° 02' 36" E
P2	บ้านแหลม	13° 13' 27" N	100° 05' 52" E
P3	ปากทะเล	13° 11' 15" N	100° 10' 02" E
P4	แหลมผักเบี้ย	13° 05' 45" N	100° 11' 19" E
P5	หาดเจ้าสำราญ	12° 59' 22" N	100° 09' 29" E
P6	ปึกเตียน	12° 53' 40" N	100° 07' 36" E
P7	ชะอำ	12° 47' 15" N	100° 05' 03" E
P8	ค่ายนเรศวร	12° 40' 40" N	100° 03' 51" E



ภาพที่ 1 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ
2. ตู้ดูดควัน
3. เครื่องให้ความร้อน
4. ตะแกรงร่อน 2 ขนาด ได้แก่ ขนาด 5.6 มิลลิเมตร และขนาด 0.3 มิลลิเมตร
5. ชุดกรองสูญญากาศ
6. เครื่องแก้ว
7. กระจกกรอง GF/C
8. สารเคมี ได้แก่ Iron (Fe(II)) solution 0.05 M

30% Hydrogen peroxide Sodium Chloride และ น้ำกลั่น

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ไมโครพลาสติกที่ลอยน้ำในน้ำทะเล [9] มีวิธีการดังนี้

1. การเตรียมอุปกรณ์เบื้องต้น ก่อนทำการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกน้ำประปาและน้ำกลั่นจะถูกกรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ส่วนภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่างน้ำทะเลและเครื่องแก้วต่างๆ ต้องล้างด้วยน้ำประปาที่กรองแล้วจำนวน 3 ครั้ง และนำบีกเกอร์สำหรับใส่ไมโครพลาสติกที่กรองได้จากตัวอย่างน้ำทะเลไปอบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. การกรองตัวอย่างน้ำทะเล ขั้นตอนนี้เป็น การแยกไมโครพลาสติกออกจากตัวอย่างน้ำทะเลซึ่งมีวิธีการดังนี้

(1) เทตัวอย่างน้ำทะเลผ่านตะแกรงร่อนขนาด 5.6 มิลลิเมตรและขนาด 0.3 มิลลิเมตรโดยวางตะแกรงร่อนขนาด 5.6 มิลลิเมตรอยู่ข้างบนและตามด้วยตะแกรงร่อนขนาด 0.3 มิลลิเมตร

(2) ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษพลาสติกหรือวัสดุเจือปนอื่นๆบนตะแกรงร่อนหลายๆ ครั้ง และทิ้งเศษพลาสติกหรือวัสดุเจือปนที่อยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 5.6 มิลลิเมตรไป

(3) ใช้ปากคีบสแตนเลสคีบเศษพลาสติกหรือวัสดุเจือปนที่อยู่บนตะแกรงร่อนขนาด 0.3 มิลลิเมตรใส่ลงในบีกเกอร์

3. การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ขั้นตอนนี้เป็น การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุที่ปนอยู่กับไมโครพลาสติกโดยมีวิธีการดังนี้

(1) เติมสารละลาย 0.05 M Fe (II) จำนวน 20 มิลลิตรและ 30% H₂O₂ จำนวน 20 มิลลิตรลงในบีกเกอร์ที่มีเศษพลาสติกและวัสดุเจือปน

(2) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารลงในบีกเกอร์แล้วจึงปิดด้วยกระจกนาฬิกา

(3) นำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อน โดยตั้งอุณหภูมิเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส

(4) เมื่อสังเกตเห็นฟองแก๊สบริเวณผิวหน้าของผสมให้นำบีกเกอร์ไปวางไว้ในตู้ดูดควัน ตั้งทิ้งไว้จนปฏิกิริยาลดลง

(5) เมื่อไม่เกิดฟองแก๊สแล้วนำบีกเกอร์ไปให้ความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที

(6) ถ้ายังพบวัสดุเจือปนอีกให้เติม 30% H₂O₂ ลงไป 20 มิลลิลิตร ทำซ้ำจนวัสดุเจือปนจะถูกย่อยสลายจนหมด

(7) เติม NaCl จำนวน 6 กรัมต่อตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร เพื่อเพิ่มความหนาแน่นของตัวอย่าง

(8) นำบีกเกอร์ไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อนอีกครั้ง โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จน NaCl ละลายหมดแล้วจึงยกลงและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. การกรองแยกไมโครพลาสติก ขั้นตอนนี้เป็น การแยกไมโครพลาสติกออกจากของผสม เพื่อเตรียมนำไปศึกษาลักษณะทางกายภาพซึ่งมีวิธีการดังนี้

(1) ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างข้างบีกเกอร์เล็กน้อยปิด บีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยด์และตั้งทิ้งไว้ค้างคืน

(2) นำตัวอย่างที่เป็นของเหลวใสด้านบนมา กรองผ่านกระดาษกรอง GF/C

(3) ฉีดล้างข้างบีกเกอร์หลายๆครั้งและเทลง กระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำ ออกจนแห้ง

(4) วางกระดาษกรองไว้ในจานเพาะเชื้อและ ปิดฝาปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. การศึกษาลักษณะของไมโครพลาสติก ขั้นตอน นี้เป็นการจำแนกสีและรูปร่างของไมโครพลาสติก ซึ่งมี วิธีการดังนี้

(1) นำกระดาษกรองที่แห้งแล้วมาส่องใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอที่กำลังขยาย 350 เท่า

(2) จำแนกสีและรูปร่างของไมโครพลาสติกที่พบ โดยจำแนกสีเป็น 6 สี [10] ได้แก่ ใส เขียว น้ำเงินแดง เหลือง ดำ และอื่นๆ ส่วนรูปร่างจำแนกเป็น 5 ลักษณะ [11] ได้แก่ เส้นใย (fiber) ชิ้น (fragment) เม็ด (pellet) แผ่นบาง (sheet) และแผ่นฟิล์ม (film)

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยไมโครพลาสติกในน้ำทะเลของจังหวัด เพชรบุรี พบว่า ตัวอย่างน้ำทะเลในจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด พบไมโครพลาสติก โดยมีจำนวนและขนาดดังแสดง ในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 จำนวนและขนาดของไมโครพลาสติก

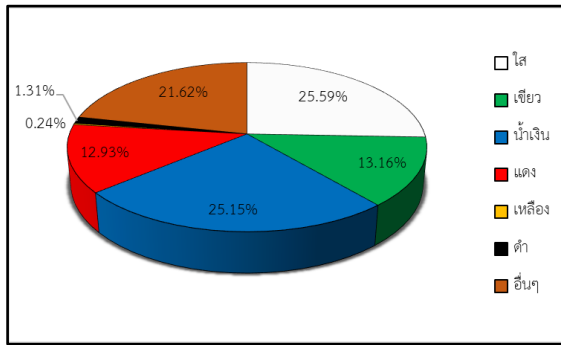
จุด	จำนวน (ชิ้น/ลูกบาศก์เมตร)	ขนาด (ไมครอน)
P1	88,166.67± 34,642.22	0.0068 - 2.2590
P2	57,000.00± 28,279.85	0.0068 - 2.3949
P3	48,833.33±12,858.20	0.0067 - 3.1579
P4	37,500.00± 5,267.83	0.0068 - 2.1900
P5	50,166.67± 1,607.28	0.0063 - 3.4585
P6	73,666.67±46,589.52	0.0078 - 2.5036
P7	74,666.67± 32,864.62	0.0059 - 1.6526
P8	65,000.00± 30,347.98	0.0069 - 1.8851

จากตารางที่ 1 จุด P1 พบจำนวนไมโครพลาสติก มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ P7 และ P6 ส่วน จุด P4 เป็นบริเวณที่พบไมโครพลาสติกน้อยที่สุด แต่เมื่อวิเคราะห์ ทางสถิติแล้วพบว่าจำนวนไมโครพลาสติกในแต่ละจุดเก็บ ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) ส่วนขนาดของไมโครพลาสติกที่พบจากการเก็บตัวอย่างน้ำ ทะเล พบว่า ไมโครพลาสติกทั้งหมดจัดเป็นไมโครพลาสติก ขนาดเล็กคือมีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร [12] และมีลักษณะทางกายภาพดังนี้

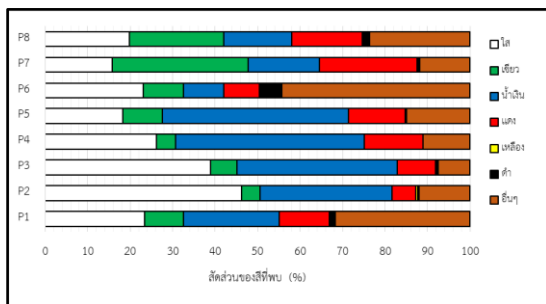
4.1 สี

การศึกษาค้นคว้าจำแนกสีของไมโครพลาสติกออก เป็น 6 สี ได้แก่ ใส เขียว น้ำเงินแดง เหลืองดำและอื่นๆ (น้ำตาล ส้ม ขุ่น และเทา) ผลการศึกษาพบว่า สีใส และ สีน้ำเงินพบมากที่สุดโดยคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 25.59 และร้อยละ 25.15 ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ สีอื่นๆ (ร้อยละ 21.62) เขียว (ร้อยละ 13.61) แดง (ร้อยละ 12.93) ดำ (ร้อยละ 1.31) และเหลือง (ร้อยละ 0.24)

ดังแสดงในภาพที่ 1 และเมื่อจำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างพบว่า จุดเก็บตัวอย่าง P1 P2 P3 P4 และ P5 พบไมโครพลาสติกสีใสและสีน้ำเงินมากที่สุด ส่วนจุดเก็บตัวอย่าง P6 P7 และ P8 พบไมโครพลาสติกสีเขียว แดง และสีอื่นๆ มากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 สัดส่วนของสีที่พบในไมโครพลาสติก



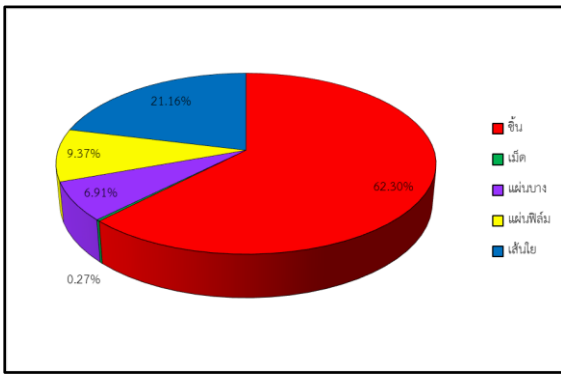
ภาพที่ 2 สัดส่วนของสีที่พบในไมโครพลาสติกจำแนกตามจุดเก็บตัวอย่าง

จากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่าน้ำทะเลของจังหวัดเพชรบุรีมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกสีใสและสีน้ำเงินในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และมากกว่าไมโครพลาสติกสีอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาไมโครพลาสติกในน้ำทะเลของอ่าวเปอร์เซีย [13] ส่วนในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ เช่น ปากแม่น้ำเจ้าพระยา [14] แม่น้ำจางเจียง ประเทศจีน [15] แม่น้ำเฟิร์ล ประเทศจีน [16] พบพลาสติกสีขาวและสีใสมากกว่าสีอื่นๆ เนื่องจากสีขาวและสีใสเป็นสีพื้นของเม็ดพลาสติกก่อนที่จะย้อมสีอื่นๆ ทับ เมื่อมีการผูกมัดกร้อน

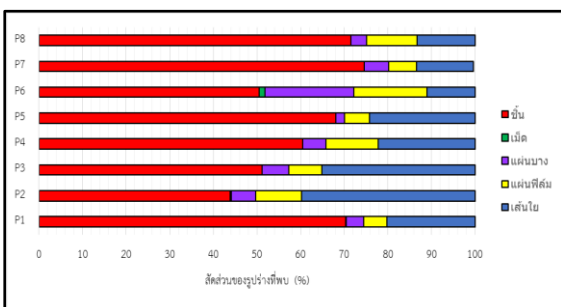
ทางกายภาพหรือความร้อนจากแสงแดดจึงทำให้สีที่ย้อมทับไว้หลุดไปหรือซีดลงเหลือเพียงสีขาวและสีใสเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการพบไมโครพลาสติกสีขาวและสีใสแสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นมีระดับการผูกมัดกร้อนสูง ส่วนน้ำทะเลของจังหวัดเพชรบุรีพบไมโครพลาสติกสีใสและสีน้ำเงินมากกว่าสีอื่นๆ นั้น โดยไมโครพลาสติกสีใสอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากพลาสติกที่ใช้ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเส้นเอ็นที่ใช้ในอุปกรณ์การทำประมง [14] ในขณะที่ไมโครพลาสติกสีน้ำเงินอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากอุปกรณ์ในการทำประมง เช่น ตาข่าย เป็นต้น [13] แต่อย่างไรก็ตาม การพบไมโครพลาสติกที่มีสีต่างๆ ในน้ำทะเลยังส่งผลกระทบต่อ การพบไมโครพลาสติกในสัตว์ทะเลด้วย เนื่องจากไมโครพลาสติกอาจมีสีคล้ายกับแหล่งต่อนพืช แหล่งต่อนสัตว์ หรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่เป็นอาหาร [13] ซึ่งไมโครพลาสติกที่มีสีน้ำเงิน ดำ แดง ใส ขาว เขียว และเหลือง ตามลำดับที่มักพบในสัตว์ทะเลเช่น ปลาจระเม็ดขาว (*Pampus argenteus*) ปลาจวด (*Nibeaalbiflora*) [17] ปลาหูช้าง ครีบเหลือง (*Thunnusalbacares*) [18] เป็นต้น

4.2 รูปร่าง

รูปร่างของไมโครพลาสติกในน้ำทะเลจังหวัดเพชรบุรี จำแนกเป็น 5 ลักษณะ ได้แก่ เส้นใย ชัน เม็ด แผ่นบาง และแผ่นฟิล์ม ผลการศึกษาพบว่า รูปร่างแบบ ชันและเส้นใยเป็นรูปร่างที่พบมากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 62.26 และร้อยละ 21.14 ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ แผ่นฟิล์ม (ร้อยละ 9.36) แผ่นบาง (ร้อยละ 6.90) และเม็ด (ร้อยละ 0.27) ดังแสดงในภาพที่ 3 และเมื่อจำแนกตามจุดเก็บตัวอย่างพบว่าทุกจุดเก็บตัวอย่างพบไมโครพลาสติกที่มีลักษณะเป็นชันมากที่สุด รองลงมา ได้แก่ เส้นใย และแผ่นฟิล์ม ดังแสดงในภาพที่ 4 ส่วนไมโครพลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดพบน้อยที่สุด



ภาพที่ 3 สัดส่วนของรูปร่างที่พบในไมโครพลาสติก



ภาพที่ 4 สัดส่วนของรูปร่างที่พบในไมโครพลาสติกจำแนกตามจุดเก็บตัวอย่าง

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าพบไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นชิ้นและเส้นใยพบมากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับการศึกษารูปร่างของไมโครพลาสติกในบริเวณอื่นๆ เช่น อ่าวเปอร์เซีย [13] ปากแม่น้ำเจ้าพระยา [14] แม่น้ำเพิร์ลประเทศจีน [16] เป็นต้น ไมโครพลาสติกที่รูปร่างเป็นชิ้นเกิดจากการแตกหักของขยะพลาสติกขนาดใหญ่ [16] ดังนั้นจึงจัดได้ว่าไมโครพลาสติกที่พบในการศึกษานี้เป็นไมโครพลาสติกแบบทุติยภูมิ นอกจากนี้การที่สัดส่วนของไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นชิ้นมีมากกว่ารูปร่างอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าบริเวณพื้นที่ศึกษามีสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการพองแตกหักของขยะพลาสติกขนาดใหญ่ เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ กระแสน้ำ [7]

ไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยเป็นลักษณะที่พบมากเป็นอันดับสอง แหล่งกำเนิดของไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยมาจาก 2 แหล่งใหญ่ ได้แก่ อุปกรณ์จับปลา เช่น เอ็นและตาข่าย เส้นใยจากสิ่งทอ [16] ดังนั้น

จึงมีความเป็นไปได้ว่า ไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยที่พบจากการศึกษานี้มีแหล่งกำเนิดจากการทำประมงน้ำตื้นจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากชุมชนโดยเฉพาะน้ำเสียที่เกิดจากการซักผ้าและสิ่งทอต่างๆ จึงแสดงให้เห็นว่าน้ำทะเลในบริเวณที่เก็บตัวอย่างได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้งกระบวนการบำบัดน้ำเสียหรือน้ำเสียจากชุมชนแม้ว่าจะอยู่ห่างจากชายฝั่งมากก็ตาม ไมโครพลาสติกที่มีรูปร่างเป็นฟิล์มใสมิถันกำเนิดจากถุงพลาสติกและซองบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งจากการศึกษานี้พบไมโครพลาสติกที่รูปร่างเป็นแผ่นฟิล์มมากเป็นอันดับสาม จึงแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมของมนุษย์มีส่วนเพิ่มการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำทะเล

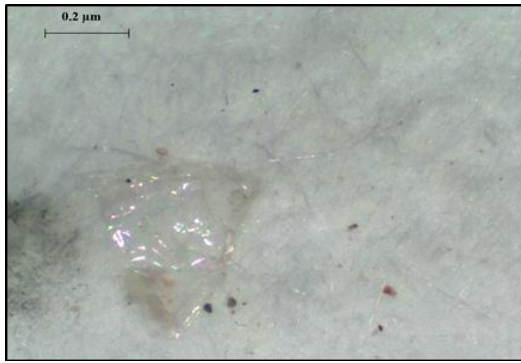
ตัวอย่างของไมโครพลาสติกที่ได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลของจังหวัดเพชรบุรีที่มีสีและรูปร่างต่างๆ แสดงในภาพที่ 5 ถึงภาพที่ 9



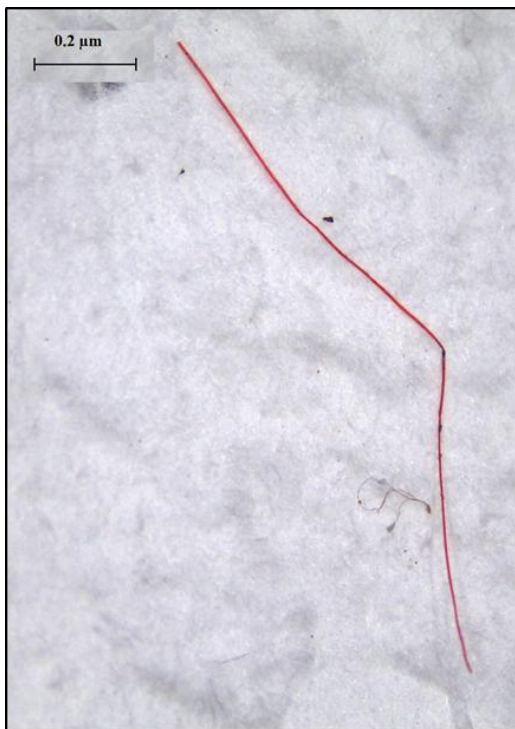
ภาพที่ 5 ลักษณะเป็นเส้นและชิ้นสีเขียว ใสและขาวขุ่น



ภาพที่ 6 ลักษณะเป็นฟิล์มสีขาวขุ่น



ภาพที่ 7 ลักษณะเป็นชิ้นใส



ภาพที่ 8 ลักษณะเป็นชิ้นสีแดงและเส้นสีน้ำเงิน



ภาพที่ 9 ลักษณะเป็นเส้นสีแดง

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปควรเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ในตำแหน่งที่ห่างจากชายฝั่งทะเลในระยะต่างๆ เพื่อทราบ การกระจายของลักษณะทางกายภาพของไมโครพลาสติก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้นและสามารถนำไปเชื่อมโยงสู่การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสัตว์ทะเล โดยเฉพาะสัตว์ทะเลที่เป็นอาหารของมนุษย์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกวก.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประสานงานขั้นตอน ต่างๆ ในการขอรับทุนสนับสนุนการวิจัย และคุณปริศนา พันธุ์งาม นักวิทยาศาสตร์ประจำสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบุรีที่ให้ความอนุเคราะห์แนะนำการใช้กล้องจุลทรรศน์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Plastics Europe. (2020). *Plastics - the Facts 2020*. Retrieved from <https://www.plastics-europe.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020>.
- [2] Pia, S., Lars, K., Achim, R., Lara, D. & Michael, C. (2021). Chapter One - Current status and future development of plastics: Solutions for a circular economy and limitations of environmental degradation. *Methods in Enzymology*, 648, 1-26.
- [3] สำนักงานกองทุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2563). *จับตาทิศทางสุขภาพคนไทย ปี 2564*. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนการสร้างเสริมสุขภาพ.
- [4] Royal Thai Embassy, Washington D.C. (2019). *Thailand's rank improves on ocean plastic pollution*. Retrieved from <https://thaiembdc.org/2019/12/02/thailands-rank-improves-on-ocean-plastic-pollution/>

- [5] สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ, อาทิตย์ เพ็ชรรักษ์, เจนยุกต์ โล่ห์วัชรินทร์, และ จงรักษ์ ผลประเสริฐ. (2562). มลสารไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำเสียดิบและระบบบำบัดน้ำเสีย. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 23(1), 1-10
- [6] เพ็ญศิริ เอกจิตต์ และสิริวรรณ รวมแก้ว. (2562). ขยะไมโครพลาสติกบริเวณชายหาดฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 23(2), 1-11
- [7] Anh, T. T., & Sandhya, B. (2020). Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Chao Phraya River Estuary, Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111747.
- [8] ปิติพงษ์ ธารมนต์, สุทธิชัย ไพรสานท์กุล, และนภาพร เลียดประดม. (2559). การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยสองฝาบริเวณชายหาดเจ้าหลาวและชายหาดคุ้งวิมาน จังหวัดจันทบุรี. *แก่นเกษตร*, 44(ฉบับพิเศษ 1), 738-744.
- [9] NOAA. (2015). *Laboratory Method for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendation for quantifying synthetic particles in waters and sediments*. Retrieved from [https:// marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf](https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/noaa_microplastics_methods_manual.pdf)
- [10] Shazani, S., Shamila, A., Mohd, I. M. S. & Muhammad, H. L. (2019). Ingestion of Microplastics by Commercial Fish in Skudai River, Malaysia. *EnvironmentAsia*, 12(3), 75-84.
- [11] Khalida, J., Lei, S., Jiana, L., Donmqi, Y., Chunfu, T., Jingli, M. & Huahong, S. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221, 141-149.
- [12] Selvem, S., Manisha, A., Venkatramanan, S., Chung, S. Y., Paramasivam, C. R, & Singaraja, C. (2020). Microplastic presence in commercial marine sea salts: A baseline study along Tuticorin Coastal salt pan stations, Gulf of Manner, South India. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110675.
- [13] Kamalodin, K, & Ali, M. (2020). Neustonic microplastic pollution in the Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110665.
- [14] Anh, T. T., & Sandhya, B. (2020). Microplastics pollution with heavy metals in the aquaculture zone of the Choa Phraya River Estuary, Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111747.
- [15] Zhong, P., Yan, S., Qianlong, L., Cai, L., Xiuwu, S., Qing, H.,...Hui, L. (2020). Riverine microplastic pollution matters: A case study in Zhangjiang River of Southeast China. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 111516.
- [16] Theresa, W. L. L., Lincoln, F., Lang, L., Qun, X., Heng-Xiang, L., Xiang-Rong, X., & Lin, C. Y. (2020). Spatial variation of floatable plastic debris and microplastics in the Pearl River Estuary, South China. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111383.
- [17] Jinghang, W., Mingxiang, L., Yaowen, Z. Jingjing, L., Hanghai, Z., Rijin, J., & Chunfang, Z. (2020). Microplastics in the digestive tracts of commercial fish from the marine ranching in east China sea. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100066.

- [18] Adil, B., Marieke, D., Tim, W., Nanne, V. H., Ruth, A., Sammy, A.,...Thomas, M. (2020). Occurrence and abundance of meso and microplastics in sediment, surface water, and marine biota from the South Pacific region. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111572.

การศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิต่อความเสถียรของทริปโทเฟน ในกล้วยหอมทอง

Study the influence of acidity alkalinity and temperature on the stability of tryptophan in Banana “Hom Thong”

นริศา เหลหะดูหวี, วิลานวัน แซ่อึ้ง

Narisa Lehduwi, Wilanwan Sae-Oueng

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย; email: narisa@tistr.or.th

บทคัดย่อ

กล้วยหอมทองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ เนื้อกล้วยหอมมีกรดอะมิโน ทริปโทเฟน ที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารสื่อประสาทซีโรโทนิน ทำหน้าที่ช่วยในการผ่อนคลาย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของทริปโทเฟนในเนื้อกล้วยหอม เพื่อเป็นแนวทางในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเนื้อกล้วยหอมให้มีปริมาณทริปโทเฟนคงอยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยทำการศึกษาที่สภาวะความเป็นกรดต่าง 4 สภาวะ คือ 3, 5, 7,9 และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 อุณหภูมิที่ -20 องศาเซลเซียส พาสเจอร์ไรซ์ที่ อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส 30 นาที และทำการสเตอริไรส์ที่ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที ออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD ผลการศึกษาพบว่า ผลของสภาวะความเป็นกรดต่างมีผลต่อความเสถียรของทริปโทเฟนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสโดยที่ค่า pH3 มีผลทำให้ปริมาณทริปโทเฟนต่ำกว่าที่ค่า pH5,7,9 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อุณหภูมิต่ำพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไรส์ไม่แสดงผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: กล้วยหอม, ทริปโทเฟน, ความเสถียร

Abstract

Banana “Hom Thong” (Musa AAA group) is an important economic crop. Banana pulp contains the amino acid tryptophan, a precursor to the production of the neurotransmitter serotonin. It serves as a relaxation tool. This study investigated factors affecting the stability of tryptophan in banana pulp in order to be the guideline for preparation tryptophan rich products. The experiment was designed as Factorial in CRD carried out at four pH states and at three different temperatures. At 4 levels of pH, 3, 5, 7, 9 and at three temperatures there were -20° C, 63° C for 30 minutes (pasteurize) and 121° C for 15 minutes (sterilize). The results showed that the effect of pH affected on stability of tryptophan at -20° C where pH 3 obtained lower tryptophan content than pH5, 7, 9 statistically significant while the pasteurization and sterilization did not differ significantly.

Keywords: banana “Hom Thong”, tryptophan, stability

1. บทนำ

กล้วยหอมทองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับ ผู้ผลิตรายปี 2560 2561 2562 มีมูลค่า
เกษตรกร จากข้อมูลสำนักงานการเกษตร จังหวัดปทุมธานี 1313 1366 และ 1130 ล้านบาท ตามลำดับ [1] แต่ยังพบ

ปัญหาแนวโน้มการลดลงของการส่งออกกล้วยสดไปยังตลาดต่างประเทศ โดยในปี 2561 2562 และ 2563 มีมูลค่าการส่งออก 724 525 และ 374 ล้านบาทตามลำดับ กล้วยไข่และกล้วยหอมเป็นกล้วยสำคัญที่ทำการส่งออก มีตลาดใหญ่ที่สำคัญคือ จีน ญี่ปุ่น อัตราการส่งออกไปยังประเทศจีนมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีคู่แข่งอย่างเวียดนาม และกัมพูชา [2] การนำกล้วยหอมมาแปรรูปเป็นอีกทางออกหนึ่งที่จะช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มและส่งเสริมการส่งออก

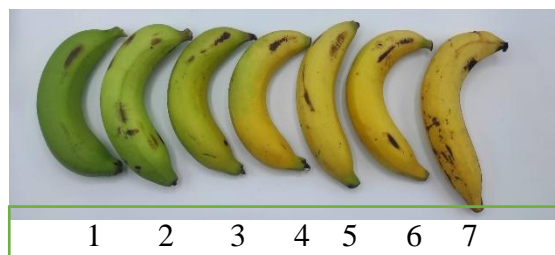
กล้วยหอมสุก มีความหวานจากน้ำตาลธรรมชาติ ซูโครส ฟรุคโตส และกลูโคส นอกจากนั้นยังมีเส้นใยอาหาร และกรดอะมิโนทริปโทเฟน [3] ที่เป็นสารตั้งต้นในการสร้างเมลาโทนิน เป็นสารสื่อประสาททำให้เกิดการผ่อนคลาย สารนี้ช่วยควบคุมการนอนหลับ ความอยากอาหาร อุณหภูมิของร่างกาย ความยืดหยุ่นของหลอดเลือด การหลั่งฮอร์โมนบางชนิด และการรับรู้ความเจ็บปวด การมีสารซีโรโทนินต่ำเป็นสาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งในการเกิดอาการซึมเศร้า กลไกการเปลี่ยนแปลงของทริปโทเฟนเริ่มจากกรดอะมิโนทริปโทเฟน ผ่านกระบวนการ hydroxylation จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ decarboxylation เปลี่ยนเป็นซีโรโทนิน ขั้นตอนต่อไปแสงจะมีบทบาทในการควบคุมการทำงานของปฏิกิริยา ซีโรโทนิน เปลี่ยนไปเป็น N-acetylserotonin เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่มีผลต่อนาฬิกาชีวิตในร่างกายคนเรา จากนั้น N-acetylserotonin จะถูกเอนไซม์ hydroxyindole-O-methyltransferase ให้เป็นเมลาโทนิน [4] ทริปโทเฟนมีโครงสร้างเป็นอะโรเมติก จัดเป็นออกซีไทโซปีรดิน ประกอบด้วย α -amino group α -carboxylic group และ indole side chain ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลให้ทริปโทเฟน มีการเปลี่ยนแปลงมีความไม่เสถียร เช่น ออกซิเจน อุณหภูมิสูง แสง และสิ่งที่ไปทำปฏิกิริยากับ carbonyl group ในโครงสร้าง [5]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิต่อความเสถียรของทริปโทเฟน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอม

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ สารเคมี : กล้วยหอมวัยระยะที่ 1 จากสวนกล้วยหอมในจังหวัดปทุมธานี สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มัล สารละลายไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล



รูปที่ 1 ระยะสุกของกล้วยหอมทอง

ออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD จัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล 4×3 ทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ ความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ ที่ ความเป็นกรดต่าง 4 ระดับ 3, 5, 7, 9 อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิแช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส อุณหภูมิพาสเจอร์ไรซ์แบบ LTLT (Long time low temperature) ที่ 63 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และอุณหภูมิสเตอริไลซ์ 121 องศาเซลเซียส 15 นาที การจัดจำนวนสิ่งทดลองแสดงในตารางที่ 1 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Anova วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test

ตารางที่ 1 แสดงสิ่งทดลอง

Treatment	a	b	Combination
1	a1	b1	a1b1
2	a1	b2	a1b2
3	a1	b3	a1b3
4	a2	b1	a2b1
5	a2	b2	a2b2
6	a2	b3	a2b3
7	a3	b1	a3b1
8	a3	b2	a3b2
9	a3	b3	a3b3

Treatment	a	b	Combination
10	a4	b1	a4b1
11	a4	b2	a4b2
12	a4	b3	a4b3

หมายเหตุ: a = pH , a1 = pH3, a2 = pH5, a3 = pH7, a4 = pH9 b = อุณหภูมิ, b1 = -20 °C, b2 = พาสเจอร์ไรซ์ (63 °C ระยะเวลา 30 นาที), b3 = สเตอริไลซ์ (121 °C ระยะเวลา 15 นาที)

วิธีการเตรียมตัวอย่าง: นำเนื้อกล้วยหอมปั่นกับน้ำเป็นเวลา 1 นาที อัตราส่วน กล้วยหอม:น้ำ 1:2 (น้ำหนัก/ปริมาตร) นำมาปรับด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มัล ให้ได้ค่าความเป็นกรดต่าง 3, 5 และปรับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้ค่าความเป็นกรดต่าง 7, 9 นำตัวอย่างที่ได้แต่ละค่าความเป็นกรดต่าง มาทำการแช่แข็งที่ -20 องศาเซลเซียส พาสเจอร์ไรซ์ที่ 63 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และสเตอริไลซ์ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที ตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไลซ์จะถูกนำไปแช่แข็งเพื่อรอการวิเคราะห์ทำการทดลอง 3 ซ้ำในทุกการทดลอง

การวิเคราะห์ทริบโทเฟน

นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ 0.2-0.5 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.2 นอร์มัล 3 - 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน กักจัดอากาศในหลอดทดลองด้วยเครื่อง Aspirator บ่มตัวอย่าง ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22-24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายที่ได้ไปปรับค่าความเป็นกรดต่างให้เป็นกลางด้วยสารละลาย HCl นำไปปรับปริมาตรและกรองแยกของเหลวด้วยกระดาษกรอง Whatman No.40 นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วย HPLC

คุณสมบัติของเครื่องและสภาวะในการวิเคราะห์ : HPLC : model LC - 20A Series; Shimadzu Japan Column: Shim-pack ISC-07/S 1504 Na (packed with cation exchanger consist of sulphonate styrene divinyl benzene copolymer) Mobile phase: 0.6 N

sodium citrate + 0.2 boric acid, pH9 Flow rate: 0.4 mL/min Detector: Fluorescence detector (RF-535, Ex 348 nm, Em 450nm) Reaction temp: 55 °C Injection volume: 10 µL Post column: Reaction solution (OPA) flow rate 0.3 mL/min [7][8]

4. ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณทริบโทเฟนที่สกัดจากตัวอย่างพบว่า ทั้งความเป็นกรดต่างและ อุณหภูมิมีผลต่อความเสถียรของทริบโทเฟนอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างที่มีการปรับค่าความเป็นกรดต่าง มีค่า pH 3, 5, 7, 9 ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณทริบโทเฟนที่พบในตัวอย่างที่มีค่า pH 3 มีปริมาณทริบโทเฟน 3.34 มิลลิกรัม/100 กรัม มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างอื่นๆ ทริบโทเฟนที่พบในตัวอย่าง pH 5,7,9 มีค่า 4.46, 4.47 และ 4.61 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ 63 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที การปรับค่าความเป็นกรดต่างที่ค่า pH 3, 5, 7, 9 ไม่มีผลให้ปริมาณทริบโทเฟนที่ได้แตกต่างกัน เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ผ่านการสเตอริไลซ์ที่ 121 องศาเซลเซียสที่ 15 นาที การปรับค่าความเป็นกรดต่างไม่ทำให้ปริมาณทริบโทเฟนที่ได้แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2

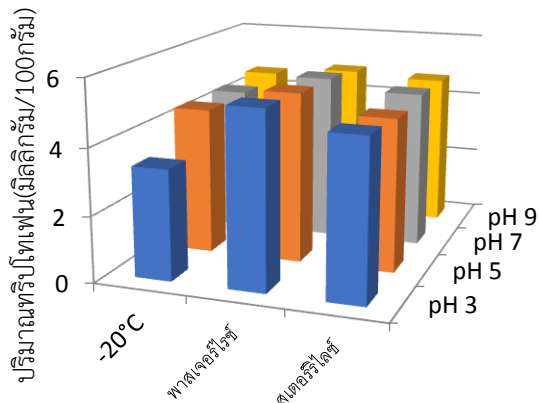
ตารางที่ 2 แสดงปริมาณทริบโทเฟนในตัวอย่างทดลอง

pH	ปริมาณทริบโทเฟน (มิลลิกรัม/100 กรัม)		
	แช่แข็ง(-20 °C)	พาสเจอร์ไรซ์	สเตอริไลซ์
3	3.34±0.12 ^b _x	5.32±0.11 ^{ns} _y	4.80±0.10 ^{ns} _z
5	4.46±0.25 ^a _x	5.18±0.39 ^{ns} _y	4.64±0.30 ^{ns} _{xy}
7	4.47±0.34 ^a _x	5.10±0.15 ^{ns} _y	4.79±0.12 ^{ns} _{xy}
9	4.61±0.17 ^a _{ns}	4.85±0.23 ^{ns} _{ns}	4.72±0.08 ^{ns} _{ns}

หมายเหตุ :A^a การวิเคราะห์เปรียบเทียบในแนวคอลัมน์ แนวตั้ง, A_x การวิเคราะห์เปรียบเทียบในแนวระนาบ

เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความแตกต่างความแปรปรวนในแต่ละอุณหภูมิ พบว่าที่ค่า pH3 ตัวอย่าง

ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์มีปริมาณทริปโทเฟนสูงสุด อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ pH 5, 7 ตัวอย่างที่แช่แข็ง มีค่าทริปโทเฟนต่ำกว่า ตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไลซ์ ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไลซ์ให้ผลไม่ต่างกัน และที่ pH9 ตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง (-20 °C) พาสเจอร์ไรซ์ และสเตอริไลซ์ ให้ผลที่ไม่แตกต่าง



รูปที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณทริปโทเฟนที่ระดับอุณหภูมิและความเป็นกรดที่ต่างกัน

5. วิจัยผลการทดลอง

ทริปโทเฟนเป็นกรดอะมิโนที่มีหมู่ R ที่ไม่มีขั้ว ในโครงสร้างมีส่วนประกอบที่เป็นวงแหวนหกเหลี่ยมและวงแหวนห้าเหลี่ยมที่ติดกัน มีภาวะที่เป็นกลาง และไม่ชอบน้ำ [6] ทริปโทเฟนจัดเป็นออกซิไดซ์โปรตีน ทำให้ต้องไฮโดรไลซ์โปรตีนด้วยต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้ได้กรดอะมิโนทริปโทเฟนมาทำการวิเคราะห์ [7] ปริมาณทริปโทเฟนของตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ที่ค่า pH3 ที่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดมีปริมาณทริปโทเฟนต่ำกว่าที่ pH5,7และ9 แต่เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่ได้รับความร้อนด้วยการพาสเจอร์ไรซ์ หรือสเตอริไลซ์ให้ผลที่ต่างไป ทั้งนี้อาจเกิดปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเสื่อมของทริปโทเฟน เช่น ออกซิเจนหรือการปนเปื้อนของโลหะหนัก [5] Bellimaine, Schenellbaecher and Zimmer (2020) รวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการ เสื่อม ของทริปโทเฟน ได้แก่ การเกิดออกซิเดชันจาก ออกซิเจนที่พร้อมจะทำปฏิกิริยา

ในรูปแบบต่างๆ แสง ประจุบวกของโลหะ สารในกลุ่มอัลดีไฮด์ ไพเอซ และอุณหภูมิที่สูง อย่างไรก็ตามก็ดียังไม่มีรายงานระบุถึงผลของอุณหภูมิระดับแช่แข็ง ควรที่จะมีการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิต่ำระดับแช่แข็งต่อความเสถียรของทริปโทเฟน การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมเมื่อต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อควรเลือกใช้ อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อในระดับพาสเจอร์ไรซ์

6. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาค่าผลการเสื่อมของทริปโทเฟนอันเนื่องมาจากค่าพีเอชและอุณหภูมิ พบว่าที่ค่าพีเอช 3 ผลจากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดมีผลให้ปริมาณทริปโทเฟนลดลงสำหรับตัวอย่างที่อุณหภูมิแช่แข็ง -20 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณทริปโทเฟนต่ำกว่า พีเอช 5,7,9 แต่ผลจากค่าความเป็นกรดต่างไม่ทำให้เห็นความแตกต่างสำหรับตัวอย่างที่ได้รับความร้อน ทั้งในระดับพาสเจอร์ไรซ์และสเตอริไลซ์ ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกล้วยหอมทองเมื่อมีความจำเป็นต้องใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อควรเลือกใช้ อุณหภูมิต่ำในระดับพาสเจอร์ไรซ์ ควรทำการศึกษาปัจจัยอื่นๆนอกจากทริปโทเฟนในกล้วยหอมทอง เช่น วิตามินเอ วิตามินบี และวิตามินซีที่มีอยู่ในกล้วยหอมทอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มสารสนเทศการเกษตร สำนักงานการเกษตรและสหกรณ์ จ.ปทุมธานี. (2563). ข้อมูลเพื่อการวางแผนการพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ รายงานตัวของจังหวัดปทุมธานี ปี 2563 “กล้วยหอม”. หน้า 55.
- [2] ผู้จัดการออนไลน์. (2563). รายงานพิเศษกลยุทธ์ปลูกกล้วยให้ได้ประโยชน์ กินก็ดี ขาย-ส่งออกก็ได้กำไร. เผยแพร่ 23 ธ.ค.2563 สืบค้น 20 เม.ย. 2564, จาก <https://mgronline.com/smes/detail/9630000126929>
- [3] Lim T.K., (2012). *Edible Medicinal And Non Medicinal Plants (Fruits)*. Vol3. Springer Netherlands. p 509.

- [4] นาวา สุเทพากุล. (2558). เมลาโทนิน ฮอร์โมนแห่งรัตติกาล. *วารสารเพื่อการวิจัยและพัฒนา องค์การเภสัชกรรม*, 22(1), 13 – 17.
- [5] Bellmaine, S. Schnellbaecher, A. Zimmer, A. (2020). Reactivity and degradation products of tryptophan in solution and proteins. *Free radical biology and medicine*, 160, 696-718.
- [6] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. นิตยา รัตปานนท์. 2010-2021 amino acid/ กรดอะมิโน, Food Network Solution. สืบค้น 20 เม.ย. 2564, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1190/amino-acid-กรดแอมิโน>.
- [7] In-house Method base on AOAC 998.15
- [8] Shimadzu HPLC amino acid analysis system application data book: C190 E004, p1-105., Shimadzu Co., Ltd,

การกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในสารละลายที่เหลือจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยถ่านกัมมันต์

Removal of Hexavalent Chromium in Solution Residue from COD Analysis by Activated Carbon

ศศิภา ฉิมพลี

Sasila Chimplee

คณะเทคโนโลยีทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี; sasila@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมและในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ทางการค้าเป็นวัสดุดูดซับปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ปริมาณถ่านกัมมันต์ ค่าพีเอชเริ่มต้น และระยะเวลาการดูดซับ พบว่าการทำทดลองแบบแบตช์ (batch experiment) สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์คือ ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.2 กรัม ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 และระยะเวลาในการดูดซับ 90 นาที สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.30 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.64 ± 0.01 ปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 23.56 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีจากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.86 ± 0.02 ปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 15.74 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และการทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (continuous experiment) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี คืออัตราการไหลของน้ำเสียผ่านคอลัมน์ คือ 7 มิลลิลิตรต่อนาทีสามารถกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.30 ± 0.02 และ 31.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ -0.01 ± 0.00 และ 0.01 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

คำสำคัญ : ของเสียอันตราย, ซีโอดี, โครเมียม, ถ่านกัมมันต์

Abstract

The objective of this research was to study factors affecting the efficiency of chromium hexavalent removal in chromium synthetic wastewater and in wastewater from COD analysis using commercial activated carbon as absorbent material. The factors studied were the activated carbon content, initial pH, and the adsorption time. It was found that in the batch experiment, the optimum conditions for removal of hexavalent chromium were 0.2 g of activated carbon, initial pH of 2, and 90 minute of absorption time were able to remove chromium hexavalent in synthetic wastewater from the mean initial concentration of 47.30 ± 0.02 mg/L reduced to the mean concentration of 0.17 ± 0.00 mg /L. The mean removal efficiency was $99.64 \pm 0.01\%$. The mean adsorption capacity was 23.56 ± 0.00 mg/g. And in the wastewater from COD analysis from the mean initial concentration was

31.52 ± 0.08 mg /L reduced to the mean concentration of 0.04 ± 0.01 mg/L. The mean removal efficiency was 99.86% ± 0.02. The mean adsorption capacity was 15.74 ± 0.00 mg/g. In the continuous experiment it was found that the optimum conditions for removal of hexavalent chromium were the introduction of synthetic wastewater and COD analysis wastewater at a flow rate of 7 mL/min were able to remove hexavalent chromium from the mean initial concentrations of 47.30 ± 0.02 and 31.52 ± 0.08 mg/L. The mean concentration was reduced to -0.01 ± 0.00 and 0.01 ± 0.00 mg/L, respectively.

Keywords : Hazardous waste, COD, Chromium, Activated carbon

1. บทนำ

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของสถานศึกษา สถาบันวิจัยหรือบริษัทเอกชน ส่วนใหญ่มีการเรียนการสอน ปฏิบัติการการดำเนินงานวิจัย การบริการวิชาการแก่สังคม และการให้บริการวิเคราะห์ทดสอบ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ สารเคมีชนิดต่างๆ เป็นจำนวนมากทำให้เกิดของเสียจาก กระบวนการวิเคราะห์ ซึ่งมีทั้งของเสียที่เป็นอันตราย (hazardous waste) และไม่เป็นอันตราย (non-hazardous waste) โดยของเสียที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่เป็นของเสียอันตรายที่เป็น ของเหลว และของแข็ง ได้แก่ ของเสียติดไฟ ของเสียกัดกร่อน ของเสียเป็นพิษ ของเสียไวไฟ กัมมันตรังสี เป็นต้น ของเสีย ส่วนหนึ่งหากถูกทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำโดยมิได้ผ่านการบำบัด อย่างถูกต้อง หรือผ่านการบำบัดไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้มีของ เสียปนเปื้อนในน้ำทิ้ง จะไหลไปรวมกับท่อน้ำทิ้งของ อาคารและถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป นอกจากนี้การขาดความรู้ ความเข้าใจในการจัดการของ เสียอย่างเหมาะสมของผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานเอง และอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ [1] ของเสียที่เป็นอันตรายไม่สามารถทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ ทิ้งได้ ต้องเก็บไว้ในภาชนะต่างๆ เช่น ถังพลาสติก ขวดแก้ว และขวดพลาสติก เป็นต้น โดยจะถูกรวบรวมและเก็บไว้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อรอนำไปกำจัดอย่างเหมาะสมต่อไป ปัจจุบันของเสียเหล่านี้ได้ถูกสะสมเพิ่มมากขึ้นก่อให้เกิด ความเสี่ยงสูงอาจเกิดอันตราย หากภาชนะบรรจุเกิดชำรุด

ทำให้สารเคมีรั่วไหลออกได้และค่าใช้จ่ายในการส่งบริษัท รับกำจัดค่อนข้างสูง

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (COD, chemical oxygen demand) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ และทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และ สิ่งแวดล้อม กระบวนการวิเคราะห์มีการใช้สารประกอบ ของโลหะหนัก คือ โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2SO_4$) และเมอคิวริลซัลเฟต ($HgSO_4$) ทำให้น้ำทิ้ง หรือน้ำเสียภายหลังการวิเคราะห์ซีโอดี มีค่าพีเอชต่ำมาก (<1) และมีปริมาณโลหะหนักโครเมียม เหล็ก และเงิน ละลายปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง [2] จึงมีความจำเป็น อย่างยิ่งที่ต้องบำบัดหรือกำจัดโครเมียมที่ปนเปื้อน ออกจากสารละลายเหลือจากการวิเคราะห์ซีโอดีเพื่อให้น้ำทิ้ง มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

โครเมียมที่พบในน้ำเสียส่วนใหญ่อยู่ในรูปโครเมียม เฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium, Cr^{6+}) จะไม่เกิดการตกตะกอนหรือรวมตัวกับดินสามารถเคลื่อนย้ายไป ตามแหล่งน้ำไหลและน้ำใต้ดินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำดิบได้ง่าย [3] ส่งผลกระทบต่อ เป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำและมนุษย์ที่ใช้ประโยชน์จากแหล่ง น้ำเมื่อได้รับสารโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium, Cr^{6+}) จะมีอาการระคายเคืองที่ผิวหนัง เป็นโรคหอบหืด โรคระบบทางเดินหายใจ ทำให้ปวด ตับ กระบังลมหรือลิ้นปี่ และมีโอกาสเป็นมะเร็งปอดหากได้รับ

สารเป็นเวลานาน [4] กรมโรงงานอุตสาหกรรมจึงได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ห้ามมีปริมาณโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium, Cr^{6+}) ในน้ำทิ้งเกิน 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณโครเมียมไตรวาเลนต์ (trivalent chromium, Cr^{3+}) ในน้ำทิ้งเกิน 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร [5]

การกำจัดโครเมียมออกจากน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี กระบวนการกำจัดมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การออกซิเดชันรีดักชัน การทำให้เกิดตะกอน การแลกเปลี่ยนไอออน การระเหย การกรองผ่านเยื่อกรองแบบผันกลับ ซึ่งวิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดต่างๆ เช่น ขั้นตอนการกำจัดยุ่งยากต้องใช้พลังงานมากในการกำจัด อาจมีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน การดูดซับเป็นวิธีหนึ่งที่มีความสนใจและมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและต้นทุนต่ำไม่ยุ่งยากซับซ้อน เป็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่พื้นผิวของสารดูดซับ จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการสัมผัสโดยตรงระหว่างสารดูดซับและสารที่ถูกดูดซับ ลดความเป็นพิษของโลหะออกจากสารละลาย รวมทั้งสามารถนำตัวดูดซับมาผ่านกระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก [6] ตัวดูดซับที่นิยมใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและรูพรุนจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการดูดซับมลพิษสูง

งานวิจัยนี้ได้ทำการปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium, Cr^{6+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์และในสารละลายที่เหลือจากการวิเคราะห์ซีโอดีของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการดูดซับ วัสดุดูดซับที่ใช้ คือ ถ่านกัมมันต์ทางการค้า (activated carbon) เพื่อเป็นแนวทางการกำจัดและลดปริมาณของเสียจากห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยถ่านกัมมันต์ทางการค้า
2. เพื่อเป็นแนวทางการกำจัดและลดปริมาณของเสียในห้องปฏิบัติการ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง มี 2 ชนิด

1. น้ำเสียสังเคราะห์โครเมียม

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โครเมียมความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำไปผสมเค็มไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) (ซึ่งมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 294.18) หนัก 1.41 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิตร จากนั้นเจือจางน้ำเสียสังเคราะห์ตามความเข้มข้นที่ต้องการคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. น้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี

สารละลายที่เหลือจากการวิเคราะห์ซีโอดี เป็นของเสียอันตรายที่เก็บรวบรวมเพื่อรอกำจัดจากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (L404D) โดยนำมาเจือจางให้ได้ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 2 การทดลอง คือ

การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีทำการทดลองแบบแบตช์ (batch experiment) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ด้วย 1 N HCL หรือ 1 N NaOH ให้ค่าพีเอชเท่ากับ 2 และตวงน้ำเสียปริมาณ 100 มิลลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิตร เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ไปปั่นจนสารละลายที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระยะเวลาการดูดซับต่างๆ กัน ดังนี้ 5, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 และ 300 นาทีทำการทดลอง 3 ซ้ำกรองถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่เหลือด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-VIS 1800

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ด้วย 1 NHCL หรือ 1 N NaOH ให้ได้ค่าพีเอชเท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 และตวงน้ำเสียปริมาณ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตรเติมถ่านกัมมันต์ปริมาณ 0.2 กรัมลงในขวดรูปชมพู่นำไปปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำกรองถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่เหลือด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-VIS 1800

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์

ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ด้วย 1 NHCL หรือ 1 N NaOH ให้ได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 2 และตวงน้ำเสียปริมาณ 100 มิลลิลิตรใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมถ่านกัมมันต์ปริมาณต่างๆ กัน คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่นำไปปั่นกวนสารละลายที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ระยะเวลาการดูดซับที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำกรองถ่านกัมมันต์ออกจากสารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมที่เหลือด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น UV-VIS 1800

การทดลองที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีทำการทดลองแบบต่อเนื่อง (continuous experiment) มีขั้นตอนดังนี้

ปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ด้วย 1 N HCL หรือ 1 N NaOH ให้ค่าพีเอชเท่ากับ 2 ป้อนน้ำเสียอย่างต่อเนื่องเข้าสู่คอลัมน์ที่บรรจุถ่านกัมมันต์สูง 10 เซนติเมตรด้วย Peristaltic pump โดยปลายท่อสายทางด้านหนึ่งเชื่อมต่อไปยังคอลัมน์ และปลายอีกด้านหนึ่งเชื่อมกับภาชนะบรรจุน้ำเสียปรับอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องของน้ำเสียที่แตกต่างกัน คือ 3, 5 และ 7 มิลลิลิตรต่อนาทีเก็บตัวอย่างน้ำที่ไหลผ่านคอลัมน์ออกมาทุกๆ ระยะเวลา 5 นาทีจนถึงระยะเวลา 90 นาทีนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์

ปริมาณโครเมียมที่เหลือด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น UV-VIS 1800

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การหาประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ ดังสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละการกำจัด (\% Removal)} = \frac{(C_o - C_e) \times 100}{C_o} \quad (1)$$

โดย C_o = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล (mg/L)

2. การหาปริมาณการดูดซับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ดังสมการที่ 2

$$\text{ปริมาณการดูดซับ (q}_e\text{)} = \frac{(C_o - C_e) \times V}{W} \quad (2)$$

โดย q_e = ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)

C_o = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นของสารละลายที่สมดุล (mg/L)

V = ปริมาตรของสารละลาย (L)

W = น้ำหนักของถ่านกัมมันต์ (g)

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัยสามารถรายงานและอภิปรายผลได้ โดยแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ตามขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีทำการทดลองแบบแบตช์ (batch experiment)

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์

1.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซะวาเลนต์คือ ระยะเวลาการดูดซับที่ 90 นาที ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับโครเมียมเฮกซะวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.30 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.20 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัด

การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4
วันที่ 22 พฤษภาคม 2564 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

เฉลี่ยร้อยละ 99.65 ± 0.01 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 24.91 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่ 5 นาทีแรก มีค่าความเข้มข้น หลังการดูดซับเท่ากับ 0.52 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 98.96 ± 0.01 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 24.74 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อกรัม จากนั้นเริ่มคงที่ที่ระยะเวลาการดูดซับ 90 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ด้วยถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียสังเคราะห์

เวลา (นาที)	ความเข้มข้น หลังการดูดซับ (mg/L)	ร้อยละ การกำจัด (%)	ปริมาณ การดูดซับ (mg/g)
5	0.52 ± 0.00	98.96 ± 0.01	24.74 ± 0.01
15	0.41 ± 0.00	99.17 ± 0.01	24.79 ± 0.00
30	0.37 ± 0.00	99.26 ± 0.00	24.82 ± 0.00
60	0.20 ± 0.00	99.59 ± 0.00	24.90 ± 0.00
90	0.20 ± 0.00	99.65 ± 0.01	24.91 ± 0.00
120	0.19 ± 0.01	99.59 ± 0.01	24.90 ± 0.00
150	0.20 ± 0.00	99.59 ± 0.01	24.90 ± 0.00
180	0.23 ± 0.01	99.53 ± 0.02	24.88 ± 0.01
240	0.23 ± 0.02	99.54 ± 0.01	24.89 ± 0.01
300	0.19 ± 0.01	99.62 ± 0.02	24.91 ± 0.00

1.2 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์คือ พีเอช 2 สามารถดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.30 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.59 ± 0.01 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 23.55 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเพิ่มพีเอชเป็น 4, 6

และ 8 ความสามารถในการดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์

พีเอชเริ่มต้น	ความเข้มข้น หลังการดูดซับ (mg/L)	ร้อยละ การกำจัด (%)	ปริมาณ การดูดซับ (mg/g)
2	0.19 ± 0.00	99.59 ± 0.01	23.55 ± 0.00
4	0.54 ± 0.00	98.85 ± 0.01	23.38 ± 0.00
6	1.25 ± 0.00	97.35 ± 0.01	23.02 ± 0.00
8	1.83 ± 0.00	96.09 ± 0.01	22.73 ± 0.00

1.3 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ ด้วยถ่านกัมมันต์คือ 0.2 กรัม สามารถดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.30 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.17 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.64 ± 0.01 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 23.56 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์

ปริมาณ ถ่านกัมมันต์ (g)	ความเข้มข้น หลังการดูดซับ (mg/L)	ร้อยละ การกำจัด (%)	ปริมาณ การดูดซับ (mg/g)
0.2	0.17 ± 0.00	99.64 ± 0.01	23.56 ± 0.00
0.4	0.30 ± 0.01	99.36 ± 0.03	11.75 ± 0.00
0.6	0.32 ± 0.02	99.32 ± 0.05	7.83 ± 0.00
0.8	0.29 ± 0.01	99.38 ± 0.01	5.88 ± 0.00
1.0	0.30 ± 0.02	99.36 ± 0.03	4.70 ± 0.00

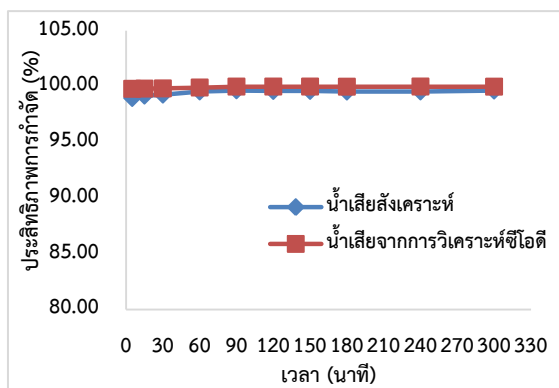
2. ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี

2.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี ด้วยถ่านกัมมันต์ คือ ระยะเวลาการดูดซับที่ 90 นาที สามารถดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.00 ± 0.01 มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.99 ± 0.03 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 15.76 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมและสามารถดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ได้อย่างรวดเร็วตั้งแต่ 5 นาทีแรก ค่าความเข้มข้นหลังการดูดซับเท่ากับ 0.07 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.79 ± 0.24 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 15.73 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัมดังแสดงในตารางที่ 4 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ด้วยถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี พบว่า เมื่อครบเวลา 90 นาที ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีได้สูงสุด มีค่าร้อยละการกำจัดเฉลี่ย 99.65 ± 0.01 และ 99.99 ± 0.03 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 24.91 ± 0.00 และ 15.76 ± 0.00 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2

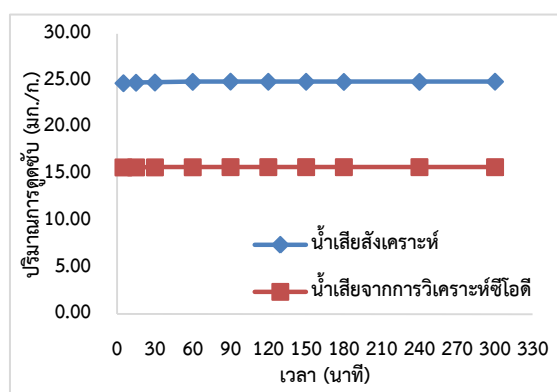
ตารางที่ 4 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด (%)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
5	0.07 ± 0.01	99.79 ± 0.24	15.73 ± 0.00
15	0.06 ± 0.01	99.80 ± 0.04	15.73 ± 0.01
30	0.06 ± 0.01	99.82 ± 0.04	15.73 ± 0.01
60	0.03 ± 0.01	99.90 ± 0.03	15.74 ± 0.01
90	0.00 ± 0.01	99.99 ± 0.03	15.76 ± 0.00
120	0.00 ± 0.01	99.99 ± 0.02	15.76 ± 0.00
150	0.00 ± 0.01	99.99 ± 0.03	15.76 ± 0.00
180	0.01 ± 0.01	99.98 ± 0.03	15.76 ± 0.00
240	0.00 ± 0.01	99.99 ± 0.02	15.76 ± 0.00
300	0.01 ± 0.01	99.98 ± 0.02	15.76 ± 0.00

จากตารางที่ 1 และ 4 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องมาจากพื้นผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ก่อนเกิดการดูดซับไม่มีโมเลกุลของโครเมียมเฮกซวาเลนต์ยึดติดผิวอยู่ จึงสามารถดูดซับสารละลายโครเมียมเฮกซวาเลนต์ไว้บนพื้นผิวภายนอกได้ง่ายและรวดเร็วเมื่อระยะเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งพื้นที่ผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ถูกปกคลุมไปด้วยสารละลายโครเมียมเฮกซวาเลนต์จนหมดแล้ว โมเลกุลของโครเมียมเฮกซวาเลนต์ จึงแพร่เข้าไปยังพื้นผิวภายในรูพรุนของตัวดูดซับ ซึ่งเกิดช้ากว่าขั้นตอนแรกทำให้อัตราการดูดซับคงที่หรือลดลง[7]



ภาพที่ 1 ร้อยละการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีที่ระยะเวลาแตกต่างกัน



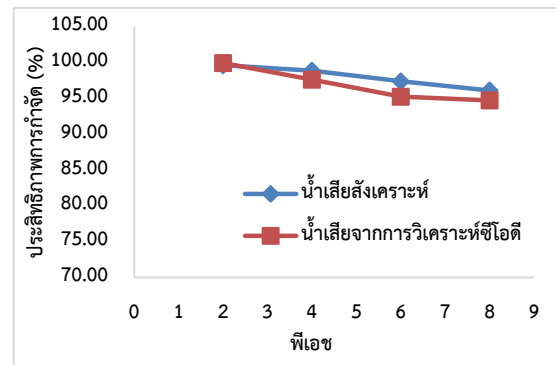
ภาพที่ 2 ปริมาณการดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

2.2 ค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยถ่านกัมมันต์ คือ พีเอช 2 สามารถดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.02 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.91 ± 0.00 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 15.75 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเพิ่มพีเอชเป็น 4, 6 และ 8 ความสามารถในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ลดลงดังแสดงในตารางที่ 5 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ด้วยถ่านกัมมันต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี พบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 2 ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีได้สูงสุด ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4

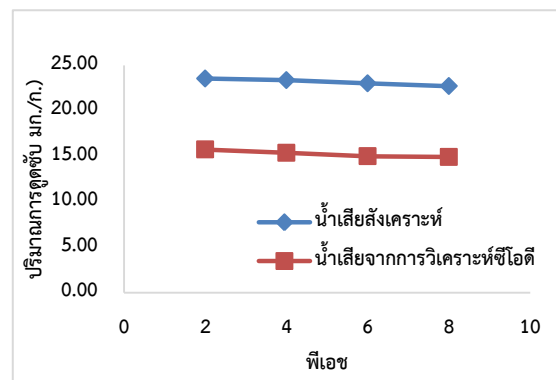
ตารางที่ 5 ผลของค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี

พีเอชเริ่มต้น	ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด (%)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
2	0.02 ± 0.00	99.91 ± 0.00	15.75 ± 0.00
4	1.11 ± 0.00	97.59 ± 0.01	15.38 ± 0.00
6	2.22 ± 0.01	95.21 ± 0.01	15.01 ± 0.00
8	2.46 ± 0.00	94.70 ± 0.01	14.92 ± 0.00

จากตารางที่ 2 และ 5 แสดงให้เห็นว่าแรงดึงดูดทางไฟฟ้าของประจุบวกบนผิวของถ่านกัมมันต์ที่กระทำต่อไอออนลบของไฮโดรเจนโครเมตไอออน การเพิ่มความเป็นเบสของน้ำเสียสังเคราะห์จากค่าพีเอช 2 เป็น 4, 6 และ 8 ทำให้ประสิทธิภาพ ในการดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ได้น้อยลง เนื่องจากการเพิ่มค่าพีเอช มีผลทำให้ประจุบวกบนผิวของถ่านกัมมันต์ลดลง ดังนั้นการเพิ่มค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์มีผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ลดลง ตามลำดับ [8]



ภาพที่ 3 ร้อยละการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่พีเอชแตกต่างกัน



ภาพที่ 4 ปริมาณการดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่พีเอชแตกต่างกัน

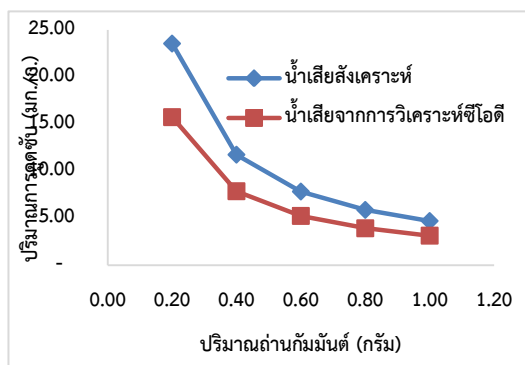
2.3 ปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี คือ 0.2 กรัม สามารถดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์จากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือความเข้มข้นหลังการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 0.04 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.86 ± 0.02 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 15.74 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์เป็น 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 กรัม ความสามารถในการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 6 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ด้วยถ่านกัมมันต์ในน้ำเสีย

สังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี พบว่า ปริมาณถ่านกัมมันต์ 0.2 กรัม สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีได้สูงสุด มีค่าร้อยละการกำจัดเฉลี่ย 99.64 ± 0.01 และ 99.86 ± 0.01 และปริมาณการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 23.56 ± 0.00 และ 15.74 ± 0.00 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5 และ 6

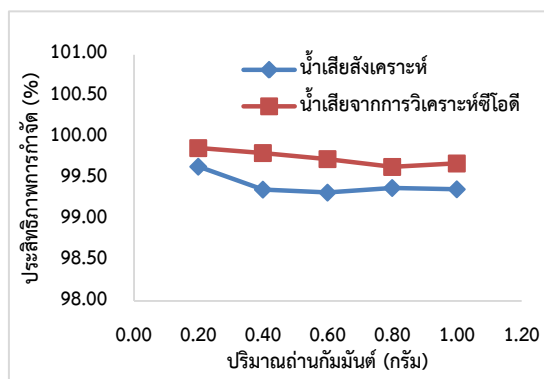
ตารางที่ 6 ผลของปริมาณถ่านกัมมันต์ที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดี

ปริมาณถ่านกัมมันต์ (g)	ความเข้มข้นหลังการดูดซับ (mg/L)	ร้อยละการกำจัด (%)	ปริมาณการดูดซับ (mg/g)
0.2	0.04 ± 0.01	99.86 ± 0.02	15.74 ± 0.00
0.4	0.06 ± 0.01	99.80 ± 0.02	7.86 ± 0.00
0.6	0.09 ± 0.01	99.73 ± 0.02	5.24 ± 0.00
0.8	0.12 ± 0.01	99.63 ± 0.03	3.93 ± 0.00
1.0	0.10 ± 0.00	99.68 ± 0.01	3.14 ± 0.00

จากตารางที่ 3 และ 5 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ทำให้ปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของถ่านกัมมันต์ลดลง หรือโมเลกุลของโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ที่อยู่ในสารละลายไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมบริเวณที่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุทั้งหมด (exchangeable site) ของตัวดูดซับจึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของถ่านกัมมันต์



ภาพที่ 5 ร้อยละการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่ปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน

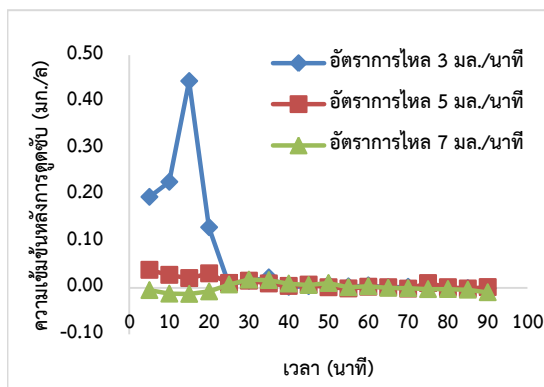


ภาพที่ 6 ปริมาณการดูดซับโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีที่ปริมาณถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน

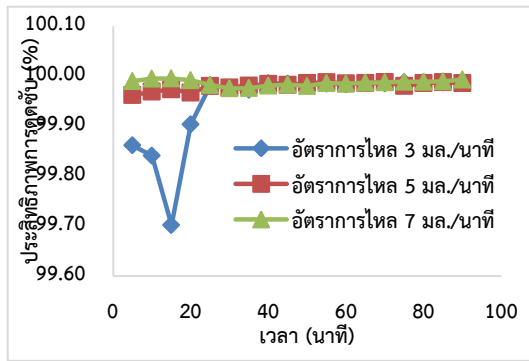
การทดลองที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยการทดลองแบบต่อเนื่อง (continuous experiment)

1. ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ในน้ำเสียสังเคราะห์

พบว่าที่อัตราการไหล 7 มิลลิลิตรต่อนาที ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซาวาเลนต์ได้สูงสุดจากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 47.30 ± 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการดูดซับความเข้มข้นลดลงเหลือเฉลี่ยเท่ากับ -0.01 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 7 มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.99 ± 0.00 ดังแสดงในภาพที่ 8



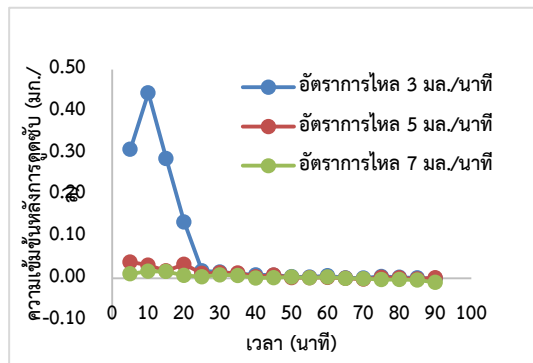
ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซาวาเลนต์หลังการดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน



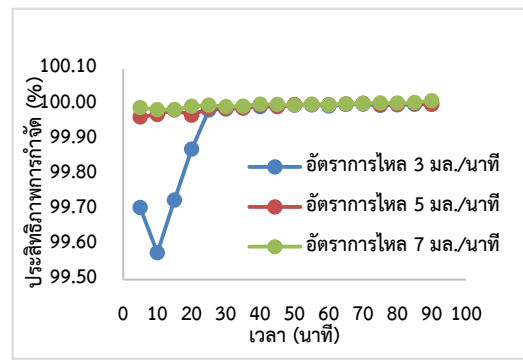
ภาพที่ 8 ความเข้มข้นของโครเมียมเฮกซวาเลนต์หลังการดูดซับในน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราการไหลแตกต่างกัน

2. ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี

พบว่าที่อัตราการไหล 7 มิลลิลิตรต่อนาที ถ่านกัมมันต์สามารถกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ได้สูงสุดจากความเข้มข้นเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ 31.52 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการดูดซับความเข้มข้นลดลงเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 0.01 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงดังในภาพที่ 9 มีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 99.99 ± 0.00 ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ความเข้มข้นหลังการดูดซับโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีที่อัตราการไหลแตกต่างกัน



ภาพที่ 10 ร้อยละการกำจัดโครเมียมเฮกซวาเลนต์ในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดีที่อัตราการไหลแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยจะทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักอื่นๆ ได้แก่ พรอทเงิน และเหล็กในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีไอดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีทางทะเลมหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี ที่สนับสนุนทุนในการวิจัยและการดำเนินการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ (2547). คู่มือการจัดการของเสียของห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [2] ปัญญา มณีจักร์. (2556). การพัฒนาถ่านกัมมันต์จากลูกทุกวางเพื่อดูดซับโครเมียม (VI) ไอออนจากน้ำเสียในการวิเคราะห์ค่า COD. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิตประจำปี 2556 (หน้า 119-129). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.
- [3] จีระฉัตร ศรีแสน. (2560). ผลกระทบของโครเมียมและสารประกอบโครเมียมต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 60(189), 10-12.

- [4] ศุภมาศ ต่วนวิทยากุล และอารี ธนบุญสมบัติ. (2556).
คุณรู้จัก “เฮกซะวาเลนต์โครเมียม” สารอันตรายใกล้
ตัวแล้วหรือยัง?. ปทุมธานี: ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุ
แห่งชาติ (เอ็มเทค).
- [5] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2545). *ตำราระบบบำบัด
มลพิษน้ำ*. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
แห่งประเทศไทย.
- [6] Mohan, D. and Pittman Jr., C.U. (2006)
Activated Carbons and Low Cost Adsorbents
for Remediation of Tri- and Hexavalent
Chromium from Water. *Hazardous Materials*,
137, 762-811.
- [7] Almeida, C.A.P., Debacher, N.A., Downs, A.J.,
Cottet, L. and Mello, C.A.D. (2009). Removal of
methylene blue from colored effluents by
adsorption on montmorillonite clay, *Journal of
Colloid interface Science*, 332, 46-53.
- [8] รวีนิภา ศรีมูล. (2559). การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียด้วย
กระบวนการดูดซับ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 44(3),
419-434.

การติดตามการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณปกคลุมบริเวณหนองหารจังหวัดสกลนคร ด้วยการสำรวจระยะไกล

Vegetation Monitoring of Nong Han SakonNakhon using Remote Sensing

ประวิทย์ สุวรรณรงค์ และทรงพล ประโยชน์มี

Prawit Suwannarong and Songphon Prayochmee

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

prawit@snru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณที่ปกคลุมบริเวณหนองหารจังหวัดสกลนครด้วยดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (อีวีไอ) จากระบบดาวเทียมเซนติเนล2และวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดการครอบครองพื้นที่เชิงช่วงเวลาผลการศึกษาพบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาของการวิจัยนี้มีพืชพรรณปกคลุมพื้นที่เฉลี่ย 26.88 ตร.กม. และเป็นพื้นที่ผิวน้ำเฉลี่ย 59.68 ตร.กม. นอกจากนี้พบว่าขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมากและความหนาแน่นสูงมีแนวโน้มลดลง ตรงข้ามกับขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นปานกลางและความหนาแน่นต่ำที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อีกทั้งพบว่าเหตุการณ์อุทกภัยมีผลต่อการครอบครองพื้นที่ของพืชพรรณในหนองหาร

คำสำคัญ : วัชพืช, การปกคลุมพื้นผิวน้ำ, แหล่งน้ำ, การสำรวจระยะไกล, อีวีไอ

Abstract

The objective of this research was to investigate the change tendency of the vegetation of Nong Han Lake, SakonNakhon Province using the Enhanced Vegetation Index (EVI) from the Sentinel-2 system and to analyze the vegetation temporal change of occupied area. The results indicated that the average area of vegetation cover of 26.88 sq. km and water surface cover of 59.68 sq. km. Moreover, the tendency of the extreme vegetation density of Nong Han Lake tended to decrease, in contrast with the moderate vegetation density that tended to increase. Furthermore, the flood event involves to vegetation cover of Nong Han Lake.

Keywords : Weed, Land cover, Water resources, Remote Sensing, EVI

1. บทนำ

หนองหารเป็นแหล่งน้ำสำคัญในกลุ่มน้ำโขงโดยเป็นทะเลสาบน้ำจืดใหญ่ที่สุดเป็นลำดับสองของประเทศไทยมีพื้นที่กว่า 77,000 ไร่ น้ำในทะเลสาบหนองหารส่วนใหญ่เป็นน้ำที่ได้รับจากลำน้ำพุงซึ่งรวบรวมน้ำจากลำน้ำพุงและจากเทือกเขาภูพานบางส่วนรวมกับน้ำจากพื้นที่รับน้ำโดยรอบทะเลสาบกว่า 776 ตารางกิโลเมตรหนองหารจึงเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการหล่อเลี้ยงเมืองสกลนครและยังเป็น

แหล่งรองรับน้ำหลากเพียงแห่งเดียวของเมืองสกลนครที่สำคัญต่อทั้งวิถีชีวิตและสภาพสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น

อย่างไรก็ตามปัจจุบันการใช้ประโยชน์ที่ดินในลุ่มน้ำหนองหารมีอย่างหลากหลายทั้งเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชเลี้ยงสัตว์อยู่อาศัยพาณิชยกรรมป่าเสื่อมโทรมและป่าอนุรักษ์มีการทิ้งของเสียและน้ำเสียจากกิจกรรมของชุมชนสู่หนองหารอย่างต่อเนื่องกระทบกับการก่อสร้างประตูลำน้ำส่งผลให้การระบายน้ำในลุ่มน้ำไม่เป็นไปตาม

ธรรมชาติและอาจก่อให้เกิดการสะสมธาตุอาหารพืช กระทั่งเกิดการเจริญเติบโตของพืชในหนองหารอย่างผิดปกติ และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศรวมทั้งการใช้ประโยชน์ของมนุษย์

การวิจัยนี้เห็นถึงความสำคัญของหนองหารซึ่งประสบปัญหาการเจริญเติบโตของพืชพรรณในหนองหารจึงทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณปกคลุมบริเวณหนองหารเพื่อประเมินขนาดพื้นที่การปกคลุมโดยพืชพรรณภายในหนองหารด้วยการสำรวจระยะไกลที่สามารถบ่งบอกการกระจายตัวของพืชพรรณในหนองหารได้ทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการติดตามการปกคลุมพื้นที่ผิวโลกและการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การศึกษาพลวัตของการปกคลุมพืชพรรณในแอฟริกา [1] การใช้วีไอในการศึกษาการปกคลุมที่ดินในบอร์เนียว [2] การศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ดินในแคชเมียร์ [3] ซึ่งคาดว่าผลจากการวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการจัดการน้ำในหนองหารหรือวางแผนในการกำจัดวัชพืชภายในหนองหาร

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

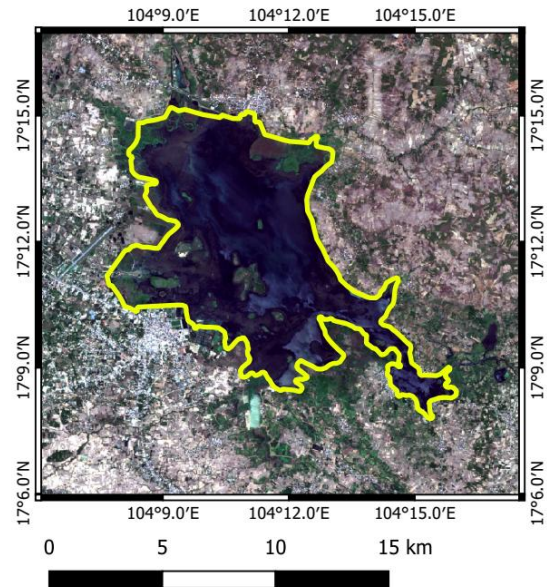
เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงพืชพรรณปกคลุมบริเวณหนองหารด้วยการสำรวจระยะไกล

3. วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพการปกคลุมพื้นผิวบริเวณทะเลสาบหนองหาร จังหวัดสกลนคร ซึ่งตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งละติจูด 17.20°N ลองจิจูด 104.18°E บนลุ่มน้ำโขงตะวันออกเฉียงเหนือ หนองหารมีความลึกเฉลี่ยประมาณ 2 เมตร สามารถกักเก็บน้ำได้ประมาณ 267 ล้าน ลบ.ม. ในช่วงฤดูน้ำหลากเป็นแหล่งรองรับน้ำจากลำน้ำสายน้อยใหญ่มากกว่า 20 สาย เช่น ลำน้ำพุงห้วยเตี้ยห้วยทราย ฯลฯ และมีประตูน้ำสุรัสวดีเป็นอาคารควบคุมระดับน้ำก่อนที่จะระบายน้ำลงสู่ลำน้ำท่าไหลผ่านจังหวัดนครพนมสู่แม่น้ำโขงต่อไป การศึกษานี้

ได้กำหนดพื้นที่ศึกษาเป็นแนวตั้งหรือทางสัญจรบริเวณทะเลสาบหนองหารในช่วงเวลารอต่อระหว่างฤดูน้ำหลากและฤดูแล้ง (ประมาณเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม) ด้วยภาพถ่ายดาวเทียม ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีขนาดพื้นที่ศึกษาในการวิจัยนี้รวม 86 ตร.กม.



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาหนองหาร จังหวัดสกลนคร

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้มีวิธีการศึกษา 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การเตรียมข้อมูลดาวเทียมขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ Sentinel-2 ทุกภาพที่ไม่มีเมฆปกคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อป้องกันการรบกวนจากสภาพอากาศตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเมษายน พ.ศ. 2564 ซึ่งรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียมได้ทั้งสิ้น 104 ภาพ

2) การตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตาขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลเชิงตัวเลขจากระบบดาวเทียม Sentinel-2 ที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 มาผสมสีเป็นภาพแสดงพื้นที่ศึกษาแบบสีจริงและสีเท็จแบบอินฟราเรดเพื่อตีความสภาพการปกคลุมพื้นผิวด้วยสายตา

3) การประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเชิงตัวเลขขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลเชิงตัวเลขจากระบบดาวเทียม Sentinel-2 ที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 มาประมวลผลเชิง

ตัวเลขด้วยดัชนีเน้นภาพพืชพรรณ (Enhanced Vegetation Index: EVI) ดังสมการ (1) [4] เพื่อบ่งบอกลักษณะการปกคลุมพื้นผิวของพืชพรรณตามความหนาแน่น 5 ระดับดังตารางที่ 1

$$EVI = 2.5[(NIR-Red)/(NIR+6Red-7.5Blue+1)] \quad (1)$$

เมื่อ NIR คือ ค่าการสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นใกล้อินฟราเรด
Red คือ ค่าการสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีแดง
Blue คือ ค่าการสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

ตารางที่ 1 การตีความการปกคลุมพื้นผิวด้วย EVI

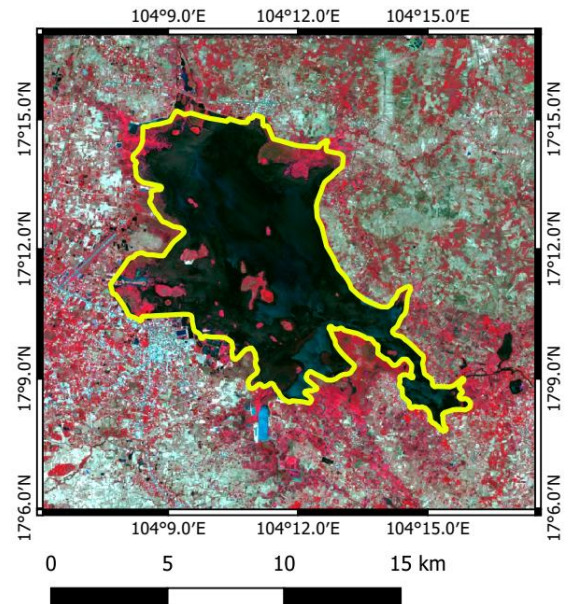
ค่า EVI	การตีความ
> 0.61	ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมาก
0.41-0.60	ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูง
0.21-0.40	ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นปานกลาง
0.01-0.20	ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นต่ำ
< 0.00	ผิวน้ำ

4) การวิเคราะห์ผลภาพถ่ายดาวเทียมขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่การปกคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งเชิงพื้นที่และเชิงช่วงเวลา

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 การตีความภาพถ่ายดาวเทียมด้วยสายตา

จากการผสมสีภาพถ่ายดาวเทียมแบบสีจริงและสีเท็จแบบอินฟราเรด ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษามีการปกคลุมของพืชพรรณบริเวณริมตลิ่งทางด้านตะวันตกเฉียงใต้และทางด้านทิศเหนือ ซึ่งทั้งสองบริเวณเป็นเขตพื้นที่ชุมชนที่อยู่อาศัยหนาแน่น 2 ชุมชน ได้แก่ เทศบาลนครสกลนครบริเวณทิศตะวันตกเฉียงใต้ และเทศบาลตำบลท่าแร่บริเวณทิศเหนือ ซึ่งคาดว่าบริเวณดังกล่าวอาจมีการทิ้งของเสียและน้ำเสียที่จากชุมชนลงสู่หนองหารก่อให้เกิดการสะสมของธาตุอาหารพืชในบริเวณดังกล่าว กรอบกับเป็นบริเวณน้ำตื้นจึงก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชพรรณได้ดี นอกจากนี้ยังพบการสะสมตัวของพืชพรรณบางส่วนบริเวณปากน้ำพุทางทิศใต้ของหนองหาร ซึ่งอาจเป็นผลจากการสะสมตัวของตะกอนปากน้ำร่วมกับธาตุอาหารพืชที่หลงเหลือจากเกษตรกรรม

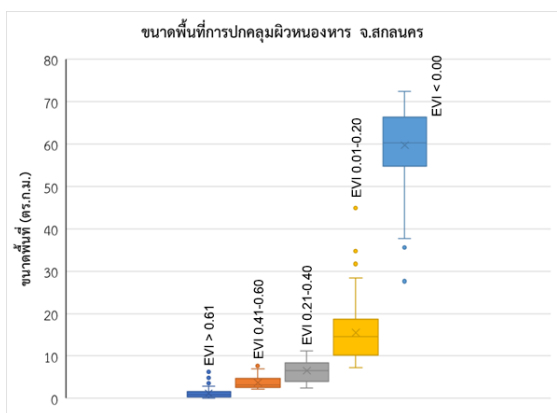


ภาพที่ 2 ตัวอย่างการผสมสีเท็จแบบอินฟราเรด

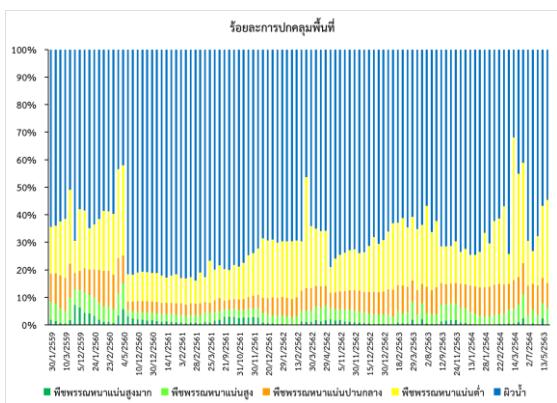
4.2 การเปลี่ยนแปลงพืชพรรณปกคลุมบริเวณหนองหารเชิงพื้นที่และเวลา

จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเชิงตัวเลขด้วยดัชนีเน้นภาพพืชพรรณตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเมษายนพ.ศ. 2564 พบว่า หนองหารมีขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมาก เฉลี่ย 1.15 ตร.กม. สูงสุด 6.21 ตร.กม. และต่ำสุด 0 ตร.กม. มีขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูง เฉลี่ย 3.70 ตร.กม. สูงสุด 8.08 ตร.กม. และต่ำสุด 2.21 ตร.กม. มีขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นปานกลาง เฉลี่ย 6.53 ตร.กม. สูงสุด 11.23 ตร.กม. และต่ำสุด 2.44 ตร.กม. มีขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นต่ำ เฉลี่ย 15.50 ตร.กม. สูงสุด 44.92 ตร.กม. และต่ำสุด 7.21 ตร.กม. และพื้นที่ปกคลุมด้วยผิวน้ำเฉลี่ย 59.68 ตร.กม. สูงสุด 72.39 ตร.กม. และต่ำสุด 27.62 ตร.กม. ดังภาพที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดการปกคลุมพื้นที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ดังภาพที่ 4 ทั้งนี้การที่พบขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมาก (EVI>0.61) ในช่วงปลายฤดูฝน อาจเป็นเพราะพื้นที่ในกลุ่มนี้เป็นพืชพรรณจำพวกไม้ยืนต้นตามเกาะและดอนภายในหนองหาร เมื่อรับน้ำฝนอย่างเต็มที่ในช่วงฤดูฝน

จึงเจริญพันธุ์อุดมสมบูรณ์และครอบครองพื้นที่มากในช่วงปลายฤดูฝน ตรงข้ามกับบริเวณปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นต่ำ (EVI ระหว่าง 0.01-0.60) ที่พบว่ามักจะมีขนาดการครอบครองพื้นที่มากในช่วงฤดูแล้ง แต่ลดลงในช่วงฤดูน้ำหลาก จึงคาดว่าพืชพรรณที่ปกคลุมหนองหารในช่วง EVI ระหว่าง 0.01-0.60 อาจเป็นพืชจำพวกพืชลอยน้ำหรือพืชในน้ำ เช่น ผักตบชวา จอก บัวสาย สาหร่ายหางกระรอก สาหร่ายไฟ ฯลฯ



ภาพที่ 3 การกระจายตัวของขนาดพื้นที่ตาม EVI

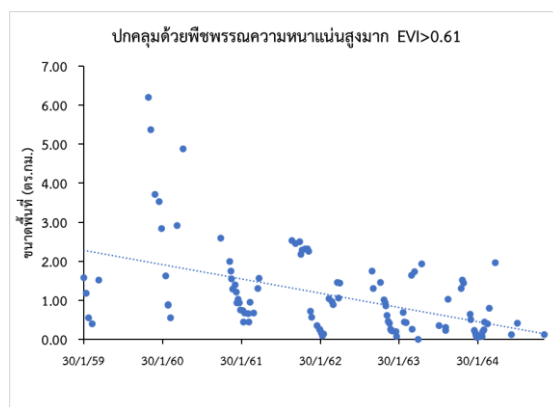


ภาพที่ 4 ร้อยละการปกคลุมพื้นผิวดินตามช่วงเวลา

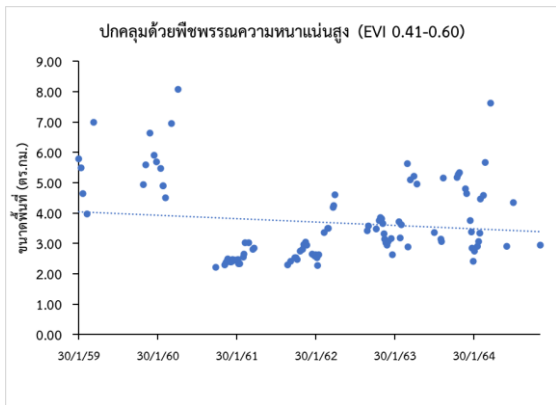
4.3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ที่พืชพรรณปกคลุมหนองหาร

จากการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียมเชิงตัวเลขด้วยดัชนีเน้นภาพพืชพรรณตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 ถึงเมษายน พ.ศ. 2564 พบว่า ขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมากมีแนวโน้มลดลง ดังภาพที่ 5 ซึ่งอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณจำนวนไม่ยั้งต้นตามเกาะหรือดอนในหนองหารได้รับผลกระทบให้ความอุดมสมบูรณ์ต่ำลง

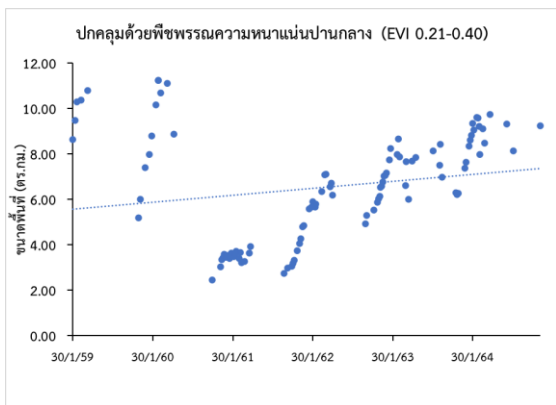
นอกจากนี้พบว่าขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ตรงข้ามกับขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นปานกลางและความหนาแน่นต่ำที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 6-8 โดยหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในช่วงหลังเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 จะพบว่าขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงและปานกลางมีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างก้าวกระโดด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากจังหวัดสกลนครเกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ในช่วงเวลาดังกล่าว จึงส่งผลให้พืชพรรณจำพวกพืชลอยน้ำและพืชในน้ำถูกพัดพาออกจากหนองหารจำนวนมากส่งผลให้การครอบครองพื้นที่ของพืชพรรณกลุ่มนี้ลดลงมากในช่วงปีแรกหลังการเกิดอุทกภัยแต่มีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นในช่วง 3 ปีให้หลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชพรรณในกลุ่มความหนาแน่นปานกลางจำพวกพืชสาหร่ายในน้ำ



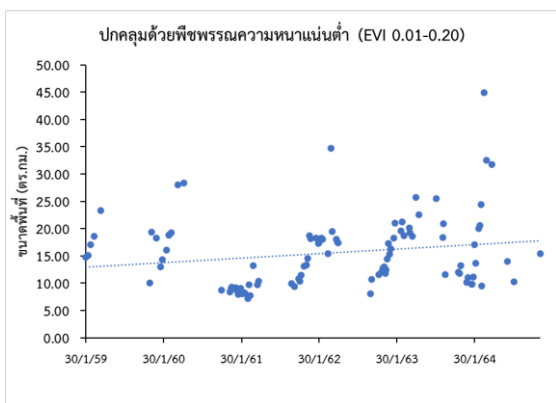
ภาพที่ 5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูงมาก



ภาพที่ 6 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นสูง



ภาพที่ 7 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นปานกลาง



ภาพที่ 8 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณความหนาแน่นต่ำ

5. สรุปผลการศึกษา

หนองหารในบริเวณพื้นที่ศึกษาของการวิจัยนี้มีพืชพรรณปกคลุมพื้นที่เฉลี่ย 26.88 ตร.กม. เป็นพื้นที่ที่ผิวน้ำเฉลี่ย 59.68 ตร.กม. มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของการครอบครองพื้นที่ของพืชพรรณความหนาแน่นปานกลางเพิ่มตัวสูงขึ้นหลังเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่เมื่อปี พ.ศ. 2560 และพบว่าการกระจายตัวของพืชพรรณหนาแน่นสูงมากและความหนาแน่นสูงส่วนใหญ่พบมากบริเวณชายตลิ่งติดชุมชน ซึ่งสามารถนำผลการศึกษานี้ไปใช้ในการบริหารจัดการการขุดลอกหรือกำจัดวัชพืชในพื้นที่หนองหารได้

ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางอุทก-อุตุนิยมวิทยาและคุณภาพน้ำที่อาจมีผลต่อการครอบครองพื้นที่ของพืชพรรณและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่การปกคลุมผิวของหนองหาร

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Harris, A., Carr, A. S. & Dash, J. (2014). Remote sensing of vegetation cover dynamics and resilience across southern Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, 131-39.
- [2] Vijith, H. & Dodge-Wan, D. (2020). Applicability of MODIS land cover and Enhanced Vegetation Index (EVI) for the assessment of spatial and temporal changes in strength of vegetation in tropical rainforest region of Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100311.

- [3] Rasool, Fayaz ,Shafiq, Singh&Ahmed. (2021). Land use land cover change in Kashmir Himalaya: Linking remote sensing with an indicator based DPSIR approach. *Ecological Indicators*, 125, 107447.
- [4] Matsushita B., Yang W., Chen J., Onda Y. & Qiu G. (2007). Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors*, 7(11), 2636-2651.

Study of lipid extraction from *Hevea* latex centrifugation fractions

Saowalak Jantarasunthorn¹, Siriluck Liengprayoon² Sumallika Morakul³ Larent Vaysse⁴

¹Department of Biotechnology, Faculty of Agroindustry Kasetsart Univeristy Bangkok 10900, Thailand;
Saowalak.Jantarasunthorn@gmail.com

²Kasetsart Agricultural and Agroindustrial Product Improvement Institute (KAPI), Kasetsart University; Bangkok 10900,
Thailand; siriluck.l@ku.th

³Department of Biotechnology, Faculty of Agroindustry Kasetsart Univeristy Bangkok 10900, Thailand; fagiskm@ku.ac.th

⁴CIRAD UR114 BioWooEB TA B-114/16 73 rue Jean-François Breton 34398 Montpellier Cedex 05 France;
laurent.vaysse@cirad.fr

Abstract

Lipids is one of the major non-isoprene components detected in *Hevea* latex and derived natural rubber. The lipid characterization has been intensively done but mostly in whole latex and NR. This study aimed at analysing lipid location, lipid content and classifying lipids of the four *Hevea* latex fractions (cream, skim, serum and lutoid) from fresh latex in order to understand better their roles on NR quality. Nevertheless, to our knowledge the method to extract lipids dedicated to each latex fraction was not systematically developed. This study aimed at selecting the suitable lipid extraction condition to be applied with latex centrifugation fraction that consisted of cream, skim, serum and lutoid. The results showed that the previously developed lipid extraction method for fresh latex could not be applied to every latex centrifugation fractions as incomplete coagulation of latex fraction during lipid extraction was observed and could resulted in an overestimation of lipid content. The optimal condition was found to be using the freeze dried latex fractions instead of fresh fractions and applied the method of lipid extraction previously developed for dry rubber. The detail of method development was discussed.

Keywords : lipids, latex fraction, extraction

I. INTRODUCTION

Lipids have been reported to be the major non-isoprene component in both latex and dry rubber. The composition of lipids in different forms of sample has been characterized in order to answer specific questions. Several authors have reported that the lipids are related to the properties of natural rubber including stabilized latex, concentrated latex and film [1]. For instance, hydrolyzed free fatty acid absorbed

around rubber particle was reported to increase mechanical stability of latex. In addition, total lipid, neutral lipids and total fatty acids were reported to negatively correlate with initial plasticity (P0) and Mooney viscosity (ML) [2]. Plasticity retention index (PRI) was found to be affected by free fatty acids in negative way as an increase of fatty acids could lead to the auto-oxidation of rubber and resulted in lower PRI.

Until now, information of lipid content of latex and dry rubber from various genotypes has been published and its roles on structure and properties have been studied. Nevertheless, the location of those lipids in the latex is less known. The knowledge of their initial location could help to understand their involvement in the structuring of natural rubber during the manufacturing of rubber from latex.

In order to identify the locations of lipids, latex would be separated into cream, skim, serum and lutoids through centrifugation. After separation, lipids in each fraction could be extracted and characterized. Firstly, the detail of latex centrifugation condition previously described by the team was applied in order to obtain the intact latex fractions [3]. Since lipid extraction of centrifugation fractions obtained from fresh latex has not been studied yet, therefore the method previously developed for fresh latex lipid extraction was applied i.e Liquid-Liquid extraction. Nevertheless, due to the different physical characteristic of each latex fraction, several technical issues were faced for instance incomplete coagulation or rubber fractions in the extracting solvent. In this study, we aimed at selecting the suitable lipid extraction condition to be applied with latex centrifugation fraction in order to provide the correct qualitative and quantitative references for lipids in each fraction.

II. SAMPLE PREPARATION

A. Latex collection

Fresh latex was collected from *Hevea brasiliensis* tree RRIM600 clone from a plantation

of Union Rubber Co., Ltd. (Chanthaburi, Thailand). The selected and clonal certified trees were tapped in the early morning. Latex was let drop down into a collecting cup which placed on ice bath and was collected one hour afterward. During the collection, the bottles of latex must be placed inside an ice box. The latex was filtered through a stainless steel sieve (2 mm pore size).

B. Latex centrifugation fraction

A 30 mL of latex was centrifuged (Beckman Coulter, Allegra 64R centrifuge) in order to separate latex into four main fractions (Cream, Skim, Serum, and Lutoid). Initially, fresh latex was centrifuged at 16,000 g for 45 minutes at 4°C (in TA-tube, C1 step). After centrifugation, skim and serum was firstly sucked using a syringe to another tube (TB-tube) while cream fraction was collected with spatula and kept in 50 mL Falcon tube. Lutoid fraction remained at the bottom of the TA tube was mixed with 15 mL of 50 mM Tris HCl pH 7.0 - 0.23 mM mannitol buffer and centrifuged at 16,000 g for 30 minutes at 4°C (C3 step) in order to remove contaminated cream. The skim and serum containing TB-tube was centrifuged at 45,000 g for 45 minutes at 4°C (C2 step). Serum fraction was sucked and transferred to TC-tube and while skim fraction was let in TB-tuber. Serum was further centrifuged at 57,000 g for 45 minutes at 4°C to remove contaminated skim (C4). After separation, the four fractions were freeze dried for further analysis.

C. Freeze drying of latex fraction

After the latex fractions were obtained, each fraction (except serum) was diluted with distilled water including whole latex before

freeze-drying with the following proportions: cream or skim: distilled water 1:4 and lutoid or whole latex: distilled water 1:1 w/v. Then each sample was transferred into the petri dishes (150 mm diameter x 15 mm height) in order to pre-cool in the freezer at - 20°C for 24 hours and put into freeze dryer (Cryotec 10X) at - 80°C and vacuum pressure at 400 Torr for 24 hours.

D. Lipid extraction

The extraction of lipids was performed with the four centrifugation fractions using the following methods. The quantitative and qualitative information of lipids obtained from different methods were compared.

1) *Liquid-Liquid lipid extraction from fresh latex fraction (L-L extraction)*. Three latex fresh fractions (cream, skim, and lutoid) were diluted with distilled water 20% w/v while serum was not diluted. 5 mL of the diluted latex fresh fractions were added dropwise into continuously stirred 25 mL of chloroform:methanol mixture (2:1, v/v) within 4 min [2]. The coagulum was then removed and the extract was filtered through Whatman No.1 filter paper (Whatman, England). The filtrate was washed with 1/5 of its volume by a 9 g/L NaCl solution as described by Folch et al [4]. After a clear separation between aqueous and organic phases was obtained, the lipid containing organic phase (bottom layer) was collected and evaporated. The obtained dry lipid extract was weighed. The extraction yield was expressed versus dry rubber weight. Three repetitions were performed for each sample.

2) *Lipid extraction from freeze dried fraction (S-L extraction)*. Freeze dried fractions

was extracted according to the method previously developed for dry rubber [2]. Depending on the obtained quantities, a 2.8 grams freeze dried sample of whole latex and cream fraction or less than 1.0 gram freeze-dried sample from lutoid and skim were cut into small pieces then stored at -20°C overnight before grinding using a ball mill blender under liquid nitrogen with 2 mm amplitude for 4 minutes. After grinding, the ground fraction was transferred into a bottle containing 50 mL of chloroform:methanol (2:1; v/v). After agitation at 250 rpm on a rotary agitator for 6 hours at room temperature, the extracted fraction was removed by filtration and the total extract was concentrated using a rotary evaporator. Total extract was redissolved with 4 mL of chloroform:methanol (2:1; v/v) and water-soluble components were removed with 1 mL of 9 g/L NaCl solution. After the mixture clearly separated in two phases, the lipid containing at bottom layer was taken and evaporated to obtain the lipid extract.

3) *Liquid-Liquid lipid extraction with acidified condition (A-L extraction)*. 20 mL of diluted fresh latex was added dropwise into continuously stirred 100 mL of chloroform:methanol mixture (2:1, v/v) within 4 min. The coagulum was removed, then the pH of the filtrate was adjusted to 2 by 6N HCl before applying Folch's procedure, after that it was continued as Liquid-Liquid extraction.

E. Total lipid characterization

1) *Global profile analysis using thin layer chromatography (TLC)*. Total lipid extract was diluted to 10 mg/mL in chloroform. A volume

of 5 μ l of a diluted lipid extract from each sample was applied on silica gel 60G TLC plates. The plate was developed in a chromatography tank contained about 100 mL of suitable solvents before being visualized by general or specific detection reagents. The conditions of TLC analyses listed below were used. The mobile phase of neutral lipids was a mixture of n-hexane:diethyl ether:acetic acid (80:20:1; v/v/v). The TLC plate was sprayed with a mixture of 40% orthophosphoric acid and aqueous solution saturated with copper acetate (1:1; v/v). After that it was put in the oven at 180°C for 10 minutes. The lipids spots appeared brownish on a white background.

2) *Total fatty acid composition analysis using gas chromatography (GC-FID)*. Total fatty acids (TFA) obtained from saponification reaction was performed by converting them to their more volatile derivatives namely fatty acid methyl esters (FAME). A volume of 5 mL of 2% of concentrated H₂SO₄ in methanol was added into the obtained fatty acid extract and the mixture was refluxed at 80 °C for 1.5 hours. After cooling, 0.5 mL of water was added and the methyl esters were extracted with 3 x 5 mL of n-hexane. The methyl ester extract was evaporated to dryness with an evaporator, weighed and redissolved in n-hexane in order to obtain a 1 mg/mL solution ready to be injected in GC-FID. A Shimadzu GC17A gas chromatograph (Shimadzu Co., Kyoto, Japan) equipped with a fused silica capillary column BPX70 (30 m, i.d. 0.25 mm, film thickness 0.25 mm, SGE, Victoria, Australia) and a Shimadzu AOC20i automatic injector (injected volume 1 μ l).

The initial linear velocity of helium in a column was 34 cm/s. The temperature of the split injector (split ratio 1:15) and of the flame ionization detector were 250 °C and 280 °C, respectively. Oven temperature was 160 °C for 0.5 min, increased to 200 °C at 10°C/min then kept constant for 4 min. Data acquisition was performed using the GC solution v 2.10 software (Shimadzu Co., Kyoto, Japan).

III. RESULT AND DISCUSSION

A. Lipid content

1) *Lipid content obtained fresh latex fraction (L-L extraction)*: Fresh latex and four fractions were extracted for lipids. The lipid content was expressed against dry matter weight. Lipids content of fresh latex were 2.69% w/w dry rubber. This result was in agreement with the work reported by Wadeesirisak et al. [5] working on the same sample. Nevertheless, for rubber fraction extracted with the same method, it was found that cream, skim, and serum fractions could not be completely separated from extracting solvent (chloroform: methanol, 2:1) by filtration as it is always done with fresh latex. Moreover, the fractions passed through the filter paper in the step of coagulum removing. This contamination would lead to overestimation of the lipid content. Thus, the method already developed for lipid extraction from dry rubber was applied.

2) *Lipid content from freeze dried fraction (S-L extraction)*: As the L-L extraction method was not applicable due to incomplete separation of fractions during filtration, the

method of lipid extraction from dry rubber was tested. Under the framework of the project, it was indeed planned to subject fresh latex centrifugation fractions to freeze drying in order to preserve other biochemical components for further analysis including sugar and minerals. Therefore, it was decided to test the extraction method of dry rubber (Solid-Liquid extraction or S-L) with the freeze dried samples. In this test, the extraction would be done with only the freeze dried whole latex and compared lipid content and profile with the original fresh latex extracted with L-L method. The samples used in this trial were from RRIM600 clone. After extraction, it was found that the lipid content of freeze dried latex extracted with S-L method (2.35%) was significantly lower than that of fresh latex extracted with L-L method (3.03%) as shown in Table 1.

Table 1. The lipid content (% w/w dry rubber) from fresh latex extracted with L-L method and freeze dried latex extracted with S-L method

Samples	Lipid content* (%w/w dry rubber)
Fresh latex (L-L)	3.03a ± 0.27
Freeze dried latex (S-L)	2.35b ± 0.03

*Data averaged from 3 replications ± Standard error

B. The global lipid composition

In terms of quality, the lipid profile from the TLC showed that free fatty acid (FFA) proportion from lipid obtained from S-L extraction was more important than that of L-L method while other components were similar (Figure 1).

From this result, it led to the questions whether (1) the free fatty acids in fresh latex was not completely extracted due to the L-L extraction condition or (2) freeze drying was associated with lipid hydrolysis and release of free fatty acids. As the pH around 7 of fresh latex extraction condition is higher than the pKa of most fatty acids (approximately 4.8), the structure of the free fatty acid are mainly changed into the form of soap (R-COO⁻) so they are soluble in water. Thus in L-L method free fatty acids could be discarded in the step of water soluble compound removal. To answer these questions, L-L extraction under acidified condition was tested.

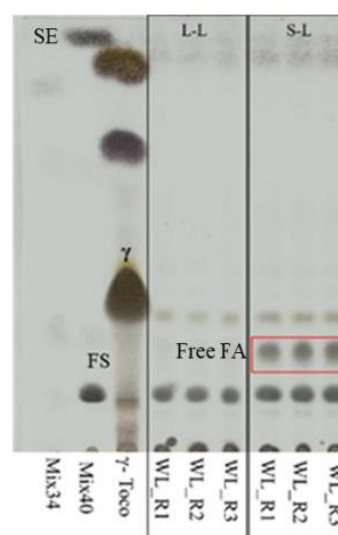


Fig. 1. Profile of lipid extract of whole latex (WL) from Solid-Liquid (S-L) and Liquid-Liquid (L-L) extraction methods. Mix 34 composed of free sterol (FS) and sterol ester (SE). γ ; γ -tocotrienol, free FA; free fatty acid.

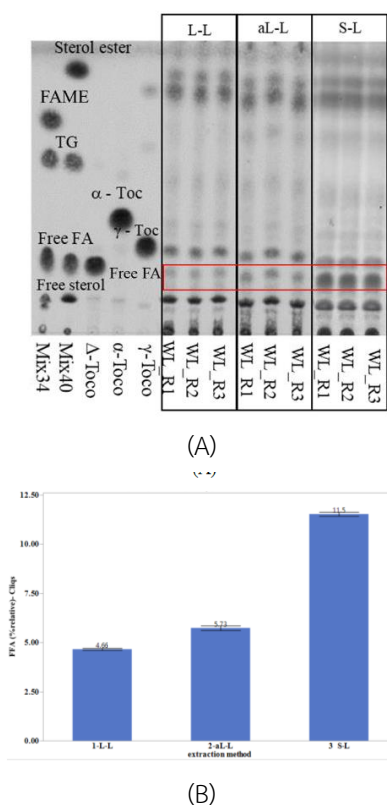


Fig. 2. TLC of total lipids of whole latex (WL) from Liquid-Liquid (L-L), Liquid-Liquid with adjusted pH to 2 (aL-L) and Solid-Liquid (S-L) extraction (A) and free fatty acid content determined from image analysis (% w/w lipids) (B). Mix34 composed of free sterol (FS), free fatty acid (freeFA or FFA), triglycerol (TG), fatty acid methyl ester (FAME). Mix40 composed of free sterol, free fatty acid (freeFA), triglycerol (TG), and sterol ester (SE). α -tocotrienol, γ -tocotrienol.

Effect of extraction condition

To verify the possible non-extracted FFA, one lipid extraction was performed normally with RRIM600 fresh latex and another with acidification that will allow the protonation of FFA (R-COOH) hence their insolubility in water. An image analysis was performed to assess the relative density of FFA spot in comparison with the total density of the neutral lipid extract analyzed by TLC (Fig 2(A)).

It was found that FFA was not fully extracted from fresh latex using L-L (4.66%) method as significant higher FFA (5.73%) was obtained when extracted under acidified condition (Fig 2(B)). However, FFA from S-L methods was the highest (11.5%). The result suggests that though existing, the incomplete extraction of free fatty acid due to high pH is not enough to explain the difference of FFA between L-L and S-L methods.

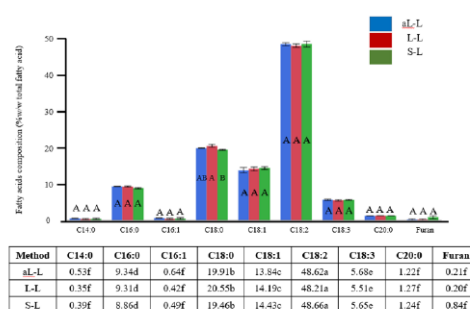


Fig. 3. Comparison of fatty acids composition from Liquid-Liquid (L-L), Liquid-Liquid with adjusted pH to 2 (aL-L) and Solid-Liquid (S-L) extraction method. C14:0; myristic acid, C16:0; palmitic acid, C16:1; palmitoleic acid, C18:0; stearic acid, C18:1;oleic acid, C18:2; linoleic acid, C18:3; linolenic acid, C20:0; arachidic acid, Furan; triacylglycerol containing furan fatty acid

In addition to the reported difference of quantity of FFA between the extraction methods, a quality approach of TFA (Total Fatty Acid) was carried out by analyzing the total fatty acid (TFA) profile of the lipids by GC-FID. The comparison of relative fatty acid from each extraction method is shown in Figure 3. It was found that except stearic acid (C18:0) from S-L method that was significantly lower (19.5%) than L-L method

(20.5%), relative proportion of other fatty acids among tested methods was not significantly different. It can be concluded that though every extraction method affected significantly the extracted quantity of FFA, there was no significant impact on TFA profile of obtained lipid extract which suggest that the quantitative difference observed on FFA affect equally all FAs.

Effect of sample preparation condition (freeze drying)

As mentioned previously, freeze drying could induce lipid hydrolysis and release of free fatty acids. In fact, this phenomena was observed from other than freeze drying process (Figure 4). For instance, when latex was spread on a petri dish and was subjected to oven drying at 50°C, similar release of FFA was observed as seen from TLC in Figure 4(B). This rapid hydrolysis could be explained by the activity of phospholipases as they could increase sharply when the phospholipid concentration reach the critical micelle concentration (CMC). Generally, phospholipid molecules form aggregates or micelle with the polar heads towards the aqueous phase at its CMC. With the local increase of phospholipids concentration, it results in the increase of hydrolysis rate at the interfaces [6]. Upon latex drying, phospholipid on rubber particle membrane whose structure is also micelle became dense on the interfaces where the evaporation occur thus the hydrolysis also occurred rapidly. Moreover, the higher degree of hydrolysis in lipids obtained from oven dried sample than that of freeze dried sample was observed from a higher proportion of free fatty

acid (Figure 4). This could be linked to a less optimal temperature (too cold) condition for enzyme activity.

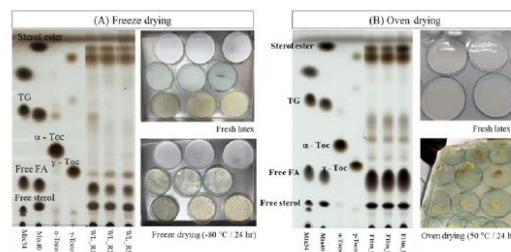


Fig. 4. TLC of lipids from whole latex (WL) sample obtained from freeze drying (A) and oven drying (B). Mix34 composed of free sterol (FS), free fatty acid (free FA or FFA), triglycerol (TG), fatty acid methyl ester (FAME). Mix40 composed of free sterol, free fatty acid (free FA), triglycerol (TG), and sterol ester (SE). α ; α -tocotrienol, γ ; γ -tocotrienol.

IV. CONCLUSION

From the results, it was seen that both extraction method and sample preparation affected the extraction rate of lipids. Fresh latex extracted with L-L methods provided significantly higher lipids content than that of freeze dried sample of the same latex extracted with S-L method. Freeze drying induced lipid hydrolysis illustrated by a higher FFA rate without significant impact on TFA composition. Nevertheless, the extraction of fresh rubber fractions (cream and skim) with L-L method could not be selected due to the difficulty of incomplete coagulation which consequently resulted in contamination of polyisoprene in lipid extract. Therefore, the freeze drying of latex centrifugation fractions and S-L extraction was chosen as the best compromise in

order to apply a single reliable method that can extract lipids from every sample.

ACKNOWLEDGMENT

This project was financially supported by French National Research Agency (ANR) (RUBBex-ANR 14-CE07-0026-02). The experimental work was also financially supported from CIRAD and Laboratory of Biochemistry and Technology of Natural Rubber (LBTNR). Visahakit Thai Rubber Co.,Ltd. Was also thanked for kindly providing samples.

REFERENCES

- [1] Yu H, Wang Q, Li J, Liu Y, He D, Gao X. (2017). Effect of Lipids on the Stability of Natural Rubber Latex and Tensile Properties of its Films. *Journal of Rubber Research*, 20(4):213-22.
- [2] Liengprayoon S. (2008). *Characterization of Lipid Composition of Sheet Rubber from Hevea Brasiliensis and Relations with Its Structure and Properties*: Kasetsart University.
- [3] Liengprayoon S, Vaysee L, Jantarasunthorn S, Wadeesirisak K, Chaiyut J, Srisomboon S, et al. (2017). Fractionation of hevea brasiliensis latex by centrifugation:(i) a comprehensive description of the biochemical composition of the 4 centrifugation fractions. *International Proceedings of IRC 2017*, 1(1):645-60.
- [4] Folch J, Lees M, Stanley GS. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Journal of biological chemistry*. 226(1), 497-509.

[5] Wadeesirisak K, Castano S, Berthelot K, Vaysse L, Bonfils F, Peruch F, et al. Rubber particle proteins REF1 and SRPP1 interact differently with native lipids extracted from Hevea brasiliensis latex. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*. 2017;1859(2):201-10.

[6] Gurr MI, J.L. Harwood and K.N. Frayn. . Metabolism of structural lipids. *Lipid biochemistry* Blackwell Publishing Company.; 2002. p. p. 267-314.

ความหลากหลายและความชุกชุมของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำถาวร
จังหวัดบุรีรัมย์

Species diversity and abundance of rotifers and cladocerans in
permanent waters in Buri Rum Province

จิรวรรณ หมั่นมี¹ และละออศรี เสนาะเมือง²

Jeerawan Muenmee¹ and La-orsri Sanoamuang²

¹ภาควิชาชีววิทยา สาขาวิชาชีววิทยาสำหรับครู คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; jeerawan_m@kkumail.com

²ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; la_orsri@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายและความชุกชุมของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำถาวร จังหวัดบุรีรัมย์ เก็บตัวอย่างเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยใช้ถุงลากลากแผลงก่ตอนขนาดตา 60 ไมโครเมตร จากแหล่งน้ำ 19 แหล่ง (76 ตัวอย่าง) ในช่วงฤดูหลังมรสุม (เดือนตุลาคม 2560) และช่วงฤดูก่อนมรสุม (เดือนเมษายน 2561) ผลการศึกษาพบ โรติเฟอร์ทั้งหมด 14 วงศ์ 21 สกุล 98 สปีชีส์ เป็นชนิดที่พบครั้งแรกในประเทศไทย 2 สปีชีส์ คือ *Lecane dorysimilis* และ *L. marchantaria* โรติเฟอร์ในฤดูหลังมรสุม (94 สปีชีส์) มากกว่าฤดูก่อนมรสุม (73 สปีชีส์) ในฤดูหลังมรสุม อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก เป็นแหล่งที่โรติเฟอร์มีความชุกชุมมากที่สุด เท่ากับ 50 ตัวต่อลิตร ความหลากหลายของ คลาโดเซอแรน พบทั้งหมด 7 วงศ์ 25 สกุล 28 สปีชีส์ คลาโดเซอแรนในฤดูหลังมรสุม (28 สปีชีส์) พบมากกว่าฤดูก่อน มรสุม (18 สปีชีส์) แหล่งที่คลาโดเซอแรนชุกชุมมากที่สุด คือ ห้วยพลับพลา ในฤดูหลังมรสุม มีความหนาแน่น เท่ากับ 22 ตัว ต่อลิตรความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมของน้ำกับโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน 5 สปีชีส์ ได้แก่ *Bosminopsis deitersi*, *Diaphanosoma excisum*, *Polyarthra vulgaris*, *Anuraeopsis fissa* และ *Scaridium longicaudum* แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

คำสำคัญ : โรติเฟอร์, คลาโดเซอแรน, ความหลากหลาย, ความชุกชุม

Abstract

Diversity and abundance of rotifer and cladoceran species in permanent waters were investigated in Buri Rum Province. Qualitative and quantitative samples were collected using a 60 μ m mesh net from 19 localities (76 samples) in post-monsoon (October 2017), and pre-monsoon (April 2018). A total of 14 families, 12 genera, and 98 species of rotifers were identified. Additionally, two new species were recorded for the first time in Thailand, *Lecane dorysimilis* and *L. marchantaria*. Species diversity was higher in the post-monsoon (94 species) than the pre-monsoon (73 species) samplings. The most abundant locality Huai Jorakae Mak Reservoir (50 individual L^{-1}) in post-monsoon. A total of 28 species of cladocerans belonging to 25 genera and 7 families were recorded. Cladocerans were more diverse in the post-monsoon (28 species) than the pre-monsoon (18 species). The most abundant locality was Huai Phlapphla (22 individual L^{-1}) in post-monsoon. The

environmental factors related to rotifers and cladocerans showed that *Bosminopsis deitersi*, *Diaphanosoma excisum*, *Polyarthra vulgaris*, *Anuraeopsis fissa* and *Scardium longicaudum* were positively correlated with pH, but negatively correlated with electrical conductivity, and total dissolved solids.

Keywords : Rotifer, Cladoceran, Species diversity, Abundance

1. บทนำ

แพลงก์ตอนสัตว์ (zooplankton) เป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมาก อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำต่าง ๆ มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ เป็นผู้บริโภคน้ำ (primary consumer) เป็นอาหารของตัวอ่อนสัตว์น้ำ ทั้งกุ้ง หอย ปู ปลา หรือสัตว์น้ำอื่น ๆ จะเห็นได้ว่าแพลงก์ตอนสัตว์เป็นตัวกลางระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคอันดับสูงกว่าในการถ่ายทอดพลังงาน หากขาดแพลงก์ตอนสัตว์จะทำให้ระบบนิเวศแหล่งน้ำเสียสมดุลได้ ชนิดและปริมาณของแพลงก์ตอนสัตว์บางชนิดเป็นดัชนีชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ คุณภาพแหล่งน้ำ มีผลต่อการเพิ่มหรือลดจำนวนประชากรสัตว์น้ำแพลงก์ตอนสัตว์ในกลุ่มโรติเฟอร์ (rotifers) และคลาโดเซอแรน (cladocerans) เป็นกลุ่มที่มีการศึกษาความหลากหลายชนิด ความชุกชุม และการแพร่กระจายค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญในแหล่งน้ำ [2] และสามารถนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น ใช้เป็นตัวบ่งชี้แหล่งการทำประมง ใช้เพาะเลี้ยงเพื่อเป็นอาหารอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำ และใช้ทดลองด้านพิษวิทยา [3]

จังหวัดบุรีรัมย์ ตั้งอยู่บริเวณตอนล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีขนาดพื้นที่ประมาณ 10,393.945 ตารางกิโลเมตร มีแหล่งน้ำมากมายจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ชลประทาน และน้ำใต้ดิน [4] ซึ่งมีความสำคัญต่อการกสิกรรม การอุปโภคบริโภค และแหล่งน้ำหลายแห่งในจังหวัดบุรีรัมย์ยังเป็นแหล่งชุมนุมของนกอพยพที่ใกล้สูญพันธุ์หลากหลายชนิด เช่น นกกระสาแดง นกกระสาขาว เป็ดหงส์ เป็ดดำหัวดำ เขียวดำ [5] จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ การขยายตัวด้านการท่องเที่ยวอย่างรวดเร็วทำให้น้ำเสีย ปนเปื้อน

สารเคมีและโลหะหนักในปริมาณมาก ส่งผลให้คุณภาพน้ำบริเวณลุ่มน้ำมูล ลำชี ลำปลายมาศ มีแนวโน้มเสื่อมโทรมลง [6] อาจส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชุมชนของสัตว์น้ำและแพลงก์ตอนสัตว์ ปัจจุบันยังไม่มีรายงานข้อมูลเกี่ยวกับแพลงก์ตอนสัตว์จากแหล่งน้ำถาวร ในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์กลุ่มโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการแหล่งน้ำในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิด และความชุกชุมของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำถาวร จำนวน 19 แห่งของจังหวัดบุรีรัมย์

2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการของน้ำในแหล่งน้ำถาวร จำนวน 19 แห่งของจังหวัดบุรีรัมย์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

แหล่งน้ำถาวร จำนวน 19 แห่ง ในจังหวัดบุรีรัมย์

การเก็บตัวอย่างโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน

เก็บตัวอย่างในช่วงหลังมรสุม (เดือนตุลาคม 2560) และช่วงก่อนมรสุม (เดือนเมษายน 2561) การเก็บตัวอย่างเชิงคุณภาพ โดยใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน ขนาดรูตาข่าย 60 ไมโครเมตร เก็บตัวอย่าง 5 ครั้งต่อจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณริมฝั่ง และเก็บตัวอย่างเชิงปริมาณ ใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 5 ลิตร เก็บจำนวน 4 ครั้ง ให้ได้ปริมาตร 20 ลิตร แล้วกรองผ่านถุงใช้ถุงกรองแพลงก์ตอน ขนาดรู

ตาข่าย 60 ไมโครเมตร และรักษาสภาพตัวอย่างด้วยฟอร์มาลินความเข้มข้นร้อยละ 4 ในขวดพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างขนาด 60 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างวิเคราะห์หาชื่อชนิดและจำนวนในห้องปฏิบัติการ

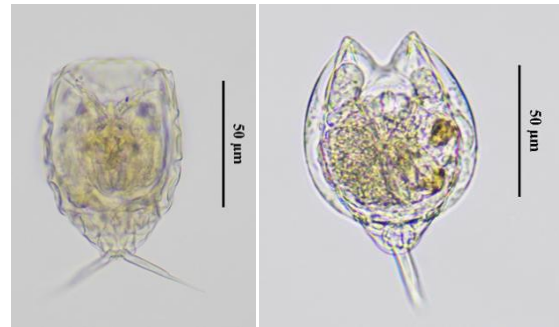
การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้สถิติพรรณนา วิเคราะห์ข้อมูลด้านโครงสร้างประชากรของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน ใช้ดัชนีความหลากหลายชนิด (Shannon-Wiener diversity index; H') และดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness Index; E') การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการ โดยใช้สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (Canonical correspondence analysis; CCA) จากโปรแกรม PC-ORD รุ่น 5

4. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

4.1 ความหลากหลายชนิดของโรติเฟอร์

จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของโรติเฟอร์ในแหล่งน้ำถาวร จังหวัดบุรีรัมย์ 19 แหล่ง พบโรติเฟอร์ทั้งสิ้น 14 วงศ์ 21 สกุล 98 สปีชีส์ (ตารางที่ 1) ในจำนวนนี้ 96 สปีชีส์ เป็นชนิดที่เคยพบในประเทศไทยแล้ว [7-9] คิดเป็นร้อยละ 23.82 ของชนิดที่พบในประเทศไทย แต่พบ 2 สปีชีส์ เป็นชนิดที่รายงานครั้งแรกในประเทศไทย คือ *Lecane dorysimilis* และ *L. marchantaria* โรติเฟอร์ชนิด *L. dorysimilis* พบครั้งแรกในประเทศเวียดนาม รูปร่างคล้ายกับ *L. doryssa* แต่ลอริกายาวกว่า ด้านข้างของขอบแผ่นด้านหน้า (ventral plate) มีรอยหยักชัดเจนที่ขอบของช่องเปิดด้านบน เหนือมีนิ้วเทียม [10] ปีต่อมา รายงานพบสปีชีส์นี้ที่ประเทศอินเดียเป็นครั้งแรก [11] และ *L. marchantaria* เป็นโรติเฟอร์ที่พบครั้งแรกที่ประเทศบราซิล รูปร่างคล้ายกับ *L. decipiens*,



ก.

ข.

ภาพที่ 1 ตัวอย่างโรติเฟอร์ที่พบครั้งแรกในประเทศไทย

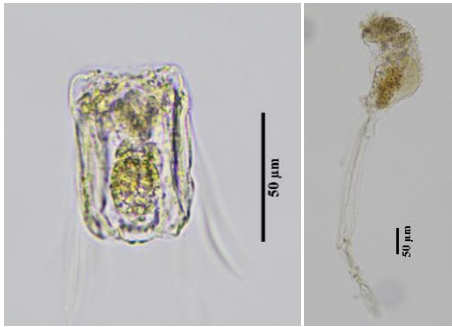
ก. *Lecane dorysimilis*

ข. *Lecane marchantaria*

L. arcuate และ *L. hamata* แต่แตกต่างกันที่ลอริกาขอบด้านบน (anterior margin) โดย *L. marchantaria* มีลอริกาเป็นรูปไข่ ที่ขอบบนแผ่นหน้า (anterior ventral margin) จะเว้าลึกกว่าขอบบนแผ่นหลัง (anterior dorsal margin) ช่องเปิดบนแผ่นด้านหน้า (ventral aperture) ไม่เป็นสันหนาม [12] ต่อมาพบที่ประเทศเปรู [13] และประเทศอินเดีย [14] ในการศึกษาครั้งนี้ สกุล *Lecane* พบ 41 สปีชีส์ เป็นสกุลที่พบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 41.84 รองลงมาคือ สกุล *Lepadella* พบ 11 สปีชีส์ และสกุล *Brachionus* พบ 10 สปีชีส์ คิดเป็นร้อยละ 11.22 และ 10.20 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความหลากหลายชนิดตามฤดูกาล พบว่า ในฤดูหลังมรสุม พบโรติเฟอร์มากกว่าฤดูก่อนมรสุม จำนวนที่พบ 94 สปีชีส์ และ 73 สปีชีส์ ตามลำดับเมื่อพิจารณาความหลากหลายชนิดในแต่ละแหล่งน้ำที่ศึกษา พบจำนวนชนิดโรติเฟอร์ อยู่ระหว่าง 25-57 สปีชีส์ โดยอ่างเก็บน้ำห้วยจระเข้มาก เป็นแหล่งที่พบโรติเฟอร์มากที่สุด คือ 57 สปีชีส์ คิดเป็นร้อยละ 58.16 ของชนิดโรติเฟอร์ที่พบทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ อ่างเก็บน้ำสนามบินเก่า พบ 56 สปีชีส์ (ร้อยละ 57.14) และห้วยใหญ่ พบ 51 สปีชีส์ จุดเก็บตัวอย่างทั้งสามแหล่งมีพีชน้ำหนาแน่นที่บริเวณริมฝั่ง และแหล่งที่พบโรติเฟอร์น้อยที่สุด คือ อ่างเก็บน้ำห้วยสวาย พบ 25 สปีชีส์ (ร้อยละ 25.51) ซึ่งจุดเก็บตัวอย่างดังกล่าวไม่มีพีชน้ำซึ่งมีความสำคัญต่อสัตว์น้ำและแพลงก์ตอนสัตว์

โดยเป็นที่อาศัย หลบภัย และแหล่งอาหาร จึงมีผลต่อ
ความหลากหลายชนิดของโรติเฟอร์ [15]



ก.

ข.

ภาพที่ 2 ตัวอย่างโรติเฟอร์ที่มีความชุกชุมมาก

ก. *Polyarthra vulgaris*

ข. *Sinantherina spinosa*

ตารางที่ 1 โรติเฟอร์ที่พบในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์

วงศ์ Brachionidae

- Anuraeopsis fissa* Gosse, 1851
- Brachionus angularis* Gosse, 1851
- Brachionus calyciflorus* Pallas, 1766
- Brachionus caudatus* Barrois & Daday, 1894
- Brachionus dichotomus* Shephard, 1911
- Brachionus donneri* Brehm, 1951
- Brachionus falcatus* Zacharias, 1898
- Brachionus forficula* Wierzejski, 1891
- Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783
- Brachionus rubens* Ehrenberg, 1838
- Brachionus urceolaris* Müller, 1773
- Keratella cochlearis* (Gosse, 1851)
- Keratella lenzi* Hauer, 1953
- Keratella tropica* (Apstein, 1907)
- Plationus patulus* (Müller, 1786)
- Platyias quadricornis* (Ehrenberg, 1832)

วงศ์ Lecanidae

- Lecane aculeata* (Jakubski, 1912)
- Lecane arcuata* Haring, 1914
- Lecane batillifer* (Murray, 1913)
- Lecane blachei* Bērziņš, 1973
- Lecane bulla* (Gosse, 1851)
- Lecane closterocerca* (Schmarda, 1859)

ตารางที่ 1 โรติเฟอร์ที่พบในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์ (ต่อ)

- Lecane crepida* Haring, 1914
 - Lecane curvicornis* (Murray, 1913)
 - Lecane dorysimilis* Trinh Dang, Segers & Sanoamuang, 2015*
 - Lecane elegans* Haring, 1914
 - Lecane flexilis* (Gosse, 1886)
 - Lecane furcata* (Murray, 1913)
 - Lecane haliclysta* Haring & Myers, 1926
 - Lecane hamata* (Stokes, 1896)
 - Lecane hastata* (Murray, 1913)
 - Lecane hornemanni* (Ehrenberg, 1834)
 - Lecane inopinata* Haring & Myers, 1926
 - Lecane lateralis* Sharma, 1978
 - Lecane leontina* (Turner, 1892)
 - Lecane ludwigii* (Eckstein, 1883)
 - Lecane luna* (Müller, 1776)
 - Lecane lunaris* (Ehrenberg, 1832)
 - Lecane marchantaria* Koste & Robertson, 1983*
 - Lecane monostyla* (Daday, 1897)
 - Lecane nitida* (Murray, 1913)
 - Lecane obtusa* (Murray, 1913)
 - Lecane papuana* (Murray, 1913)
 - Lecane punctata* (Murray, 1913)
 - Lecane pyriformis* (Daday, 1905)
 - Lecane quadridentata* (Ehrenberg, 1830)
 - Lecane rhenana* Hauer, 1929
 - Lecane rhytida* Haring & Myers, 1926
 - Lecane signifera* (Jennings, 1896)
 - Lecane stenroosi* (Meissner, 1908)
 - Lecane superaculeata* Sanoamuang & Segers, 1997
 - Lecane sympoda* Hauer, 1929
 - Lecane tenuiseta* Haring, 1914
 - Lecane thienemanni* (Hauer, 1938)
 - Lecane undulata* Hauer, 1938
 - Lecane unguitata* (Fadeev, 1926)
 - Lecane unguata* (Gosse, 1887)
- วงศ์ Lepadellidae**
- Colurella uncinata* (Müller, 1773)
 - Lepadella acuminata* (Ehrenberg, 1834)
 - Lepadella costatoides* Segers, 1992

ตารางที่ 1 โรติเฟอร์ที่พบในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์ (ต่อ)

Lepadella dactyliseta (Stenroos, 1898)
Lepadella discoidea Segers, 1993
Lepadella ehrenbergii (Perty, 1850)
Lepadella heterostyla (Murray, 1913)
Lepadella lindau Koste, 1981
Lepadella ovalis (Müller, 1786)
Lepadella patella (Müller, 1773)
Lepadella rhomboides (Gosse, 1886)
Lepadella vandenbrandei Gillard, 1952

วงศ์ Mytilinidae
Mytilina unguipes Lucks, 1934
Mytilina ventralis (Ehrenberg, 1830)

วงศ์ Notommatidae
Monommata longiseta (Müller, 1786)

วงศ์ Scaridiidae
Scaridium longicaudum (Müller 1786)

วงศ์ Synchaetidae
Polyarthra vulgaris Carlin, 1943

วงศ์ Testudinellidae
Pompholyx complanata Gosse, 1851
Testudinella ahlstromi Hauer, 1956
Testudinella patina (Hermann, 1783)
Testudinella tridentata Smirnov, 1931

วงศ์ Testudinellidae
Trichocerca bicristata (Gosse, 1887)
Trichocerca capucina (Wierzejski & Zacharias, 1893)
Trichocerca chattoni (de Beauchamp, 1907)
Trichocerca cylindrica (Imhof, 1891)
Trichocerca hollaerti De Smet 1990
Trichocerca longiseta (Gosse, 1851)
Trichocerca pusilla (Jennings, 1903)
Trichocerca scipio (Gosse, 1886)
Trichocerca similis (Wierzejski, 1893)

วงศ์ Trichotriidae
Macrochaetus collinsi (Gosse, 1867)
Macrochaetus longipes Myers, 1934
Macrochaetus sericus (Thorpe, 1893)
Trichotria tetractis (Ehrenberg, 1830)

วงศ์ Trochosphaeridae
Filinia camasecla Myers, 1938

ตารางที่ 1 โรติเฟอร์ที่พบในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์ (ต่อ)

Filinia longiseta (Ehrenberg, 1834)
Filinia opoliensis (Zacharias, 1898)

วงศ์ Euchlanidae
Dipleuchlanis propatula (Gosse, 1886)
Euchlanis dilatata Ehrenberg, 1832

วงศ์ Hexarthridae
Hexarthra intermedia (Wiszniewski, 1929)

วงศ์ Flosculariidae
Sinantherina spinosa (Thorpe, 1893)

หมายเหตุ เครื่องหมาย * หมายถึงโรติเฟอร์ที่พบในประเทศไทยครั้งแรก

4.2 ความหลากหลายชนิดของคลาโดเซอแรน

พบคลาโดเซอแรน 7 วงศ์ 25 สกุล 28 สปีชีส์ (ตารางที่ 2) คิดเป็นร้อยละ 22.58 ของชนิดที่พบในประเทศไทย [16-17] โดยสกุลที่พบมากที่สุดคือ *Chydorus*, *Coronatella* และ *Macrothrix* พบสกุลละ 2 สปีชีส์ คิดเป็นร้อยละ 7.14 ของชนิดที่พบทั้งหมดฤดูหลังมรสุม คลาโดเซอแรนมีความหลากหลายชนิดมากที่สุด 28 สปีชีส์ (คิดเป็นร้อยละ 100 ของคลาโดเซอแรนที่พบทั้งหมด) และฤดูก่อนมรสุมพบ 18 สปีชีส์ (คิดเป็นร้อยละ 64.29) เนื่องจากฤดูหลังมรสุมธาตุอาหารในน้ำมากขึ้น ทำให้พีชีน้ำและแพลงก์ตอนพีชีเจริญได้ดี คลาโดเซอแรนจึงมีที่อยู่อาศัยและมีอาหารเพียงพอเมื่อพิจารณาในแต่ละแหล่งน้ำ พบคลาโดเซอแรนอยู่ระหว่าง 3-10 สปีชีส์ โดยแหล่งที่พบชนิดคลาโดเซอแรนมากที่สุดคือ บริเวณอ่างเก็บน้ำห้วยตลาดและลำน้ำมาศพบแหล่งละ 10 สปีชีส์ เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่และมีพีชีน้ำหนาแน่น ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและแหล่งอาศัยแก่คลาโดเซอแรน [18] ที่พบน้อยที่สุดคือ ห้วยชีหนูพบ 3 สปีชีส์

ตารางที่ 2 คลาโดเซอแรนที่พบในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์

วงศ์ Bosminidae
Bosmina meridionalis Sars, 1904
Bosminopsis deitersi Richard, 1895

ตารางที่ 2 คลาโดเซอแรนที่พบในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์
(ต่อ)

วงศ์ Chydoridae

- Ovalona cambouei* (Guerne & Richard, 1893)
Flavalona cheni (Sinev, 1999)
Alonella excisa (Fischer, 1854)
Anthalona harti Van Damme, Sinev & Dumont, 2011
Celsinotum macronyx (Daday, 1898)
Chydorus eurynotus Sars, 1901
Chydorus opacus Frey, 1987
Coronatella monacantha (Sars 1901)
Coronatella rectangula (Sars, 1861)
Dunhevedia crassa King, 1853
Ephemeroporus cf. barroisi (Richard, 1894)
Karualona cf. karua (King, 1853)
Kurzia longirostris (Daday, 1898)
Oxyurella singalensis (Daday, 1898)

วงศ์ Daphniidae

- Pleuroxus laevis* (Sars 1862)
Ceriodaphnia cornuta Sars, 1885
Scapholeberis kingi Sars 1888
Simocephalus serrulatus (Koch, 1841)

วงศ์ Ilyocryptidea

- Ilyocryptus thailandensis* Kotov & Sanoamuang, 2004

วงศ์ Macrothricidae

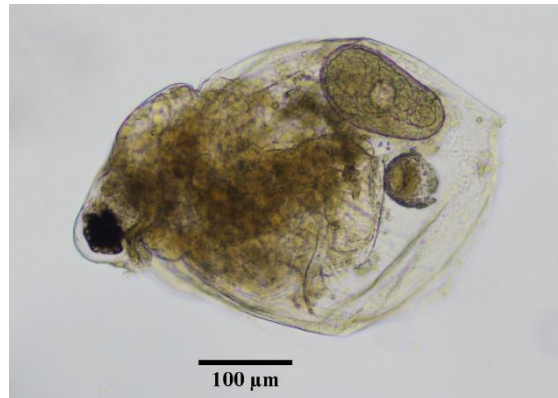
- Macrothrix spinosa* King, 1853
Macrothrix triserialis Brady, 1886

วงศ์ Moinidae

- Moina micrura* Kurz, 1875
Moinodaphnia macleayi (King, 1853)

วงศ์ Sididae

- Diaphanosoma excisum* Sars, 1885
Latonopsis australis Sars, 1888
Pseudosida bidentata Herrick, 1884



ภาพที่ 3 *Ceriodaphnia cornuta*

4.3 ความชุกชุมของไรติเฟอร์

จากการศึกษาตัวอย่างเชิงปริมาณ พบว่า ไรติเฟอร์ทั้งหมดมีความชุกชุม 254 ตัวต่อลิตร โดยในฤดูหลังมรสุม ไรติเฟอร์มีความหนาแน่น 213 ตัวต่อลิตร และฤดูก่อนมรสุม มีความหนาแน่น 41 ตัวต่อลิตร ทั้งสองฤดูกาลพบไรติเฟอร์ที่มีความชุกชุมที่สุด คือ *P. vulgaris* รองลงมาได้แก่ *Sinantherina spinosa* และ *L. bulla* ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความหนาแน่นในแต่ละพื้นที่พบว่า อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก ในฤดูหลังมรสุม มีความชุกชุมของไรติเฟอร์มากที่สุด (50 ตัวต่อลิตร) รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำสนามบินเก่า ในฤดูหลังมรสุม มีความชุกชุม 48 ตัวต่อลิตร เมื่อนำข้อมูลไรติเฟอร์ในการศึกษาครั้งนี้ มาวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลาย (H') เท่ากับ 1.37 ดัชนีความสม่ำเสมอ (E') เท่ากับ 0.69 (ตารางที่ 3)

4.4 ความชุกชุมของคลาโดเซอแรน

การศึกษาความชุกชุมของคลาโดเซอแรน พบว่ามีความหนาแน่นรวม 68 ตัวต่อลิตร โดยในฤดูหลังมรสุม มีความชุกชุม 51 ตัวต่อลิตร ฤดูก่อนมรสุม มีความชุกชุม 19 ตัวต่อลิตร ทั้งสองฤดูกาลพบคลาโดเซอแรนชุกชุมมากที่สุด คือ *B. deitersi*, *D. excisum* และ *C. cornuta* ตามลำดับเมื่อพิจารณาความหนาแน่นในแต่ละแหล่งน้ำพบว่า ฤดูหลังมรสุม ห้วยพลับพลา มีความชุกชุมมากที่สุดคือ 22 ตัวต่อลิตร รองลงมาคือ อ่างเก็บน้ำห้วยตลาด มีความชุกชุม 6 ตัวต่อลิตร วิเคราะห์ดัชนีความหลากหลาย

(H') ของคลาโดเซอแรนในการศึกษาครั้งนี้ เท่ากับ 0.91
ดัชนีความสม่ำเสมอ (E') เท่ากับ 0.63 (ตารางที่ 3)

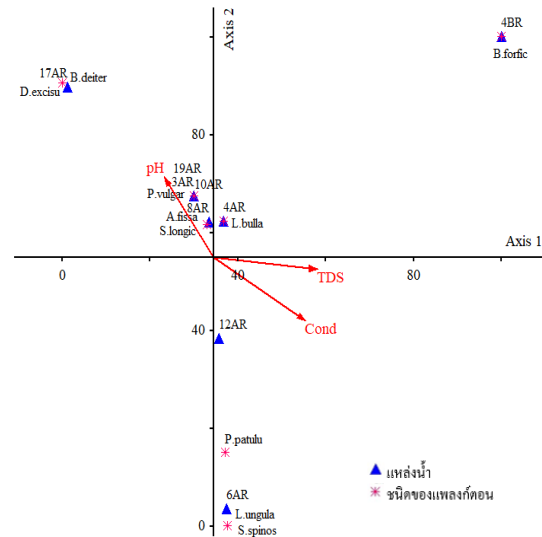
ตารางที่ 3 ความชุกชุมและดัชนีทางชีวภาพของโรติเฟอร์
และคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำถาวร จ.บุรีรัมย์

แหล่งกักต่อน้ำ	ความชุกชุม (ตัวต่อลิตร)	H'	E'
โรติเฟอร์	254	1.37	0.69
คลาโดเซอแรน	68	0.91	0.63

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการของน้ำ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อม 5 ตัวแปร คือ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิของน้ำจาก แหล่งน้ำถาวรจังหวัดบุรีรัมย์ กับโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน ที่มีความชุกชุมมากกว่าร้อยละ 1 จำนวนทั้งสิ้น 10 สปีชีส์ โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์คาโนนิคอล (Canonical Correspondence Analysis; CCA) พบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมบางประการของน้ำมีความสัมพันธ์กับโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) ($p=0.1421$) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แทนที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมของน้ำและโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน เลือกใช้แกนที่ 1 (Axis 1) และแกนที่ 2 (Axis 2) เนื่องจากมีค่า eigenvalue มีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.997 และ 0.990 ตามลำดับ จากการทดสอบ Monte Carlo test จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด พบค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.472, 0.810 และ 0.918 ตามลำดับ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.045$) ในการศึกษาครั้งนี้ จากภาพที่ 4 อธิบายได้ว่า ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน จำนวน 5 สปีชีส์ ได้แก่ *B. deitersi*, *D. excisum*, *P. vulgaris*, *A. fissa* และ *S.*

longicaudum แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ กล่าวคือ โรติเฟอร์และคลาโดเซอแรนดังกล่าวจะมีความหนาแน่นลดลงหากค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมแสดงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์
ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมของน้ำกับโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน
โดยการวิเคราะห์ CCA

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของโรติเฟอร์และคลาโดเซอแรน ในแหล่งน้ำถาวร จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 19 แหล่ง ในช่วงฤดูหลังมรสุม (ตุลาคม 2560) และฤดูก่อนมรสุม (เมษายน 2561) พบโรติเฟอร์ทั้งสิ้น 14 วงศ์ 21 สกุล 98 สปีชีส์เป็นชนิดที่รายงานครั้งแรกในประเทศไทย 2 สปีชีส์ คือ *L. dorysimilis* และ *L. marchantaria* โรติเฟอร์ สกุล *Lecane* เป็นสกุลที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ สกุล *Lepadella* และสกุล *Brachionus* ตามลำดับ ในฤดูหลังมรสุม พบโรติเฟอร์มากกว่าฤดูก่อนมรสุม แต่แหล่งพบจำนวนชนิดโรติเฟอร์อยู่ระหว่าง 25-57 สปีชีส์ คลาโดเซอแรน พบทั้งสิ้น 7 วงศ์ 25 สกุล 28 สปีชีส์ สกุลที่พบมากที่สุด คือ *Chydorus*, *Coronatella* และ *Macrothrix* พบสกุลละ 2 สปีชีส์

ฤดูหลังมรสุม คลาโดเซอแรนมีความหลากหลายชนิดมากกว่าฤดูก่อนมรสุมแต่ละแหล่งน้ำ พบคลาโดเซอแรนอยู่ระหว่าง 3-10 โรติเฟอร์มีความชุกชุม 254 ตัวต่อลิตร โรติเฟอร์ที่มีความชุกชุมมากที่สุด คือ *P. Vulgaris* รองลงมาคือ *S. spinosa* และ *L. bulla* ตามลำดับ อ่างเก็บน้ำห้วยจรเข้มาก ในฤดูหลังมรสุม มีความชุกชุมมากที่สุด คลาโดเซอแรนมีความชุกชุม 68 ตัวต่อลิตร ชนิดที่มีความชุกชุมมากที่สุดคือ *B. deitersi*, *D. excisum* และ *C. Cornuta* ตามลำดับ ห้วยพลับพลา ในฤดูหลังมรสุม คลาโดเซอแรนมีความหนาแน่นมากที่สุดความเป็นกรด-ด่างของน้ำ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับโรติเฟอร์และ คลาโดเซอแรน 5 สปีชีส์ ได้แก่ *B. deitersi*, *D. excisum*, *P. vulgaris*, *A. Fissa* และ *S. Longicaudum* แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัย เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ที่อำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ละออศรี เสนาะเมือง. (2545). *แพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืด: ความสำเร็จของโครงการในประเทศไทย*. ขอนแก่น: โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา.
- [2] ละออศรี เสนาะเมือง และศุจีภรณ์ อธิบาย. (2555). *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ชุมชนแพลงก์ตอน และคุณภาพน้ำบริเวณพญา 2 และบริเวณสันเขื่อนของอ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์*.
- [3] สุปัญญา จิตตพันธ์. (2552). ความหลากหลายของโรติเฟอร์ในคลองส่งน้ำเข้าสู่ข้าวมะลิในเขตอำเภอเมืองและอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 17(3), 53-60.

- [4] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2547). *ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดบุรีรัมย์*. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: บริษัท สไมล์ สยามพรินติ้ง เซอร์วิส จำกัด.
- [5] สุธารา จันทรานิมิต. (2546). *รายงานการสำรวจและจำแนกพื้นที่ชุ่มน้ำจังหวัดบุรีรัมย์*.
- [6] สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2559). *ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดิน (พื้นที่จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2559*.
- [7] P. Sa-ardrit, P. Pholpunthin, and H. Segers, (2013). "A checklist of the freshwater rotifer fauna of Thailand (Rotifera, Monogononta, Bdelloidea)", *Journal of Limnology*, 72(2), 361-375.
- [8] P. Meksuwan, P. Pholpunthin, and H. Seges. (2013). The Collothecidae (Rotifera, Collothecacea) of Thailand, with the description of a new species and an illustrated key to the Southeast Asian fauna," *Zookeys*, 315, 1-16.
- [9] P. Meksuwan, R. Jaturapruek, and S. Maiphae, (2018). "Two new species of genus *Limnias* from Thailand, with keys to congeners (Rotifera, Gnesiotrocha)," *Zookeys*, 787, 1-15.
- [10] M. Trinh-Dang, H. Segers, L. Sanoamuang, (2015). "Psammon rotifers in Central Vietnam, with the descriptions of three new species (Rotifera: Monogononta)," *Zootaxa*, 4018(2), 249-265.

- [11] B. K. Sharma. (2016). "Interesting rotifers (Rotifera: Eurotatoria) from a subtropical wetland of Meghalaya, Northeast India: new records," *Turk J Zool*, 40, 433-437.
- [12] W. Koste and B. Robertson, (1983). "Taxonomic studies of the Rotifera Phylum Aschelminthes from a central Amazonian varzea lake, Lago Camaleao Ilha de Marchantaria, Rio Solimoes, Amazonas, Brazil," *Amazoniana*, 8(2), 225-54.
- [13] W. Koste, "Über die Rotatorien einiger Stillgewässer in der Umgebung der Biologischen Station Panguana im tropischen Regenwald in Peru," *Amazoniana*, 10(3), 303-325.
- [14] B.K. Sharma and S. Sharma, (2018). "Loktak Lake, Manipur, revisited: A Ramsar site as the rotifer(Rotifera: Eurotatoria) biodiversity hot-spot of the Indian sub-region," *Bonn zoological Bulletin*, 67(1), 5-13.
- [15] M.M. Ali, A.A. Mageed, and M. Heikal, (2007). "Impact of Aquatic Macrophyte for Invertebrate Diversity in Large Subtropical Reservoir," *Limnologica*, 37, 155-169.
- [16] M. Alonso, A.N. Neretina, L. Sanoamuang, N. Saengphan, and A.A. Kotov, (2019). "A new species of Moina Baird, 1850 (Cladocera: Moinidae) from Thailand," *Zootaxa*, 4554(1), 199-218.
- [17] S. Tiang-Nga, A.Y. Sinev, L. Sanoamuang, (2020). "High diversity of Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) in a Ramsar site Lake Kud-Thing, Northeast Thailand," *Zootaxa*, 4780(2), 275-290.
- [18] S. Maiphae, (2014). "A taxonomic guide to the common cladocerans in peninsular Thailand, edited by K. Van Damme. Princess Maha Chakri Sirindhorn Natural History Museum, Faculty of Science, Prince of Songkla University," Bangkok: O.S. Printing House Co., Ltd.,

บัญชีรายชื่อของแมงป่อง (Arachnida: Scorpiones) ในแนวตะวันตกของประเทศไทย Checklist of scorpions (Arachnida: Scorpiones) in western range of Thailand

วศิน นวเนตวิวงศ์¹, ณัฐพจน์ วาฤทธิ์²

Wasin Nawanetiwong¹, Natapot Warrit²

^{1,2}ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านกีฏวิทยาฯ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹wasin.nwntw@gmail.com, ²natapot.w@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาอนุกรมวิธานของแมงป่อง (Class Arachnida, Order Scorpiones) ในประเทศไทยนั้นยังคงอยู่ในระยะเบื้องต้นและในอดีตมีการจัดทำข้อมูลบัญชีรายชื่อรวมถึงระบบการจัดจำแนกชนิดที่ไม่ชัดเจน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการสำรวจพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทยเพื่อรายงานความหลากหลายและการกระจายตัวของแมงป่องในพื้นที่ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมจากการสืบค้นเอกสารและการสำรวจตัวอย่างจากภาคสนามด้วยไฟฉายแสงยูวี ตัวอย่างแมงป่องทั้งหมด (n = 129) จะถูกนำมาศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกและระบุชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอทำการถ่ายภาพตัวอย่างแมงป่องแต่ละชนิดด้วยกล้องดิจิทัลและจัดทำแผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องแต่ละวงศ์ด้วยโปรแกรม QGIS 3.16.4 จากการสำรวจพบตัวอย่างแมงป่องทั้งหมด 5 วงศ์ 7 สกุล 35 ชนิดกระจายอยู่ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย ประกอบด้วย วงศ์ Buthidae Koch, 1837 (3 สกุล, 5 สปีชีส์) วงศ์ Chaerilidae Pocock, 1893 (1 สกุล, 5 สปีชีส์) วงศ์ Hormuridae Laurie, 1896 (1 สกุล, 1 สปีชีส์) วงศ์ Scorpionidae Latreille, 1802 (2 สกุล, 3 สปีชีส์) และวงศ์ Scorpiopidae Kraepelin, 1905 (1 สกุล, 21 สปีชีส์)

คำสำคัญ : ซิสเทมาติกส์, บัญชีรายชื่อ, รายการ, ความหลากหลาย, เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

Abstract

In Thailand, taxonomic study of scorpion is still in its infancy stage. Most historical studies provided inadequate checklist and uncertain classification of the group. This preliminary work focuses on the western mountain range of Thailand to uncover scorpion diversity and their distribution patterns. Intensive literature review and field collecting using ultraviolet light survey throughout the western range of Thailand. All scorpion specimens (n = 129) were examined and identified under an optical stereoscope. Scorpion photographs were taken using DSLR digital camera. The distribution maps of scorpion each families were created by using QGIS 3.16.4 software. The results confirm 5 scorpion families (7 genera, 34 species) in the western range of Thailand, including Buthidae Koch, 1837 (3 genera, 5 species); Chaerilidae Pocock, 1893 (1 genus, 5 species); Hormuridae Laurie, 1896 (1 genus, 1 species); Scorpionidae Latreille, 1802 (2 genus, 3 species) and Scorpiopidae Kraepelin, 1905 (1 genus, 21 species).

Keywords : Systematics, Checklist, Catalogue, Diversity, South East Asia

1. บทนำ

แมงป่อง (Class Arachnida, Order Scorpiones) เป็นสิ่งมีชีวิตในกลุ่มสัตว์ขาปล้องที่มีพิษ มีอวัยวะรับสัมผัสเชิงเคมีรูปร่างคล้ายหิวปรากฏบริเวณใต้ลำตัวและบริเวณปลายสุดของหางมีปล้องเหล็กใน (telson) [20] แมงป่องปรากฏตัวบนโลกตั้งแต่ช่วงกลางของยุคไซลูเรียน (Silurian) เมื่อประมาณ 425-450 ล้านปีก่อน [17] ปัจจุบันมีแมงป่องทั้งหมด 2,597 ชนิด [19] และมีรายงานการพบแมงป่องทุกทวีปทั่วโลก ยกเว้นทวีปแอนตาร์กติกา

ปัจจุบันการศึกษาแมงป่องในประเทศไทยยังคงไม่เป็นแพร่หลาย มีเพียงการศึกษาอนุกรมวิธานและการจัดทำบัญชีรายชื่อแมงป่องในประเทศไทยโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเช็กเกียชื่อว่า Kovarik เพียงครั้งเดียว [2] อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการศึกษาอย่างขาดความสมบูรณ์และการปรับให้เป็นปัจจุบันโดยเฉพาะข้อมูลภาพประกอบและแผนที่แสดงการกระจายตัวของแมงป่องแต่ละชนิด ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจการศึกษานุกรมวิธานของแมงป่องในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทยเนื่องจากเป็นพื้นที่ป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์เพื่อรายงานความหลากหลายและรูปแบบการกระจายตัวของแมงป่องในพื้นที่

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทยทั้งหมด 23 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน ตาก กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี พังงา ภูเก็ต กระบี่ นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง สตูล สงขลา ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส

2.2 สืบค้นเอกสาร

สืบค้นเอกสารการศึกษานุกรมวิธานแมงป่องทุกชนิดที่มีรายงานพิชิตการปรากฏการบรรยายลักษณะและรูปวิธานที่ใช้ในการระบุชนิดในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย ดังนี้ [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [18]

2.3 การเก็บตัวอย่างภาคสนามและการเก็บรักษา

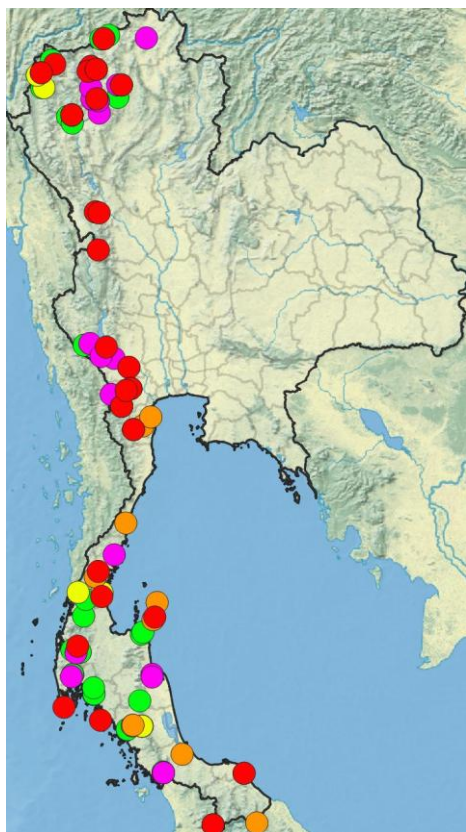
เก็บตัวอย่างแมงป่องภาคสนามจากพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทยด้วยการใช้ไฟฉายแสงยูวี (Ultraviolet light) ตัวอย่างที่พบจะถูกรักษาสภาพไว้ด้วยเอทานอล 95% และเก็บในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านกีฏวิทยาฯ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาภายนอกและระบุชนิดตัวอย่างแมงป่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ (Zeiss Stemi 508) ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นเอกสาร ทำการถ่ายภาพตัวอย่างแมงป่องแต่ละชนิดด้วยกล้องดิจิทัล (Canon 7D MarkII) และจัดทำแผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องแต่ละวงศ์ด้วยโปรแกรม QGIS 3.16.4

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาพบแมงป่องทั้งหมด 5 วงศ์ 7 สกุล 34 ชนิด กระจายอยู่ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องแต่ละวงศ์
ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

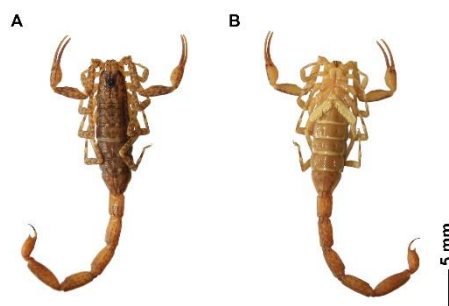
- สีแดง คือ วงศ์ Buthidae Simon, 1879
- สีส้ม คือ วงศ์ Chaerilidae Pocock, 1893
- สีเหลือง คือ วงศ์ Hormuridae Laurie, 1896
- สีชมพู คือ วงศ์ Scorpionidae Latreille, 1802
- สีเขียว คือ วงศ์ Scorpipidae Kraepelin, 1905

3.1 วงศ์ Buthidae Simon, 1879 (n = 64)

ลักษณะแมงป่องวงศ์ Buthidae: ความยาวลำตัว 20–120 มม. [19] pedipalp มี chela ลักษณะเรียวยาว และไม่มี trichobothria บริเวณด้าน ventral ของ patella

หมายเหตุ: แมงป่องวงศ์ Buthidae เป็นแมงป่องที่มีพิษร้ายแรง มักอาศัยอยู่ตามซอกหลืบหรือบริเวณรกชัฏ เช่น ใต้เปลือกไม้กองไม้ หรือที่รกร้างและมีชื่อพื้นถิ่นว่า ทวยยายมันหรือแมงป่องบ้าน

แมงป่องวงศ์ Buthidae ที่พบในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย: ได้แก่ *Isoetrus maculatus*, (Degeer, 1778) จาก จ. สุราษฎร์ธานีและภูเก็ต [5]; *Lychas kralli*, Kovarik, 1995 จาก จ. เชียงราย เชียงใหม่ (n = 4, ภาพ 2 และ 3) ตากและชุมพร (n = 1); *L. mucronatus* (Fabricius, 1798) จาก จ. แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย กาญจนบุรี ราชบุรี (n = 5, ภาพ 4 และ 5) เพชรบุรีและปัตตานี; *L. scutillus* Koch, 1845 จาก จ. สุราษฎร์ธานี กระบี่และยะลา [2], [3] และ *Thaichamus mahunkai* Kovarik, 1995 จาก จ. เพชรบุรี [2]



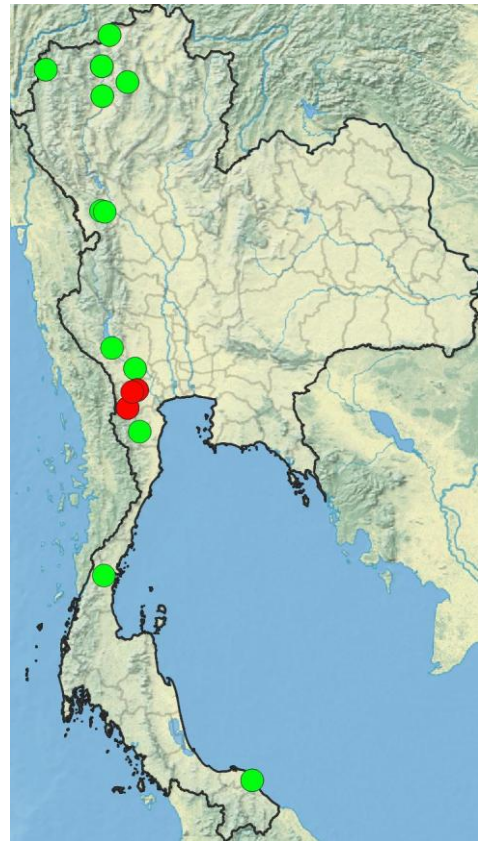
ภาพที่ 2 แมงป่องชนิด *Lychas kralli*, Kovarik, 1995
ในวงศ์ Buthidae Simon, 1879 เพศผู้ที่พบจาก จังหวัด
เชียงใหม่; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus



ภาพที่ 3 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Lychas krali*, Kovarik, 1995 ในวงศ์ Buthidae Simon, 1879 ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

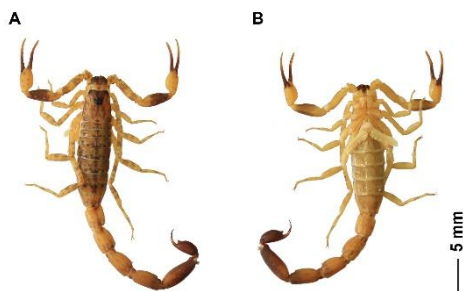
สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร



ภาพที่ 5 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Lychas mucronatus* (Fabricius, 1798) ในวงศ์ Buthidae Simon, 1879 ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร



ภาพที่ 4 แมงป่องชนิด *Lychas mucronatus* (Fabricius, 1798) ในวงศ์ Buthidae Simon, 1879 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus

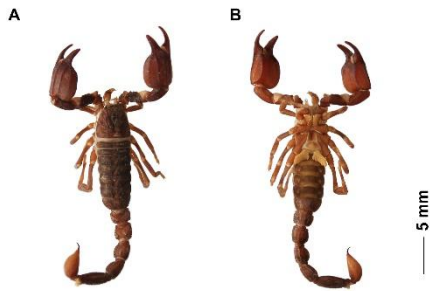
3.2 วงศ์ Chaerilidae Pocock, 1893 (n = 27)

ลักษณะแมงป่องวงศ์ Chaerilidae: ความยาวลำตัว 16-80 มม. [12] และมีการแผ่ขยายของแผ่น coxapophysis ของขาคู่แรกไปทางด้าน anterior

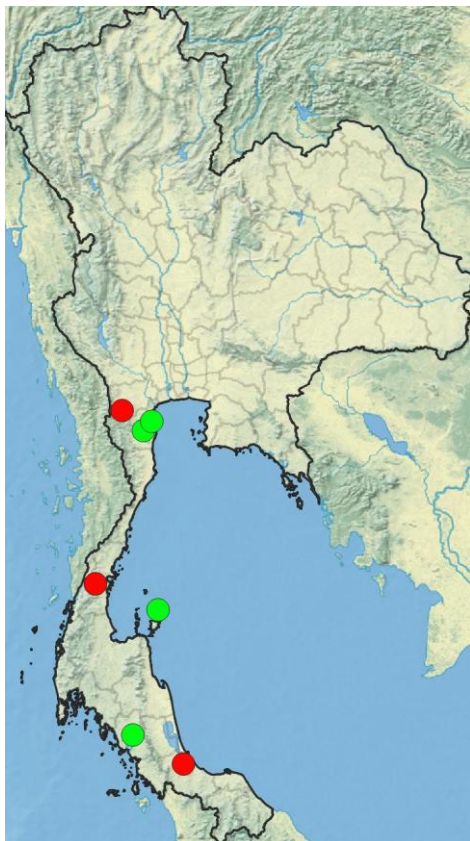
หมายเหตุ: แมงป่องวงศ์ Chaerilidae มักอาศัยอยู่ในบริเวณกองหินหรือใต้ก้อนหินที่ได้รับรังเงาจากต้นไม้

แมงป่องวงศ์ Chaerilidae ที่พบในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย : ได้แก่ *Chaerilus cimmani* Kovarik, 2012 จาก จ. สุราษฎร์ธานี ราชบุรี (n = 1, ภาพที่ 6 และ 7) เพชรบุรี ชุมพร (n = 2) สงขลา (n = 1) และตรัง [7], [11]; *C. kautti* Kovarik et al. 2020 จาก

จ. ประจวบคีรีขันธ์ [13]; *C. neradorum* Kovarik, 2018 จาก จ. สุราษฎร์ธานี; *C. stockmannorum* Kovarik, 2018 จาก จ. ตรัง [11] และ *C. thai* Lourencoet al., 2010 จาก จ. นราธิวาส [14]



ภาพที่ 6 แมงป่องชนิด *Chaerilus cimmani* Kovarik, 2012 ในวงศ์ Chaerilidae Pocock, 1893 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus



ภาพที่ 7 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Chaerilus cimmani* Kovarik, 2012 ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร

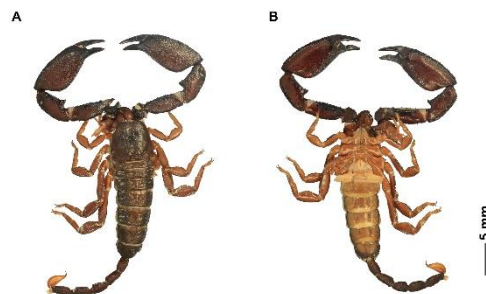
3.3 วงศ์ Hormuridae Laurie, 1896 (n = 8)

ลักษณะแมงป่องวงศ์ Hormuridae:

Pedipalp มี chala ลักษณะแบน มีบริเวณด้านข้างส่วนปลายของ tarsomere II ของขาที่มีลักษณะตัดขวาง มี metasoma ที่เรียวยาวและไม่มี subaculear tubercle ที่ telson

หมายเหตุ: แมงป่องวงศ์ Hormuridae มักอาศัยอยู่ในบริเวณซอกหิน เช่น บริเวณใต้เปลือกไม้หรือซอกหิน

แมงป่องวงศ์ Hormuridae ที่พบในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย: ได้แก่ *Liocheles australasiae* (Fabricius, 1775) จาก จ. เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ชุมพร ระนอง ตรัง (n = 1, ภาพที่ 8 และ 9) และยะลา [2], [15]



ภาพที่ 8 แมงป่องชนิด *Liocheles australasiae* (Fabricius, 1775) ในวงศ์ Hormuridae Laurie, 1896 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus



ภาพที่ 9 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Liocheles australasiae* (Fabricius, 1775) ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร

3.4 วงศ์ Scorpionidae Latreille, 1802 (n = 12)

ลักษณะแมงป่องวงศ์ Scorpionidae: ความยาวลำตัว 60-180 มม. [6] เป็นแมงป่องขนาดใหญ่ มักมีสีดำ pedipalp มี chela ขนาดใหญ่ และบริเวณด้านข้างส่วนปลายของ tarsomere II ของขา มีลักษณะโค้งมน

หมายเหตุ: แมงป่องวงศ์ Scorpionidae มักอาศัยอยู่ในโพรงบริเวณใต้ต้นไม้ กองหิน เนินดิน แนวคันดิน แนวตลิ่ง หรือ จอมปลวก และมีชื่อพื้นถิ่นว่า แมงเงาหรือแมงป่องข้างอีกทั้งเป็นแมงป่องที่มีความสำคัญ

ทางเศรษฐกิจเนื่องจากสามารถซื้อขายเป็นสัตว์เลี้ยงและนำมารับประทาน

แมงป่องวงศ์ Scorpionidae ที่พบในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย: ได้แก่ *Heterometrus laevigatus* (Thorell, 1876) จาก จ. ชุมพร (n = 1, ภาพที่ 10 และ 11) สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ตรัง สตูล [21]; *H. laoticus* Couzijn, 1981 จาก จ. เชียงใหม่ กาญจนบุรี (n = 1, ภาพที่ 12 และ 13) ราชบุรี นครศรีธรรมราช ราชบุรี และตรัง [21]; *Javanimetrus cyaneus* (Koch, 1936) จาก จ.สตูล [21].



ภาพที่ 10 แมงป่องชนิด *Heterometrus laevigatus* (Thorell, 1876) ในวงศ์ Scorpionidae Latreille, 1802 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus



ภาพที่ 11 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Heterometrus laevigatus* (Thorell, 1876) ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

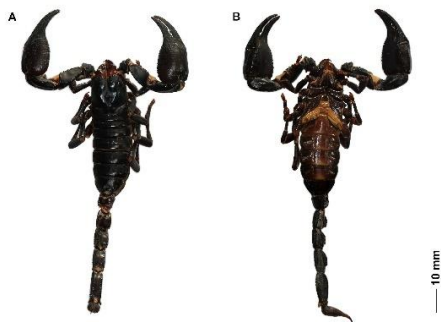
สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร



ภาพที่ 13 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Heterometrus laoticus* Couzijn, 1981 ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

สีเขียวแสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร



ภาพที่ 12 แมงป่องชนิด *Heterometrus laoticus* Couzijn, 1981 ในวงศ์ Scorpionidae Latreille, 1802 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus

3.5 วงศ์ Scorpionidae Kraepelin, 1905 (n = 18)

ลักษณะแมงป่องวงศ์ Scorpionidae:

ความยาวลำตัว 24–75 มม. [13] pedipalp มี chela ลักษณะค่อนข้างแบนและมี subdistal tooth จำนวน 2 อันที่บริเวณขอบด้าน dorsal ของ chelicerae

หมายเหตุ: แมงป่องวงศ์ Scorpionidae มักอาศัยอยู่ใต้ก้อนหินรวมถึงซอกหรือรอยแตกของหิน

แมงป่องวงศ์ Scorpionidae ที่พบในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย: ได้แก่ *Scorpions anthracinus* Simon, 1887 จาก จ. เพชรบุรี; *S. bastawadei* Kovarik et al., 2020 จาก จ. สตูล [13]; *S. binghamii* (Pocock, 1893) จาก จ. แม่ฮ่องสอน [2],

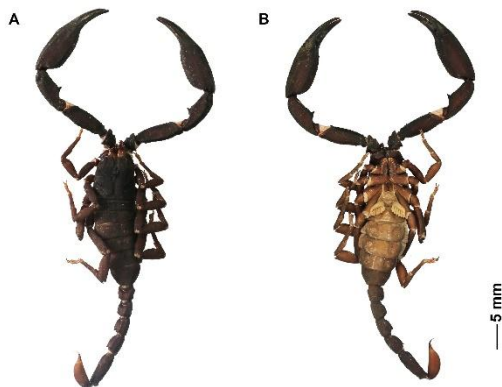
[4]; *S. birulai* Kovarik et al., 2020 จาก จ. ชุมพร [13]; *S. citadelle* Kovarik, 2013 จาก จ. กาญจนบุรีและสุราษฎร์ธานี[9]; *S. dii* Kovarik et al., 2020 จาก จ. เชียงใหม่; *S. dunlopi* Kovarik et al., 2020 จาก จ. พังงา [13]; *S. farkaci* Kovarik, 1993 จาก จ. แม่ฮ่องสอน[1], [4]; *S. grandjeani* (Vachon, 1974) จาก จ. นครศรีธรรมราช; *S. kautti* Kovarik et al., 2020 จาก จ. นครศรีธรรมราช; *S. krabiensis* Kovarik et al., 2020 จาก จ. กระบี่[13]; *S. longimanus* (Pocock, 1893) จาก จ. เชียงใหม่ (n = 1, ภาพที่ 14 และ 15) (new record); *S. neradi* Kovarik et al., 2013 จาก จ. ระนองสุราษฎร์ธานีและกระบี่ [8]; *S. orioni* Kovarik et al., 2015 จาก จ. เชียงใหม่ [10]; *S. photoensis* Kovarik et al., 2020 จาก จ. ชุมพร; *S. prasiti* Kovarik et al., 2020 จาก จ. แม่ฮ่องสอน [13]; *S. problematicus* (Kovarik, 2000) จาก จ. เชียงใหม่ (n = 6, ภาพที่ 16 และ 17) [4]; *S. scheibee* Kovarik et al., 2020 จาก จ. นครศรีธรรมราช; *S. schumacheri* Kovarik et al., 2020 จาก จ. ตรัง; *S. sherwoodae* Kovarik et al., 2020 จาก จ. พังงา [13]



ภาพที่ 15 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Scorpiops longimanus* (Pocock, 1893) ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดง แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร



ภาพที่ 14 แมงป่องชนิด *Scorpiops longimanus* (Pocock, 1893) ในวงศ์ Scorpiopidae Kraepelin, 1905 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus



ภาพที่ 16 แมงป่องชนิด *Scorpiops problematicus* (Kovarik, 2000) ในวงศ์ Scorpiopidae Kraepelin, 1905 เพศผู้ที่พบจากจังหวัดราชบุรี; A คือ dorsal habitus; B คือ ventral habitus



ภาพที่ 17 แผนที่แสดงตำแหน่งที่พบแมงป่องชนิด *Scorpiops problematicus* (Kovarik, 2000) ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย

สีแดงแสดงตำแหน่งของแมงป่องที่พบในการสำรวจภาคสนาม

สีเขียว แสดงตำแหน่งของแมงป่องที่ทราบจากการสืบค้นเอกสาร

อย่างไรก็ตามจำนวนชนิดที่ไม่เท่ากันระหว่างผลการสืบค้นเอกสารและการเก็บตัวอย่างภาคสนามอาจเกิดมาจากข้อมูลในอดีตที่ไม่ชัดเจนและการใช้ลักษณะในการระบุชนิดที่ขาดความแน่นอน อาทิ จำนวนของ trichobotria ที่สามารถเกิดการแปรผันได้ง่าย [17] ซึ่งส่งผลให้เกิดการบรรยายลักษณะของแมงป่องชนิดใหม่เพิ่มมากขึ้นในประเทศไทยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พบแมงป่องรวมทั้งหมด 38 ชนิด ในพื้นที่แนวตะวันตกของประเทศไทย ได้แก่ วงศ์ Buthidae (3 สกุล, 5 สปีชีส์) วงศ์ Chaerilidae (1 สกุล, 5 สปีชีส์)

วงศ์ Hormuridae (1 สกุล, 1 สปีชีส์) วงศ์ Scorpionidae (1 สกุล, 5 สปีชีส์) และวงศ์ Scorpiopidae Kraepelin, 1905 (1 สกุล, 20 สปีชีส์) และรายงานการค้นพบแมงป่องชนิด *S. Longimanus* ครั้งแรกในประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบสมาชิกในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านกีฏวิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้การช่วยเหลือในการสำรวจเก็บตัวอย่างและทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภชที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับการศึกษาและวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kovarik, F. (1993). Two new species of the genus *Scorpiops* (Arachnida: Scorpiones: Vaejovidae) from south-east Asia. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 57, 109-115.
- [2] Kovarik, F. (1995). Review of scorpionida from Thailand with description of *Thaicharmus mahunkai* gen. et sp. n. and *Lychas krali* sp. n. (Buthidae). *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 59, 187-207.
- [3] Kovarik, F. (1997). Revision of the genera *Lychas* and *Hemilychas*, with descriptions of six new species (Scorpiones: Buthidae). *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 61, 311-371.
- [4] Kovarik, F. (2000). Revision of family Scorpiopidae (Scorpiones), with descriptions of six new species. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 64, 153- 201.
- [5] Kovarik, F. (2003). A review of the genus *Isometrus* Ehrenberg, 1828 (Scorpiones: Buthidae) with descriptions of four new species from Asia and Australia. *Euscorpius*, 10, 1-19.

- [6] Kovarik, F. (2004). A review of the genus *Heterometrus* Ehrenberg, 1828, with descriptions of seven new species (Scorpiones: Scorpionidae). *Euscorpius*, 15, 1-60.
- [7] Kovarik, F. (2012). Five new species of *Chaerilus* Simon, 1877 from China, Indonesia, Malaysia, Philippines, Thailand, and Vietnam (Scorpiones: Chaerilidae). *Euscorpius*, 149, 1-14.
- [8] Kovarik, F. et al. (2013). *Euscorpiops neradi* sp. nov. from Thailand (Scorpiones: Euscorpiidae: Scorpiopinae). *Euscorpius*, 158, 1-8.
- [9] Kovarik, F. et al. (2013). *Alloscorpiops wongpromi* sp. n. from Thailand and Laos (Scorpiones: Euscorpiidae: Scorpiopinae). *Euscorpius*, 60, 1-12.
- [10] Kovarik, F. et al. (2015). Two new species of *Euscorpiops* Vachon, 1980 from Thailand and Myanmar (Scorpiones: Euscorpiidae: Scorpiopinae). *Annales Zoologici*, 66(1), 109-122.
- [11] Kovarik, F., Low, G. and Stahlavsky, F. (2018). Three new *Chaerilus* from Malaysia (Tioman Island) and Thailand (Scorpiones: Chaerilidae), with a review of *C. cimmani*, *C. sejnai*, and *C. tichyi*. *Euscorpius*, 268, 1-27.
- [12] Kovarik, F. et al. (2020a). Two new *Chaerilus* from Thailand and Lao (Scorpiones: Chaerilidae). *Euscorpius*, 324, 1-20.
- [13] Kovarik, F. et al. (2020b). Revision of genus-group taxa in the family Scorpiopidae Kraepelin, 1905, with description of 15 new species (Arachnida: Scorpiones). *Euscorpius*, 325, 1-140.
- [14] Lourenco, W. et al. (2010). A new species of *Chaerilus* Simon, 1877 (Scorpiones, Chaerilidae) from Thailand. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 58(1), 79-85.
- [15] Monod, L. (2011). *The Liochelidae Fet & Bechly, 2001 (Scorpiones) of the Indo-Pacific Region Systematic and biogeography* (Doctoral dissertation). City University of New York.
- [16] Pliskova, J. et al. (2016). Description of a new species of *Heterometrus* Ehrenberg, 1828 (Scorpiones: Scorpionidae) from Thailand with remarks about the utilization of cytogenetic data in taxonomy of the genus. *Annales Zoologici*, 66(3), 467-476.
- [17] Polis, G. A., (1990). *The Biology of Scorpions*. Stanford: Stanford University.
- [18] Predini, L. and Loria, S. F. (2020). Systematic revision of the Asian forest scorpions (Heterometrines Simon, 1879), revised suprageneric classification of Scorpionidae Latreille, 1802, and revalidation of Rugodentidae Bastawade et al., 2005. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 442(1), 1-480.
- [19] Rein, J. O. (2021). *The scorpion files*. Retrieved 8 April 2021, from <https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files>
- [20] Ythier, E. and Stockmann, R. (2010). *Scorpions of the world*. Verrières-le-Buisson: NAP Editions.
- [21] Predini, L., & Loria, S. F. (2020). Systematic revision of the Asian forest scorpions (Heterometrines Simon, 1879), revised suprageneric classification of Scorpionidae Latreille, 1802, and revalidation of Rugodentidae Bastawade et al., 2005. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 442(1), 1-480.

การพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อมด้วยวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียน

The Development of Environmental Awareness with Circular Economy Lifestyle

ผศ.กิตติภูมิ มีประดิษฐ์

Asst.Prof.Kittipoom Mepradict

สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

kittipoom.me@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นวิธีการที่จะทำให้มนุษย์สามารถใช้ชีวิตในโลกแห่งการเปลี่ยนแปลงได้อย่างยั่งยืน มนุษย์และสิ่งแวดล้อมสามารถดำรงอยู่ร่วมกันท่ามกลางวิถีแห่งพัฒนาในรูปแบบที่หลากหลายและหนึ่งในนั้นคือวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนซึ่งเป็นที่มีความสำคัญต่อมนุษยชาติในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากเป็นกระแสสังคมโลกที่สามารถทำให้การดำรงคงอยู่ของมนุษย์ท่ามกลางการแปรผันของระบบนิเวศทั้งจากธรรมชาติและการทำงานของมนุษย์เป็นไปอย่างสันติและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพทั้งในปัจจุบันและอนาคตวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการเติบโตอย่างสมดุลของธุรกิจโดยจะเน้นเรื่องการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าทั้งในเรื่องการใช้งานผลิตภัณฑ์เต็มวงจร การแปรสภาพเพื่อกลับมาใช้ใหม่และการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดซึ่งหมายถึงความตระหนักในสิ่งแวดล้อมได้ถูกพัฒนาและต่อยอดให้ปรากฏผลเป็นรูปธรรมที่ชัดเจน

คำสำคัญ : ความตระหนักในสิ่งแวดล้อม, วิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

Developing environmental awareness is a way for humans to live in a changing world. Man and environment can coexist amid a variety of ways of development one of them is the circular economy which is important to humanity in the 21 century because it is a global social trend that can make human existence amid ecological variations both from nature and human action is peaceful and does not pose a danger to the loss of biodiversity, both now and in the future. The circular economy has been optimized for balanced growth and focuses on the cost of resource utilization in terms of full-cycle product usage, reverting to reuse and product design and production process to achieve minimal waste this means that environmental awareness has been developed and extended to a clear concrete effect.

Keywords : Environmental Awareness, Circular Economy Lifestyle

1. บทนำ

โลกในศตวรรษที่ 21 มีการปรับเปลี่ยนอย่างรวดเร็ว และรุนแรงฝ่ายเศรษฐกิจและกิจการสังคมของ

สหประชาชาติ (UN) เผยรายงาน The World Population Prospects 2019 ซึ่งคาดการณ์ว่าจำนวนประชากรโลกจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 9.7 พันล้านคนภายในปี

2050 และอาจเพิ่มสูงเกือบ 1.1 หมื่นล้านคนในปี 2100 ทำให้ความต้องการใช้ทรัพยากรของโลกจะสูงถึง 3 เท่าของปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ในขณะที่ปริมาณทรัพยากรลดลงจนเรียกได้ว่าหายากมากแต่ความต้องการใช้ทรัพยากรที่สูงขึ้นยังก่อให้เกิดขยะจำนวนมากสำหรับประเทศไทยจากการเปิดเผยข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษพบว่าปี 2561 พบว่าประเทศไทยมีขยะมูลฝอยชุมชนรวมกัน 27.9 ล้านตันโดยสามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้เพียง 9.6 ล้านตันหรือเฉลี่ยแล้วคนไทย 1 คนผลิตขยะมูลฝอย 1.1 กิโลกรัมต่อคนต่อวันโดยคิดเป็นสัดส่วนขยะที่ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ 0.7 กิโลกรัมต่อคนและแม้ว่าในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาการตื่นตัวเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อมก็ทำให้สถานการณ์ขยะมูลฝอยของไทยมีแนวโน้มที่ดีขึ้นจนสามารถเพิ่มอัตราการรีไซเคิลขยะมูลฝอยเป็น 34% ในปี 2561 จาก 19% ในปี 2551 แล้วก็ตามแต่เมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาคเอเชียอาทิตยงที่มีอัตราการรีไซเคิล 36% สิงคโปร์ 39% เกาหลีใต้ 45% และญี่ปุ่น 51% เป็นต้นดังนั้นประเทศไทยยังต้องส่งเสริมและผลักดันให้มีการคัดแยกขยะอย่างจริงจังต่อไปทั้งนี้เศรษฐกิจหมุนเวียนสามารถช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้เนื่องจากเป็นระบบเศรษฐกิจที่วางแผนและออกแบบมาเพื่อคืนสภาพหรือให้ชีวิตใหม่แก่วัสดุต่าง ๆ ในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์แทนที่จะทิ้งไปเป็นขยะเมื่อสิ้นสุดการบริโภคแต่จะนำวัสดุที่เป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นกลับมาสร้างคุณค่าใหม่หมุนเวียนเป็นวงจรต่อเนื่องโดยไม่มีของเสียหรือเกิดของเสียน้อยที่สุดนอกจากนี้ยังมุ่งเน้นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสร้างความสมดุลในการตั้งทรัพยากรธรรมชาติมาใช้งานใหม่ควบคู่ไปกับการสร้างระบบและการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเพื่อลดผลกระทบภายนอกเชิงลบวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการเติบโตอย่างสมดุลของธุรกิจโดยจะเน้นเรื่องการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าทั้งในเรื่องการใช้งานผลิตภัณฑ์เต็มวงจรการแปรสภาพเพื่อกลับมาใช้ใหม่และการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด

สภาเศรษฐกิจโลก (World Economic Forum: WEF) ได้ระบุว่าความมุ่งสู่เศรษฐกิจหมุนเวียนจะก่อให้เกิดการสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรมเกิดการสร้างงานและขับเคลื่อนเศรษฐกิจให้เจริญเติบโตนับเป็นหัวใจสำคัญในการแก้ปัญหาด้านทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวอีกทั้งยังสามารถตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติในหัวข้อที่ 8 เรื่องการส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืนหัวข้อที่ 12 เรื่องการผลิตและการบริโภคที่มีความรับผิดชอบหัวข้อที่ 13 เรื่องการดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อแก้ปัญหาโลกร้อนและหัวข้อที่ 15 เรื่องการส่งเสริมการใช้ประโยชน์ที่ยั่งยืนของระบบนิเวศบนบก [1] นั้นหมายถึง “วิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนจะช่วยให้ความตระหนักในสิ่งแวดล้อมได้ถูกพัฒนาและต่อยอดให้ปรากฏผลเป็นรูปธรรมที่ชัดเจน”

2. การพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อม

การแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องสร้างให้เกิดขึ้นพร้อมกับการปรับเปลี่ยนลักษณะนิสัยต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันจึงจะเกิดการพัฒนาในลักษณะการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) ขึ้นทั่วโลกในการสร้างลักษณะนิสัยอันที่เป็นที่ยอมรับว่าจะสามารถคงทนและอยู่ได้นานในจิตของมนุษย์เราเรียกว่าการสร้างให้เกิดความตระหนักในสิ่งแวดล้อม (Environmental Awareness) ในจิตใจของมนุษย์ซึ่งเป็นการปูพื้นฐานทางด้านจิตใจให้เกิดขึ้นก่อนแล้วค่อยบูรณาการนำศาสตร์ต่าง ๆ มาใช้ให้เกิดผลที่เป็นรูปธรรม

ความตระหนักตามความหมายที่อ้างอิงจากพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานได้ให้ความหมายของคำตระหนัก (กิริยา) ว่ารู้ประจักษ์ชัดรู้ชัดเจน ดังนั้นความตระหนักในสิ่งแวดล้อมจึงหมายถึงการรู้ประจักษ์ชัดหรือรู้ชัดเจนในเรื่องสิ่งแวดล้อมความตระหนักในสิ่งแวดล้อมมีความหมายโดยนัยเหมือนกับการมีจิตใต้สำนึกในการรักษาสีสิ่งแวดล้อมเพราะความตระหนักเป็นการรู้ที่อยู่ใต้จิตสำนึกตลอดเวลาครั้งใดที่เกิดปัญหาหรือพบเห็นเรื่องราวที่เรามีความรู้ก็จะดึงจิตใต้สำนึกทำให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจน

ไม่ว่าในภาวะใดก็ตามความสำคัญที่ฝังลึกและถูกต้องนั้น จะไม่เปลี่ยนแปลง

การรับรู้ประจักษ์ชัดหรือการรับรู้ชัดเจนในเรื่องสิ่งแวดล้อมนั้น ถ้าจะใช้คำพูดที่สามารถจดจำได้ง่ายสำหรับบุคคลทั่วไป จะใช้คำว่า “**รู้แจ้งเห็นจริงในเรื่องสิ่งแวดล้อม**” ซึ่งการรู้แจ้งเห็นจริงนั้นต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ทางสิ่งแวดล้อมอย่างถูกต้องตามหลักการคือรู้กว้างและรู้จักการผสมผสานศาสตร์แขนงต่างๆเข้ามาใช้แก้ปัญหาร่วมกันในทุก ๆ ครั้ง ที่เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมขึ้น

การก่อให้เกิดความตระหนักในสิ่งแวดล้อมนั้น สามารถแบ่งเป็นลำดับได้ 4 ขั้นตอน [2] คือ (1) **มีความรู้ที่ชัดเจนและซาบซึ้ง** หมายถึงเข้าใจอย่างถ่องแท้ในเรื่องสิ่งแวดล้อมรู้ว่าสิ่งใดถูกสิ่งใดผิดสิ่งใดดีสิ่งใดไม่ดีสิ่งใดก่อให้เกิดประโยชน์สิ่งใดก่อให้เกิดโทษและสิ่งใดก่อให้เกิดผลดีและผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (2) **มีความรักและความห่วงหาหมาย** หมายถึงรักและความห่วงหาหมายในสิ่งที่เข้าใจอย่างถ่องแท้สำหรับเรื่องราวต่าง ๆ ของสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งที่ถูกสิ่งที่ดีสิ่งที่มีประโยชน์และก่อให้เกิดผลดีต่อมนุษยชาติและโลกเช่นความรักและห่วงหาหมายในความงามของธรรมชาติป่าเขาชายทะเลเกาะแก่งต้นไม้ลำธาร ทรัพยากรป่าไม้และสัตว์ป่า เป็นต้น (3) **มีความวิตกและห่วงใย** หมายถึง รู้สึกเป็นห่วงและกังวลถึงสิ่งที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมเช่นเป็นห่วงและกังวลต่อลักษณะนิสัยที่เห็นแก่ตัวไม่มุ่งประโยชน์ส่วนรวมตักตวงผลประโยชน์จากธรรมชาติ โดยปราศจากความพอเพียงความวิตกและความห่วงใยในสภาพภัยแล้งและวิกฤตการณ์การขาดแคลนน้ำซึ่งเกิดจากการตัดไม้ทำลายป่าเมื่อความวิตกและความห่วงใย ขยายวงกว้างขึ้นสื่อต่าง ๆ ก็จะช่วยกันผลักดันข่าวสารต่าง ๆ ออกสู่ผู้รับซึ่งก็คือประชาชนทั่วไปทำให้เกิดความรู้สึกเป็นห่วงถึงสิ่งที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและอนาคตซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสิ่งแวดล้อมในทางที่ดีขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมไม่มากก็น้อยและ (4) **การปฏิบัติอย่างจริงจัง** เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เพื่อให้เกิดความตระหนักในสิ่งแวดล้อมเพราะขั้นตอนทั้ง 3 ข้อที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้นแล้วนั้นเป็นเพียงพื้นฐาน

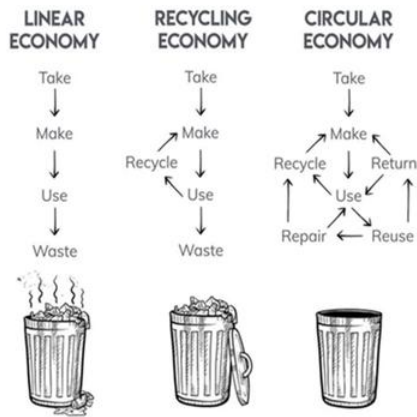
ที่ก่อให้เกิดผลทางด้านลักษณะนิสัยแต่ผลทางนามธรรมที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องอาศัยการปฏิบัติอย่างจริงจังทั้งทางตรงและทางอ้อมในนิสัยที่มนุษย์แต่ละคนพึงกระทำได้

การพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องเร่งด่วนที่จำเป็นต้องมีการส่งเสริมและปลูกฝังให้เกิดแก่ประชาชนเพราะสภาพแวดล้อมในปัจจุบันกำลังเสื่อมโทรมตามลำดับวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นแนวทางแก้ปัญหาได้ดีที่สุดโดยมนุษย์ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและมองเห็นปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทุกคนต้องรับผิดชอบตระหนักและสำนึกในบุญคุณที่ธรรมชาติหยิบยื่นชีวิตและปัจจัยเกื้อหนุนการดำรงชีวิตให้โดยปราศจากสิ่งทดแทนธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมไม่เคยเรียกร้องสิ่งใดจากมนุษย์ถ้ามนุษย์มีความตระหนักในสิ่งแวดล้อมอนาคตชนก็จะไม่ต้องเผชิญผลของการกระทำจากมนุษย์ในยุคปัจจุบันที่ขาดสำนึกแห่งความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม

3. เศรษฐกิจหมุนเวียนคืออะไร

เดิมระบบการผลิตและการบริโภคของโลกเป็นรูปแบบของเศรษฐกิจเส้นตรง (Linear Economy) มีการสกัดเอา (take) ทรัพยากรธรรมชาติเป็นวัตถุดิบมาเพื่อผลิต (make) เป็นผลิตภัณฑ์จากนั้นผู้บริโภคจะนำมาใช้งาน (use) และเมื่อผลิตภัณฑ์หมดสภาพการใช้งานก็จะถูกทิ้ง (dispose) เป็นขยะมูลฝอย (waste) ในที่สุดต่อมาเมื่อโลกเผชิญหน้ากับปัญหาขยะมูลฝอยถูกทิ้งจำนวนมากและมีการจัดการอย่างไม่ถูกวิธีส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดแนวคิดในการนำผลิตภัณฑ์ที่หมดสภาพการใช้งานกลับมารีไซเคิล (recycle) การใช้ทรัพยากรรูปแบบเศรษฐกิจนี้เรียกว่า เศรษฐกิจรีไซเคิล (Recycling Economy) ซึ่งยังก่อให้เกิดขยะมูลฝอยจำนวนมากอย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกการขยายตัวของเศรษฐกิจที่พึ่งพิงฐานทรัพยากรธรรมชาติทำให้เกิดการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและ การเสื่อมถอยของสภาพแวดล้อม

ก่อให้เกิดแนวคิดเรื่องเศรษฐกิจหมุนเวียนซึ่งไม่ได้เป็นเพียงแค่แนวคิดที่ต้องการรักษาสิ่งแวดล้อมและสังคมเท่านั้นแต่ยังสามารถนำมาสร้างผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจได้อีกด้วย



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบการผลิตและการบริโภคของโลกแบบต่างๆ

ที่มา: <https://geogjon.weebly.com/resource-stewardship-circular-economy.html>[4]

เศรษฐกิจหมุนเวียน(Circular Economy) คือแนวคิดเชิงระบบในการออกแบบกระบวนการผลิตภัณฑ์ การบริการและรูปแบบธุรกิจด้วยการจัดการผังการไหลของทรัพยากรให้เกิดการหมุนเวียนและการลดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจนนำไปสู่การไม่มีของเสียตลอดจนผลักดันให้ธุรกิจเติบโตทางอย่างยั่งยืน [3] ในบริบทขององค์กรหลักการสำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียนคือการใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้โดยใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ส่วนประกอบและวัสดุอย่างสูงสุดด้วยวิธีการที่เหมาะสมเช่นการใช้ซ้ำการซ่อมแซมการปรับปรุงใหม่การผลิตใหม่การแปรใช้ใหม่การออกแบบกระบวนการ รวมถึงการพัฒนา รูปแบบธุรกิจและนวัตกรรม รวมถึงมีการติดตามผลเพื่อจัดการให้ผลิตภัณฑ์และวัสดุหมุนเวียนอยู่ในระบบ

มูลนิธิเอเลนแมคอาร์เธอร์ (Ellen MacArthur Foundation: EMF) ได้เสนอแนวคิดวัฏจักรทางชีวภาพและวัฏจักรทางเทคนิคเข้าในระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน

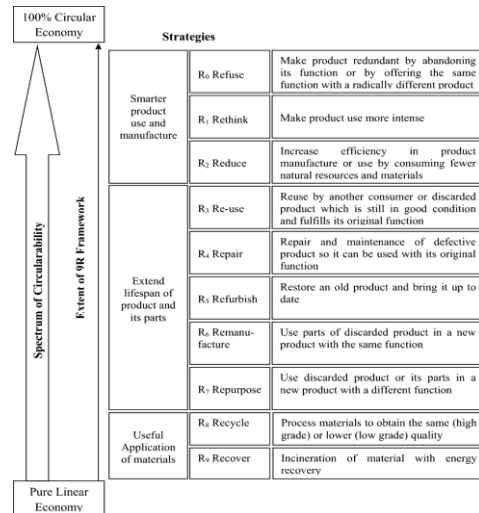
สำหรับวัฏจักรทางเทคนิคเป็นการจัดการคลังทรัพยากร (Stock Management) กล่าวคือวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้งานได้ไม่ควรถูกทิ้งเป็นของเสียแต่ควรมีการจัดการรวบรวมให้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่ยังมีคุณค่าไปสู่ผู้ผลิตชิ้นส่วนผู้ผลิตผลิตภัณฑ์และผู้ให้บริการผ่านการรีไซเคิลการปรับปรุงใหม่ (Refurbish) การผลิตใหม่ (Remanufacture) การใช้ซ้ำ (Reuse) การกระจายวัตถุดิบใหม่ (Redistribute) การบำรุงรักษา (Maintain) การยืดอายุ (Prolong) และการแบ่งปัน (Share) เพื่อให้เกิดการรั่วไหลไปนอกระบบให้น้อยที่สุดและเกิดผลกระทบน้อยที่สุดส่วนวัฏจักรทางชีวภาพเป็นการจัดการการไหลของทรัพยากรหมุนเวียน (Renewable flow management) ผ่านการใช้ใหม่ตามสภาพ (Cascade) การนำไปเป็นปุ๋ยในไร่นาการสกัดสารเคมีชีวภาพ (Biochemical feedstock) การหมักย่อยแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) การสร้างทรัพยากรทดแทนให้แก่โลก (Regenerate) ทั้งนี้สามารถจัดการให้วัสดุวัตถุดิบหมุนเวียนการใช้ประโยชน์ได้ภายในวัฏจักรทางชีวภาพหรือวัฏจักรทางเทคนิคโดยไม่จำเป็นว่ามีกำเนิดจากที่ใด

เศรษฐกิจหมุนเวียนจึงเป็นเรื่องของการปรับวิธีคิดให้สามารถจัดการทรัพยากรเพื่อเพิ่มผลประโยชน์ทางการเงินสิ่งแวดล้อมและสังคมทั้งในระยะสั้นและระยะยาวให้เชื่อมโยงและสัมพันธ์กับการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพการไม่มีของเสียและแนวคิดเศรษฐกิจชีวภาพ

การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ คือ การใช้ทรัพยากรวัสดุอย่างมีประสิทธิภาพป้องกันการเกิดของเสีย การลดสิ่งที่เป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและการสูญเสียทรัพยากรธรรมชาติให้น้อยที่สุดผลิตได้มากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรและพลังงานน้อยลงตลอดจนสามารถเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และบริการอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมตลอดวัฏจักรชีวิตที่ง่ายและเป็นระบบการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการบริโภคและการผลิตผลิตภัณฑ์และบริการตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงการใช้ขั้นสุดท้ายและการกำจัด

การไม่มีของเสียเป็นการกำหนดเป้าหมายส่งเสริมและออกแบบระบบการผลิตและบริการให้ใช้ทรัพยากรโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งวัฏจักรชีวิตวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในระบบต้องสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำหรือรีไซเคิลได้แต่ไม่สนับสนุนให้นำของเสียไปใช้เป็นพลังงานนำไปเผาหรือฝังกลบในทางปฏิบัติอาจไม่สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้กับของเสียทั้งหมดได้ทั้งนี้อาจมีการอ้างว่าไม่มีของเสียและหลีกเลี่ยงการนำของเสียไปฝังกลบโดยนำไปเผาเพื่อผลิตพลังงานหรืออาจมีการรายงานของเสียที่เกิดขึ้นไม่ครบถ้วนตลอดโซ่อุปทานการนำหลักการไม่มีของเสียมาใช้ในบางกรณีอาจไม่สามารถช่วยให้เกิดการหมุนเวียนทรัพยากรมากขึ้นแต่หากใช้อย่างถูกต้องจะช่วยให้สามารถปรับเปลี่ยนการดำเนินธุรกิจไปสู่เศรษฐกิจหมุนเวียนได้

เศรษฐกิจชีวภาพหมายถึงเศรษฐกิจที่ใช้ทรัพยากรที่มาจากธรรมชาติทั้งบนบกและในทะเลที่สามารถหมุนเวียนได้เพื่อผลิตอาหารและพลังงานทรัพยากรชีวภาพสามารถนำไปใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ส่วนประกอบหรือวัสดุใหม่หรือคืนกลับสู่โลกของสิ่งมีชีวิตเพื่อสร้างต้นทุนธรรมชาติขึ้นใหม่เศรษฐกิจหมุนเวียนจึงครอบคลุมทั้งทรัพยากรหมุนเวียนและทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปในทางปฏิบัติทรัพยากรชีวภาพมักถูกใช้หมดเร็วกว่าระยะเวลาที่จะสามารถเกิดขึ้นใหม่และอาจไม่ถูกหมุนเวียนสู่ธรรมชาติเพื่อให้คืนสู่สภาพเดิมอย่างเหมาะสมอย่างไรก็ตามเศรษฐกิจชีวภาพที่สามารถหมุนเวียนได้จะมีบทบาทสำคัญในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้พลังงานฟอสซิลและทรัพยากรอื่นที่ใช้แล้วหมดไปในการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีของเสียมีหลักการตาม **The 9R Framework (Potting et al.)** ดังนี้



ภาพที่ 2 The 9R framework. Source: Adapted and modified from Potting et al. (2017)[5]

4. ประโยชน์ของการนำเศรษฐกิจหมุนเวียนไปสู่การปฏิบัติ

เศรษฐกิจหมุนเวียนกำลังได้รับความสนใจและดำเนินการโดยภาครัฐทั่วโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยประโยชน์แต่ละข้อมีดังนี้

- 1) **ประโยชน์ระดับมหภาค**เช่นลดการพึ่งพาการหาวัตถุดิบปฐมภูมิใหม่ ๆ ลดปัญหาด้านวัสดุและพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดรักษาต้นทุนธรรมชาติและลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
- 2) **ประโยชน์ระดับจุลภาค**เช่นลดค่าใช้จ่ายลดต้นทุนสุทธิของการผลิตสร้างนวัตกรรมและแหล่งรายได้ใหม่ปรับปรุงความสัมพันธ์กับลูกค้าให้มากขึ้นการฟื้นตัวทางเศรษฐกิจขององค์กรที่ดีขึ้นจากการลดการพึ่งพาการนำเข้าหรือจัดหาวัตถุดิบปฐมภูมิใหม่ๆ เป็นต้น

การนำเศรษฐกิจหมุนเวียนไปสู่การปฏิบัติเป็นการสร้างคุณค่าทางธุรกิจในระยะยาวด้วยการจัดการทรัพยากรที่ยั่งยืนในการผลิตผลิตภัณฑ์และการให้บริการ ประกอบด้วยหลักการสำคัญ 6 ประการ[6]ได้แก่

1. **การคิดเชิงระบบ (Systems thinking)**
องค์กรควรเข้าใจถึงผลกระทบในวงกว้างที่เกิดจากกิจกรรมขององค์กรเข้าใจถึงการสร้างคุณค่าขององค์กร

และความสามารถในการแทรกแซง “ระบบ” เพื่อให้องค์กรมีอิทธิพลต่อการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

2. **นวัตกรรม (Innovation)** องค์กรควรพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่องโดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนตั้งแต่การออกแบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ บริการและรูปแบบธุรกิจ

3. **การดูแลรับผิดชอบ (Stewardship)** องค์กรควรรับผิดชอบต่อการตัดสินใจและการดำเนินกิจกรรมทุกอย่างตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดทั้งทางตรงและทางอ้อม

4. **ความร่วมมือ (Collaboration)** องค์กรควรมีความร่วมมือกันทั้งภายในและภายนอกองค์กรเพื่อรักษาผลประโยชน์และสร้างคุณค่าทางธุรกิจร่วมกัน

5. **คุณค่าที่เหมาะสม (Value Optimization)** องค์กรควรทำให้ผลิตภัณฑ์ส่วนประกอบและวัตถุดิบเกิดคุณค่าและการใช้ประโยชน์สูงสุดผ่านการพิจารณาปัจจัยหรือความเสี่ยงที่อาจสร้างผลกระทบหรือความสูญเสียต่อระบบในอนาคตการเพิ่มคุณค่าของวัสดุสามารถดำเนินการได้ 3 วิธีได้แก่

วิธีที่ 1 วัสดุที่ถูกมองว่าเป็นของเสียทั้งจากขั้นตอนการผลิตหรือหลังการใช้งานสามารถนำกลับไปใช้งานอื่นแต่อาจต้องปรับแต่งในกระบวนการผลิตและการออกแบบ

วิธีที่ 2 วัสดุที่ได้จากทรัพยากรธรรมชาติควรยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ให้ยาวนานหรือใช้บ่อยครั้งผ่านการออกแบบหรือใช้วัสดุที่คงทนในการผลิต

วิธีที่ 3 พื้นที่หรืออุปกรณ์ที่เหลืออยู่อาจนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ภายในองค์กร

6. **ความโปร่งใส (Transparency)** องค์กรควรเปิดเผยผลการตัดสินใจและการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการปรับเปลี่ยนไปสู่รูปแบบการดำเนินการตามเศรษฐกิจหมุนเวียนและความยั่งยืน

5. รูปแบบการทำธุรกิจเศรษฐกิจหมุนเวียน

เศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นทางเลือกใหม่ที่มุ่งให้ความสำคัญกับการเลือกใช้วัสดุการออกแบบผลิตภัณฑ์

การใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีในกระบวนการที่เกี่ยวข้องตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนำไปสู่การไม่มีของเสียและมลพิษตลอดทั้งระบบสินค้าและบริการสามารถแบ่งรูปแบบของธุรกิจออกเป็น 5 ประเภท [7] ดังนี้

1. **Circular Supplies** เป็นการนำวัสดุจากการรีไซเคิลวัสดุชีวภาพและวัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ทั้งหมดมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเพื่อลดการใช้ทรัพยากรในการผลิตและลดการเกิดของเสียตลอดจนการใช้พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการ

2. **Resource Recovery** การออกแบบให้มี “ระบบนำกลับ” (Take-Back system) ในกระบวนการเพื่อนำวัตถุดิบเหลือใช้ผลิตภัณฑ์หรือสินค้าที่ถูกกำจัดซึ่งยังสามารถใช้งานได้กลับเข้าสู่กระบวนการใหม่เพื่อลดการเหลือทิ้งให้มากที่สุด

3. **Circular Design** มุ่งเน้นการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการใช้งานยาวนาน

4. **Sharing Platform** มุ่งเน้นการใช้และแบ่งปันทรัพยากรร่วมกันเพื่อการใช้ผลิตภัณฑ์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

5. **Product as a service** เป็นโมเดลธุรกิจที่ให้บริการในรูปแบบการเช่าหรือ “การจ่ายเมื่อใช้งาน” (pay-for-use) แทนการซื้อขาดซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้บริการแต่ยังช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

6. ตัวอย่างการพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อมด้วยวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียน

เนื่องจากเศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นระบบเศรษฐกิจที่ครอบคลุมทุกภาคส่วนของสังคมตั้งแต่ต้นทางอย่างกระบวนการผลิตสินค้าการจำหน่ายแจกไปจนถึงปลายทางของผู้บริโภคและการจัดการของเสียที่เกิดขึ้น ดังนั้นประชาชนทุกคนจึงจำเป็นต้องมีส่วนร่วมในการสร้างระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนครบทั้งระบบเพื่อนำไปสู่ความยั่งยืนและสังคมให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีบางครั้งอาจมี

ข้อจำกัดในเรื่องของการลงทุนเทคโนโลยีที่จะเข้ามาช่วยในการปรับเปลี่ยนการผลิตเพื่อให้สามารถนำทรัพยากรที่ใช้อย่างมีประสิทธิภาพกลับมาผลิตซ้ำแทนทรัพยากรใหม่ได้รวมถึงกระบวนการผลิตที่จะต้องสะอาดนอกจากนั้นยังอาจส่งผลกระทบต่อตลาดแรงงานที่จำนวนผู้ใช้แรงงานอาจต้องลดลงเพื่อเป็นการลดต้นทุน [8] การที่จะนำเศรษฐกิจหมุนเวียนมาปรับใช้ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้นจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกหน่วยในระบบเศรษฐกิจโดยในช่วงแรกอาจเป็นการผลักดันและขับเคลื่อนโดยรัฐบาลไม่ว่าจะเป็น การสร้างความตระหนักรู้และทัศนคติเชิงบวกแก่ประชาชนการให้แรงจูงใจสิทธิประโยชน์ต่างๆแก่ภาคเอกชนรวมถึงการพิจารณาข้อกฎหมายที่ไม่เอื้อต่อเศรษฐกิจหมุนเวียนขณะที่ภาครัฐกิจและผู้บริโภคจะต้องตระหนักถึงความสำคัญและให้ความร่วมมืออย่างสุดความสามารถเช่นเดียวกันเพื่อให้ประเทศไทยสามารถก้าวข้ามผ่านเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่โอกาสทางการผลิตแบบใหม่ที่จะก่อให้เกิดระบบเศรษฐกิจที่มีความยั่งยืนไปพร้อมกับการที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนับจากนี้ไปเศรษฐกิจหมุนเวียนจึงไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไปโดยที่ทุกภาคส่วนจำเป็นต้องศึกษาและปรับตัวเพื่อเตรียมความพร้อมให้ไทยก้าวสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ในชีวิตประจำวันของเราตลอด 24 ชั่วโมงมีกิจกรรมต่างๆที่เน้นการพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อมโดยใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอยู่หลายกรณี อาทิเช่น

1. การเลือกร้านอาหารที่ใส่ใจในแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน การดำเนินธุรกิจประเภทร้านอาหารต้องเล็งเห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปรุงอาหารและการให้บริการโดยจะไม่คำนึงถึงเฉพาะการเกิดขยะปลายทางแต่ยังคำนึงถึงการเกิดขยะตลอดกระบวนการเลือกใช้วัตถุดิบกระบวนการจัดซื้อจัดเก็บและเตรียมวัตถุดิบกระบวนการปรุงอาหารแม้กระทั่งการจัดการกับเศษตัดแต่งที่เกิดขึ้นด้วยตระหนักเรื่องนี้เป็นอย่างดีและพยายามทำทุกอย่างให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเช่น การใช้ระบบทำน้ำร้อนโดยตุ่มมวลความร้อนและ

ใช้พลังงานความร้อนที่อยู่ในอากาศมาทำให้น้ำร้อนเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าการใช้น้ำร้อนเหลือใช้จากการทอดซึ่งจะถูกนำไปกรองให้สะอาดแล้วนำไปทำสบู่หรือไปโอดีเซลนอกจากนั้นขยะจะถูกแยกตามประเภทได้แก่กระดาษพลาสติกขวดแก้วและขยะอินทรีย์ที่จะนำไปหมักทำปุ๋ยชีวภาพและก๊าซชีวภาพต่อไป

2. ทุกมื้อของอาหารต้องช่วยกันลดขยะอาหาร มีการประมาณการว่าทุกวันนี้อาหารทั่วโลกถูกทิ้งราว 1 ใน 3 ของอาหารที่ผลิตขึ้นปัญหาขยะอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมากมายต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมขยะอาหารเป็นอาหารที่มนุษย์กินทิ้งกินขว้างและเหลือจากการกินรวมไปถึงอาหารหมดยาผู้ผลิตไม้ที่มีตำหนิและตกเกรดซึ่งถูกนำไปทิ้งกลายเป็นขยะ (Food Waste) ซึ่งถ้าพูดกันตามความเป็นจริงขยะอาหารบางส่วนที่ถูกทิ้งเหล่านี้สามารถนำมากินหรือใช้ประกอบอาหารได้หากลงมือป้องกันก่อนพวกที่อาหารจะกลายเป็นขยะการจัดการขยะอาหารสามารถทำได้โดย

2.1 วางแผนก่อนการซื้อ ควรตรวจสอบอาหารที่มีอยู่วางแผนรายการอาหารและซื้อวัตถุดิบให้พอดีกับที่บริโภคงดพฤติกรรมซื้อมาตุนไว้จนกินไม่ทัน

2.2 รู้คุณค่าและความพอเหมาะ เตรียมอาหารให้พอเหมาะกับจำนวนสมาชิกในครอบครัวลดเศษวัตถุดิบจากการเตรียมอาหารตักอาหารให้พอดีกินไม่ตกในปริมาณที่มากเกินไปกรณีไปกินที่ร้านอาหารหากกินไม่หมดสามารถห่อกลับเก็บไว้กินมื้ออื่นหรือหากมีอาหารเหลือควรนำมาแปรรูปประกอบอาหารเมนูอื่น

2.3 รักษาอย่างถูกวิธี เก็บรักษาให้เหมาะสมกับประเภทอาหารในอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่ควรใส่ของในตู้เย็นแน่นเกินไปจนความเย็นกระจายไม่ทั่วถึงและคอยตรวจสอบสภาพอาหารรวมถึงวันหมดอายุอยู่เสมอ

2.4 ทำบุญโดยไม่สร้างขยะอาหาร เตรียมอาหารสำหรับทำบุญในปริมาณที่เหมาะสม

2.5 แบ่งปันอาหารที่เหลือไปใช้ประโยชน์ เช่น การมอบอาหารให้ผู้อื่นที่ต้องการ การนำอาหาร

ที่เหลือไปใช้เป็นอาหารสัตว์ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปริมาณอาหารแล้วยังเป็นการแบ่งปันน้ำใจให้กับสังคมอีกด้วย

3. ทุกวันเวลาที่ใช้ชีวิตต้องเลือกผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กิจกรรมในชีวิตประจำวันตั้งแต่ตื่นนอนอาบน้ำล้างจานซักเสื้อผ้าทำความสะอาดพื้นรวมถึงการใช้อุปกรณ์ต่างๆในสำนักงานไม่ว่าจะเป็นกระดาษ เครื่องเขียนน้ำยาลบคำผิดเครื่องพิมพ์เครื่องถ่ายเอกสารและอื่นๆเราควรเลือกผลิตภัณฑ์ที่มี **“ฉลากเขียว”** ซึ่งให้การรับรองว่าเป็นสินค้าที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไปเครื่องใช้ในสำนักงานที่ได้รับการรับรองฉลากเขียวเช่นเครื่องเรือนเหล็กที่มีการใช้สีเคลือบที่ไม่เป็นอันตรายปลอดสารฟอร์มาลดีไฮด์และโลหะหนัก เครื่องเขียนมีการใช้น้ำหมึกหรือสีที่ปลอดสารก่อมะเร็งและโลหะหนักน้ำยาลบคำผิดเลือกใช้แบบที่ไม่มีสารก่อมะเร็งและไม่มีสารที่ระคายเคืองต่อสุขภาพเป็นต้น

7. บทสรุป

วิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนจะก่อให้เกิดการสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรมที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เกิดการสร้างงานและขับเคลื่อนเศรษฐกิจให้เจริญเติบโตในแนวทางที่เป็นมิตรต่อทรัพยากรธรรมชาติ นับเป็นหัวใจสำคัญในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาวการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมจำเป็นต้องสร้างให้เกิดขึ้นพร้อมกับ การปรับเปลี่ยนลักษณะนิสัยต่าง ๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน จึงจะเกิดการพัฒนานิยามลักษณะการพัฒนาที่ยั่งยืนโลก ในการสร้างลักษณะนิสัยอันที่เป็นที่ยอมรับว่าจะสามารถคงทนและอยู่ได้นานในจิตใจของมนุษย์ หรือการสร้างให้เกิดความตระหนักในสิ่งแวดล้อมในจิตใจของมนุษย์เป็นที่สิ่งสำคัญมากการพัฒนาความตระหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องเร่งด่วนจำเป็นต้องมีการส่งเสริมและปลูกฝังให้เกิดแก่ประชาชนเพราะสภาพแวดล้อมในปัจจุบันกำลังเสื่อมโทรมลงตามลำดับวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นแนวทางแก้ปัญหาโดยมนุษย์ต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและมองเห็นปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทุกคนต้องรับผิดชอบร่วมกัน

เศรษฐกิจหมุนเวียนคือแนวคิดเชิงระบบในการออกแบบกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์การบริการและรูปแบบธุรกิจด้วย

การจัดการฝังการไหลของทรัพยากรให้เกิดการหมุนเวียน และการลดของเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจนนำไปสู่การไม่มีของเสียตลอดจนผลักดันให้ธุรกิจเติบโตทางอย่างยั่งยืนเศรษฐกิจหมุนเวียนมีเป้าประสงค์เพื่อขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจโลกให้สามารถเติบโตได้ในระยะยาวและมีศักยภาพที่จะช่วยให้เกิดการฟื้นฟูเศรษฐกิจพร้อมกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ตลอดจนสนับสนุนการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงผลกระทบอาจเกิดขึ้นตามมาเศรษฐกิจหมุนเวียนเป็นทางเลือกใหม่ที่มุ่งให้ความสำคัญกับการเลือกใช้วัสดุการออกแบบผลิตภัณฑ์การใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีในกระบวนการที่เกี่ยวข้องตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์นำไปสู่การไม่มีของเสียและมลพิษตลอดทั้งระบบสินค้าและบริการ

การที่จะนำเศรษฐกิจหมุนเวียนมาปรับใช้ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกหน่วยในระบบเศรษฐกิจขณะที่ภาคธุรกิจและผู้บริโภคจะต้องตระหนักถึงความสำคัญและให้ความร่วมมืออย่างสุดเพื่อให้ประเทศไทยสามารถก้าวข้ามผ่านเศรษฐกิจแบบเดิมไปสู่โอกาสทางการผลิตแบบใหม่ที่จะก่อให้เกิดระบบเศรษฐกิจที่มีความยั่งยืนไปพร้อมกับการที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนับจากนี้ไปเศรษฐกิจหมุนเวียนจึงไม่ใช่เรื่องไกลตัวอีกต่อไปโดยที่ทุกภาคส่วนจำเป็นต้องศึกษาและปรับตัวเพื่อเตรียมความพร้อมให้ประเทศไทยก้าวสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปนั่นหมายถึงวิถีชีวิตเศรษฐกิจหมุนเวียนจะช่วยให้ความตระหนักในสิ่งแวดล้อมได้ถูกพัฒนาและต่อยอดให้ปรากฏผลเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนเพื่ออนาคตของประเทศชาติและสังคมที่ยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักส่งเสริมตลาดคาร์บอนและนวัตกรรมองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) . *เศรษฐกิจหมุนเวียนคืออะไร*. สืบค้น 12 มกราคม 2563 จาก <http://carbonmarket.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y2VfaXM=>

- [2] กิตติภูมิ มีประดิษฐ์. *สร้างความตระหนักในสิ่งแวดล้อม...เพื่อหยุดมรดกแห่งมลพิษ*. หนังสือพิมพ์กรุงเทพธุรกิจ. (25 เมษายน 2559) จาก <https://www.bangkokbiznews.com/blog/detail/637550>
- [3] ปรับปรุงจากมาตรฐาน มตช. 2-2562 แนวทางการใช้หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562).
- [4] เปรียบเทียบการผลิตและการบริโภคของโลกแบบต่างๆจาก <https://geogjon.weebly.com/resource-stewardship-circular-economy.html>
- [5] Clean Technologies and Environmental Policy. (2017). *The 9R framework*. Source: Adapted and modified from Potting et al. from https://www.researchgate.net/figure/The-9R-framework-Source-Adapted-and-modified-from-Potting-et-al-2017_fig3_345805493
- [6] ปรับปรุงจากมาตรฐานมตช. 2-2562 แนวทางการใช้หลักเศรษฐกิจหมุนเวียนในองค์กรสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2562).
- [7] เขตนวัตกรรมระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก. โอกาสทางธุรกิจจากระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน. สืบค้น 4 พฤษภาคม 2564, จาก <https://www.eeci.or.th/th/publication/news/detail/93>
- [8] ฝ่ายเศรษฐกิจและศูนย์ข้อมูลหอการค้าไทย. (2561). Circular Economy. สืบค้น 12 มกราคม 2562, จาก <https://www.thaichamber.org/content/file/document/0906181536224841.pdf>