



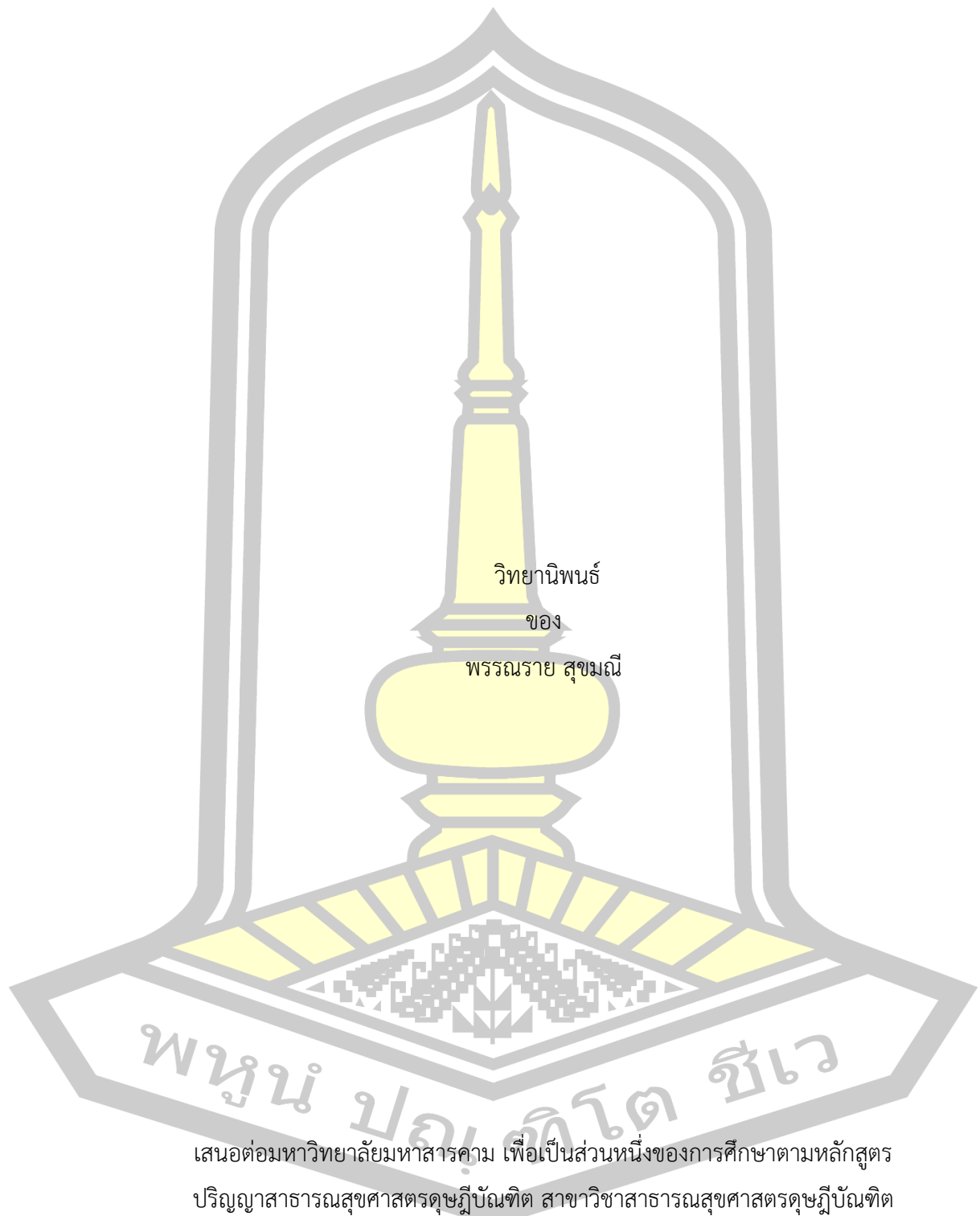
การย่อสลายทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัยโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว

วิทยานิพนธ์
ของ
พรรณราย สุขมณี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
ธันวาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกและน้ำกากอเนามัยโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว

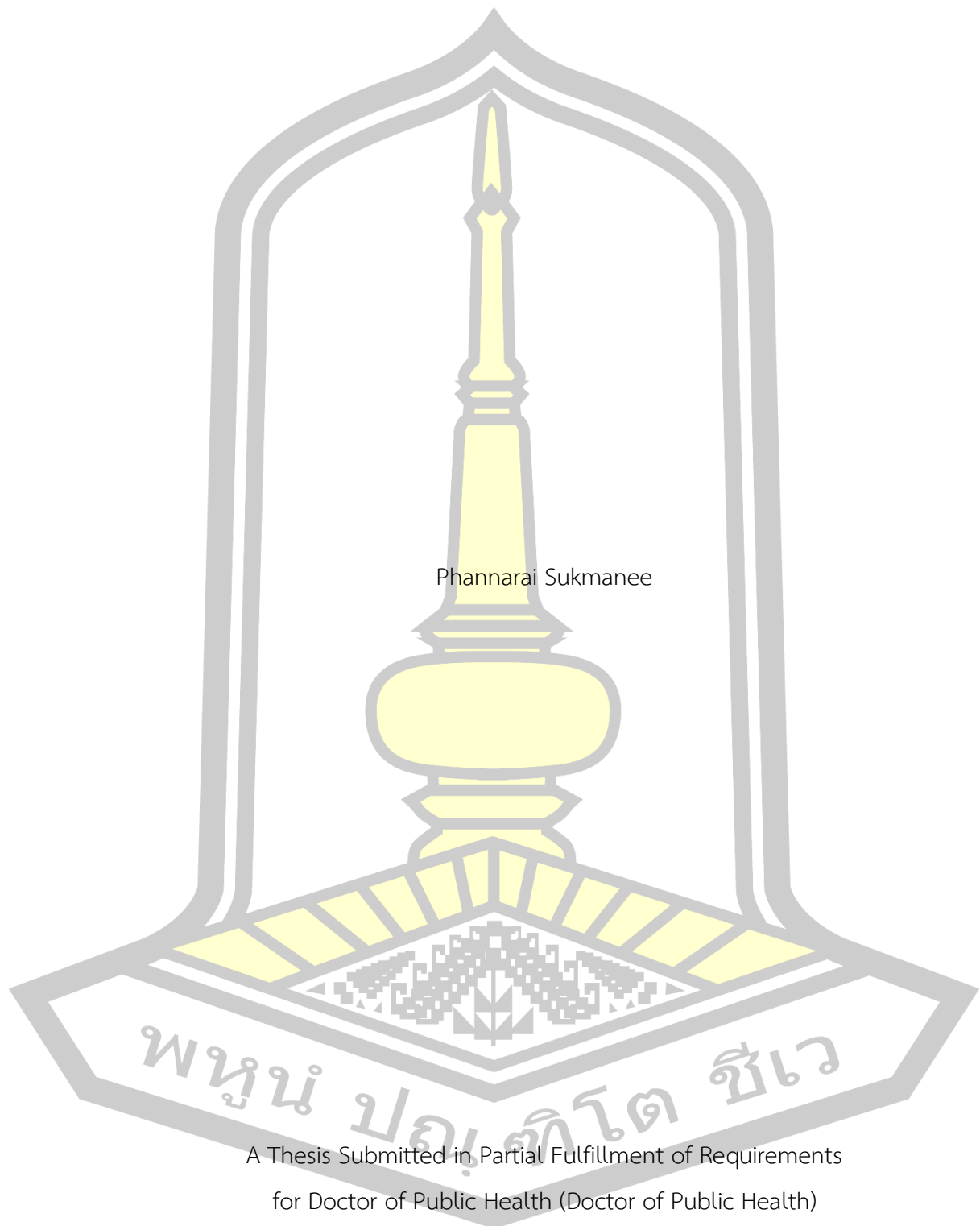


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต

ธันวาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Biodegradation of plastic and Hygienic mask using Chewing Insects



Phannarai Sukmanee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Doctor of Public Health (Doctor of Public Health)

December 2023

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวพรรณราย สุขมณี แล้ว
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสาขารัฐศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา
สาขารัฐศาสตรดุษฎีบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อ. ดร. อภิวัฏฐ์ ธวัชสิน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รศ. ดร. ธิดารัตน์ สมดี)

กรรมการ

(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)

กรรมการ

(ผศ. ดร. ณัชชลิตา ยุคะลัง)

กรรมการ

(อ. ดร. ชุลีวัลย์ ธัญญศิริพันธ์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
สาขารัฐศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสาขารัฐศาสตรดุษฎีบัณฑิต ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

(รศ. ดร. สุมัทนา กลางคาร)

คณบดีคณะสาขารัฐศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัยโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว		
ผู้วิจัย	พรรณราย สุขมณี		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ อาจารย์ ดร. อภิวิทย์ ธวัชสิน รองศาสตราจารย์ ดร. ธิดารัตน์ สมดี		
ปริญญา	สาทรณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต	สาขาวิชา	สาทรณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2566

บทคัดย่อ

พลาสติกเป็นสาเหตุสำคัญของมลพิษสิ่งแวดล้อม โดยที่ผ่านมาเราพยายามแก้ไขปัญหาพลาสติกด้วยวิธีต่างๆ โดยวิธีการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความเป็นไปได้ที่น่าสนใจคือการใช้แมลงในการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวในการย่อยสลายพลาสติกชนิด polystyrene paper (PSP) high density polyethylene (HDPE) polypropylene (PP) และ hygienic mask (หน้ากากอนามัย) การศึกษาครั้งนี้ใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวคือ *T.molitor* , *Z.morio* , *P.americana* และ *G.bimaculatus* เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PSP HDPE PP และหน้ากากอนามัยโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด แมลงแบบปากกัดเคี้ยวมีประสิทธิภาพในการลดพลาสติก PSP ได้ดีที่สุดรองลงมาคือ HDPE การวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยคลื่นอินฟราเรด (FTIR) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงให้เห็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ยืนยันการย่อยสลายทางชีวภาพของ PSP และ HDPE พบหมู่ฟังก์ชันใหม่คือคาร์บอนิล (C=O) ไฮดรอกซิล (O-H) และการวิเคราะห์ SEM แสดงให้เห็นรอยแตกบนพื้นผิวพลาสติกและน้ำหนักรวมของพลาสติกโดยพบว่าการผสมแป้งกับพลาสติกทำให้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวมีประสิทธิภาพในการลดพลาสติกมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ ($p < 0.001$)

คำสำคัญ : การย่อยสลายทางชีวภาพ, แมลงแบบปากกัดเคี้ยว, พลาสติก

TITLE Biodegradation of plastic and Hygienic mask using Chewing Insects

AUTHOR Phannarai Sukmanee

ADVISORS Assistant Professor Prachumporn Lauprasert , Ph.D.
Apiwat Tawatsin , Ph.D.
Associate Professor Thidarat Somdee , Ph.D.

DEGREE Doctor of Public Health **MAJOR** Doctor of Public Health

UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2023
University

ABSTRACT

Plastic is an important cause of environmental pollution. In the past, we have tried to solve the plastic problem through various methods. Biodegradation is a method that has received a lot of attention in recent years. Intriguing possibility is the use of insects in biodegradation of plastics. The aim of this research was to demonstrate the potentiality of the chewing insects to biodegrade plastics. This study used chewing insects: *T.molitor* , *Z.morio* , *P.americana* and *G.bimaculatus* to compare biodegradation efficiencies for polystyrene paper (PSP) high density polyethylene (HDPE) polypropylene (PP) and hygienic mask (Mask) by different types of chewing insects. Chewing insects are the most effective at degrad PSP plastic, followed by HDPE. The Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis showed evidence of oxidation confirming effective biodegradation of PSP, new functional groups were found carbonyl (C=O) and hydroxyl (O-H). SEM analysis showed the cracks on the PSP surface. These results suggest that supplementing tapioca starch increased the degradation found that there was a significant difference ($p<0.001$).

Keyword : biodegradation, chewing insect, plastic

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2566 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเภทส่งเสริมการตีพิมพ์สำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาเอก)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ธิดารัตน์ สมดี และ อาจารย์ ดร.อภิวัฏ ธวัชสิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่บุคลากรจากมหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่านที่ให้ความรู้คำแนะนำปรึกษา ข้อชี้แนะ สนับสนุน ส่งเสริมและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยจนสามารถดำเนินการจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะสภามหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่วิทยาการทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนในทุกๆเรื่องรวมถึงกำลังใจที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณพี่น้องและเพื่อนนิสิตคณะสภามหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือสนับสนุนมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์จากงานวิจัยในครั้งนี้ขอมอบบูชา บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณท่าน

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยมหาสารคามสำหรับทุกส่งเสริมการตีพิมพ์สำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาเอก)

พรรณราย สุขมณี

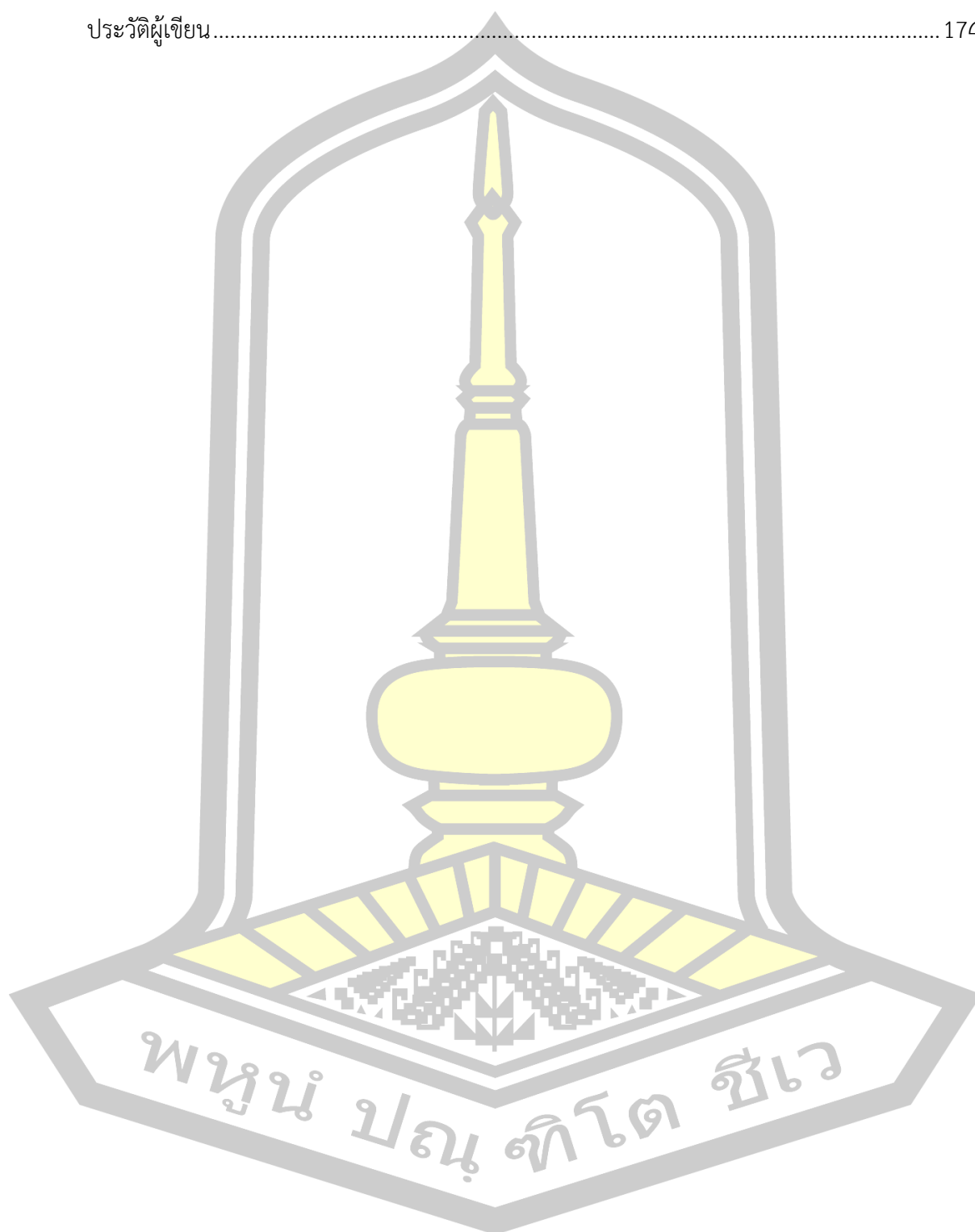
พูน ปณ จิตโต ชีเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตการวิจัย	5
1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.5 สมมติฐานของการวิจัย	8
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	8
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ	10
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลาสติก.....	11
2.2 การจัดการมูลฝอยพลาสติก.....	22
2.3 แมลงสาบ (Cockroach).....	28
2.4 หนอนนก (Mealworm).....	37
2.5 หนอนยักษ์ (Superworm)	41
2.6 จิ้งหรีด (Cricket)	44

2.7 หน้ากากอนามัย (Mask)	49
2.8 กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)	56
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	62
2.10 กรอบแนวคิดการวิจัย	68
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	69
3.1 รูปแบบการวิจัย	69
3.2 ประชากรที่ศึกษา/กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	71
3.3 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี.....	73
3.4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....	75
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	77
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย	85
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	86
4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล	86
4.2 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง	86
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	87
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	137
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	138
5.2 อภิปรายผลการทดลอง	140
5.3 ข้อเสนอแนะ	144
บรรณานุกรม.....	145
ภาคผนวก.....	158
ภาคผนวก ก ตารางความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมูฟังก์ชันต่างๆ.....	159
ภาคผนวก ข ใบรับรองการอนุมัติจริยธรรมการวิจัยในสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์	166
ภาคผนวก ค ใบอนุญาตใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์	169

ภาคผนวก ง แบบอนุมัติการขอให้พื้นที่การทำวิจัย	172
ประวัติผู้เขียน	174



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย	54
ตารางที่ 3 น้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ (g)	94
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ	96
ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	98
ตารางที่ 6 น้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ (g)	105
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ	107
ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	109
ตารางที่ 9 น้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ (g)	114
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ	116
ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้ง ในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	117
ตารางที่ 12 น้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ	125
ตารางที่ 13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ	127
ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก Mask ในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	129

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอทิลีน	15
ภาพที่ 2 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LDPE	15
ภาพที่ 3 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ HDPE	16
ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของโพลีโพรพิลีน	17
ภาพที่ 5 รูปแบบที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันของโพลีโพรพิลีน	17
ภาพที่ 6 โครงสร้างพอลิสไตรีน	19
ภาพที่ 7 โครงสร้างของแมลงสาบ	28
ภาพที่ 8 วงชีวิตแมลงสาบ	29
ภาพที่ 9 แมลงสาบอเมริกัน	31
ภาพที่ 10 หนอนนก (<i>Tenebrio molitor</i> Linnaeus)	37
ภาพที่ 11 วงชีวิตหนอนนก	39
ภาพที่ 12 หนอนยักซ์ (<i>Zophobas morio</i> Fabricius)	42
ภาพที่ 13 วงชีวิตหนอนยักซ์	44
ภาพที่ 14 จิ้งหรีดทองดำ (<i>Gryllus bimaculatus</i> De Geer)	46
ภาพที่ 15 หน้ากากอนามัยทางการแพทย์	52
ภาพที่ 16 หน้ากาก N95	53
ภาพที่ 17 หน้ากากอนามัยแบบผ้า	53
ภาพที่ 18 กระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย	56
ภาพที่ 19 แผนผังการทดลองการย่อยพลาสติกถุงร้อน PP	78
ภาพที่ 20 แผนผังการทดลองการย่อยพลาสติกถุงร้อน HDPE	79
ภาพที่ 21 แผนผังการทดลองการย่อยโฟมบรรจุอาหาร PSP	80

ภาพที่ 22 แผนผังการทดลองการย่อยหน้ากากอนามัย.....	81
ภาพที่ 23 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP.....	88
ภาพที่ 24 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติกก่อนการทดลองกลุ่มควบคุมเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของ เครื่อง FTIR พลาสติก PSP.....	88
ภาพที่ 25 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP กลุ่มควบคุมหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR	88
ภาพที่ 26 สเปกตรัมของ PSP หลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด.....	90
ภาพที่ 27 การเคลือบพื้นผิวตัวอย่างพลาสติกหลักการย่อยสลายทางชีวภาพก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง SEM.....	91
ภาพที่ 28 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกพลาสติก PSP.....	92
ภาพที่ 29 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด.....	93
ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติกและพลาสติกผสมแบ่งระหว่างแมลง แบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	99
ภาพที่ 31 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE.....	100
ภาพที่ 32 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE ก่อนการทดลองของกลุ่มควบคุมเปรียบเทียบกับ ฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR.....	100
ภาพที่ 33 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE กลุ่มควบคุมหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR	101
ภาพที่ 34 สเปกตรัมของ HDPE หลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด.....	102
ภาพที่ 35 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด...	104
ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก HDPE และพลาสติก HDPE ผสม แบ่งระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	110
ภาพที่ 37 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PP.....	111
ภาพที่ 38 สเปกตรัมของพลาสติกชนิดถุงร้อน PP เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR.....	112
ภาพที่ 39 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PP	113
ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก PP และพลาสติก PP ผสมแบ่ง	118

ภาพที่ 41 โครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัย	119
ภาพที่ 42 โครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัยกลุ่มควบคุมหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR	119
ภาพที่ 43 โครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัยในแต่ละชั้น (ก่อนการทดลอง)	120
ภาพที่ 44 สเปกตรัมของ Mask หลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิดMask	122
ภาพที่ 45 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยหลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด	124
ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักหน้ากากอนามัยและหน้ากากผสมแป้ง ระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด	130
ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่าง พลาสติกแต่ละประเภท	131



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

พลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีบทบาทอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน มีการเติบโตทางการผลิตมากขึ้นโดยมีแนวโน้มว่าจะมีอัตราการผลิตสูงถึง 1,600 ล้านตันต่อปีในปี 2050 (De Smet, 2017) เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติเบา แข็งแรง ทนทานและต้นทุนต่ำสามารถผลิตให้มีรูปแบบที่หลากหลาย ตามความต้องการได้ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้าและทันสมัย ทำให้ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบและมีสีสันสวยงามให้เลือกใช้ตามความต้องการ (Organisation for Economic Co-operation & Development, 2018) ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นทำให้พลาสติกได้รับความนิยมอย่างรวดเร็วเช่น ถุงพลาสติก ภาชนะบรรจุอาหาร ของเล่นเด็ก เพอร์นิเจอร์ ทำให้เกิดมูลฝอยพลาสติกในปริมาณมากขึ้นมีการผลิตพลาสติก 300 ล้านตันในแต่ละปีทั่วโลกโดยครึ่งหนึ่งเป็นพลาสติกใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Natural Resources Defense Council, 2018) พลาสติกถูกนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ 146 ล้านตันคิดเป็นร้อยละ 42 ของการใช้พลาสติกทั้งหมด (Geyer et al., 2017) “ถุงพลาสติก” เป็นมูลฝอยที่มีปริมาณมากและถูกทิ้งมากในทุก ๆ วันทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมืองและชุมชนขนาดใหญ่ ปัญหามูลฝอยพลาสติกจำนวนมากสาละวันยังเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุก ๆ ปี พลาสติกถูกสะสมในมหาสมุทรและชายหาดกลายเป็นวิกฤตระดับโลก ประมาณร้อยละ 40 ของพื้นผิวมหาสมุทรของโลก Biological 2020 ถึงแม้จะมีการตื่นตัวและรณรงค์ให้นำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ แต่เมื่อนำมาใช้ซ้ำหลายครั้งทำให้คุณภาพของพลาสติกด้อยลง อีกทั้งต้องคำนึงถึงความสะดวกและความปลอดภัย (Hahladakis & Iacovidou, 2018) และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการนำเอามูลฝอยพลาสติกกลับมาใช้ใหม่กับมูลฝอยพลาสติกที่ถูกทิ้งทั้งหมดในแต่ละวันมีเพียงร้อยละ 14 เท่านั้น (MacArthur et al., 2017) ปัจจุบันมีบริการอาหารในรูปแบบฟู้ดเดลิเวอรี (food delivery) พบว่าถุงพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีการใช้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 35.08 และกล่องพลาสติกคิดเป็นร้อยละ 27.43% (Liu et al., 2020) ในปี 2563 มีปริมาณมูลฝอยที่เกิดจากพลาสติก 3,440 ตัน/วัน จากเดิมปี 2562 มีปริมาณมูลฝอยพลาสติก 2,120 ตัน/วัน โดยเพิ่มขึ้น 1,320 ตัน/วัน (เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 62) ประกอบด้วย มูลฝอยพลาสติกรีไซเคิลได้ 660 ตัน/วัน (ร้อยละ 19) และมูลฝอยพลาสติกปนเปื้อน 2,780 ตัน/วัน (ร้อยละ 81) (วิจารณ์ สิมายา, 2563) การบริการอาหารในรูปแบบฟู้ดเดลิเวอรีใช้ถุงพลาสติก ถุงร้อนโพลีโพรพิลีน (polypropylene : PP) และกล่องโฟมโพลีสไตรีน (polystyrene paper : PSP) เป็นภาชนะบรรจุอาหาร (ธีรพัฒน์

เวชประสิทธิ์, 2556) คาดการณ์ว่ามูลฝอยพลาสติกที่เกิดขึ้นทั่วโลก มีเพียงร้อยละ 9 เท่านั้นที่มีการนำกลับมาใช้ใหม่ (รีไซเคิล) และส่วนใหญ่ (ร้อยละ 79) สะสมในแหล่งฝังกลบหรือตกค้างในสิ่งแวดล้อมบนบกและในทะเล (Geyer et al., 2017) มีเพียงร้อยละ 1 ของถุงพลาสติกเท่านั้นที่ถูกส่งกลับไปรีไซเคิล (Biological diversity, 2020) สำหรับประเทศไทยมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เฉลี่ยแล้วอยู่ที่ประมาณ 0.5 ล้านตันต่อปี (ร้อยละ 25) เท่านั้น โดยส่วนที่เหลือ 1.5 ล้านตันถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีฝังกลบหรือเผา และบางส่วนก็ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) ซึ่งอายุในการย่อยสลายเฉลี่ยประมาณ 450 ปี ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว หรือถ้ากำจัดโดยวิธีการเผาอย่างผิดวิธีจะทำให้เกิดมลพิษโลกร้อนตามมาในอนาคต

ทั่วโลกประสบปัญหาการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ หรือ COVID-19 หลังจากไวรัสได้แพร่ระบาดไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกอย่างรวดเร็ว ผู้อำนวยการใหญ่องค์การอนามัยโลก (WHO director-general) ได้ประกาศให้สถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 เป็นภาวะแพร่ระบาดทั่วโลก (pandemic) (World Health Organization, 2020a) ที่ส่งผลกระทบต่อรุนแรงและกว้างขวางทั้งต่อสุขภาพ ชีวิตและความเป็นอยู่ของมวลมนุษยชาติไปทั่วทุกภูมิภาคของโลก ในการระบาดแต่ละประเทศทั่วโลกได้ออกมาตรการป้องกันโรค COVID-19 ออกมาให้ประชาชนสวมหน้ากากอนามัย (hygienic mask : Mask) การเว้นระยะทางทางสังคม ล้างมือ รักษาสุขอนามัย (Adam et al., 2020; WHO, 2020) ตามการประมาณการของ WHO จำเป็นต้องใช้หน้ากากอนามัยประมาณ 89 ล้านชิ้นในการควบคุม COVID-19 ในแต่ละเดือน (World Health Organization, 2020b) ถึงแม้ว่าปัจจุบันประเทศไทยมีการประกาศให้โรค (COVID - 19) เป็นโรคติดต่อที่ต้องเฝ้าระวังแล้วแต่ประชาชนส่วนใหญ่ ซึ่งหน้ากากอนามัยผลิตจากวัสดุโพลีเอทิลีนหลายชนิดเช่น PP PS และ โพลีเอทิลีน (polyethylene : PE) (Aragaw, 2020) ซึ่งวัสดุเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดไมโครพลาสติกและส่งผลกระทบต่อสุขภาพไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อม (Schnurr et al., 2018) ในประเทศพบว่ามีปริมาณมูลฝอยที่เกิดจากหน้ากากอนามัยใช้แล้วเพิ่มสูงขึ้นกลายเป็นมูลฝอยติดเชื้อ โดยมีปริมาณการทิ้งเพิ่มสูงขึ้นทั่วประเทศประมาณ 1.5 – 2 ล้านชิ้นต่อวัน โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครเพิ่มขึ้นถึง 150 ตันต่อวัน ที่พบถูกทิ้งอย่างถูกวิธีผ่านการทิ้งแบบคัดแยกมูลฝอยแล้วแต่ยังมีที่ไม่รวมอยู่ในส่วนที่ทิ้งไม่ถูกวิธีปะปนกับมูลฝอยชุมชนทั่วไปด้วยนั้นหมายถึง มีการใช้หน้ากากอนามัยประมาณ 40 ล้านคน สร้างมูลฝอยเฉลี่ย 20 ล้านชิ้นต่อวัน สร้างมูลฝอยที่เป็นหน้ากากอนามัยที่ผ่านการใช้งานแล้วปนเปื้อนสารคัดหลั่ง สิ่งสกปรกต่างๆ หรือแม้กระทั่งเชื้อ COVID-19 (วิจารณ์ สิมายา, 2563) ซึ่งอาจสร้างปัญหาในวงกว้างเนื่องจากหน้ากากอนามัยเหล่านี้ย่อยสลายยากอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและอาจมีผลต่อสุขภาพและมลพิษทางอากาศได้หากกำจัดทำลายไม่ถูกวิธี

การกำจัดมูลฝอยจำพวกพลาสติกในประเทศไทยมีหลากหลายวิธี โดยกำจัด สำหรับมูลฝอยที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้นิยมใช้วิธีการฝังกลบ การเผา การใช้จุลินทรีย์ในการกำจัด โดย

วิธีการฝังกลบหากทำการจัดการที่ไม่ถูกสุขลักษณะ จะส่งกลิ่นเหม็น มีการปลิวของมูลฝอย และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์พาหะนำโรค ส่วนวิธีการเผา ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศจากสารพิษพลาสติก เนื่องจากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงมีการใช้กระบวนการย่อยสลายโดยใช้สิ่งมีชีวิต เรียกว่าการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) เป็นการใช้จุลินทรีย์เช่นแบคทีเรียและเชื้อราในการย่อยสลายพลาสติก (Gu et al., 2000) ซึ่งเป็นวิธีที่ปลอดภัย ทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีกำจัดด้วยเคมีและกายภาพ (Paul et al., 2005) กระบวนการ Biodegradation เป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติของพลาสติกที่ไม่ชอบน้ำ Hydrophobic เป็นคุณสมบัติ ชอบน้ำ Hydrophilic จากการศึกษาพบว่า การวัดประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถวัดได้ 7 รูปแบบคือ การวัดสมบัติเชิงกล ลักษณะความเป็นผลึก ชีวมวล การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิว คุณสมบัติการละลายน้ำ/ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักที่ลดลงหลังการย่อยสลาย และลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยา (Restrepo-Flórez et al., 2014; Sen and Raut., 2015) ในกระบวนการย่อยสลายพลาสติก พอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นโดยการปลดปล่อยเอ็นไซม์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์และมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ เมื่อพอลิเมอร์เปลี่ยนเป็นมอนอเมอร์ที่มีขนาดเล็กพอที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Swift & Wiles, 2002) ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) (Frazer, 1994; Hamilton et al., 1995)

ในปัจจุบันมีการใช้สัตว์ในการย่อยพลาสติก เป็นวิธีที่น่าสนใจ เพราะสามารถย่อยพลาสติกได้โดยใช้ระยะเวลาไม่นาน ในการทดลองใช้สัตว์ในการย่อยพลาสติก (Yang et al., 2018) คือการใช้แมลงในการย่อยสลายพลาสติก ซึ่งแมลงมีลักษณะปากที่หลากหลาย โดยมีการศึกษาแมลงที่มีลักษณะปากแบบกัดเคี้ยวโดยศึกษาตัวอ่อนของหนอนผีเสื้อกลางคืน ตัวอ่อนของแมลงปีกแข็งมีการวิจัยค้นพบว่าหนอนแว็กซ์ (Wax worm) หรือหนอนผีเสื้อกลางคืนสามารถย่อยสลาย และกินพลาสติกได้ PE ซึ่งเป็นพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Bombelli et al., 2017) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ PS ในหนอนนกเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพและความสามารถของตัวอ่อนที่เลี้ยงด้วย PS เพื่อให้วงจรชีวิตสมบูรณ์ จึงเป็นทางเลือกในการกำจัด PS โดยการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งพบว่าแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ของหนอนนกสามารถย่อยสลายพลาสติก PS ได้ และสามารถย่อยสลาย PE ได้ในอัตราที่ใกล้เคียงกันกับ PS (Bron et al., 2018) โดยหนอนนกเป็นตัวอ่อนของแมลงปีกแข็งชนิด *Tenebrio molitor* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Tenebrionidae และมีการศึกษาหนอนยักษ์ซึ่งตัวอ่อนของแมลงปีกแข็งชนิด *Zophobas morio* Fabricius ซึ่งจัดอยู่ในวงศ์ Tenebrionidae เช่นกัน จากผลวิจัยพบว่า *Z. morio* สามารถกิน

และย่อยสลาย PS และยังทำให้โครงสร้าง PS เปลี่ยนไปได้ (Peng et al., 2020) นอกจากนี้ยังพบว่า *Plodia interpunctella* (Indian Meal Moth) ซึ่งเป็นตัวอ่อนของผีเสื้อกลางคืนสามารถย่อยสลายพลาสติกได้เช่นเดียวกัน (Kesti & Shivasharana, 2018) กระบวนการย่อยสลายของแมลงเกิดจากการกัดเคี้ยวของแมลงโดยปากเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร จากนั้นจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจะยึดเกาะพลาสติกและทำการกัดกร่อนพลาสติกโดยพลาสติกจะถูกสลายเป็นชิ้นส่วนโอลิโกเมอร์ (oligomers) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หรือการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของเอนไซม์ ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารและตัวแมลงเป็นการย่อยสลายพอลิเมอร์จากนั้นพันธะของโอลิโกเมอร์จะถูกทำลายจนเกิดเป็นกรดไขมัน (Yang et al., 2021) จากที่กล่าวมาขึ้นการใช้แมลงแบบปากเคี้ยวเป็นอีกหนทางหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น จิ้งหรีดเป็นแมลงที่ได้รับความสนใจนำมาทดลองเพาะเลี้ยงเป็นอาชีพเนื่องจากจิ้งหรีดเลี้ยงง่าย วงจรชีวิตสั้น และแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว (ลีลา ภูมิพันธ์ และจารึก ศักดิ์วัฒนกำจร, 2545) จากการศึกษาของ Danso & Streit (2019) โดยสายพันธุ์ที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทยเชิงเศรษฐกิจคือจิ้งหรีดทองดำ (*Gryllus bimaculatus* De Geer) (ทัศนีย แจมจรรยา และคณะ, 2543) จิ้งหรีดทองดำมีเอนไซม์ในลำไส้คือ โปรติเอส (proteases) และไลเปส (lipase) (Woodring & Lorenz, 2007) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายพลาสติกได้และจิ้งหรีดมีปากแบบกัดเคี้ยว (chewing type) (สาวิตรี มาลัยพันธุ์, 2538) เช่นเดียวกันกับหนอนนกและหนอนยักซ์นอกจากนี้พบว่าแมลงสาบอเมริกันมีลักษณะปากแบบกัดเคี้ยวเช่นเดียวกันซึ่งเป็นพาหะนำโรคที่พบได้ทั่วไปตามกองขยะมูลฝอยซึ่งมีความสำคัญด้านสาธารณสุข และก่อเหตุรำคาญ Saichua & Jumnainsong (2016) พบว่าแมลงสาบอเมริกันมีเอนไซม์ proteinase และ lipase ในบริเวณลำไส้ซึ่งความหลากหลายของเอนไซม์แสดงให้เห็นว่าแมลงสามารถย่อยสลายอาหารได้หลากหลายชนิด (Oyebanji et al, 2014) จากรายงานข้างต้นพบว่าเอนไซม์บางชนิดในลำไส้ของแมลงสาบและจิ้งหรีดสามารถย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพได้ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวโดยการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัย

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าปัญหาพลาสติกยังคงเป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบันในขณะที่ประเทศไทยสูญเสียงบประมาณในการจัดการมูลฝอยแต่ละปีเป็นจำนวนมาก แต่มีการจัดการที่ยังไม่ดีพอและไม่เพียงพอต่อมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน ถึงแม้ว่าทั่วโลกจะมีการรณรงค์การลดใช้ถุงพลาสติกด้วยมาตรการต่างๆ หลังสถานการณ์การระบาดของโรค COVID-19 ที่ผ่านมามีผลกระทบต่อวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปคือการสั่งซื้ออาหารและสินค้าออนไลน์ รวมทั้งการสวมหน้ากากอนามัยก่อนออกจากบ้าน ทำให้จำนวนถุงพลาสติกแบบใช้แล้วทิ้งและหน้ากากอนามัยกลายเป็นปัญหามูลฝอยที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ พลาสติกและหน้ากากอนามัยโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการกำจัดพลาสติกด้วยวิธีทาง

ชีวภาพ และต่อยอดเป็นธุรกิจการกำจัดมูลฝอยที่ต้นทุนต่ำเนื่องจากแมลงที่ใช้ในการทดลองสามารถขยายพันธุ์ได้ง่ายและรวดเร็วซึ่งเป็นทางเลือกในการกำจัดมูลฝอยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัยโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยว

1.2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1.2.2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยทางชีวภาพของพลาสติกชนิด Polystyrene Paper (PSP) ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ

1.2.2.2 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยทางชีวภาพของพลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) ของหนอนนก หนอนยักษ์แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ

1.2.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยทางชีวภาพของพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ

1.2.2.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยทางชีวภาพของพลาสติกของหน้ากากอนามัย ชนิด Medical 3 – Layer Mask ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 พลาสติกที่ใช้ในการทดลองเป็นพลาสติกที่ไม่ผ่านการใช้งาน

1.3.2 พลาสติกที่ใช้ในการทดลองคือพลาสติกชนิดโพลี Polystyrene (PS) ใช้เป็นโพลีบรรจุอาหาร Polystyrene Paper (PSP) พลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) ใช้เป็นพลาสติกถุงหิ้วชนิด HDPE พลาสติก Polypropylene (PP) ใช้เป็นพลาสติกถุงร้อนชนิด PP และหน้ากากอนามัยใช้เป็นหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask

1.3.3 ศึกษาในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวคือ

1.3.3.1 หนอนนกใช้หนอนนก (*T. molitor*) ใช้ระยะตัวอ่อนอายุ 8 สัปดาห์

1.3.3.2 หนอนยักษ์ใช้หนอนยักษ์ (*Z. morio*) ใช้ระยะตัวอ่อนอายุ 8 สัปดาห์

1.3.3.3 แมลงสาบใช้แมลงสาบสายพันธุ์อเมริกัน (*P. americana*) ใช้ในระยะตัวอ่อนอายุ 8 สัปดาห์ ตัวเต็มวัยอายุ 8 สัปดาห์ ทั้งเพศผู้และเพศเมีย

1.3.3.4 จิ้งหรีดใช้จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองดำ (*G. bimaculatus*) ใช้ในระยะตัวอ่อนอายุ 4 สัปดาห์ ตัวเต็มวัยอายุ 4 สัปดาห์ ทั้งเพศผู้และเพศเมีย

1.3.4 ศึกษาเฉพาะมูล (อุจจาระ) ของแมลง

1.3.5 สัตว์ทดลองที่มีความสมบูรณ์ของวัยวุฒิ

1.3.6 ทดลองในห้องปฏิบัติการ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.3.7 วัดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมีโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติสลายด้วยคลื่นอินฟราเรด Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น INVENIO-S Internal Transmission RT-DLaTGS

1.3.6 วัดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น TM 4000 PLUS

1.3.7 วัดร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติกโดยใช้เครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น PRACTUM224-1S Germany

1.4 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 ตัวแปรต้น

1.4.1.1 ชนิดของพลาสติก

1.4.1.1.1 พลาสติกชนิดโพลีเมอร์ PSP

1.4.1.1.2 พลาสติกถุงหิ้วชนิด HDPE

1.4.1.1.3 พลาสติกถุงร้อนชนิด PP

1.4.1.1.4 หน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask

1.4.1.2 ส่วนผสม

1.4.1.4.1 พลาสติกอย่างเดียว

1.4.1.4.2 พลาสติกผสมแป้งมัน

1.4.2 ตัวแปรตาม

1.4.2.1 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพ

1.4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก

1.4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก

1.4.2.1.3 ร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก

1.4.3 ตัวแปรควบคุม

1.4.3.1 อุณหภูมิห้องที่ทำการทดลอง $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

1.4.3.2 วิธีการเลี้ยงสัตว์ทดลองแต่ละชนิด

- 1) เลี้ยงในห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- 2) อาหารที่ใช้เลี้ยงคืออาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป ชนิดผง สำหรับจิ้งหรีดและแมลงอื่นๆ ยี่ห้อ J80 ลิพัฒนาอาหารสัตว์ จำกัด โปรตีน 21% ไขมัน 4% ที่ผ่านการตรวจสอบการปนเปื้อนของพลาสติกแล้ว

1.4.3.3 ปริมาณอาหารที่ใช้เลี้ยงสัตว์ทดลองแต่ละชนิดปริมาณ 5 กรัมต่อวัน

1.4.3.4 อายุของสัตว์ทดลองแต่ละชนิด

- 1) อายุของสัตว์ทดลองระยะตัวอ่อน
 - (1) หนอนนกอายุ 8 สัปดาห์
 - (2) หนอนยักซ์อายุ 8 สัปดาห์
 - (3) จิ้งหรีดทองคำอายุ 4 สัปดาห์
 - (4) แมลงสาบอเมริกันอายุ 8 สัปดาห์
- 2) อายุของสัตว์ทดลองระยะตัวเต็มวัย
 - (1) จิ้งหรีดทองคำอายุ 4 สัปดาห์
 - (2) แมลงสาบอเมริกันอายุ 8 สัปดาห์

1.4.3.5 ความชื้นในห้องทดลอง $57\% \text{RH} \pm 3\% \text{RH}$

1.4.3.6 ขนาดของพลาสติก

- 1) พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัมตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร
- 2) พลาสติกที่ใช้ผสมกับแป้งมัน น้ำหนัก 0.09 กรัมตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

1.4.4 ทรีทเมนต์

1.4.4.1 ชนิดของแมลงปากแบบกัดเคี้ยวระยะตัวเต็มวัย

- 1) แมลงสาบอเมริกัน (*Periplaneta americana*, Linnaeus)
- 2) จิ้งหรีดทองคำ (*Gryllus bimaculatus*, De Geer)

1.4.4.2 ชนิดของแมลงปากแบบกัดเคี้ยวระยะตัวอ่อน

- 1) หนอนนก (*Tenebrio molitor*, Linnaeus)
- 2) หนอนยักซ์ (*Zophobas morio*, Fabricius)
- 3) จิ้งหรีดทองคำ (*Gryllus bimaculatus*, De Geer)
- 4) แมลงสาบอเมริกัน (*Periplaneta americana*, Linnaeus)

1.5 สมมติฐานของการวิจัย

1.5.1 ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกชนิด PSP ของหนอนนก หนอนยักซ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ แตกต่างกัน

1.5.2 ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกชนิด HDPE ของหนอนนก หนอนยักซ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ แตกต่างกัน

1.5.3 ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกชนิด PP ของหนอนนก หนอนยักซ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ แตกต่างกัน

1.5.4 ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกของหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask ของหนอนนก หนอนยักซ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ แตกต่างกัน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

การย่อยสลายทางชีวภาพ หมายถึง กระบวนการย่อยสลายพอลิเมอร์ของพลาสติกโดยการทำงานของจุลินทรีย์และเอนไซม์ในทางเดินอาหารของแมลงแบบปากกัดเคี้ยว จากโครงสร้างที่ใหญ่และไม่ละลายน้ำเกิดการแตกหักของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์และมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการย่อยสลายทางชีวภาพคือเกิดหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) และไฮดรอกซิล ($H-O$)

ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก หมายถึง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาและร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพลาสติกจากโครงสร้างที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Hydrophobic) เป็นโครงสร้างที่สามารถละลายน้ำได้ (hydrophilic) คือ การเกิดขึ้นของหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) และไฮดรอกซิล ($H-O$) ทำการตรวจสอบโดยเทคนิค Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก หมายถึง การแตกและขรุขระบนพื้นผิวของพลาสติกที่ทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

การลดลงของน้ำหนักพลาสติก หมายถึง ร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติกหลังการทดลองวัดด้วยเครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง (กรัม)

แมลงสาบอเมริกัน (*Periplaneta americana*) หมายถึงแมลงสาบอเมริกัน (American cockroach) มีลักษณะลำตัวสีน้ำตาลแดงมันวาว ส่วนนอกด้านบนมีจุดสีดำ ขนาดใหญ่ 2 จุดล้อมรอบด้วย วงเส้นสีเหลืองซึ่งอาจเต็มวงหรือมีเพียงครึ่งวง ส่วนรอบนอกสุดเป็นวงสีดำ หนวดเรียวยาวและยาวกว่าลำตัว ตัวผู้ยาว 33-40 มิลลิเมตร ตัวเมียยาว 30-35 มิลลิเมตร ปีกมีน้ำตาลแดงตลอดทั้งปีกและไม่มีแถบสีเหลืองที่ขอบปีก ดัดจับที่ ต่ำบ่งแก้ง อำเภอมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม แล้วนำมาขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามอายุของระยะตัวอ่อนคือ 8 สัปดาห์ และระยะตัวเต็มวัย 8 สัปดาห์

หนอนนก หมายถึง หนอนนกรหรือมอดรำข้าวสาลี (Beetle mealworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Tenebrio molitor* Linnaeus เป็นตัวอ่อนของแมลงปีกแข็งที่มีชื่อว่า Meal-Beetle หรือด้วงหนอนนก มีลำตัวสีน้ำตาลอ่อน ผอมยาวเป็นรูปทรงกระบอกเมื่อโตเต็มไมีขนาดลำตัวกว้าง 0.28 – 3.2 มม. มีน้ำหนัก 0.2-0.24 กรัม อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเลี้ยง 25 – 35 องศาเซลเซียส หนอนนกจากร้าน ต.ตลาด อำเภอมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคามนำมาเลี้ยงเพื่อขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามจนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย (Adult) และตัวอ่อน (Larva) รุ่นต่อไป (F2) อายุของระยะตัวอ่อนคือ 8 สัปดาห์

หนอนยักซ์ หมายถึง หนอนยักซ์ (superworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zophobas morio* Fabricius จัดอยู่ในวงศ์ Tenebrionidae ลำตัวยาวเรียวยาวคล้ายทรงกระบอก มีความยาวประมาณ 55 มม. ลำตัวมีลายเป็นแถบสีน้ำตาล หนอนยักซ์จาก อำเภอบัคค้อ จังหวัดพิจิตร นำมาเลี้ยงเพื่อขยายพันธุ์ในห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามจนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย (Adult) และตัวอ่อน (Larva) รุ่นต่อไป (F2) อายุของระยะตัวอ่อนคือ 8 สัปดาห์

จิ้งหรีดทองดำ หมายถึง จิ้งหรีดทองดำ (common black cricket) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Gryllus bimaculatus* De Geer โตเต็มวัยลำตัวกว้างประมาณ 0.6-0.7 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2.8-3.0 เซนติเมตร ปีกมีสีดำหรือน้ำตาลปนดำทั้งตัว มีหนวดยาว ตัวผู้ส่วนหัว และอกมีสีดำ ปีกคู่หน้าย่น ปีกมีสีน้ำตาลออกเหลืองเล็กน้อย โดยเฉพาะโคนปีกที่มีสีเหลืองแกม ส่วนตัวเมียส่วนหัว และอกมีสีดำ ปีกคู่หน้าเรียบ ปีกมีสีดำสนิท โคนปีกมีแต้มสีเหลือง 2 จุด ปลายปีกหลังทั้งตัวผู้ตัวเมียยืนยาวมากกว่าลำตัว ปลายท้องมีแพนหางยาว 1 คู่ ชอบอาศัยตามกองไม้ กองใบไม้ ร่องดิน ออกหากินในเวลากลางคืน และไม่ขุดรูอาศัย นำไ้มาจากฟาร์มจิ้งหรีด อำเภอสหัสขันธ์ จังหวัดขอนแก่น จากนั้นนำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งเป็น ตัวอ่อน (Nymph) และ ตัวเต็มวัย (Adult) รุ่นต่อไป (F2) อายุของระยะตัวอ่อนคือ 5 สัปดาห์ และระยะตัวเต็มวัย 8 สัปดาห์

พลาสติก หมายถึง พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylenes หรือ PP) ในที่นี้ใช้เป็นพลาสติกชนิดถ่วงร้อน พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (High Density polyethylene

หรือ HDPE) ในที่นี้ใช้เป็นพลาสติกชนิดถุงหิ้วและพลาสติกชนิดโพลีสไตรีน (Polystyrene Paper หรือ PSP) ในที่นี้ใช้เป็นพลาสติกชนิดกล่องโฟมบรรจุอาหาร

หน้ากากอนามัย หมายถึง หน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask วัสดุเป็นผ้า Polypropylenes แบบไม่ทอ (non-woven fabric)

แป้งมัน หมายถึง แป้งมันสำปะหลัง 100%

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.7.1 ใช้หอนนก หอนยักซ์ แมลงสาบเรีกัน และจิ้งหรีดทองดำย่อยสลายพลาสติก PSP HDPE PP และหน้ากากอนามัย

1.7.2 ท้องถิ่นสามารถสร้างระบบการจัดการมูลฝอยทางชีวภาพได้โดยการใช้แมลงเนื่องจาก มีต้นทุนต่ำและสามารถขยายพันธุ์ได้เร็วใช้พื้นที่น้อย และหลังจากแมลงกินและย่อยสลายพลาสติกแล้วสามารถนำไปเป็นอาหารสัตว์ได้หรือดัดแปรรูปเป็นลักษณะอาหารเม็ดสำหรับเลี้ยงสัตว์และจำหน่ายนอกจากจะลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดมูลฝอยแล้วยังสามารถสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นและชุมชนได้อย่างยั่งยืน

1.7.3 ผู้ประกอบการที่เลี้ยงแมลงเพื่อส่งออกต่างประเทศสามารถนำแมลงที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกมาใช้ในการย่อยสลายพลาสติก นอกจากจะไม่สูญเสียมูลค่าเศรษฐกิจและยังสามารถลดต้นทุนการจัดการมูลฝอยพลาสติกลงได้และสามารถต่อยอดเป็นธุรกิจต่อไปในอนาคตได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกโดยใช้แมลงแมลงแบบปากกัดเคี้ยว ผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการศึกษา ดังนี้

- 2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลาสติก
- 2.2 การจัดการมูลฝอยพลาสติก
- 2.3 แมลงสาบ (Cockroach)
- 2.4 หนอนนก (Mealworm)
- 2.5 หนอนยักษ์ (Superworm)
- 2.6 จิ้งหรีด (Cricket)
- 2.7 หน้ากากอนามัย
- 2.8 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)
- 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2.10 กรอบแนวคิดการศึกษา

2.1 ความรู้เกี่ยวกับพลาสติก

2.1.1 ความหมายของพลาสติก

พลาสติก หมายถึง สารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์พวกไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยโมเลกุลซ้ำๆ กันต่อกันเป็นโมเลกุลสายยาวๆ ประกอบด้วยธาตุสำคัญที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากคาร์บอน ซิลิกอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และคลอรีน ผ่านกระบวนการ Polymerization สกัดจากวัตถุดิบเช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน (Seymour, 1998)

พลาสติก หมายถึง วัสดุที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น โดยการนำวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น น้ำมันปิโตรเลียมมาแยกเป็นสารประกอบบริสุทธิ์หลายชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบระหว่างคาร์บอน (ถ่าน) กับก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำเอาสารประกอบแต่ละชนิดมาทำปฏิกิริยาให้มีลักษณะต่อกันเป็นเส้นสายยาวมากๆ ก็จะได้วัสดุที่มีสมบัติเป็นพลาสติก พลาสติกที่เกิดจากสารประกอบที่ต่างกันจะมีสมบัติแตกต่างกันไปด้วย และพลาสติกบางชนิดอาจเกิดจากสารประกอบมากกว่า 1 ชนิดก็ได้ (ไพศาล นาคพิพัฒน์, 2553)

พลาสติก (plastic) หมายถึง สารที่สามารถทำให้เป็นรูปต่างๆ ได้ด้วยความร้อน พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ ขนาดใหญ่ โมเลกุลมากใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์ (packaging material) มีสมบัติคือ เสถียร สลายตัวยาก มีมวลน้อย เบา เป็นฉนวนความร้อนและไฟฟ้าที่ดีส่วนมากอ่อนตัวและหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงเปลี่ยนเป็นรูปต่างๆ ได้ตามประสงค์ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2563)

2.1.2 ประเภทของพลาสติก

ประเภทของพลาสติกตามสมบัติทางความร้อน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.1.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) โพลีเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่โพลีเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดเนื่องจาก โมเลกุลของโพลีเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้ สามารถเกิดกลับๆ ไปได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของโพลีเมอร์เปลี่ยนไปมากนักพลาสติกประเภทนี้สามารถขึ้นรูปโดยการฉีดขณะที่พลาสติกถูกทำให้ร้อนและไหลได้ด้วยความร้อนและความดัน เข้าไปในแม่แบบที่มีช่องว่างเป็นรูปร่างตามต้องการ ภายหลังจากที่พลาสติกไหลเข้าจนเต็มแม่พิมพ์จะถูกทำให้เย็นตัว และถอดออกจากแม่พิมพ์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้ เมื่อใช้เสร็จแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบด และหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก แต่พลาสติกประเภทนี้มีข้อเสียและขีดจำกัดของการใช้งาน คือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงไป ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำดื่มไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุน้ำร้อนจัดหรือเดือด

2.1.2.2 เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) โพลีเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้โพลีเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไปจะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นโพลีเมอร์ต่อไป

การผลิตพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตจะแตกต่างจากพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกคือ ในขั้นตอนแรกต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันเพียงบางส่วน มีการเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย และยังสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงสามารถขึ้นรูปภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงได้ เมื่อผลิตภัณฑ์มีรูปร่างตามต้องการแล้ว ให้คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 200-300°C เพื่อให้ได้โครงสร้างแบบร่างแหที่เสถียรและแข็งแรง สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากแบบโดยไม่ต้องรอให้เย็น เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอยู่ภายในแม่พิมพ์ ดังนั้นการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตพลาสติก

เทอร์โมเซตกลับทำให้วัสดุแข็งขึ้น ต่างจากกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมพลาสติกที่การให้ความร้อนจะทำให้พลาสติกนิ่ม และหลอมเหลว พลาสติกเทอร์โมเซตเมื่อใช้งานเสร็จแล้วไม่สามารถนำมาผ่านการหลอมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือรีไซเคิล (recycle) ได้อีก และถ้าให้ความร้อนมากเกินไป จะทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัวหรือไหม้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลว ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้เช่น เบคเคอไลต์ และเมลามีน เป็นต้น (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2560)

2.1.3 พลาสติกที่นำมาใช้ในปัจจุบัน

พลาสติกที่ถูกนำมาใช้ในปริมาณมากในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้จึงมีการใส่สัญลักษณ์ตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งประเภทของพลาสติก ตัวเลขทั้ง 7 ตัวนี้ จะอยู่ในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันและมักพบบริเวณก้นของภาชนะพลาสติก

2.1.3.1 โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate : PET) PET ทนแรงกระแทกไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืชและเครื่องสำอาง นอกจากนี้ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำมาผลิตเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และเส้นใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน หรือเส้นใยสำหรับเล่นสกี

2.1.3.2 โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) HDPE โพลีเอทิลีนชนิดหนาแน่นสูงมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสนิมขาวขุ่น ยกเว้นขวดที่ใช้บรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะขุ่นกว่าขวด PET ราคาถูกขึ้นรูปได้ง่าย ทนสารเคมีจึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหิ้ว นอกจากนี้ภาชนะที่ทำจาก HDPE ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นขวดนมเพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น HDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้วหรือม้านั่งในสวน

2.1.3.3 โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride : PVC) PVC เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อเช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใส่สารพลาสติกไซเซอร์ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหารมานในหิ้งอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลายสามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมากเช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์ หรือม้านั่งพลาสติก

2.1.3.4 โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene : LDPE) LDPE เป็นพลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร

และห่อของ ถุงใส่ขนมปังและถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร LDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่มูลฝอย ถุงหิ้ว หรือถังมูลฝอย

2.1.3.5 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) PP เป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ขาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้โดยนิยมนำผลิตเป็นกล่องเบตเตอร์รียอนด์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน

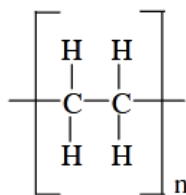
2.1.3.6 โพลีสไตรีน (Polystyrene, PS) PS เป็นพลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะและแตกง่าย ราคาถูกนิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลี หรือของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และคุกกี้เนื่องจาก PS เปราะและแตกง่าย จึงไม่นิยมนำพลาสติกประเภทนี้มาบรรจุน้ำดื่มหรือแช่พืชมเนื่องจากอาจสีนํ้าตกแตกได้ มีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหารโฟมจะมีน้ำหนักที่เบาเนื่องจากประกอบด้วย PS ประมาณ 2-5 % เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง PS สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนิยมนำผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวิดีโอ ไม้บรรทัด หรือ ของใช้อื่นๆ

2.1.3.7 พลาสติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก หรือไม่ทราบว่าเป็นพลาสติกชนิดใด ปัจจุบันเรามีพลาสติกหลายชนิดให้เลือกใช้ พลาสติกที่ใช้ในครัวเรือนส่วนใหญ่สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อหลอมใช้ใหม่ได้การมีสัญลักษณ์ตัวเลข ทำให้เราสามารถแยกพลาสติกออกเป็นชนิดต่างๆ เพื่อนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ง่ายขึ้น สำหรับพลาสติกในกลุ่มที่ 7 เป็นพลาสติกชนิดอื่นที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก นอกจะมีตัวเลขระบุแล้วควรใส่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษระบุชนิดของพลาสติกนั้นๆ ไว้ เพื่อสะดวกในการแยกและนำกลับมารีไซเคิล เช่น โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2560)

2.1.4 โพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE)

โครงสร้างโมเลกุลของ PE

โพลีเอทิลีน เป็นเทอร์โมพลาสติกชนิด semi-crystalline polymer มีความเป็นผลึกประมาณ 50 - 70% ขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลโดยมีโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยคือ



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีเอทิลีน

(ที่มา: ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2527)

โพลีเอทิลีนเป็นพลาสติกที่เป็นที่นิยมใช้มากทั่วโลกเนื่องจากมีราคาถูกและมีสมบัติที่สามารถใช้งานหลาย ๆ ด้านมีความแข็งแรงพอสมควรเหนียวป้องกันการสึกกร่อนได้ดีไม่มียกเลิกไม่มีการสลายเป็นไอได้น้อย ความยืดหยุ่นของพันธะ C - C ทำให้มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่ต่ำโดยอยู่ในช่วง -130 °C ถึง 60 °C ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของสวอนอสัณฐาน (amorphous) และผลึก (crystalline) ดังนั้น PE จึงมีทั้งลักษณะยืดหยุ่นและแข็งที่อุณหภูมิห้องตามแต่ชนิดของมันสวอนอุณหภูมิหลอมเหลว (Tm) ก็จะขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการสังเคราะห์เช่นกรณีใช้กระบวนการความดันสูงในการผลิตอุณหภูมิหลอมเหลวจะมีค่าประมาณ 108 °C กรณีใช้กระบวนการซีเกลอร์ในการผลิตอุณหภูมิหลอมเหลวจะมีค่าประมาณ 130 °C กรณีใช้กระบวนการฟลิตัสและแอสแตนดาร์ดออยส์ ในการผลิตอุณหภูมิหลอมเหลวจะมีค่าประมาณ 133 °C ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์จาก PE คือภาชนะต่างๆ ของเล่นเด็กแผ่นฟลัมเชือกถ่วงฉนวนหุ้มสายไฟวัสดุเคลือบผิว เป็นต้น (ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2527)

ชนิดของพลาสติก PE

PE สามารถแบ่งออกเป็นชนิดได้ตามลักษณะของความหนาแน่นดังนี้

1) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE : Polyethylene Low Density) โครงสร้างมีสายโซ่โมเลกุลแบบกิ่งดังรูป



LDPE

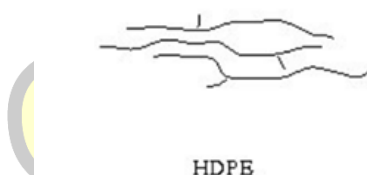
ภาพที่ 2 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ LDPE

(ที่มา : ชลธิชา นุ่มหอม, 2538)

LDPE ถูกค้นพบโดยบริษัทไอซีโอ ประเทศอังกฤษ และถูกผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1939 เป็นโพลีเอทิลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตขึ้นในทางการค้า มีความหนาแน่นต่ำ ($0.910-0.925 \text{ g/cm}^3$) เนื่องจากโครงสร้างมีกิ่งก้านสาขาแยกออกมามาก ทำให้โมเลกุลจัดตัวอยู่อย่างหลวม ๆ และไม่เป็นระเบียบ LDPE มีลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียวพอสมควร (ไม่มากนัก) และมีผิวหน้ามันคล้ายซีฟิ่งหรือเทียนไข LDPE มีจุดเด่นในการใช้งานทั่วไปที่อุณหภูมิต่ำได้ดีคือมีจุดหลอมเหลวประมาณ 110°C และจุดอ่อนตัว $40-50^\circ\text{C}$ จึงไม่ควรใช้งานที่อุณหภูมิสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะทำให้ถึงร้อน การใช้งานประมาณ 65% ใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์โดยนำไปแปรรูปเป็นฟิล์ม เช่น ใช้ทำถุงเย็น ถุงสินค้าทั่วไป ฟิล์มหดรัดรูป (Shrink Film) และฟิล์มยืด (Stretch Film) เป็นต้นประมาณ 13% ใช้ในงานผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยการฉีดได้แก่ ขวด ถ้วย ถาดบรรจุอาหารและยา ของเล่นเด็ก และของใช้ภายในบ้าน เป็นต้นประมาณ 22 % ใช้ทำฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิล วัสดุเคลือบผิว การเป่าขวด พลาสติกอ่อนชนิดบีบได้

2) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง HDPE: Polyethylene High Density)

โครงสร้างสายโซ่โครงสร้างโมเลกุลจะมีความเป็นเส้นตรงค่อนข้างสูง และมีกิ่งเป็นสายโซ่โมเลกุลสั้น ๆ เพียงเล็กน้อยดังรูป



ภาพที่ 3 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของ HDPE

(ที่มา : ชลธิชา นุ่มหอม, 2538)

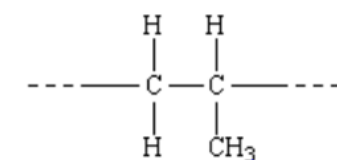
HDPE ถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 โดย Karl Ziegler ประเทศเยอรมัน โดยบริษัท St&ard Oil และ Philips Petroleum ประเทศสหรัฐอเมริกา การผลิตเริ่มขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1957 ในประเทศเยอรมัน อิตาลี และสหรัฐอเมริกา HDPE ความหนาแน่น $0.94-0.965 \text{ g/cm}^3$ มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาว ๆ มีกิ่งก้านสาขาน้อยหรือประปราย ทำให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและความเป็นผลึกสูงกว่า LDPE มีความแข็งตึง ความเหนียว ความทนแรงตึง ความแข็งความทนทานต่อความร้อนและสารเคมีมากกว่าด้วยอีกทั้งมีสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี HDPE มีจุดหลอมเหลวประมาณ 135°C และจุดอ่อนตัวประมาณ 125°C

การใช้งานแบ่งตามรูปแบบคืองานฉีดแบบ (Injection Molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์ทั่วไป เช่น ถังน้ำ กะละมัง กระติกน้ำ ถาดน้ำแข็ง และเครื่องใช้ในสำนักงาน เป็นต้น สำหรับงานฉีดขึ้นงาน

อุตสาหกรรมโดยเฉพาะที่ต้องใช้กับงานกลางแจ้ง ได้แก่ แผ่นรองสินค้า ลังน้ำอัดลม เป็นต้น งานเป่าทั่วไป (Blow Molding) ตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่และงานที่ต้องการความทนต่อสารเคมีสูง เช่น ขวดน้ำยาทำความสะอาด ขวดเครื่องสำอาง ภาชนะใส่น้ำมันเครื่อง น้ำมันเบรก รวมทั้งภาชนะบรรจุอาหารและยา เช่น ขวดนม ขวดน้ำดื่ม และขวดยา เป็นต้น งานอัดรีด (Extrusion) เหมาะกับการอัดรีดเป็นท่อ เช่น ท่อน้ำประปา ท่อระบายน้ำ ท่อน้ำเพื่อการเกษตร ทำในอุตสาหกรรมเคมี และท่อร้อยสายไฟ สายโทรศัพท์หรือใช้งาน เป่าฟิล์ม (blown film) เพื่อทำถุงประเภทต่าง ๆ เช่น ถุงหิ้ว เนื่องจากมีความเหนียวและความแข็งแรงสูง ทำถุงร้อน เป็นต้น

2.1.5 โพลีโพรพิลีน (Polypropylene , PP)

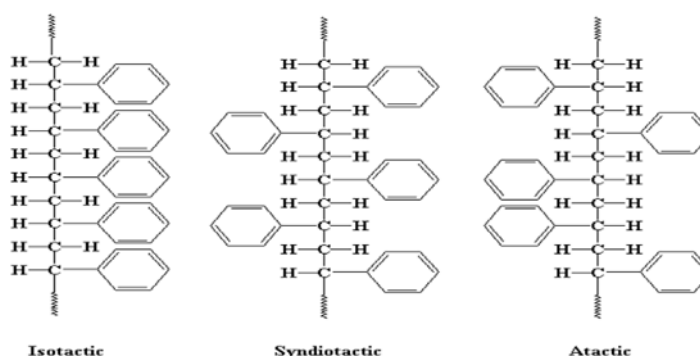
โครงสร้างทางเคมีของโพลีโพรพิลีน



ภาพที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของโพลีโพรพิลีน

(ที่มา : ชลธิชา นุ่มหอม, 2538)

PP เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นปราศจากกิ่งก้านสาขาแยกจากลำตัว เนื่องจากโมเลกุลของโพลีโพรพิลีนมีหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) ต่อกับอะตอมของคาร์บอนตรงพันธะคู่ ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันจึงอาจเกิดผลิตภัณฑ์ได้ 3 แบบ



ภาพที่ 5 รูปแบบที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของโพลีโพรพิลีน

(ที่มา : ชลธิชา นุ่มหอม, 2538)

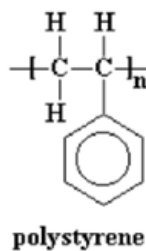
การผลิต PP ให้มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องการเพราะจะทำให้ PP มีสมบัติเชิงกลที่ดี ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็งตึง และความทนความร้อนเป็นต้น PP ถูกค้นพบจาก Natta แห่งอิตาลีได้ศึกษาของ Ziegler ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับความดันและความร้อนต่ำ ในการสังเคราะห์ HDPE เข้าพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาบางตัวสามารถทำให้แก๊สโพรพิลีน (C_3H_6) ซึ่งหนักกว่า แก๊สเอทิลีน (C_2H_4) กลายเป็นโพลิโพรพิลีน (PP)

สมบัติทั่วไปของ PP คือมีความหนาแน่น $0.90g/cm^3$ หมูเมทิล ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน แต่ยังคงมีความแข็งแรงสูง จุดอ่อนของ PP คือ จะเปราะที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ $0^\circ C$) และเสถียรภาพของ PP ต่อแสงอัลตราไวโอเลต และออกซิเจนต่ำกว่า PE จึงไม่เหมาะที่จะใช้กลางแจ้ง เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเลตจะทำให้เปราะ แตกร้าว สีสดจางได้ง่าย ดังนั้นก่อนนำ PP ไปใช้งาน ต้องใส่สารแอนติออกซิแดนต์ (Anti-Oxidant) สารเพิ่มเสถียรภาพ UV (UV Stabilizer) และสารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) อื่น ๆ จุดเด่นของ PP คือ มีสมบัติเชิงกลดีมาก เช่น มีความทนแรงดึงสูง จุดหลอมเหลวสูงกว่า PE จึงเหมาะกับใช้งานที่อุณหภูมิสูง ทนอุณหภูมิน้ำเดือดได้ ใช้ทำถุงน้ำร้อน นอกจากนี้ PP ยังทนไขมันและน้ำมันได้ดี ส่วนไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำกว่า PE และยังใสกว่า PE

การใช้งานของ PP แบ่งตามรูปแบบคือ งานฉีดแบบ (Injection Molding) ใช้ทำกล่อง แบตเตอรี่ ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชนรถยนต์ ลังใส่ขวด กระถางต้นไม้ ของเด็กเล่น ด้ามแปรงสีฟัน ฝาจุกลพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ทางการแพทย์ เช่น กระจกฉีดโดยใช้ครั้งเดียวทิ้ง งานเป่าแบบ (Blow Molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับ HDPE เช่น ขวด ถัง หรือภาชนะที่ต้องการความทนทานสูงงานสิ่งทอ (Textile) ซึ่งต้องการความแข็งแรงสูง แต่ยืดน้อย รับแรงได้มาก ๆ ได้ใช้ทำเส้นใยกระสอบสาน เชือกฟาง แห อวน ผ้าใบป้องกันพืชสวน งานเป่าถุง (Blown Film) งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยน้ำทำให้ได้ฟิล์มใส เนื่องจากเย็นตัวอย่างรวดเร็วจึงมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากเกิดผลึกน้อย แต่ความแข็งแรงจะเสียไปบ้างใช้ทำพลาสติกหุ้มของบูทรี ซองเสื้อยืด ถุงร้อน ถุงเย็น งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยอากาศจะค่อนข้างทึบแสง ขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากโมเลกุลมีโอกาสจัดเรียงตัวได้มากกว่า

2.1.6 พอลิสไตรีน (Polystyrene , PS)

พอลิสไตรีนส่วนใหญ่ถูกเตรียมโดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบรวมตัวที่มีจุดว่องไวเป็นอนุมูลอิสระจากสไตรีนโดยผลิตขึ้นจากสไตรีนมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากปิโตรเลียมในการผลิตพอลิสไตรีนยังมีวัตถุดิบอื่นๆ ที่ใช้ร่วมด้วยได้แก่เบนซีน เอทิลีน และบิวทาไดอีน



ภาพที่ 6 โครงสร้างพอลิสไตรีน
(ที่มา : Fu & Qutubuddin, 2000)

พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติก คือหลอมเป็นของเหลวได้ โดยที่อุณหภูมิห้องจะอยู่ในสถานะของแข็งแต่จะหลอมละลายเมื่อทำให้ร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลงพอลิสไตรีนเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) หรือไม่มีความเป็นผลึกเลยจะมีลักษณะแข็งใส เปราะและแตกหักง่ายทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำสามารถทำเป็นสีต่างๆ ได้และยืดหยุ่นได้จำกัด (อนิตาซ์ รัชเวทย์, 2555; Mwashaa et al., 2013)

โฟมพอลิสไตรีน (Polystyrene Foam)

โฟม หมายถึง พลาสติกที่ฟูหรือขยายตัวมียู่มากมายหลายประเภทหากผ่านกระบวนการที่ใช้สารขยายตัว (Blowing Agent) ซึ่งทำให้พลาสติกนั้นกลายเป็นโฟมเรียกว่าพลาสติกโฟม (Foam Plastic) ตัวอย่างของพลาสติกโฟมที่รู้จักกันทั่วไปเช่นฟองน้ำ กล่องโฟมใส่อาหาร โฟมแผ่น โฟมฉนวนเพื่อเป็นฉนวนซึ่งพลาสติกโฟมเหล่านี้ผลิตจากพลาสติกที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถแบ่งตามกระบวนการผลิตได้ 2 ประเภทดังนี้

1) Expandable Polystyrene หรือ EPS คือ โฟม PS ที่ใช้แก๊สเพนเทน (C_5H_{12}) ตระกูลเดียวกับแก๊สหุงต้มหรือแก๊สปิเทน (C_4H_{10}) เป็นสารที่ทำให้ขยายตัว (Blowing Agent) ในระหว่างกระบวนการผลิตวัตถุดิบที่เรียกว่า Polymerization เนื้อพลาสติก PS นั้นจะทำปฏิกิริยากับแก๊สเพนเทนเอาไว้ภายในเมื่อนำมาผลิต EPS โฟมวัตถุดิบจะขยายตัวและเมื่อได้รับความร้อนจากไอน้ำ (Steam) ก็จะกลายเป็นเม็ดโฟมขาวๆ หลังจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป (Molding) ซึ่งมี 2 ลักษณะคือการอัดขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่างๆ ตามลักษณะแม่พิมพ์ (Shape Molding) เช่นเป็นกล่องน้ำแข็งและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ และการอัดขึ้นรูปเป็นก้อนสี่เหลี่ยม (Block Molding) แล้วนำมาตัดตามขนาดและรูปร่างที่ต้องการโดยทั่วไป EPS โฟมจะขยายตัวประมาณ 50 เท่าและเมื่อขยายตัวแล้วจะมีอากาศเข้ามาแทนที่ถึง 98% ของปริมาตร มีเพียง 2% เท่านั้นที่เป็นเนื้อพลาสติก PS และนี่คือสาเหตุที่ทำให้ไม่

เสียรูปทรงนอกจากนี้ยังใช้เป็นวัสดุถมในการทาสานเพื่อแก้ปัญหาถนนทรุดและยังใช้เป็นฉนวนรักษาความร้อนและเย็นเนื่องจากอากาศที่มีอยู่ภายในถึง 98% ทำหน้าที่เป็นฉนวนได้อย่างดี

2) Polystyrene Paper หรือ PSP คือ โฟม PS ที่ใช้แก๊สหุงต้มหรือแก๊สปิโตรเลียม ทำให้ขยายตัววัตถุดิบที่ใช้ก็คือเม็ดพลาสติก PS ทั่วไปเข้าสู่กระบวนการฉีดโดยใช้สกรูซึ่งมีความร้อนจากไฟฟ้าเช่นเดียวกับการฉีดพลาสติกทั่วไป (Screw Extrusion) เมื่อเม็ดพลาสติก PS ผ่านสกรูความร้อนก็จะหลอมตัวขณะที่จะออกจากปลายสกรูก็จะถูกฉีดแก๊สปิโตรเลียมผสมเข้าไปทำปฏิกิริยาให้พลาสติกที่กำลังหลอมนั้นเกิดการขยายตัวประมาณ 20 เท่าฉีดออกเป็นแผ่นแล้วม้วนเข้าคัลลายม้วนกระดาษ (เรียกว่า Paper/PSP) หลังจากนั้นจะทำการม้วนโฟม PSP ที่ได้ขึ้นรูปด้วยความร้อนตามลักษณะแม่พิมพ์ (Thermal Forming) เช่นกล่องใส่อาหารหรือถาด (สรินทร์ ลีมนานา, 2544)

2.1.7 ผลกระทบต่อสุขภาพ

สารพิษในพลาสติกแม้จะยังไม่ถูกพิจารณาให้เป็นปัญหาหลักของระบบสาธารณสุข แต่การใช้งานผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่ไม่ถูกต้องและไม่ปลอดภัย โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับอาหารและเครื่องดื่มอาจนำมาซึ่งการสะสมสารพิษและความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆของผู้บริโภค สารประกอบบางชนิดที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค ได้แก่

2.1.7.1 สารพาทาเลต (Phthalate) ที่เติมลงไปในการผลิตพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride) เพื่อให้พลาสติกมีคุณสมบัติอ่อนนุ่มและสามารถยืดหยุ่นได้ดี สารนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นสารที่มีกลไกทำงานคล้ายฮอร์โมน จึงไปรบกวนการทำงานของฮอร์โมนตามธรรมชาติ จึงจัดให้ Phthalate เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B คือสารที่อาจทำให้เกิดมะเร็งในคนได้ เพราะเป็นสารที่หลุดออกจากพลาสติกได้ง่าย

2.1.7.2 สาร Vinyl chloride เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ด Polyvinylchloride Resin หรือ PVC Resin ที่ความดันอยู่ในรูปของเหลว นิยมใช้ทำท่อน้ำ สายไฟฟ้า ของเด็กเล่นชนิดเป่าลม และเฟอไนเจอร์ พบว่าสาร Vinyl chloride เป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งตับชนิด angiosarcoma จึงจัดให้ Vinylchloride เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1

2.1.7.3 สาร Styrene เป็นสารตั้งต้นของการผลิตพลาสติกชนิดพอลิสไตรีน คือกล่องโฟมสาร Styrene ซึ่งเป็นสารอันตรายส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและระบบเม็ดเลือด อีกทั้งยังมีผลต่อสารพันธุกรรม และโครโมโซม จึงจัดให้ Styrene เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B เนื่องจากด้วยสาร Styrene เป็นสารที่ละลายในน้ำมันและแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับความร้อน ดังนั้น การใช้กล่องโฟมบรรจุอาหารประเภททอดร้อนๆ เช่น ข้าวกระเพราไข่ดาว หอยทอด หรือแม้แต่แก้วโฟมที่บรรจุเครื่องดื่มร้อน เป็นต้นจึงควรเพิ่มความระมัดระวังให้มากขึ้น เพื่อป้องกันสาร Styrene ละลายออกมาจากภาชนะและปนเปื้อนสู่อาหาร

2.1.7.4 สาร Bisphenol A ใช้ในการผลิตพลาสติกชนิด Polycarbonate ซึ่งใช้ทำขวดนมเด็กขวดน้ำดื่มแบบใส สาร Bisphenol A เป็นสารที่ทำหน้าที่คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน สามารถรบกวนการทำงานของฮอร์โมนธรรมชาติ (Endocrine disruption)

2.1.7.5. สาร Formaldehyde อาจปนเปื้อนสู่อาหารจากการใช้ภาชนะที่ทำจาก Melamine ไม่ถูกวิธี เช่น นำไปใช้กับไมโครเวฟหรือเตาอบอุณหภูมิ โดยสารฟอร์มัลดีไฮด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของสารละลายและในรูปแก๊สฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งอุณหภูมิที่ปลดปล่อยในการใช้เมลามีนจะอยู่ที่ระดับ 70-80% องศาเซลเซียส จึงจัดให้เป็นสาร Formaldehyde เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1

2.1.8 ผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม

2.1.8.1 ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำจากการเพิ่มของค่าความต้องการของออกซิเจนทางชีวเคมีและค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์หรือสารอาหารแหล่งน้ำในปริมาณสูง ทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการใช้ออกซิเจน ในน้ำสูงด้วย ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศทางน้ำ

2.1.8.2 เกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของพลาสติก ย่อยสลายได้ในสภาพแวดล้อม เช่น การย่อยสลายของพลาสติกในสภาวะการฝังกลบ อาจทำให้สารเติมแต่งต่างๆรวมถึงสีพลาสติกไซเซอร์ การคะตะลิสต์ที่ตกค้าง รั่วไหลและปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำใต้ดินและบนดิน ซึ่งการบางชนิดอาจมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ

2.1.8.3 เกิดมลภาวะจากมูลฝอยอันเนื่องมาจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ถูกทิ้งหรือตกลงในสิ่งแวดล้อมมีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ฤดูกาลพัดและติดค้างอยู่บนกิ่งไม้ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่มากพอที่จะไม่สามารถย่อยสลายได้ดินนอกจากนี้การใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดว่าจะสามารถกำจัดได้ง่ายและรวดเร็วทำให้มีการใช้งานเพิ่ม และพลาสติกย่อยสลายได้บางชนิดการใช้เวลานานหลายปีในการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์และก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ที่กลืนกินพลาสติกเข้าไป เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ภายในกระเพาะของสัตว์

2.1.8.4 ความเป็นพิษของคอมโพสท์ที่ได้จากการหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเนื่องจากมีสารตกค้างดูใช้สารเติมแต่งที่มีความเป็นพิษได้ส่งผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น ไส้เดือน ดังนั้นจึงต้องศึกษาความเป็นพิษในคอมโพสท์ด้วย ชิ้นส่วนที่เกิดจากการหักเป็นชิ้นเล็กๆเกิดการสะสมอยู่ในดินที่ใช้ในการเกษตรในปริมาณเล็กน้อยเกิดการหมุนเวียนของอากาศได้ดี จึงนิยมใช้ในส่วนดอกไม้ ไร่่อ่งุ่น ใสในกระถางเพื่อทำหน้าที่ปรับคุณสมบัติของดิน แต่อย่างไรก็ตามอาจเกิดการสะสมของเศษพลาสติกในดิน มากเกินไปผลต่อคุณภาพของดินและปริมาณผลิตผลที่เพาะปลูกได้

2.1.8.5 การเกิดสารประกอบที่ไม่ย่อยสลาย เช่น สารประกอบประเภทแอโรเมติก จากการย่อยสลายของพลาสติกบางชนิด เช่น ชิ้นส่วนที่เป็นวงแหวนแอโรเมติกในโพลีเมอร์ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบขนาดเล็กเช่นกรดเทรฟทาลิก หลายทางชีวภาพได้ไม่นัก

2.1.8.6 การตกค้างของสารเติมแต่งลงในพลาสติกย่อยสลายได้ เพื่อปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมกับใช้งาน เช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป เมื่อพลาสติกเกิดการย่อยสลายสารเติมแต่งเหล่านี้ อาจปนเปื้อนอยู่ในสถานะแวดล้อมได้ เช่น สารพลาสติกไซเซอร์พื้กเติมในพลาสติกเพื่อความยืดหยุ่น และสารตัวเติมที่มักเติมลงในพลาสติกเพื่อให้ราคาถูกลงส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ จึงมักเกิดการสะสมในดินและสถานะแวดล้อม (ศุภพร แสงกระจ่าง ปัทมา พลอยสว่าง และปริณดา พรหมพิตร, 2556)

2.2 การจัดการมูลฝอยพลาสติก

2.2.1 การจัดการมูลฝอยพลาสติกในต่างประเทศ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อโลก ล้วนเกิดจากฝีมือมนุษย์ โดยเฉพาะปัญหามูลฝอยพลาสติกในเมืองที่ไหลลงสู่ทะเลกลายเป็นปัญหาระดับโลก ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่าง ๆ ตามมาอย่างมากมาย ซึ่งขณะนี้หลายประเทศให้ความสนใจและร่วมมือกันหาวิธีแก้ไข ทั้งการกำหนดนโยบายในการจัดการมูลฝอย รวมถึงมาตรการลดเลิกใช้ถุงพลาสติก และการรณรงค์รีไซเคิล เพื่อร่วมมือกันกำจัดหรือลดจำนวนมูลฝอยพลาสติกลง และหันมาเลือกใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ประเทศสวีเดน เป็นประเทศอันดับที่ 1 จากทุกประเทศทั่วโลกที่มีกระบวนการจัดการมูลฝอย กลายเป็นประเทศหนึ่งเดียวที่ได้เริ่มต้นโครงการคัดแยกมูลฝอย และนำมูลฝอยที่คัดแยกแล้วกลับมาใช้เป็นพลังงานใหม่ตั้งแต่เมื่อปี ค.ศ. 1940 ซึ่งในปัจจุบันประเทศสวีเดนสามารถพัฒนาเทคโนโลยีที่นำมูลฝอยกลับมาใช้เป็นพลังงานได้โดยแทบไม่ก่อให้เกิดมลพิษใด ๆ และสามารถนำมูลฝอยไป reuse ได้จำนวนมากถึง 96% และยังมีโครงการแปรรูปมูลฝอยเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองภายในประเทศได้มากกว่า 810,000 ครั้วเรือน ขณะเดียวกัน สวีเดนมีระบบมัดจำค่าขวดพลาสติกที่เก็บเงินค่าขวดพลาสติกจากผู้บริโภคที่ไม่นำขวดพลาสติกที่ใช้เสร็จแล้วไปคืน ณ จุดรับคืน เป็นต้น และได้รับระบบมัดจำถุงพลาสติกโดยมีราคาคิดเป็นเงินบาทไทยจะอยู่ที่ 1.86 บาทต่อใบ เป็นมาตรการป้องกันการทิ้งถุงพลาสติกไปอย่างเสียเปล่านั่นเอง

ประเทศเยอรมนี ได้ชื่อว่าเป็นประเทศแห่งมูลฝอยรีไซเคิล ปี ค.ศ. 1996 เคยครองอันดับ 1 ของโลก โดยประเทศเยอรมนีได้ออกกฎหมายควบคุมมูลฝอยกระจายออกไปในทุกภาคส่วนของประเทศ ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนของการผลิต จำหน่าย หรือ บริโภค รวมถึงให้คัดแยกมูลฝอยก่อนทิ้งทุกครั้ง อีกทั้งยังมีการเก็บภาษีรีไซเคิลจากร้านค้าทุกร้านที่มีถุงพลาสติกแจกลูกค้า และมีระบบมัดจำ

ค่าขวดพลาสติกเพื่อเป็นการกระตุ้นให้ผู้บริโภคส่งคืนขวดเพื่อนำไปรีไซเคิลต่อไป โดยมาตรการดังกล่าวนี้ทำให้บริษัทเครื่องดื่มต่าง ๆ ในประเทศเยอรมนี เลือกที่จะผลิตขวดพลาสติกที่สามารถใช้ซ้ำได้ออกสู่ตลาด เพราะการผลิตขวดพลาสติกใช้ซ้ำช่วยลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้จำนวนมาก หากเทียบกับการผลิตขวดพลาสติกใหม่ เป็นผลทำให้จำนวนขวดพลาสติกในท้องตลาดของประเทศเยอรมนีเป็นขวดพลาสติกชนิดใช้ซ้ำมากถึง 64% ถือเป็นมาตรการที่ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมในทุก ๆ ภูมิภาคของประเทศเยอรมนีได้เป็นอย่างดี

ประเทศเดนมาร์ก เป็นประเทศตัวอย่างที่ประสบความสำเร็จในการลดการใช้พลาสติก ในปี ค.ศ. 2003 โดยมีการเก็บภาษีถุงพลาสติกจากผู้ค้าปลีกเพื่อกระตุ้นให้ร้านค้าปลีกคิดค่าธรรมเนียมถุงพลาสติกกับลูกค้า และยังกระตุ้นให้ผู้บริโภคทั่วไปใช้ถุงที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ ทำให้ประเทศเดนมาร์กลดการใช้ถุงพลาสติกจากเดิมได้ถึง 66% นอกจากนี้ยังมีระบบมัดจำค่าขวดที่เก็บเงินค่าขวดพลาสติกเพิ่มจากราคาสินค้า เพื่อกระตุ้นให้ผู้บริโภคนำขวดมาคืนเพื่อรับเงินที่มัดจำไว้ และนำขวดพลาสติกที่รวบรวมได้จะนำไปรีไซเคิลต่อไป ซึ่งทำให้สามารถรีไซเคิลขวดพลาสติกได้ถึง 90% ของขวดพลาสติกที่รับคืนในระบบ

ประเทศอังกฤษ ดำเนินการนโยบายเก็บภาษีถุงพลาสติก และห้ามใช้พลาสติกที่ใช้แล้วทิ้ง ในปี ค.ศ. 2015 อังกฤษได้เริ่มเก็บค่าธรรมเนียมถุงพลาสติกจากผู้บริโภคในร้านค้าใหญ่ ๆ ใบละประมาณ 2.14 บาท และยังมีแผนที่จะนำระบบมัดจำขวดพลาสติกมาใช้ รวมทั้งห้ามใช้หลอดดูดพลาสติก แท่งพลาสติกสำหรับคนกาแฟ และ ก้านสาลีแคะหู ซึ่งถือว่าวิธีการดังกล่าวทำให้ประเทศอังกฤษสามารถลดการใช้พลาสติกได้มากกว่า 80% ส่งผลให้สามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 13 ล้านปอนด์ ซึ่งช่วยให้ประเทศอังกฤษอนุรักษ์พลังงานได้มากมายมหาศาลต่อไปในอนาคต

ประเทศสหรัฐอเมริกา แม้ยังไม่มีคำสั่งห้ามหรือการเก็บภาษีกับถุงมูลฝอยพลาสติกทั่วประเทศ แต่ก็มีบางรัฐที่ออกกฎหมายควบคุมพลาสติกก็คือ ซานฟรานซิสโก ถือเป็นเมืองแรกของอเมริกาที่มีการห้ามถุงพลาสติกเด็ดขาด ซึ่งนโยบายนี้ได้ผลักดันให้ชาวเมืองใช้ถุงที่สามารถใช้ซ้ำได้ (reusable bags) ด้วยการวางขายถุงกระดาษใส่ของที่ย่อยสลายได้ไว้ที่จุดแคชเชียร์ ทำให้ลดมลพิษจากถุงพลาสติกได้ถึง 72% และในปี ค.ศ. 2009 วอชิงตัน ดีซี ก็มีการเก็บภาษีถุงพลาสติกเหมือนกัน โดยภาษีที่เก็บได้ถูกนำเข้ากองทุนเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งนโยบายนี้สามารถลดการใช้ถุงพลาสติกได้ถึง 85% จึงทำให้ลดมลพิษช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมให้กับประเทศได้มากที่สุด

ประเทศออสเตรเลีย เมื่อปี ค.ศ. 2011 ออสเตรเลียมีการห้ามใช้ถุงพลาสติกชนิด PE แบบใช้ครั้งเดียวทุกชนิดที่บางกว่า 35 ไมครอน โดยรัฐบาลออสเตรเลียรณรงค์ให้พลเมืองใช้ถุงที่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (Reusable Bags) เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถกำจัดมูลฝอยพลาสติกที่จะส่งไปหลุมฝังกลบได้ถึง 1 ใน 3 จากปริมาณเดิม และเมื่อไม่นานมานี้ในออสเตรเลียได้เริ่มนำมาตรการไม่ให้ถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้งให้แก่ลูกค้าอีก เพื่อมุ่งให้เกิดการลดพลาสติก

ประเทศญี่ปุ่น เป็นประเทศเอเชียที่อยู่ในอันดับ 3 ของการเป็นประเทศที่มีวิธีการจัดการมูลฝอยมากมาย เนื่องจากประเทศญี่ปุ่นให้ความสำคัญกับการจัดการมูลฝอยในประเทศมาก ซึ่งประชากรชาวญี่ปุ่นทุกคนมีส่วนร่วมในการรับผิดชอบการจัดการมูลฝอยในประเทศของตนเองเป็นอย่างดีและมีระเบียบวินัย ประกอบกับการออกกฎหมายสำหรับการจัดการมูลฝอยพลาสติก ส่งผลให้ประเทศญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในด้านการจัดการมูลฝอยสูง ถือว่ากฎหมายดังกล่าวสามารถลดการทิ้งมูลฝอยได้ถึง 40% ทำให้การแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในประเทศญี่ปุ่นจากเรื่องมูลฝอยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

จีน เป็นประเทศที่มีประชากรมากที่สุดในโลก จึงมีอัตราการใช้ถุงพลาสติกค่อนข้างสูงตามไปด้วย แต่ในปี 2008 รัฐบาลจีนได้มีคำสั่งห้ามร้านค้าและห้างสรรพสินค้าจัดเตรียมถุงพลาสติกฟรีที่มีขนาดบางกว่า 0.25 มิลลิเมตร ให้กับลูกค้า และเก็บค่าธรรมเนียมเมื่อใช้ถุงพลาสติก ซึ่งมาตรการดังกล่าวทำให้จีนลดการใช้ถุงพลาสติกได้ถึง 40,000 ล้านใบ

กลุ่มประเทศอาเซียน ประกอบด้วย อินโดนีเซีย กัมพูชา เมียนมาร์ และมาเลเซีย อินโดนีเซีย ปี ค.ศ. 2016 อินโดนีเซียใช้งบประมาณถึง 1 พันล้านในการลดปริมาณมูลฝอยพลาสติก โดยรัฐบาลอินโดนีเซียได้ทดลองเก็บภาษีถุงพลาสติก แม้ในช่วงต้นจะเกิดกระแสต่อต้านจากประชาชนเป็นส่วนใหญ่ แต่สุดท้ายรัฐบาลก็สามารถลดปริมาณถุงพลาสติกได้จำนวนมาก ขณะที่ประเทศกัมพูชา ปี ค.ศ. 2019 กัมพูชาตั้งเป้าลดการใช้ถุงพลาสติกให้ได้ 50% โดยเก็บเงินค่าถุงพลาสติกจากผู้บริโภค ขณะที่ทางการกำลังพิจารณาห้ามผลิต นำเข้า และจำหน่ายถุงพลาสติกที่บางกว่า 0.03 มิลลิเมตร และมีความกว้างน้อยกว่า 30 เซนติเมตร และจะเก็บเงินค่าถุงพลาสติกเพิ่มขึ้นทั่วประเทศในปีนี้ (ค.ศ. 2020) สำหรับประเทศเมียนมาร์ ปี ค.ศ. 2009 บริษัทผู้ผลิตถุงพลาสติกในย่างกุ้งได้รับคำสั่งจากรัฐบาลในขณะนั้นให้ยกเลิกการผลิตถุงพลาสติก พร้อมกับได้ออกมาตรการห้ามใช้ถุงพลาสติกในหลายเมือง ส่วนประเทศมาเลเซีย เก็บภาษีถุงพลาสติกเฉพาะเขตเมืองปีนัง พร้อมทั้งรณรงค์ลดการใช้ถุงพลาสติกและโฟมเฉพาะวันเสาร์ ทั้งยังแก้ไขกฎหมายเพื่อสนับสนุนการรณรงค์ด้วยการกำหนดให้ผู้ค้าปลีกในห้างสรรพสินค้า หรือซูเปอร์มาร์เก็ตต้องยอมรับข้อกำหนดนี้ และผู้ซื้อต้องการใช้ถุงพลาสติกจะต้องจ่าย 20 เซ็นต์ต่อถุงพลาสติก 1 ใบ เช่นเดียวกัน (Green Network, 2563)

2.2.2 การจัดการมูลฝอยพลาสติกในประเทศไทย

ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันประเทศไทยมีการจัดการมูลฝอยพลาสติกดังนี้

2.2.2.1 การฝังกลบ (L& Fill) ส่วนใหญ่เป็นเศษมูลฝอยถุงพลาสติกที่ปนเปื้อนไม่คุ้มกับต้นทุนในการจัดเก็บและการล้างทำความสะอาดของผู้เก็บของใช้แล้วมาขายเป็นอาชีพอิสระซึ่งได้แก่ถุงพลาสติกที่ทำจากพลาสติกประเภท PP HDPE และ LDPE ตัวอย่างเช่นถุงร้อนถุงเย็นที่ใช้บรรจุอาหารถุงหิ้วถุงของพลาสติกมูลฝอยเหล่านี้ถูกนำไปทิ้งในสถานที่ฝังกลบหรือเทกองกลางแจ้งตามสถานที่กำจัดมูลฝอยมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งจะเป็นปัญหาต่อระบบการจัดการมูล

ฝอยมูลฝอยเนื่องจากมูลฝอยดังกล่าวมีความคงทนย่อยสลายตามธรรมชาติน้อยทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ฝังกลบและงบประมาณในการจัดการมูลฝอยรวมทั้งการใช้ถุงพลาสติกเก็บรวบรวมมูลฝอยไปฝังกลบทำให้ย่อยสลายได้ยากยิ่งขึ้น

2.2.2.2 การนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่โดยผ่านกระบวนการรีไซเคิล (recycle) และ การใช้ซ้ำ (reuse) เป็นทางเลือกที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหามูลฝอยพลาสติกแต่การรีไซเคิลผลิตภัณฑ์พลาสติกมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนโดยเฉพาะอย่างยิ่งมูลฝอยอินทรีย์ทั้งนี้พลาสติกมีหลากหลายชนิดการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่จะต้องแยกพลาสติกแต่ละชนิดออกจากกันก่อนสำหรับถุงพลาสติกในปัจจุบันมีการนำกลับเข้าสู่โรงงานเพื่อรีไซเคิลเพียงบางส่วนเท่านั้นส่งผลให้มีถุงพลาสติกที่ถูกทิ้งเป็นมูลฝอยมูลฝอยในรูปแบบต่างๆ คงอยู่ในสภาพแวดล้อมเป็นจำนวนมาก

2.2.2.3 RDF (Refuse Derived Fuel) การนำมูลฝอยพลาสติกมาผลิตเป็น RDF ซึ่งเป็นการจัดการที่วิธีหนึ่งเนื่องจากมูลฝอยพลาสติกเป็นมูลฝอยที่ให้ค่าความร้อนสูง (Heating Value) เหมาะในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง RDF โดยการปรับปรุงและแปลงสภาพมูลฝอยพลาสติกให้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทยมีการนำ RDF มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์รายใหญ่ อาทิ บริษัทปูนซีเมนต์ไทย บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง และบริษัทปูนซีเมนต์ทิพย์

2.2.2.4 การเผาโดยปกติมูลฝอยพลาสติกที่ไม่ได้รับการคัดแยกจะถูกนำไปกำจัดรวมกับมูลฝอยมูลฝอยทั่วไปประเทศไทยมีระบบเตาเผา 2 รูปแบบคือเตาเผาผลิตพลังงาน (WTE: Waste to Energy) และเตาเผาทิ้งโดยเตาเผาผลิตพลังงานมีเพียง 6 แห่งเตาเผาทิ้งแบบถูกต้องจำนวน 37 แห่งและเตาเผาทิ้งแบบไม่ถูกต้องจำนวน 57 แห่งรวมทั้งมีการเผากลางแจ้ง 43 แห่ง (ข้อมูลปี 2560 กรมควบคุมมลพิษ) การเผาแบบไม่ถูกต้องจะส่งผลให้เกิดสารพิษในชั้นบรรยากาศจากส่วนประกอบของพลาสติกอาจนำไปสู่การปนเปื้อนของแหล่งน้ำแหล่งดินรวมไปถึงในระบบห่วงโซ่อาหารสำหรับการเผาพลาสติกประเภท PVC จะส่งผลให้เกิดสาร Dioxin ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง

2.2.2.5 น้ำมันมูลฝอยพลาสติกสามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis) ได้เนื่องจากมูลฝอยพลาสติกจะมีสารไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักปัจจุบันประเทศไทยมีการศึกษาทดลองแปรรูปมูลฝอยพลาสติกเป็นน้ำมันไพโรไลซิสในหลายพื้นที่แต่ยังไม่เกิดผลเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนหากมีการนำมูลฝอยพลาสติกมาแปรรูปเป็นน้ำมันไพโรไลซิสได้จะช่วยแก้ไขปัญหามูลฝอยพลาสติกได้วิธีหนึ่ง (road map การจัดการมูลฝอยพลาสติก พ.ศ. 2561 – 2573, 2561)

2.2.3 กลไกการย่อยสลายพลาสติก

โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งกลไกการย่อยสลายของพลาสติกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.2.3.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบมูลฝอย กองคอมโพสท์ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งขึ้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.2.3.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำ แก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.2.3.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติม สารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.2.3.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอมไนด์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External

Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และคะตะลิสต์ที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (alkaline metal) เบส (base) และกรด (acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.2.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงานและสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass) มวลชีวภาพหมายถึง มวลรวมของสารที่เกิดขึ้นจากกระบวนการในการดำรงชีวิตและเติบโตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งรวมถึงพืช สัตว์ และจุลินทรีย์

นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้คำว่า พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึง พลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด ด่าง น้ำ และออกซิเจนในธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์ โดยจุลินทรีย์ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อม และคำว่า พลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental Friendly Plastics) หรือ พลาสติกสีเขียว (Green Plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการมูลฝอยลดลง และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน (<https://www2.mtec.or.th>, สืบค้นเมื่อ 23 มกราคม 2564)

2.3 แมลงสาบ (Cockroach)

2.3.1 ชีววิทยาของแมลงสาบ

แมลงสาบจัดอยู่ในไฟลัมอาร์โทพอด (Phylum Arthropod) ชั้นอินเซกตา (Class Insecta) หรือกลุ่มแมลง อันดับออร์โทเทอรา (Order Orthoptera) แต่ทั้งนี้ในบางตำราจัดอยู่ในอันดับแบตตาเรีย (Order Blattaria) อันดับ Dictyoptera หรือ Blattodea ก็ได้ซึ่งการจำแนกที่แตกต่างกันเหล่านี้มาจากการพิจารณาลักษณะบางอย่างที่ต่างกัน อาทิ เช่น ขนาด สี ลักษณะการสืบพันธุ์ ลักษณะไข่ แมลงสาบถูกจำแนกย่อยออกเป็นวงศ์ (Family) ต่างๆ ได้ทั้งสิ้น 5 วงศ์ คือ Blattidae, Blattellidae, Blaberidae, Cryptocercidae และ Polyphagidae และ Genus Species

2.3.2 โครงสร้างของแมลงสาบ

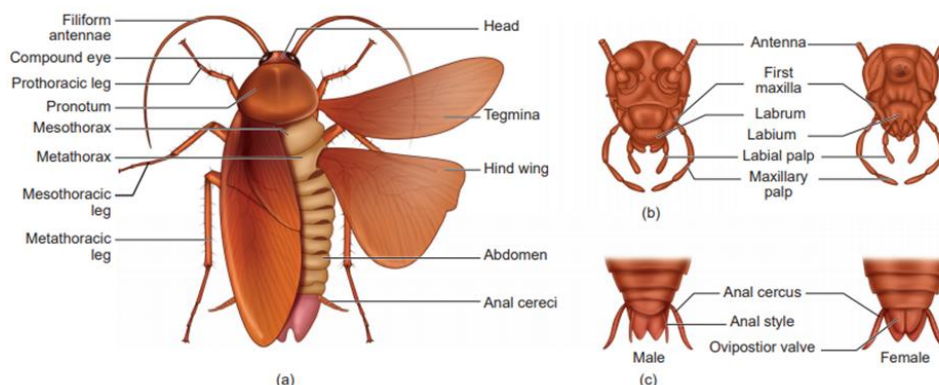


Figure 4.8 *Periplaneta americana*: (a) External features (b) Head dorsal and ventral view (c) Male and Female ventral view of posterior segment of abdomen

ภาพที่ 7 โครงสร้างของแมลงสาบ

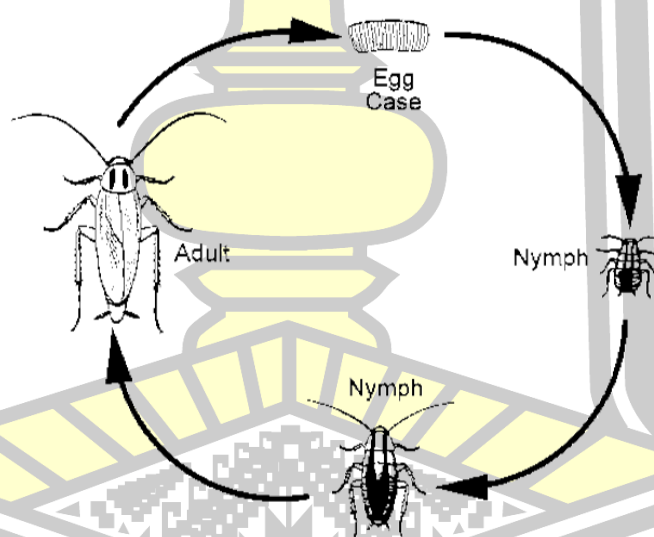
(ที่มา : [https://www.brainkart.com/article/Anatomy-of-Cockroach-\(Periplanetaamericana\)--Digestive,-Respiratory,-Circulatory,-Nervous,-Excretory,-Reproductivesystem_33180/](https://www.brainkart.com/article/Anatomy-of-Cockroach-(Periplanetaamericana)--Digestive,-Respiratory,-Circulatory,-Nervous,-Excretory,-Reproductivesystem_33180/))

2.3.2.1 ส่วนหัว (Head) ประกอบด้วยปากเพื่อเคี้ยว-กลืน อาหาร, ตา 1 คู่ ที่เป็นแบบ compound eyes สามารถแยกความแตกต่างระหว่างกลางวันและกลางคืน, หนวด (antennae) 1 คู่ที่มีการพัฒนาได้ดีและรับ ความรู้สึกได้ดีทั้งการตรวจวัดกลิ่น และการสัมผัสของอากาศ, สมอของแมลงสาบมีขนาดเล็กมากซึ่ง ทำหน้าที่ประสานการทำงานของร่างกายต่าง ๆ ได้ดี ส่วนปากของแมลงสาบเป็นแบบกัด/เคี้ยว

2.3.2.2 ส่วนอก (Thorax) เป็นตำแหน่งที่ตั้งของอวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนไหวของขา และปีกแมลงสาบมี ขา 3 คู่ ตัวเต็มวัยมีปีก 2 คู่ บางชนิด อาทิเช่น แมลงสาบตะวันออก มีพัฒนาการของปีกและเพศซ้ำแต่ทั้งนี้ แมลงสาบมีความสามารถในการวิ่งได้ดี และต้านทานต่อภูของแรงดึงดูดโลก โดยสืบคลานไปตามอาคาร เพดาน พื้น กำแพง ส่วนบนที่เป็นแผ่นแข็งปกคลุมส่วนหัวและอก (pronotum) ตรงบริเวณนี้มีรูปแบบสี ดังนั้น บริเวณนี้จึงเป็นคุณลักษณะที่สำคัญทางกายวิภาคของแมลงสาบที่สามารถแยกความแตกต่างของชนิดแมลงสาบ

2.3.2.3 ส่วนท้อง (Abdomen) เป็นส่วนที่มีระบบสืบพันธุ์ ไข่จะถูกเก็บไว้ในฝัก (capsule) ซึ่งจำนวนไข่ ขึ้นกับชนิดของแมลงสาบ นอกจากนี้ตรงส่วนท้องยังมีอวัยวะที่เรียกว่า cerci 1 คู่ (Anal Cercus) ดังภาพ 1 ทำหน้าที่เป็นอวัยวะรับความรู้สึก Cerci ทำหน้าที่คล้ายกับหนวด (antennae) Cerci จะเชื่อมโดยตรงกับขาของ แมลงสาบผ่านปมประสาทเส้นประสาทบริเวณท้อง ลักษณะเป็นอวัยวะรับความรู้สึกจากแรงสั่นสะเทือนทั้ง อากาศและพื้น นับว่ามีความสำคัญต่อการอยู่รอดและการปรับตัว (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย, 2562)

2.3.3 วงชีวิตของแมลงสาบ



ภาพที่ 8 วงชีวิตแมลงสาบ

(ที่มา : <http://www.powerpestgroup.com/index.php?lay=show&ac=article&id=5919>

8&Nty pe=1)

แมลงสาบ มีการเจริญเติบโตแบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete metamorphosis) เป็นการเจริญเติบโตที่มี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดเพียงเล็กน้อย วงจรชีวิต (life cycle) ประกอบด้วย 3 ระยะ คือไข่ (Egg) ตัวอ่อน หรือตัวกลางวัย (nymph) และตัวเต็มวัย (Adult)

2.3.3.1 ไข่ (Eggs Case) ไข่ของแมลงสาบอยู่ในเปลือกหุ้มหรือฝักไข่หรือแคปซูล “ootheca” มีลักษณะ คล้ายเมล็ดถั่ว ส่วนมากมีสีน้ำตาลแดงจำนวนไข่ในแต่ละแคปซูลขึ้นอยู่กับชนิดของแมลงสาบโดยทั่วไป 16-30 ฟอง และอยู่ในแคปซูลจนกระทั่งฟักออกมาเป็นตัวอ่อน ซึ่งระยะเวลาขึ้นกับชนิดของแมลงสาบ แมลงสาบสามารถวางไข่ได้หลายชุดบางชนิดขึ้นกับชนิดของแมลงสาบเองอาจจะวางเพียง 4-8 ชุด แต่บางชนิดอาจวางไข่ได้มากถึง 90 ชุด แมลงสาบบางชนิดจะนำฝักไข่ ติดตัวไปด้วยจนไข่ใกล้จะฟักจึงจะปล่อยออกจากลำตัว มักจะวางไข่ในลิ้นชักหรือกล่องกระดาษ ตามซอกหรือมุมห้อง บางครั้งอาจจะวางไข่ติดกับฝาผนังหรือ เพอร์นิเจอร์ ต่าง ๆ ด้วยขึ้นกับลักษณะและจะฟักภายในระยะเวลา 1-3 เดือน

2.3.3.2 ตัวอ่อน (Nymphs) เป็นระยะตัวอ่อนก่อนระยะตัวเต็มวัยโดยจะฟักออกจากไข่ออกมาเป็นตัวอ่อน ตัวอ่อนที่ฟักออกมาใหม่ ๆ มีสีขาวและไม่มีปีก เมื่อมีอายุได้ 3-4 สัปดาห์ ก็จะมีการลอกคราบเกิดขึ้น โดยลอกคราบ 5-6 ครั้งจนกว่าจะกลายเป็นตัวเต็มวัยหรือตัวแก่ (adult) มีทั้งเพศผู้และเพศเมียจำนวนครั้งในการลอกคราบของตัวอ่อนและระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญเติบโตจนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัยนั้นแตกต่างกันตามแต่ชนิดของแมลงสาบ

2.3.3.3 ตัวเต็มวัย (Adult) ลักษณะแมลงสาบตัวเต็มวัยมีลำตัวแบนรีเป็นรูปไข่ ความยาวของลำตัวตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ถึง 5 เซนติเมตร มีสีต่าง ๆ กันตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงดำ บางชนิดอาจมีสีอื่น ๆ ที่ค่อนข้าง 10 แปรกตา เช่น สีส้มหรือสีเขียวก็ได้โดยทั่วไปแมลงสาบตัวเมียจะอ้วนกว่าตัวผู้ สามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ ส่วนหัวจะติดกับส่วนอกโดยมีส่วนคอเล็กๆ เชื่อมอยู่ บางชนิดอาจไม่มีปีกแมลงสาบที่มีปีกระยะนี้เป็นระยะที่ปีก มีการเจริญเต็มที่ ปีกคู่แรกจะแข็งแรงกว่าคู่หลัง ทั้งนี้ปีกคู่หลังซึ่งมีลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ จะซ้อนทับอยู่ใต้ปีกคู่แรกจะแข็งแรงกว่าปีกคู่หลัง และปีกจะปกคลุมลำตัวด้านบนไว้เกือบทั้งหมดอย่างไรก็ตามแมลงสาบบางชนิดอาจ มีปีกที่กุดสั้นก็ได้ถึงแม้ว่าแมลงสาบจะสามารถบินได้ก็ตามแต่โดยทั่วไปแล้วมักเดินหรือวิ่งมากกว่า ทั้งนี้จะบินในกรณีที่ถูกรบกวนเท่านั้น ตัวเต็มวัยมีขา 3 คู่ ขาคู่หน้าเล็กกว่าขาคู่หลัง ขาของแมลงสาบนั้นมีลักษณะเป็นขาสำหรับวิ่งจึงทำให้แมลงสาบวิ่งได้เร็วมาก แมลงสาบมีหนวดยาวเรียวแบบเส้นด้าย 1 คู่ ซึ่งมีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากอยู่รอบๆ หนวด และอวัยวะสืบพันธุ์สมบูรณ์ชัดเจน

2.3.4 แมลงสาบอเมริกัน (*P.americana*)

2.3.4.1 คุณลักษณะ (Characteristic) แมลงสาบอเมริกัน หรือ American cockroach มีชื่อทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า *P.americana* พบแมลงสาบชนิดนี้มากที่สุดในประเทศไทยและเป็นแมลงสาบที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีจุดสีดำขนาดใหญ่ 2 จุด ล้อมรอบด้วยวงเส้นสีเหลืองซึ่งอาจเต็มวงหรือ

มีเพียงครึ่งวงก็ได้ ส่วนรอบนอกสุดเป็นวงสีดำ หนวด เรียวและยาวกว่าลำตัว ตัวผู้ยาว 33-40 มิลลิเมตร ตัวเมียยาว 30-35 มิลลิเมตร ทั้งสองเพศมีปีกเจริญดีและยาวถึงปลายของส่วนท้อง ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาลแดงไปจนถึงน้ำตาลดำ หรือน้ำตาลปนแดงมันวาวมีสองลายมีสีเข้มบนหน้าส่วนหลังของทรวงอก มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาตอนกลางและเม็กซิโก

2.3.4.2 วงชีวิต (Life cycle) เมื่ออยู่ในระยะเป็นไข่จะอยู่ในแคปซูลซึ่งมีกาวติดไว้กับที่ ปลอดภัยได้นานประมาณ 1-2 วันจะแตกออกมาเป็นตัวอ่อน (nymph) แต่ละแคปซูลจะให้ตัวอ่อน 12 ตัว ซึ่งตัวอ่อนของมันจะมีสีเดียวกับตัวแก่ ตัวอ่อนนี้จะมีการลอกคราบหลายครั้งภายในเวลาประมาณ 2-3 เดือน แล้วจึงจะกลายเป็นตัวแก่หรือตัวโตเต็มวัยซึ่งมีชีวิตอยู่ได้นานประมาณ 15 เดือน มันจะคลานออกมาหากินรอบ ๆ บ้านพักอาศัยอายุตัวแก่ตัวเมียที่สมบูรณ์ อาจมีอายุ 1 ปี เป็นอย่างต่ำอาจเป็นตัวนำเชื้อโรคต่าง ๆ มาปนเปื้อนอาหารหรืออุปกรณ์ใช้สอยอื่น ๆ ทำให้เกิดโรคได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรกระบบทางเดินอาหาร

2.3.4.3 แหล่งที่พบ (Habitat) มักพบอาศัยอยู่ในที่อับชื้น น้ำเสีย ชอบที่มืด อุณหภูมิเย็นและ อุณหภูมิร้อนบริเวณห้องน้ำห้องส้วม ห้องครัว กล่อง กระดาษ ตู้หนังสือลิ้นชักใต้ผ้าเปดาน ต้นไม้และห้องใต้ดินหรือห้องใต้ถุนตึกมักอาศัยอยู่เป็นกลุ่มหรือเป็นกอง เป็นต้น

2.3.4.4 พฤติกรรม (Behavior) มีความว่องไวเพราะมีปีกเจริญดีและยาวถึงปลายของส่วนท้องปกติแต่บินไม่ได้แต่ก็อาจจะบินไปได้ในระยะใกล้ ๆ กินของที่ตายแล้ว อาหาร หรือทุกอย่าง (อภิวัฏ รัชสิน, 2557)



ภาพที่ 9 แมลงสาบอเมริกัน

2.3.5 การระบาดวิทยา

กลไกในการแพร่เชื้อของแมลงสาบเกิดจากพฤติกรรมในการออกหาอาหารและการกินอาหารของแมลงสาบซึ่งชอบหาอาหารตามสิ่งปฏิกูลและระหว่างเดินจะสำรวจและถ่ายมูลไปตลอดทาง เชื้อโรคจะติดมากับแขนขาของแมลงสาบ โรคที่นำโดยแมลงสาบส่วนใหญ่จึงเป็นโรคที่เกี่ยวข้องทางเดินอาหาร เช่น อุจจาระร่วง บิดไทฟอยด์และอาหารเป็นพิษ เป็นต้น อย่างไรก็ตามแมลงสาบยังสามารถเป็นพาหะก่อให้เกิดโรคอื่น ๆ ได้อีก เช่น โรคเรื้อน กาฬโรค ตับอักเสบบวม หอบหืด ภูมิแพ้หรือแม้แต่โรคผิวหนัง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าแมลงสาบสามารถเป็นโฮสต์กึ่งกลาง (intermediate host) ของพยาธิได้หลายชนิด เช่น พยาธิปากขอ (*Ancylostoma duodenale*), พยาธิไส้เดือนกลม (*Ascaris lumbricoides*), พยาธิตืดแคระ (*Hymenolepis nana*), พยาธิตืดวัว (*Taenia saginata*), พยาธิใบไม้โลหิต (*Schistosoma haematobium*) เป็นต้น

แมลงสาบ เป็นแมลงที่จัดอยู่ในพวกเดียวกับ ปลวก ปัญหาที่พบจากแมลงสาบ ก็คือสร้างความเสียหายที่สุดให้กับผู้พักอาศัยในบ้าน ซึ่งต้องทำการควบคุมกำจัด นอกจากนี้จะเข้าไปรบกวนและกัดกินอาหารทุกชนิดแล้วขับถ่ายของเสีย (fecal material) ทิ้งไว้ ทำให้อาหารเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็น ด้วยสาเหตุดังกล่าวมีผลทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการควบคุมและ ป้องกันกำจัดแมลงสาบ เป็นจำนวนมาก ในแต่ละปีแมลงสาบ จึงมีผลต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ตลอดจนสถานะทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ผลกระทบที่เกิดจากแมลงสาบมี ดังนี้

2.3.5.1 แมลงสาบ ก่อความรำคาญแมลงสาบ มีการแพร่ขยายพันธุ์ภายในบ้านเรือน กินของมนุษย์ใช้ในการอุปโภค บริโภค และอาศัยอยู่ภายในบ้านตลอดทั้งปี พวกมันจะกินอาหารของมนุษย์และสัตว์เลี้ยง ซากสัตว์ที่ตายแล้ว ต้นพืช เครื่องหนัง กาว เส้นผม ขอบสันหนังสือ และอื่น ๆ อีกมากมาย แมลงสาบ เป็นแมลงที่หากินในเวลากลางคืน ถ้าพบเห็นว่ามีแมลงสาบ เดินในช่วงเวลากลางวันเพียงแค่ 1-2 ตัว นั้นแสดงว่ามีการชุกชุมของ แมลงสาบ อย่างมาก สิ่งที่สามารถพบเห็นได้บ่อยครั้ง คือซาก แมลงสาบ ที่ตายแล้ว, ผนังลำตัวที่ลอกคราบออกมา, กระจาปะไขที่ว่างเปล่า(ตัวอ่อนที่ฟักตัวออกไปแล้ว) และมูลที่แมลงสาบถ่ายทิ้งไว้ ขนาดของมูลมีตั้งแต่เล็กมากจนถึงขนาดใหญ่เท่ากับมูลของหนู ถ้ามี แมลงสาบ ชุกชุมมากจะพบมูลได้มากเช่นกันตามบริเวณมุมชั้นวางของ

2.3.5.2 แมลงสาบเป็นพาหะนำเชื้อโรค สำหรับเชื้อโรคสำคัญที่นำโดยแมลงสาบ แบ่งออกได้ตามเชื้อสาเหตุของโรคได้ ดังนี้

1) เชื้อแบคทีเรียโรคที่สำคัญที่มีเชื้อแบคทีเรียเป็นสาเหตุ ได้แก่ โรคเรื้อน กาฬโรค โรคบิด โรคท้องเสียในเด็กโรคติดเชื้อของช่องขับถ่าย (Urinary tract) โรคฝีและผิวหนังพุพอง โรคในระบบทางเดินอาหาร โรคอาหารเป็นพิษและโรคไทฟอยด์

2) หนอนพยาธิแมลงสาบ สามารถเป็นโฮสต์กึ่งกลาง (Intermediate host) ของพยาธิได้หลายชนิด เช่นพยาธิปากขอ (*A. duodenale*), พยาธิไส้เดือนกลม (*A. lumbricoides*), พยาธิ

ติ๊ดแคระ (*H.nana*), พยาธิติ๊ดวัว (*T.saginata*), พยาธิใบไม้โลหิต (*S.haematobium*) เป็นต้น โรคที่มีหนอนพยาธิเป็นสาเหตุ ได้แก่ โรค Schistosomiasis โรคระบบลำไส้ และโรคโลหิตจางหนอนพยาธิสามารถอาศัยอยู่ในตัวแมลงสาบประมาณ 12 ชนิด ซึ่งสามารถผ่านออกมาทางมูลของแมลงสาบได้

3) เชื้อไวรัส ยังไม่พบว่ามี การแพร่เชื้อไวรัสซึ่งนำโดยแมลงสาบมาสู่มนุษย์ แต่จากการศึกษาในห้องทดลองพบว่าแมลงสาบสามารถเป็นพาหะของเชื้อไวรัส ซึ่งเป็นเชื้อสาเหตุของโรคตับอักเสบ (Hepatitis)

4) เชื้อโปรโตซัวมีเชื้อโปรโตซัวหลายชนิดที่พบในแมลงสาบ ซึ่งเชื้อโปรโตซัว *Toxoplasma* เป็นสาเหตุทำให้เกิดความพิการของทารกในครรภ์ และมีเชื้อโปรโตซัวอีกหลายชนิดที่เป็นสาเหตุของโรคท้องเสีย หรือโรคบิด

5) เชื้อรา พบมีเชื้อรา 2 ชนิดที่เป็นสาเหตุของโรคระบบทางเดินหายใจคือ *Aspergillus fumigatus* และ โรคผิวหนังคือ *Aspergillus niger*

6) แมลงสาบจะปล่อยสารก่อภูมิแพ้ (Allergen) จากรายงานการวิจัยทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศพบว่า แมลงสาบ เป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้และหอบหืดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยเด็ก ปัจจุบันเป็นปัญหาสาธารณสุขของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกและมีแนวโน้มจะมีผู้ป่วยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในประเทศไทย มีผู้ป่วยโรคภูมิแพ้แมลงสาบมากกว่า 50 % ของผู้ป่วยโรคภูมิแพ้ทั้งหมดแมลงสาบจะปล่อยสารก่อภูมิแพ้ (allergen) ออกมาสู่บริเวณที่เดินผ่านหรือฟุ้งลอยอยู่ในอากาศ เมื่อมนุษย์สัมผัสสารก่อภูมิแพ้เหล่านี้ต่อเนื่องกันในระยะเวลาพอสมควรก็จะทำให้เกิดโรคภูมิแพ้และหอบหืดขึ้นได้ สารก่อภูมิแพ้เหล่านี้เชื่อว่าเกิดมาจากมูลหรือสารบางอย่างบนตัวของแมลงสาบ ผลการวิจัยจากหลาย ๆ รายงานพบว่า มีผู้ป่วยโรคภูมิแพ้และหอบหืดจำนวนไม่น้อยที่ให้ผลทดสอบที่เป็นบวกต่อการทดสอบกับสารก่อภูมิแพ้ที่สกัดจาก แมลงสาบ อเมริกันและ แมลงสาบเยอรมัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แมลงสาบ ทั้งสองชนิดนี้เป็นตัวการสำคัญชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดโรคภูมิแพ้และหอบหืดของมนุษย์สาเหตุออกมาสู่บริเวณที่เดินผ่านหรือฟุ้งลอยอยู่ในอากาศเมื่อสัมผัสต่อเนื่องกันในระยะเวลาพอสมควรทำให้เกิดโรคภูมิแพ้และหอบหืดขึ้นได้สารก่อโรคภูมิแพ้เหล่านี้เชื่อว่าเกิดมาจากมูลหรือสารบางอย่างบนตัวแมลงสาบ

2.3.5.3 แมลงสาบทำอันตรายต่อร่างกายมนุษย์จากรายงานการสำรวจในเรื่องที่มีการระบาดของแมลงสาบสูง พบว่า แมลงสาบอเมริกัน (*P.americana*) และแมลงสาบออสเตรเลีย (*P. australasiae*) จะเข้ามากัดแทะผิวหนังและเล็บของชาวประมงในขณะที่นอนหลับ ซึ่งต้องป้องกันโดยการสวมถุงมือและถุงเท้าขณะนอนหลับ

2.3.6 การควบคุมและป้องกันแมลงสาบ

มาตรการควบคุมและป้องกันแมลงสาบ ดำเนินการได้ด้วย 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

2.3.6.1 การสุขาภิบาล/อนามัยสิ่งแวดล้อม

2.3.6.1.1 การสุขาภิบาลในบ้าน/ครัวเรือน (housing sanitation) /อาคาร มีรายละเอียดดังนี้

1) การปรับปรุงบ้าน/อาคารและบริเวณให้ถูกหลักสุขาภิบาล โดยการรักษาความสะอาดภายในบริเวณบ้าน เช่น ห้องนอน ห้องครัว ห้องน้ำ และห้องเก็บของ เพื่อเป็นการป้องกันโรคติดต่อ

2) การป้องกันไม่ให้เข้าสู่ตัวอาคาร โดยการปิดหรืออุดช่องโหว่ต่าง ๆ บริเวณประตูหน้าต่างหรือร่องแตกร้าวบนผนังตัวบ้าน หรือมุงลาดตามประตู หน้าต่าง ช่องลม หรือ เพื่อป้องกันไม่ให้แมลงสาบเข้าสู่บ้านรวมทั้งติดตั้งแก๊สตาข่ายบริเวณรูเปิดสู่ท่อระบายน้ำทั้งในในห้องน้ำหรือห้องครัวหรือนอกบ้าน

3) การควบคุมแมลงสาบในอาคารหรือบ้านพักอาศัย มีรายละเอียดดังนี้

(1) ดูแลรักษาบ้านเรือนให้สะอาดอยู่เสมอ โดยไม่ให้เป็นแหล่งเก็บกักอาหาร โดยกวาดถูบ้านเรือนและหลังมืออาหารควรดูแลไม่ให้มีเศษอาหารตกค้าง ดูแลรักษาให้บริเวณโดยรอบมีความสะอาดเรียบร้อย โดยเฉพาะใต้โต๊ะอาหารและในห้องครัว นอกจากนี้เก็บอาหารทิ้งสดและสำเร็จรูปในภาชนะที่ปิดมิดชิดปิดฝาถังมูลฝอยให้แน่นเสมอ ไม่ควรมีเศษอาหารเหลือตกค้างในถังมูลฝอย และที่ล้างจานโดยเฉพาะในเวลากลางคืนล้างจานซาวให้สะอาด ล้างจานซาวทันทีเมื่อรับประทานอาหารเสร็จเรียบร้อยแล้ว หากมีสัตว์เลี้ยงก็ให้ ทำความสะอาดเช่นเดียวกัน

(2) ทำลายโดยใช้เหยื่อล่อต่าง ๆ เช่น กาวดัก กรดบอริคผสมกับแป้ง ฯลฯ

(3) ทำการซ่อมแซมรอยแตก รอยแยกหรือรอยร้าวต่าง ๆ ของอาคารที่พักอาศัยหรือตามท่อน้ำประปาเพื่อไม่ให้เป็นที่อยู่อาศัยหรือแหล่งอาหารของแมลงสาบ

(4) เก็บรักษาอาหารให้มิดชิดหรือไม่ให้แมลงสาบเข้าไปสัมผัสได้ เช่น เก็บรักษาไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิดหรือเก็บไว้ในตู้ ฯลฯ ควรเก็บอาหารสดและอาหารแห้งให้มิดชิด รวมทั้งคอยระวังไม่ให้มีเศษอาหารตกหล่นบนพื้น เช่น การบรรจุน้ำตาลไว้ในขวดโหล

(5) เก็บรักษาสິงของต่าง ๆ ภายในบ้านอาคารหรือบ้านพักอาศัยให้มีความสะอาดและเป็นระเบียบเรียบร้อยเพื่อไม่ให้เป็นที่หลบซ่อนของแมลงสาบ เช่น เสื้อผ้าไม่ควรกองไว้ควรที่จะแขวนไว้ให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ฯลฯ

(6) เก็บกักมูลฝอยเปียกด้วยภาชนะที่ปิดป้องกันไม่ให้แมลงสาบเข้าไปได้

(7) เก็บกักมูลฝอยเปียกด้วยภาชนะที่ปิดป้องกันไม่ให้แมลงสาบเข้าไปได้ และนำมูลฝอยไปกำจัดทิ้งอย่างสม่ำเสมอโดยะชินอนในรูปของสเปรย์ 1% หรือผง หรือมาลาไธออนในรูปสเปรย์ 3% ในรูปผง 4 % หรือไบคอนในรูปของสเปรย์ 1 % ในรูปผง 2 % หรืออาจใช้ผงบอแร็กซ์วางไว้ตามทางเดินของแมลงสาบเช่น ใต้อ่างล้างมือใต้อ่างอาบน ใต้ท้องเรือ ใต้เพดาน ฯลฯ

2.3.6.1.2 การสุขาภิบาลในระดับชุมชน (Community Involvement in Cockroach Management) การควบคุมพาหนะโรคแมลงสาบในระดับชุมชนที่มีจำนวนครัวเรือนที่มากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์หรือมืออาชีพมาดำเนินการจัดการ ในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วหรือประเทศที่กำลังพัฒนา มีการจ้างบริษัทมาดำเนินการจัดการ เช่น กลุ่มบริษัทรับกำจัดแมลงตามบ้านเรือนแต่ทั้งนี้และทั้งนั้นชุมชนจำเป็นต้องให้ ความร่วมมือ กับเจ้าหน้าที่หรือกลุ่มบริษัทที่หน่วยงานท้องถิ่นว่าจ้างมา การสุขาภิบาลด้านการควบคุมพาหนะโรค (ในที่นี้เน้นแมลงสาบ) ในระดับชุมชน หน่วยงานผู้ดูแลหรือส่วนท้องถิ่นควรดำเนินการให้เป็นไปตามสุขลักษณะรวมทั้งทุกภาคส่วนที่ข้อง มีรายละเอียด ดังนี้

1) ประชาชนในชุมชน แต่ละครัวเรือนในชุมชนต้องให้ความร่วมมือ โดยดำเนินการให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ชุมชนกำหนด เช่น การรักษาความสะอาดครัวเรือน อาทิเช่น อ่างล้างจาน ห้องครัวและหมั่นดูแลทำความสะอาดบ้านเรือน ตู้ลิ้นชัก เฟอร์นิเจอร์อื่น ๆ การทิ้งมูลฝอยให้มีถังรองรับ มีการดูแลด้านการจัดการมูลฝอยมีถังรองรับมูลฝอยชุมชนที่ถูกต้องตามสุขลักษณะและเพียงพอต่อการใช้งาน ผู้แทนหรือหัวหน้าชุมชน มีการรายงานด้าน การระบอบที่เกี่ยวข้องและปัญหาที่เกิดจากแมลงสาบ หากเป็นปัญหาที่รุนแรงมากอาจประสานไปยังเจ้าหน้าที่หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อดำเนินการจัดการแก้ไขปัญหาต่อไป

2) เจ้าหน้าที่หรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หากเป็นภายในอาคาร อาทิเช่น คอนโดมิเนียมอพาร์ทเมนต์หอพัก ฯลฯ ให้ ดูแลซ่อมแซม รอยแตก ตามเพดานผนัง และแก้ ไขระบบท่อ ประปา ระบายน้ำอย่างสม่ำเสมอหรือพื้นที่อับชื้นก็ให้ดูแลไม่เป็นที่หลบซ่อน วางไข่ของแมลงสาบ เป็นต้น นอกจากนี้อาจกำหนดบังคับใช้มาตรฐานขั้นต่ำของการสุขาภิบาลการควบคุม

3) เอกชนหรือบริษัทรับกำจัด ฯ การทำงานเป็นระบบ และมีการใช้เทคโนโลยีในการดำเนินการจัดการ รวมทั้งใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่สามารถตรวจสอบได้อย่างละเอียดที่ถูกต้องตามหลักวิชาการและสารเคมีที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน รวมทั้งมีผู้เชี่ยวชาญให้คำแนะนำแล้วจัดทำเป็นรายงาน

2.3.6.2 การควบคุมด้านกายภาพ (Physical Controls)

1) การทำลายไข่แมลงสาบ เป็นการตัดวงจรการขยายพันธุ์ หากพบไข่แมลงสาบให้รีบเผาทันทีลดการขยายพันธุ์ถึง 30 ตัว พร้อมทำความสะอาดภายในรถทัวร์ รถโดยสาร รวมทั้งบ้านเรือนกำจัดแหล่งอาหารเก็บมิดชิด ไม่ใช้ผ้าห่มซ้ำโดยไม่ซัก เพื่อป้องกันอันตรายจากแมลงสาบที่อาจเกิดขึ้นได้ขณะนอนหลับ

2) วิธีการดูแลทำความสะอาด เพื่อกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์แมลงสาบ ทั้งผู้ประกอบการรถทัวร์รถโดยสารหรือแม้กระทั่งประชาชนทั่วไปก็สามารถป้องกันได้หากเข้าใจและรู้ถึงวิธีการทำความสะอาดและกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์แมลงสาบอย่างถูกวิธี โดยการควบคุมและป้องกันอันตรายจาก

แมลงสาบนั้น จะต้องตัดวงจรชีวิตและลดจำนวนแมลงสาบอย่างรวดเร็ว ด้วยการหมั่นตรวจตราตามซอกตู้ ชั้นวางของซึ่งแมลงสาบจะไข่ติดไว้เพื่อพบไข่แมลงสาบให้รีบทำลายโดยนำไปเผาทิ้ง เท่ากับเป็นการทำลายแมลงสาบครั้งละ 14 - 30 ตัว

2.3.6.3 การควบคุมด้านเคมี (Chemical Controls) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) การทำลาย/กำจัดแมลงสาบโดยตรง เมื่อพบว่ามีแมลงสาบอยู่ภายในบ้าน จำเป็นต้องรีบควบคุมกำจัดให้หมดไปโดยเร็วโดยการใช้สารเคมีหรืออุปกรณ์กำจัดแมลงต่าง ๆ สารเคมีที่นิยมนำมาใช้กำจัดแมลงสาบ ได้แก่ สารในกลุ่ม carbamate, organophosphorous compound, synthetic pyrethroid, insect growth regulator (IGR) และ electron transport inhibitor (ETI) สารเคมีเหล่านี้ถูกนำมาพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์กำจัดแมลงสาบได้หลายรูปแบบ เช่น สเปรย์ละอองฝอยผงสำหรับโรยหรือเหยื่อพิษเป็นต้น โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์เหล่านี้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดีในการกำจัดแมลงสาบในบ้านเรือน อย่างไรก็ตามไม่ควรที่จะใช้สารเคมีแต่เพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือตัวใดตัวหนึ่งติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ๆ เนื่องจากมีรายงานว่าสารเคมีดังกล่าวจะทำให้แมลงสาบสามารถสร้างสารที่สามารถต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารในกลุ่ม synthetic pyrethroid ดังนั้นจึงควรที่จะมีการหมุนเวียนเปลี่ยนกลุ่มสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดแมลงสาบเพื่อป้องกันปัญหาแมลงสาบสร้างความต้านทานต่อสารเคมีที่ใช้ สารเคมีบางชนิดมีคุณสมบัติเป็นสารไล่แมลงสาบ (cockroach repellent) ได้ดีสารดังกล่าวที่มีรายงานการวิจัยแล้วว่ามีประสิทธิภาพดีในการไล่แมลงสาบ ได้แก่ DEPA (N,N-diethylphenylacetamide), DECA (diethylcyclohexylacetamide), fencholic acid (3-isopropyl - 1-methylcyclopentanecarboxylic acid), DCP (N,N-diethylcyclohexylpropanamide), DMP (dimethyl phthalate), citral หรือ eugenol เป็นต้น

2) การจัดการแหล่งน้ำดื่ม น้ำใช้ให้สะอาดและถูกสุขลักษณะ เช่น ซ่อมก๊อกน้ำที่รั่ว หากเป็นภายในอาคารอย่ารดน้ำต้นไม้จนชุ่มโชก อย่าให้มีน้ำขังที่จานรองกระถาง หรือใส่น้ำยา Lysol ลงในน้ำของโถชักโครก เพื่อป้องกันแมลงสาบเข้ามา หรือบางที่แมลงสาบชุกชุมมาก ๆ อาจจะต้องใส่น้ำยา Lysol ที่วางระบายน้ำนอกบ้านอีกด้วย

3) ทำลายที่ซ่อนของมัน เช่น เก็บกวาดบริเวณรอบบ้านอย่าให้มีกองไม้ เศษวัสดุ ก่อสร้าง ของเหลือใช้โดยโรยผง boric acid ไว้ตามซอกมุม ร่อง รูต่าง ๆ ทั้งนอกบ้านและในบ้าน รอยแตกตามผนังต้องอุดซ่อมให้หมด เพราะแมลงสาบสามารถลอดเข้ามาได้แม้ช่องเล็ก ๆ ได้ถึงขนาด 1.6 มิลลิเมตร และอุดรูระบายของอ่างล้างจาน ท่อระบายน้ำต่าง ๆ รักษาความสะอาดห้องเก็บของ ห้องครัว ห้องใต้ครัว ห้องใต้บันไดให้โปร่งและสะอาด

2.4 หนอนนก (Mealworm)

2.4.1 ชีวิตวิทยาและโครงสร้างหนอนนก

หนอนนก (mealworm) หรือหนอนมอดรำข้าวสาลี ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Tenebrio molitor* Linnaeus จัดอยู่ในไฟลัม Arthropoda ชั้น Insecta อันดับ Coleoptera วงศ์ Tenebrionidae สกุล Tenebrio สปีชีส์ *T. molitor* เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เป็นตัวอ่อนของแมลงปีกแข็งชื่อว่า Meal – Beetle หรือด้วงหนอนนก มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปยุโรปนำเข้ามาจากประเทศทางยุโรป เพื่อการเลี้ยงนกและสัตว์ปีกของกรมป่าไม้ ซึ่งอาจเป็นที่มาของชื่อ “หนอนนก” หรือ “หนอนเลี้ยงนก” ตัวโตเต็มวัยจะมีสีน้ำตาลดำหรือสีดำมันวาว มีความยาวประมาณ 15 มิลลิเมตร มีปีกแข็งหุ้มลำตัวอยู่ด้านบน ด้านในปีกบาง ๆ มีขา 6 ขา เมื่อผสมพันธุ์วางไข่ซึ่งมีสีขาวคล้ายถั่ว ตัวอ่อนที่ฟักออกจากไข่มีสีขาวขนาดเล็กเมื่ออายุมากขึ้นเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจนกระทั่งเป็นสีน้ำตาล ความยาวประมาณ 20-30 มิลลิเมตรมีลักษณะกลมเรียวยาว ผิวเป็นมันลื่น แต่ละปล้องของลำตัวมีสีเหลือง และมีสีเข้มสลับบริเวณทาง ด้านท้ายของปล้องลำตัว จนกระทั่งเปลี่ยนมาเป็นดกแดงสีขาว ยาวประมาณ 10-13 มิลลิเมตรหลังจากนั้นอีก 1.2 สัปดาห์ ก็จะกลายเป็นตัวเต็มวัย ผสมพันธุ์วางไข่ต่อไป เมื่อหนอนนกโตเต็มวัยสามารถแยกเพศโดยสังเกตว่าตัวผู้จะมีขนาดเล็กกว่าตัวเมียเล็กน้อย และเมื่อใช้มือบีบบริเวณก้นของตัวผู้จะเห็นดั่งแหลม 2 อัน (อภิรักษ์ สุวรรณรักษ์, 2543)



ภาพที่ 10 หนอนนก (*Tenebrio molitor* Linnaeus)

2.4.2 วงชีวิตหนอนนก

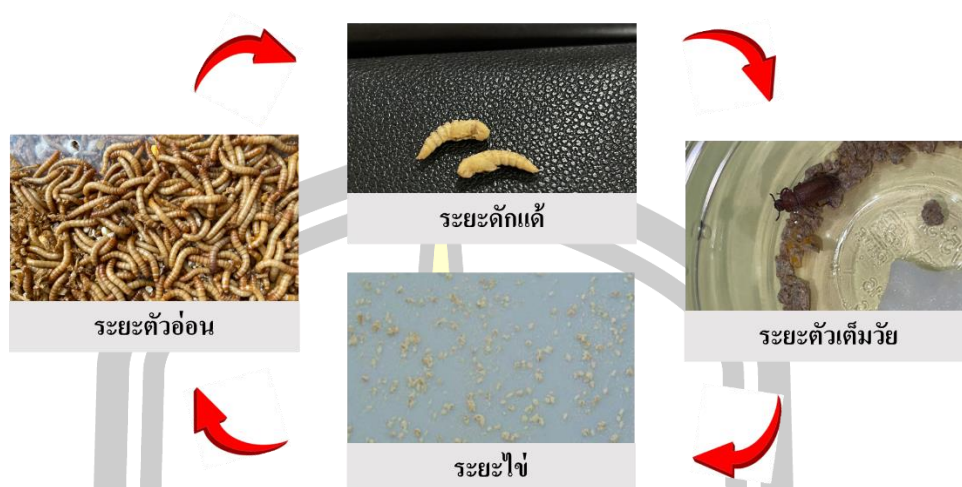
วงชีวิตของหนอนนก ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะคือ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัย

2.4.2.1 ระยะไข่ ไข่ของหนอนนกมีลักษณะ สีขาวนวล ผิวเป็นมัน มีรูปร่างรี ขนาดประมาณ 0.8x1.8 มิลลิเมตร จนถึง 1.5x2.0 มิลลิเมตร ขอบวงไข่บริเวณพื้นก้นถาดหรือติดกับอาหารสังเกตเห็นได้ยาก ต้องอาศัยความชำนาญและสังเกตบ่อย ๆ การฟักตัวจากไข่ใช้เวลา 7-10 วัน จนเป็นตัวอ่อนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ ถ้าเป็นฤดูหนาวไข่อาจฟักออกเป็นตัวช้ากว่าในฤดูร้อน

2.4.2.2 ระยะหนอน เมื่อฟักออกจากไข่ใหม่ ๆ จะมีสีขาว ขนาดเท่ากับเส้นด้ายยาว 2 - 3 มิลลิเมตร มีจำนวน 9 ปล้อง ปล้องสุดท้ายมีขนาดเล็กที่สุด ลำตัวพอมยาวมีลักษณะคล้ายทรงกระบอก ขาสั้น เมื่อส่องด้วยกล้องจะมองเห็นเส้นข้างตัวเป็นสีน้ำตาลและบนเส้นข้างตัวมีรูหายใจ ปล้องละ 1 รู หลังจากนั้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนตัวหนอนจะเติบโตขึ้นเรื่อยๆ มีการลอกคราบประมาณ 13 ครั้ง เมื่อโตเต็มที่มีความยาวประมาณ 2.5-2.8 เซนติเมตร ใช้ระยะเวลา 55-80 วัน ก็จะกลายเป็นดักแด้

2.4.2.3 ระยะดักแด้ ลักษณะส่วนหัวโตแล้วเรียวยาวเล็กลงไปทางด้านหางเมื่อเข้าดักแด้ใหม่ลำตัวมีลักษณะเป็นสีขาว เหยียดตรง หลังจากนั้นก็เริ่มงอตัวทางด้านท้องแล้วเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนจนกระทั่งเข้มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนหัวพับเข้าหาส่วนนอก ส่วนปีกพับลงไปอยู่ระหว่างขาเดินคู่ที่ 2 และ 3 จะนอนนิ่งไม่เคลื่อนไหว นอกจากมีสิ่งรบกวนอาจมีการเคลื่อนที่ใดบ้างเล็กน้อย โดยการดึงหน้าท้องเข้าออกระยะนี้ตัวอ่อนจะมีเปลือกอ่อนนุ่มแต่ในช่วงท้ายจะแข็ง ระยะดักแด้ใช้เวลา 7-10 วันก่อนที่จะเป็นตัวโตเต็มวัย

2.4.2.4 ระยะโตเต็มวัย หลังจากที่ตัวหนอนเข้าดักแด้แล้ว 7-10 วัน จะมีการลอกคราบอีกครั้งเพื่อออกมาเป็นตัวโตเต็มวัย โดยจะดันตัวออกมาทางส่วนหัวก่อน ตัวโตเต็มวัยที่ออกมาจากดักแด้ใหม่ ๆ มีลักษณะลำตัวสีขาวนวล ด้านท้องบริเวณอกมีสีเหลืองอ่อน ส่วนหัว ขา และหนวดมีสีน้ำตาลเข้มขึ้นตามีสีดำ หลังจากนั้นส่วนต่าง ๆ ก็จะค่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มขึ้นจนกระทั่งกลายเป็นสีดำในที่สุด ยกเว้นส่วนท้องจะเป็นสีน้ำตาลเข้ม เมื่อเข้าสู่วงจรของการเป็นแมลง ตัวเมียจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวผู้ ตัวโตเต็มวัยลำตัวจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากสีน้ำตาลแดงเป็นสีดำมันวาว มีปีกแข็งหุ้มลำตัวอยู่ด้านนอก เมื่อโตเต็มวัยมีอายุประมาณ 5-7 วันก็จะเริ่มผสมพันธุ์ หลังจากนั้นอีก 2-4 วันก็จะเริ่มวางไข่ครั้งแรก ตัวเมียหนึ่งตัวสามารถวางไข่ได้ครั้งละประมาณ 80-100 ฟอง โดยตัวเมียหนึ่งตัวจะวางไข่ได้ 8-10 ครั้งในหนึ่งช่วงอายุหลังจากนั้นก็จะตาย (โสภณ บุญล้ำและชุติมา เสพธรรม, 2551)



ภาพที่ 11 วงชีวิตหนอนนก

2.4.3 ประโยชน์ของหนอนนก

ในปัจจุบันหนอนนกมีราคาแพงเนื่องจาก เป็นอาหารที่มีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการ คุณค่าทางอาหารสูง โดยเฉพาะโปรตีน และไขมัน หนอนนกมีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 19.7 (ของ น้ำหนักตัว) จัดว่าเป็นหนอนที่มีศักยภาพที่ดีในการใช้เป็นอาหารสัตว์เลี้ยง สัตว์น้ำ นกและไก่ เป็นต้น เนื่องจากมีพลังงานรวมสูงเพียงพอสำหรับกิจกรรมต่างๆ ของสัตว์ พบว่า หนอนนกที่เลี้ยงด้วย รำข้าวสาลี มีความชื้นร้อยละ 62.60 โปรตีนร้อยละ 21.18 ไขมันร้อยละ 12.82 เยื่อใยร้อยละ 5.76 เกลือร้อยละ 1.29 แคลเซียมร้อยละ 0.02 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.10 และพลังงานรวม 2,571 กิโล แคลอรีต่อกิโลกรัม (โสภณ บุญล้ำและชุตินา เสพยธรรม, 2551) หนอนนกยังสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารโปรตีนเพื่อเลี้ยงปลาตู้แอฟริกัน (African catfish) ไดเช่นกัน (Ng et al, 2001) เนื่องจากหนอน นกเป็นอาหารสดที่มีโปรตีนและแคลเซียมสูง สามารถย่อยสลายได้ดีกว่าการเลี้ยงด้วยอาหารสำเร็จรูป จึงเหมาะสมในการอนุบาลลูกปลา และนกหรือปลาที่มีขนาดใหญ่และปลากินเนื้อ (อานนท์ เขยจำรูญ, 2547) นอกจากนี้หนอนนกมีช่วงระยะเวลาการเป็นหนอนที่มีวงจรชีวิตยาว และมีหลายขนาด จึง สามารถเลือกหนอนนกได้ตามความเหมาะสมของสัตว์ที่เลี้ยง รวมถึงเมื่อนำหนอนนกมาใช้เลี้ยงพ่อแม่ พันธุ์ปลา เพื่อการเพาะขยายพันธุ์ พบว่าทำให้ปลามีความสมบูรณ์เพศที่ดีสืบต่อไป และพร้อมต่อการ เพาะพันธุ์ ได้เป็นอย่างดี (อภิรักษ์ สุวรรณรักษ์, 2543) ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจากนักเลี้ยง สัตว์ในปัจจุบัน จึงมีกลุ่มผู้สนใจนิยมใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ ทำให้การเลี้ยงหนอนนกเป็นอาชีพที่ สามารถนำรายได้มาสู่เกษตรกรจำนวนมาก (ยุพา หาญบุญทรง, 2550) นอกจากหนอนนกจะเป็น อาหารสัตว์แล้วปัจจุบันมีการศึกษาการใช้หนอนนกในการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพพบว่า แบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ของหนอนนกสามารถย่อยสลายพลาสติกโพลีไธรีนได้ (Br & on et al 2018)

โดยแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ของหนอนนกได้แก่ *Klebsiella*, *Pseudomonas* & *Serratia* สามารถย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพได้ (Urbanek et al., 2020)

2.4.4 ขั้นตอนและวิธีการเพาะเลี้ยงหนอนนก

2.4.4.1 อุปกรณ์และพื้นที่เลี้ยง

พื้นที่สำหรับเลี้ยง ควรอยู่ในพื้นที่ๆ อากาศถ่ายเทสะดวก ใช้ตาข่ายหรือผ้าเพื่อป้องกันศัตรูของหนอนนก เช่น มด ตั๊กแตน และหนู เป็นต้น ทำชั้นสำหรับวางภาชนะเลี้ยงหนอน โดยใช้วัสดุต่างๆ เช่น ไม้ไผ่ หรือ เหล็ก แต่ละชั้นควรมีระยะห่างกันไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร เพื่อให้อากาศถ่ายเท หรือใช้ชั้นวางของสำเร็จรูป ขาของชั้นวางควรมีการหล่อน้ำป้องกันมด ในช่วงฤดูร้อน ควรติดตั้งสปริงเกอร์ไว้ที่หลังคาของโรงเรือน เพื่อเปิดน้ำลดความร้อนภายในโรงเรือน ด้านในโรงเรือน ควรมีการแยกสัดส่วนของที่เก็บอาหาร และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการเลี้ยง

ภาชนะสำหรับเลี้ยง นิยมใช้ถาดพลาสติกที่มีขนาดกว้าง 20-25 เซนติเมตร ยาว 30-40 เซนติเมตร และความสูงของถาดไม่ควรเกิน 10 เซนติเมตร เพราะจะทำให้อากาศถ่ายเทได้ไม่สะดวกเกิดเป็นแหล่งสะสมเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากถาดพลาสติกแล้วสามารถใช้พลาสติกลูกฟูก (ฟิวเจอร์บอร์ด) ทำเป็นถาดเลี้ยงได้เช่นกัน

ภาชนะสำหรับให้น้ำ ใช้จานพลาสติกแบน มีสำลี หรือ ผ้าชุบน้ำให้ชุ่ม วางไว้ในจานสำหรับเพิ่มความชื้นในถาดเลี้ยง หรือใช้กระบอกฉีดยาพ่นฝอย

2.4.4.2 พ่อแม่พันธุ์และการจัดการ

การคัดเลือกพันธุ์ คัดเลือกตัวเต็มวัยที่อายุ 5-7 วัน จำนวน 300 - 400 ตัวต่อภาชนะเลี้ยง เป็นพ่อแม่พันธุ์ หลังจาก 7-10 วัน ให้ร่อนเอาพ่อแม่พันธุ์ออกจากไข่และอาหาร ไปใส่ในภาชนะเลี้ยงที่มีอาหารเพื่อให้วางไข่ ทำเช่นนี้ 8-10 ครั้งตลอดช่วงอายุ

การให้อาหาร ส่วนใหญ่ใช้รำข้าวสาลีโรยลงบนภาชนะเลี้ยงประมาณ 500 กรัมต่อถาดเนื่องจากรำข้าวสาลีมีราคาแพง ดังนั้นอาจใช้หัวอาหารไก่เล็กที่มีโปรตีน 13 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงหนอนนกแทน (ทัศนีย์ แจ่มจรรยา และคณะ, 2543) นอกจากการให้รำข้าวสาลีและอาหารไก่แก่หนอนนกแล้ว ควรมีการให้ผักหรือผลไม้ให้กับหนอนด้วย เช่น มะละกอดิบฝานเป็นแผ่นบาง แต่ต้องคอยหมั่นเปลี่ยนผักหรือผลไม้ใหม่ให้เน่าในภาชนะเลี้ยงหนอนข้อควรระวังคือผัก ผลไม้ที่นำมาให้หนอนนกต้องปลอดสารเคมี

การให้น้ำใช้ฟองน้ำหรือผ้าชุบน้ำให้ชุ่ม วางบนถาดพลาสติกไว้มุมใดมุมหนึ่งของภาชนะที่เลี้ยงหนอน หรือพ่นน้ำเป็นละอองลงในภาชนะแต่ไม่ควรพ่นจนอาหารชุ่มเกินไปทำให้เกิดเชื้อราได้การเปลี่ยนอาหารและเก็บซากหนอนจากภาชนะเลี้ยง ทำโดยใช้ตะแกรงร่อนแยกมูลออกจากตัวหนอน เก็บคราบและซากหนอนที่ตายออก แล้วเติมอาหารใหม่ลงไปในภาชนะเลี้ยง

2.4.4.3 ขั้นตอนการเลี้ยง

1) เตรียมถาดสำหรับเลี้ยงหนอนนก โดยใส่อาหารหนาประมาณ 1 เซนติเมตรเพื่อช่วยในการรักษาอุณหภูมิและความชื้นได้ดี ระหว่างการเลี้ยงอาจมีการเสริมอาหาร ด้วยผักหรือผลไม้ หั่นเป็นชิ้นบางๆ เช่นแตงกวา พริกทอง มะละกอดิบ กลัวย่น้ำว่าดิบ ผักกาดขาว หรืออาจใช้ผ้าชุบน้ำวางบนอาหารที่เตรียมไว้ เพื่อให้หนอนได้กินน้ำได้โดยตรง

2) นำหนอนมาใส่ในถาดที่เตรียมไว้โดยใส่หนอนนก 100กรัม/ถาด หนอนนกกินอาหารและเติบโตอย่างรวดเร็วซึ่งจะถ่ายมูลออกมาจำนวนมากเมื่อสังเกตว่าอาหารใกล้หมดและมูลมีมากให้ทำการเปลี่ยนอาหารโดยใช้ตะแกรงร่อนเอาตัวหนอนนกออกมา และเปลี่ยนอาหารใหม่ทุก 1-2 สัปดาห์ถ้าหากพบตัวหนอนที่ตายแล้วควรแยกตัวที่ตายออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการติดเชื้อไปสู่หนอนตัวอื่น

3) เมื่อหนอนนกเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะลอกคราบเป็นดักแด้ซึ่งช่วงนี้จะไม่มีการกินอาหารให้แยกดักแด้ออกมาไว้ถาดใหม่ ดักแด้ลอกคราบเป็นตัวเต็มวัยใช้ระยะเวลาประมาณ 5-7 วัน

4) แยกตัวเต็มวัยซึ่งเป็นแมลงปีกแข็งออกมาใส่ถาดใหม่ที่เตรียมอาหารไว้ แมลงในระยะแรกมีสีขาว หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและกลายเป็นสีดำเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ ใส่แมลงปีกแข็งเฉลี่ย 60-300 ตัว/ถาดแมลงจะเริ่มผสมพันธุ์ หลังจากออกจากดักแด้ประมาณ 7 วัน โดยจะมีการวางไข่ประมาณวันละ 1-2 ฟอง อายุวางไข่ประมาณ 40 – 50 วัน

5) ในถาดเลี้ยงพ่อแม่พันธุ์ให้ใส่ผ้าขาวบางที่ตัดเป็นชิ้นๆ ขนาด 5*5 เซนติเมตร บนอาหารที่เลี้ยงเพื่อให้แม่พันธุ์แมลงวางไข่และจำทำการเปลี่ยนผ้าทุกๆ 3-5 วัน หรือใช้กระดาษพับไปพับมาเป็นสันคล้ายพัด วางลงบนอาหารให้แมลงวางไข่ในร่องกระดาษได้

6) ย้ายผ้าขาวบางหรือกระดาษที่มีไข่ออกมาไว้ในถาดอาหารใหม่เพื่อให้ไข่ฟักเป็นตัวหนอนซึ่งใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน จากนั้นหนอนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วมีลอกคราบ 10 - 14 ครั้ง หรือมีอายุ 1-2 เดือนก็สามารถจำหน่ายได้นอกจากนี้ยังสามารถเลือกขนาดที่เหมาะสมใช้เป็นอาหารสัตว์น้ำวันอ่อนจนถึงโตเต็มวัยได้ ส่วนหนอนที่มีอายุเกิน 60 วัน เปลือกของหนอนนกเริ่มแข็งจึงไม่นิยมนำมาใช้เป็นอาหาร

2.5 หนอนยักษ์ (Superworm)

2.5.1 ชีวิตวิทยาและโครงสร้างหนอนยักษ์

หนอนยักษ์ (Superworm) มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Zophobas morio* Fabricius จัดอยู่ในวงศ์ Tenebrionidae อันดับ Coleoptera หนอนยักษ์มีถิ่นกำเนิดแถบอเมริกากลางและอเมริกาใต้ (Castellanos, 2008) มีการแพร่กระจายทั่วทุกแห่งในอเมริกากลางในบางพื้นที่ของอเมริกาใต้และ

พบมากทางตะวันตกของหมู่เกาะอินดีส (Indies) และเม็กซิโก (Mexico) โดยมีคางคางและเศษซากพืชซากสัตว์ในธรรมชาติเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยหรือมีการอยู่รวมกันบริเวณใต้เปลือกของต้นไม้ที่ตายแล้ว ลำตัวยาวเรียวยาวประมาณ 55 มิลลิเมตรในระยะตัวเต็มวัยเป็นด้วงสีดำมีส่วนหัวกว้าง มีปีกแข็งโค้งงอเล็กน้อยรอบปีกมีรอยน้อยและไม่ต่อเนื่องกัน ทรวงมีปล้องที่ 9-11 ลักษณะแหลมไม่กลมในเพศผู้มี protibia สมบูรณ์มี mesofemur เรียบและส่วนของ metafemur โค้งเข้าด้านใน (Tschinkel, 1984) ตัวเต็มวัยเพศเมียวางไข่ตามซอกหรือรอยแตกของไม้โดยวางไข่เป็นฟองเดี่ยว ๆ หรือเป็นกลุ่มไข่มีลักษณะกลมรีสีขาวนวลมีขนาดยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ตัวหนอนมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอก ลำตัวมีลายเป็นแถบสีน้ำตาลระยะหนอนประมาณ 6-12 เดือน หนอนวัยสุดท้ายไม่เข้าดักแด้ถ้าอยู่ร่วมกับหนอนยักซ์ตัวอื่น แต่เข้าดักแด้ก็ต่อเมื่อได้อยู่เพียงลำพังเท่านั้น โดยใช้เวลาอยู่ในระยะดักแด้ประมาณ 10 – 14 วัน จึงออกจากดักแด้เป็นตัวเต็มวัยที่มีสีขาวนวลและหลังจากนั้นประมาณ 2 วันจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและเข้มขึ้นจนเป็นสีดำในที่สุด ตัวเต็มวัยมีอายุประมาณ 2-3 เดือน ตัวหนอนและตัวเต็มวัยกินอาหารได้หลากหลายชนิด ได้แก่ ข้าวโอ๊ต ถั่วเหลือง แป้งจากธัญพืชและได้รับน้ำจากผักและผลไม้ต่าง ๆ ที่ไม่มีสารฆ่าแมลงเช่น แครอท กะหล่ำ ส้ม เป็นต้น



ภาพที่ 12 หนอนยักซ์ (*zophobas morio fabricius*)

2.5.2 วงชีวิตหนอนยักซ์

หนอนยักซ์ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะคือ ไข่ ตัวหนอน ดักแด้ และตัวเต็มวัยคือ

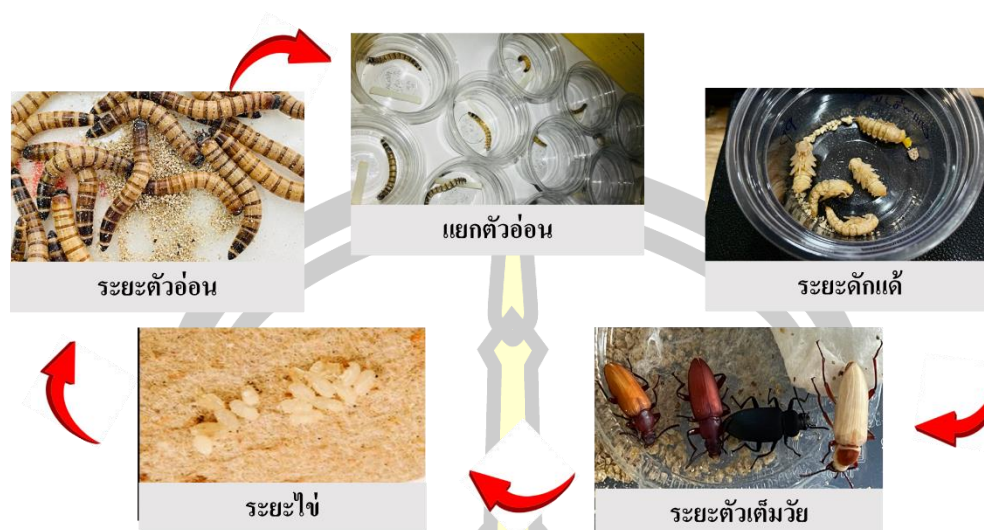
2.4.2.1 ระยะไข่ตัวเต็มวัยเพศเมียจะวางไข่เฉลี่ย 298 – 455 ฟองทั้งเป็นแบบกลุ่ม และเป็นฟองเดี่ยว ๆ ตามพื้นกล่องเลี้ยงแมลงไข่มมีสีขาวนวลรูปร่างยาวรีขนาดกว้างเฉลี่ย 0.73 – 0.81 มิลลิเมตรและยาว 1.52 – 1.6 มิลลิเมตร ระยะไข่ใช้เวลา 8 - 9 วัน

2.4.2.2 ระยะหนอนมีลักษณะทรงกระบอกลำตัวมีสีน้ำตาลสลับดำ (Quennedey et al., 1995) หนอนนยักซ์สามารถเข้าดักแด้และเป็นตัวเต็มวัยเมื่ออยู่เพียงลำพังถ้าหนอนอยู่รวมกันส่งผลทำให้ไม่สามารถเข้าดักแด้ได้โดยอยู่ในระยะหนอนไปเรื่อย ๆ และตายในที่สุดหนอนนยักซ์เมื่อลอกคราบใหม่จะมีลำตัวสีขาว หนอนยักซ์มีระยะหนอน 6-12 เดือน

2.5.2.3 ระยะดักแด้ดักแด้ก่อนเข้าดักแด้หนอนจะมีลักษณะโค้งงอเป็นระยะเวลา 3-4 วัน (Quennedey & Quennedey, 1995) หนอนในระยะนี้จะหยุดกินอาหารโดยอยู่นิ่งและขดตัวเป็นวงกลม ดักแด้ของหนอนยักซ์มีรูปร่างแบบ exarate ที่มีลักษณะยางค์เป็นอิสระไม่ติดกับลำตัวมีสีขาวนวลเมื่อใกล้ฟักออกมาเป็นตัวเต็มวัยดักแด้จะมียางค์สีน้ำตาลลำตัวดักแด้มีลักษณะกว้าง 9 - 11 มิลลิเมตรและยาว 25 มิลลิเมตรดักแด้ใช้เวลาในการเจริญเติบโต เฉลี่ย 10 – 14 วัน

2.5.2.4 ระยะตัวเต็มวัยตัวหนอนยักซ์เมื่อเป็นตัวเต็มวัยใหม่ ๆ ลำตัวมีสีขาวนวลและอ่อนนุ่มจากนั้นจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการแข็งตัวของผนังลำตัวโดยมีลำตัวเป็นสีน้ำตาลและกลายเป็นตัวปีกแข็งสีดำเพศผู้มีขนาดลำตัวกว้าง 8 - 9 มิลลิเมตรยาว 24 - 26 มิลลิเมตร และเพศเมียมีขนาดลำตัวกว้าง 8 - 9 มิลลิเมตรยาว 24 - 26 มิลลิเมตรส่วนปลายท้องของตัวหนอนยักซ์เพศผู้และเพศเมียมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเพศผู้มีปลายส่วนท้องยื่นออกมีลักษณะเป็นสองแฉกส่วนเพศเมียมีลักษณะเป็นท่อยาวออกมาส่วนที่ยื่นออกมาจากท้องทั้งของเพศผู้และเพศเมียนั้นสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะตอนที่ตัวเต็มวัยนั้นยังมีสีน้ำตาล ระยะตัวเต็มวัยมีพฤติกรรมการจับคู่ผสมพันธุ์โดยเพศผู้จะขึ้นคร่อมบนตัวของเพศเมียใช้เวลาในการจับคู่ผสมพันธุ์ประมาณ 5-8 นาที

พูน ปณ จิต ชเว



ภาพที่ 13 วงชีวิตหนอนยักซ์

2.5.3 ประโยชน์ของหนอนยักซ์

มีการนำหนอนยักซ์มาใช้เป็นเหยื่ออย่างแพร่หลายในการใช้เลี้ยงสัตว์ในประเทศหนาแน่นสามารถพบหนอน 1 ถึง 24 ตัวต่อมูลค้างคาวหนึ่งลิตรในระยะก่อนเข้าดักแด้ (prepupal) ของหนอนยักซ์มีการกระจายตัวออกจากประชากรหนอนเพราะหลีกเลี่ยงพฤติกรรมการกินกันเอง (cannibalism) และมักมีการกระจายตัวออกไปมากขึ้นเมื่อหนอนมีน้ำหนักหรือมีอายุมากขึ้น (Tschinkel, 1984) แถบยุโรปและประเทศญี่ปุ่นหนอนยักซ์ใช้เป็นอาหารของกบ กิ้งก่า ตุ๊กแก สัตว์เลื้อยคลานต่าง ๆ รวมทั้งนกและสัตว์ฟันกัดแทะเช่นเม่นแคระในประเทศญี่ปุ่นมีการเลี้ยงหนอนยักซ์เพื่อความสะดวกและใช้ในการศึกษาสำหรับนักเรียนในห้องเรียนเพื่อศึกษาวงจรชีวิตของแมลงที่มีการถอดรูปสมบูรณ์แบบ (Complete metamorphosis) ปัจจุบันการศึกษากการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพโดยใช้หนอนยักซ์พบว่าหนอนยักซ์สามารถกินและย่อยสลายโพลีไสตรีนโฟมและยังทำให้โครงสร้างโพลีไสตรีนโฟมเปลี่ยนไปได้ (Peng et al., 2020)

2.6 จิ้งหรีด (Cricket)

2.6.1 ชีวิตวิทยาและโครงสร้างของจิ้งหรีด

จิ้งหรีด (Cricket) ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Acheta testacea* Walker อันดับ Orthoptera วงศ์ Gryllidae จิ้งหรีด เป็นแมลงที่มีลำตัวขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ขาคู่หลังส่วนต้นมีขยายใหญ่ และแข็งแรง ใช้สำหรับกระโดด ขาคู่หน้ามีขนาดเล็กกว่าขาคู่หลังมาก ใช้สำหรับเดิน และเขี้ยวอาหาร มี

หนวดยาว 2 เส้น ขนาดเท่าเส้นผมคนเรา ความยาวหนวดประมาณ 3-5 เซนติเมตรและมากกว่าลำตัว หนวดมีหน้าที่รับความรู้สึก และรับกลิ่นอาหาร มีปากเป็นแบบกัดกิน กินพืชเป็นอาหาร ออกหากิน เวลากลางคืน ทำเสียงโดยการกรีดปีกในเวลากลางคืนเพื่อหาคู่ผสมพันธุ์ ปีกขวาทับปีกซ้าย ปีกคู่หน้าปกคลุมด้วยฟิล์มบางๆ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556)

2.6.2 วงชีวิตของจิ้งหรีด

จิ้งหรีดมีการเจริญเติบโต แบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ ไข่ ตัวอ่อน และตัวเต็มวัย

2.6.2.1 ระยะไข่ ไข่จิ้งหรีดจะมีสีเหลืองรวมกันเป็นกลุ่มในดิน ลักษณะยาวเรียว คล้ายเมล็ดข้าวสารความกว้างของไข่ 5.1 มิลลิเมตร ความยาว 2.38 มิลลิเมตร ตัวเมียเริ่มวางไข่เมื่อได้รับการผสมพันธุ์ผ่านไป 3 - 4 วัน วางไข่ไว้ใต้ดิน วางไข่เป็นกลุ่มๆ ละ 3 - 4 ฟอง ตลอดอายุขัย จิ้งหรีดเพศเมียสามารถวางไข่ได้ 600 - 1,000 ฟอง ซึ่งจะวางไข่เป็นรุ่นๆ ได้ประมาณ 4 รุ่นๆละ 200 - 300 ฟอง แต่ละรุ่นใช้เวลาห่างกันประมาณ 15 วัน หลังจากนั้นประมาณ 3 สัปดาห์ จะเห็นลูกจิ้งหรีดที่ฟักออกจากไข่นับพันตัว ระยะไข่ใช้เวลาประมาณ 7 วัน จึงฟักออกมาเป็นตัวอ่อน

2.6.2.2 ระยะตัวอ่อน ไข่จิ้งหรีดเมื่อฟักออกมาเป็นตัวอ่อน จะมีลักษณะคล้ายมด ฟักออกจากไข่ช่วงแรกไม่มีปีก จะเริ่มมีตุ่มปีกในเมื่อถึงกลางวัยอ่อน และมีการเจริญเติบโตโดยการลอกคราบประมาณ 8 ครั้ง จึงจะเป็นตัวเต็มวัย ตัวอ่อนเมื่อโตขึ้นเริ่มมีปีก เรียกว่า ระยะไล่เสือกัก มีระยะกักเล็ก มีตักปีก และกักใหญ่ มีตักปีกยาวระยะตัวอ่อนพันธุ์จิ้งหรีดทองดำใช้เวลาประมาณ 35 - 40 วัน แต่ถ้าพันธุ์ทองแดงใช้เวลาประมาณ 46 - 50 วัน จึงจะลอกคราบเป็นตัวเต็มวัย

2.6.2.3 ระยะตัวเต็มวัย มีปีก 2 คู่ เป็นระยะที่สามารถแยกเพศได้ชัดเจน โดยการสังเกตความแตกต่างของเพศผู้และเพศเมีย เพศผู้จะมีปีกคู่หน้าย่น มีหนาม ไข่ทำเสียง สามารถทำให้เกิดเสียงขึ้นได้ โดยใช้ปีกคู่หน้าถูกันทำให้เกิดเสียง เสียงที่จิ้งหรีดทำขึ้นเป็นการสื่อสารที่มีความหมายของจิ้งหรีด เพศเมียจะมีปีกหน้าเรียบ และมีอวัยวะวางไข่ยาวแหลมคล้ายเข็มนอกมาจากส่วนท้อง อายุวัยแก่ประมาณ 38 - 49 วัน โดยทั่วไปจิ้งหรีดตัวเต็มวัยจะมีอายุเฉลี่ยประมาณ 45 - 60 วัน

การผสมพันธุ์ของจิ้งหรีด

จิ้งหรีดจะผสมพันธุ์เมื่อกลอกคราบเป็นตัวเต็มวัยประมาณ 3 - 4 วัน ก็จะเริ่มผสมพันธุ์โดยเพศผู้จะส่งเสียงโดยยกปีกคู่หน้าถูกันให้เกิดเสียงกริก...กริก...กริก...เบาๆ และถี่ๆ ติดต่อกัน เพื่อให้ตัวเมียเข้ามาอยู่ใกล้ๆ จากนั้นเพศผู้จะถอยหลังเข้าหาตัวเมียเดินวนรอบประมาณ 2 - 3 รอบ จากนั้นเพศเมียจะขึ้นคร่อมเพศผู้รับการผสมพันธุ์ ระยะเวลาคผสมพันธุ์ประมาณ 10 -15 นาที การผสมพันธุ์และวางไข่แต่ละรุ่นจะใช้เวลาประมาณ 15วัน/ครั้ง/รุ่น เมื่อหมดการวางไข่รุ่นสุดท้ายแล้วตัวเมื่อก็จะตาย

2.6.3 จิ้งหรีดทองดำ

จิ้งหรีดทองดำ (*Gryllus Bimaculatus* De Geer) เป็นจิ้งหรีดขนาดกลาง บางพื้นที่เรียก จีโหลน ประกอบด้วยส่วนหัว ส่วนอก และส่วนท้อง ลำตัว และปีกมีสีดำ หรือน้ำตาลปนดำทั้งตัว โตเต็มวัยลำตัวกว้างประมาณ 0.6-0.7 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2.8-3.0 เซนติเมตร มีหนวดยาว ตัวผู้ส่วนหัว และอกมีสีดำ ปีกคู่หน้าย่น ปีกมีสีน้ำตาลออกเหลืองเล็กน้อย โดยเฉพาะโคนปีกที่มีสีเหลืองแกม ส่วนตัวเมียส่วนหัว และอกมีสีดำ ปีกคู่หน้าเรียบ ปีกมีสีดำสนิท โคนปีกมีแต้มสีเหลือง 2 จุด ปลายปีกหลังตัวผู้ตัวเมื่อยื่นยาวมากกว่าลำตัว ปลายท้องมีแพนหางยาว 1 คู่ ชอบอาศัยตามกองไม้ กองใบไม้ ร่องดิน ออกหากินในเวลากลางคืน และไม่ขุดรูอาศัย



ภาพที่ 14 จิ้งหรีดทองดำ (*Gryllus Bimaculatus* De geer)

2.6.4 การเลี้ยงและการจัดการจิ้งหรีด

2.6.4.1 การเตรียมพ่อแม่พันธุ์

คัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่มีสีเข้ม ตัวโต แข็งแรงและมีอวัยวะครบทุกส่วนปล่อยพ่อแม่พันธุ์ลงในอัตราส่วน พ่อพันธุ์ : แม่พันธุ์ = 1 : 3

2.6.4.2 การเตรียมสถานที่และอุปกรณ์

- 1) สถานที่เลี้ยงจิ้งหรีดควรเป็นที่ดอนน้ำไม่ท่วมซึ่งบริเวณที่เลี้ยงต้องไม่ตากแดดตากฝนอากาศถ่ายเทได้สะดวกเช่นสร้างโรงเรือนเลี้ยงหรือเลี้ยงใต้ถุนบ้านชายคาบ้านและปรับเปลี่ยนที่กำจัดมูลและศัตรูจิ้งหรีดเป็นต้น

2) ภาชนะที่ใช้เลี้ยงจิ้งหรีดต้องมีคุณสมบัติสามารถกักขังจิ้งหรีดได้และช่องระบายอากาศได้ดีเช่นวงบ่อปูนซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 เซนติเมตรสูง 50 เซนติเมตรเทพูนบาง ๆ ที่ก้นบ่อประมาณ 1/2-1 นิ้วหรือกะละมัง โอง่ ปิ๊บ ถังน้ำกลองกระดาด เป็นต้น

3) วัสดุรองพื้นรองกันบ่อบาง ๆ ด้วยแกลบปนทรายหรือฟางแห้ง

4) พลาสติกตาข่ายไนลอน (มุ้งเขียว) ปิดปากบ่อขนาด 100 x 100 เซนติเมตร ป้องกันจิ้งหรีดบินหนีและศัตรูที่จะเข้ามาทำลายจิ้งหรีด

5) แผ่นพลาสติกหรือเทปกาวใสกว้างประมาณ 3 นิ้วติดขอบในปากบ่อให้ชายพลาสติกหย่อนลงในบ่อป้องกันตัวเต็มวัยจิ้งหรีดไต่ออกนอกบ่อ

6) ยางรัดตาข่ายกับปากบ่อโดยใช้ยางในรถจักรยานหรือรถจักรยานยนต์ตัดให้มีขนาดกว้างน้อยกว่าขอบวงด้านนอกเพื่อความสะดวกเมื่อเวลาใส่รัดตาข่ายกับขอบวงป้องกันศัตรูจิ้งหรีดและป้องกันจิ้งหรีดไต่ออกนอกบ่อ

7) ขวดน้ำพลาสติกเจาะรูข้างขวดเพื่อใส่ผ้าสะอาดม้วนใส่รูที่เจาะเพื่อให้น้ำซึมสำหรับจิ้งหรีดวัยตัวอ่อนกินหรือถาดน้ำแบน ๆ ที่ใส่ก้อนหินให้จิ้งหรีดตัวเต็มวัยเกาะกันจมน้ำตายอย่างละ 2 ที่ต่อบ่อ

8) อาหารเสริมเช่นรำอ่อนอาหารไก่อาหารปลาเป็นต้นอย่างละ 2 ที่ต่อบ่อ

9) อาหารหลักเช่นหญ้าสดอ่อนผักบุ้งตำลึงฟักทองและหยวกกล้วยเป็นต้น

10) กระบะขึ้นพลาสติกหรือถาดพลาสติกสำหรับใส่ดินร่วนปนทรายที่มีความชื้นพอประมาณวางไว้ข้างๆบ่อเพื่อให้อาหารจิ้งหรีดวางไข่ประมาณ 1 - 2 กิโลกรัม

11) หญ้าแห้งกาบมะพร้าวหรือถาดไข่แบบกระดาดวางตรงกลางบ่อหรือริมบ่อเพื่อเป็นที่หลบซ่อนหรือที่อยู่อาศัยของจิ้งหรีด

2.6.4.3 การเลี้ยงและการจัดการจิ้งหรีด

1) การให้น้ำและอาหารต้องให้สม่ำเสมอทุก 2 วันทั้งพืชอาหารหลักและอาหารเสริม และน้ำโดยต้องทำความสะอาดภาชนะที่ใส่อาหาร น้ำทุกครั้ง

2) พืชอาหารหลัก ได้แก่ ต้นอ่อนและยอดอ่อนของพืชเช่นผักบุ้งตำลึงฟักทอง ผักตบชวาและหยวกกล้วยหรือหญ้าสดทุกชนิดเช่น หญ้าขนหญ้าปากควายหญ้าลูซี่และหญ้าตีนกาใช้เลี้ยงจิ้งหรีดจะเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตสูงโดย 2 วันให้หญ้า 1 ครั้งครั้งละ 1 กำมือโดยหญ้าเก่าไม่ต้องนำออกจะเป็นที่อาศัยของจิ้งหรีดต่อไป

3) อาหารเสริมรำอ่อนหรืออาหารสำเร็จรูปที่ใช้เลี้ยงไก่จิ้งหรีด 1 บ่อใช้อาหาร 3 กิโลกรัมต่อรุ่นอาหารเสริมควรให้ในปริมาณที่กินหมดภายใน 2 วัน

4) การให้น้ำขวดน้ำพลาสติกเจาะรูข้างขวด 2 รูใช้ผ้าสะอาดม้วนใส่รูเพื่อให้น้ำซึมสำหรับจิ้งหรีดวัยตัวอ่อนมากินและควรเปลี่ยนผ้าสะอาดม้วนใส่รูขวดพลาสติกหลังเก็บผลผลิตแล้ว

5) การให้น้ำขวดน้ำพลาสติกเจาะรูข้างขวด 2 รูใช้ผ้าสะอาดม้วนใส่รูเพื่อให้น้ำซึมสำหรับจิ้งหรีดวัยตัวอ่อนมากขึ้นและควรเปลี่ยนผ้าสะอาดม้วนใส่รูขวดพลาสติกใหม่หลังเก็บผลผลิตแล้ว

6) ภาชนะสำหรับวางไข่จิ้งหรีดใช้ดินร่วนปนทรายใส่ชั้นพลาสติกสำหรับอาบน้ำใช้กระบอกฟ็อกกี้ฉีดน้ำทุก 3 วันพอชื้นไม่แฉะก่อนฉีดน้ำนำอาหารออกก่อนถ้าอาหารเปียกจะเกิดเชื้อราใช้เฉพาะในช่วงที่มีตัวเต็มวัยที่จะวางไข่ก่อนจิ้งหรีดวางไข่รุ่นใหม่ต้องล้างภาชนะสำหรับวางไข่และเปลี่ยนดินที่จิ้งหรีดวางไข่ทุกครั้ง

7) การเลี้ยงจิ้งหรีดเน้นเรื่องความสะอาดเช่นควรทำความสะอาดบ่อและตากบ่อก่อนเลี้ยงรุ่นใหม่ต่อไปมีการจัดการเลี้ยงจิ้งหรีดอย่างเป็นระบบเช่นการเลี้ยงแบบแยกรุ่นจะได้จิ้งหรีดขนาดตัววัยเต็มวัยขนาดเท่า ๆ กันสะดวกต่อการเก็บจำหน่าย

2.6.4.4 การจัดการสุขลักษณะ

1) วงบ่อปูนซีเมนต์เลี้ยงจิ้งหรีดควรวางเรียงกันเป็นแถวแต่ละวงให้ห่างกันพอที่ผู้ดูแลจะปฏิบัติงานได้สะดวกประมาณ 3 นิ้วพื้นบ่อเทพูนหนาประมาณ 1/2-1 นิ้วเพื่อป้องกันความชื้นจากดินผ่านขึ้นมาและป้องกันมดจากใต้ดินเข้ามาทำลายไข่และตัวจิ้งหรีดควรล้างบ่อปูนให้สะอาดสำหรับรอบวงบ่อด้านนอกจะต้องป้องกันมดด้วยโดยการโรยปูนขาวหรือใช้ผ้าชุบน้ำมันเครื่องพ่นรอบวงด้านล่างจำนวนวงปูนจะวางมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างความยาวของโรงเรือนภายในบ่อรองพื้นกันบ่อบาง ๆ ด้วยแกลบปนทรายหรือฟางแห้ง

2) การจัดการในวงบ่อปูนเลี้ยงจิ้งหรีดใส่กระบะหรือชั้นพลาสติกหรือถุงพลาสติกสำหรับใส่ดินร่วนปนทรายประมาณ 1-2 กิโลกรัมที่มีความชื้นพอประมาณวางไว้ข้าง ๆ ขอบบ่อเพื่อให้จิ้งหรีดวางไข่ใส่อาหารหลักอาหารเสริมขูดน้ำพลาสติกเจาะรูและใส่น้ำพร้อมผ้าสะอาดใส่ถาดไข่แบบกระดาษหุ้มแห้งหรือกาบมะพร้าววางตรงกลางบ่อหรือริมบ่อบริเวณภายในปากบ่อด้านบนติดด้วยแผ่นพลาสติกหรือเทปกาวใสกว้างประมาณ 3 นิ้วป้องกันจิ้งหรีดตัวเต็มวัยไต่ออกนอกบ่อหลังปล่อยพ่อพันธุ์พันธุ์แล้ว 3 วันควรตรวจเช็คดูถ้าตายต้องหามาทดแทนปิดปากบ่อด้วยพลาสติกตาข่ายไนลอน (มุงเขียว) ใช้ยางรัดตาข่ายกับปากบ่อป้องกันจิ้งหรีดบินหนีและป้องกันศัตรูที่จะเข้ามาทำลายจิ้งหรีด

2.6.4.5 การป้องกันกำจัดศัตรูจิ้งหรีด

1) แมลงศัตรู ได้แก่ มดแมงมุมไรซึ่งมักติดมากับอาหารควรนำฟือาหารนั้นไปล้างน้ำและผึ่งให้สะเด็ดน้ำก่อนนำมาเลี้ยงหรือใช้ผ้าชุบน้ำมันเครื่องพ่นรอบวงปูนด้านนอก

2) โรคที่สำคัญ ได้แก่ โรคทางเดินอาหารเกิดจากอาหารไม่สะอาดมีเชื้อราวิธีป้องกันคือต้องให้อาหารจำนวนพอเหมาะกับจำนวนของจิ้งหรีดต้องจิ้งหรีดอย่าให้อาหารเกิดเชื้อราควรทำ

ความสะอาดถาดอาหารและน้ำทุกครั้งที่เปลี่ยนอาหารพื้นบ่ออย่าให้ขึ้นและซึ่งจะทำให้เกิดโรคได้ง่าย ควรทำความสะอาดบ่อและตากบ่อก่อนเลี้ยงรุ่นใหม่ทุกครั้ง (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556)

2.7 หน้ากากอนามัย (Mask)

หน้ากากอนามัยคือ หน้ากากที่สวมใส่เพื่อปกป้องระบบทางเดินหายใจจากเชื้อโรคต่างๆ ได้แก่ เชื้อไวรัส เชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา รวมถึงมลพิษที่อาจเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ นอกจากนี้หน้ากากอนามัยยังถือเป็นเครื่องมือทางการแพทย์ที่ใช้ในการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคจากผู้ป่วยไปสู่ผู้สัมผัสที่อยู่ใกล้ชิดอีกด้วย หากมีการสวมใส่อย่างถูกวิธีในปัจจุบัน หน้ากากอนามัยมีหลากหลายชนิด ดังนั้นการเลือกประเภทของหน้ากากอนามัยให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์จะช่วยให้สามารถป้องกันการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ และยังสามารถป้องกันอันตรายจากมลพิษของฝุ่นบางประเภทได้ (สาขาวิชาโรคติดเชื้อ ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ และหน่วยโรคติดเชื้อและเวชศาสตร์เขตร้อน ภาควิชาอายุรศาสตร์คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2563)

วัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตหน้ากากอนามัยได้แก่ วัสดุชนิดไม่ถักไม่ทอ (Nonwoven Fabric) มีทั้งแบบประกอบ 2 ชั้น และ 3 ชั้น และในการเชื่อมแต่ละชั้น จะนิยมทำการเชื่อมแบบอัลตราโซนิก เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการกรองแบคทีเรีย ค่าประสิทธิภาพการกรองและดักจับแบคทีเรีย (Bacterial Filtration Efficiency : BFE) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของหน้ากากอนามัยในการกรองอนุภาคของแบคทีเรียและเชื้อจุลินทรีย์อื่นๆ รวมถึงไวรัสได้ในระดับใด และการวัดประสิทธิภาพของการกรองฝุ่นละออง หรือเชื้อโรคขนาดเล็กของหน้ากากอนามัย สามารถทำการวิเคราะห์โดยค่าประสิทธิภาพการกรองสิ่งปนเปื้อนอนุภาคขนาดเล็ก (Particle filtration efficiency : PFE) โดยการทดสอบทั้งสองจะแสดงผลเป็นค่าร้อยละของมวลสารหรือจุลินทรีย์ที่ไม่สามารถแพร่ผ่านหน้ากากได้

องค์การอนามัยโลกแนะนำให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจใช้แนวทางการดำเนินงานตามหลักการบริหารความเสี่ยง (risk-based approach) ซึ่งเน้นการใช้เกณฑ์พิจารณาต่อไปนี้เมื่อพิจารณาหรือสนับสนุนให้ประชาชนทั่วไปใช้หน้ากาก

1) จุดประสงค์ของการใช้หน้ากาก: เจตนาคือป้องกันไม่ให้ผู้ติดเชื้อที่สวมหน้ากากแพร่เชื้อไวรัสให้ผู้อื่น (การควบคุมแหล่งแพร่เชื้อ) และ/หรือป้องกันคนสุขภาพดีที่สวมหน้ากากจากการติดเชื้อ (การป้องกัน)

2) ความเสี่ยงในการได้รับเชื้อไวรัสโควิด 19

2.1 ตามหลักระบาดวิทยา และความรุนแรงของการแพร่เชื้อในประชากร: หากมีการแพร่เชื้อในชุมชน และชุมชนมีสมรรถนะน้อยหรือไม่มีเลยในการดำเนินมาตรการควบคุมโรคอย่างอื่น

เช่น การติดตามผู้สัมผัสใกล้ชิด ความสามารถในการตรวจหาเชื้อ แยกกัก และดูแลผู้ป่วยที่สงสัยหรือยืนยันติดเชื้อ

2.2 ขึ้นอยู่กับอาชีพ เช่น ผู้ทำงานที่สัมผัสใกล้ชิดกับประชาชน (เช่น นักสังคมสงเคราะห์ พนักงานช่วยเหลือส่วนตัว พนักงานแคชเชียร์

3) ความเสี่ยงที่จะติดเชื้อได้ง่ายของผู้สวมหน้ากาก/ประชากร: ตัวอย่างเช่น ผู้ที่ควรใช้หน้ากากทางการแพทย์มีทั้งผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง และผู้มีโรคร่วมเช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคปอดเรื้อรัง โรคเมะเร็ง และโรคหลอดเลือดสมอง สถานที่/สภาพแวดล้อมที่ประชากรอาศัย

4) สภาพแวดล้อมที่ประชากรอยู่อาศัย ในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่นมาก (เช่น ค่ายผู้อพยพ สถานที่ที่มีสภาพความเป็นอยู่แออัดยัดเยียด ผู้อาศัยอยู่ในสภาพที่แออัดมาก) และสถานที่ที่คนไม่สามารถรักษาระยะห่างอย่างน้อยหนึ่งเมตร (3.3 ฟุต) (เช่น ระบบขนส่งมวลชน

5) ความเป็นไปได้: การจัดหาซื้อหน้ากากได้และค่าใช้จ่ายการเข้าถึงน้ำสะอาดเพื่อซักหน้ากากอนามัยชนิดทั่วไปและความสามารถของผู้สวมหน้ากากในการทนผลข้างเคียงจากการสวมหน้ากาก

2.7.1 คุณสมบัติหน้ากากอนามัย

2.7.1.1 ชนิดของวัสดุ: ประสิทธิภาพการกรอง (FE) คุณสมบัติความสะอาดในการหายใจของวัสดุชั้นเดียว และ ปัจจัยเรื่องคุณภาพการกรอง (filter quality factor)

1) การคัดเลือกวัสดุเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญเนื่องจากคุณสมบัติการกรอง (การกันขวาง) และความสะอาดในการหายใจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผ้าที่ใช้ ประสิทธิภาพการกรองขึ้นอยู่กับความแน่นของการทอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย และ ในกรณีวัสดุที่ไม่ใช่สิ่งทอจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต (เช่น ผ้าสปันบอนด์ เส้นใยสังเคราะห์แบบ meltblown และการผลิตโดยใช้ประจุไฟฟ้าสถิต)ความแตกต่างระหว่างคุณสมบัติการกรองของวัสดุผ้าและหน้ากากอยู่ที่ระหว่างร้อยละ 0.7 และ ประสิทธิภาพการกรองที่สูง คุณสมบัติการกันขวางของผ้าจะยิ่งมากขึ้น

2) ความสะอาดในการหายใจ (breathability) หมายถึงความสามารถหายใจผ่านวัสดุที่ใช้ทำหน้ากาก ความสะอาดในการหายใจเป็นค่าความต่างของแรงดันบนพื้นผิวทั้งหมดของหน้ากาก ซึ่งระบุเป็นค่ามิลลิบาร์ (mbar) ปาสคาล (Pa) หรือสำหรับค่าแรงดันบนพื้นที่ส่วนยอมรับได้ของหน้ากากทางการแพทย์ไม่ควรเกิน 49 Pa/cm^2 สำหรับหน้ากากอนามัยชนิดทั่วไป ค่าความต่างของแรงดันที่ยอมรับได้บนพื้นผิวทั้งหมดของหน้ากากไม่ควรเกิน 100 Pa (Jung et al., 2013)

3) ประสิทธิภาพการกรองและความสะอาดในการหายใจอาจเสริมกันหรือแย้งกัน ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับผ้าที่ใช้ เมื่อเร็ว ๆ นี้ มีข้อมูลที่แสดงว่าชั้นผ้าสปันบอนด์แบบไม่ทอ 2 ชั้น ซึ่งเป็นวัสดุเดียวกันที่ใช้เป็นชั้นนอกของหน้ากากทางการแพทย์แบบใช้แล้วทิ้ง มีคุณสมบัติการกรองและความ

สะดวกในการหายใจที่ดีพอ โดยทั่วไป หน้ากากผ้าฝ้ายที่หาซื้อได้ทั่วไปมีคุณสมบัติหายใจสะดวกมาก แต่มีคุณสมบัติการกรองด้อยกว่า filter quality factor (Jang, & Kim, 2015)

2.7.1.2 จำนวนชั้น

เกณฑ์ขั้นต่ำสำหรับหน้ากากอนามัยชนิดทั่วไป คือ 3 ชั้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดผ้าที่ใช้ ชั้นในสุดสัมผัสกับใบหน้าของผู้สวม ชั้นนอกสุดสัมผัสกับสภาพแวดล้อมเมื่อพับผ้าเป็น 2 ชั้น (เช่น ผ้าผสมไนลอน และโพลีเอสเตอร์ 100%) ประสิทธิภาพการกรองเพิ่มขึ้น 2-5 เท่า เปรียบเทียบกับผ้าชนิดเดียวกันชั้นเดียว และประสิทธิภาพการกรองเพิ่มขึ้น 2-7 เท่า หากพับเป็น 4 ชั้น หน้ากากที่ทำจากผ้าเช็ดหน้าที่ทำจากฝ้ายอย่างเดียวยังมีประสิทธิภาพน้อย 4 ชั้น แต่ค่าประสิทธิภาพการกรองอยู่ที่ร้อยละ 13 เท่านั้น วัสดุที่มีรูพรุนมาก เช่น ก๊อช แม้มีหลายชั้น คุณสมบัติการกรองน้อยเกินไป และมีประสิทธิภาพการกรองเพียงร้อยละ 3 เท่านั้น (Jung et al., 2013)

2.7.1.3 ส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้

ส่วนประกอบของวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการทำหน้ากากอนามัยชนิดทั่วไปควรมีทั้งสิ้น 3 ชั้น ดังต่อไปนี้ 1) ชั้นในสุดเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดซับน้ำ (เช่น ฝ้าย หรือฝ้ายผสม) 2) ชั้นนอกสุดเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติสะท้อนน้ำ (เช่น โพลีพรอพไลีน โพลีเอสเตอร์ หรือวัสดุผสม) ซึ่งอาจช่วยลดการปนเปื้อนเชื้อโรคจากภายนอกที่ซึมผ่านเข้ามาถึงจมูกและปากของผู้สวม 3) ชั้นกลางเป็นชั้นวัสดุสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติสะท้อนน้ำที่ไม่ใช่สิ่งทอ เช่น โพลีพรอพไลีน หรือชั้นผ้าฝ้ายที่อาจช่วยทำให้การกรอง หรือการกักเก็บละอองฝอยดีขึ้น

2.7.1.4 รูปทรงของหน้ากาก

รูปทรงของหน้ากากมีหลายแบบ เช่น ทรงแบนและมีรอยพับ หรือแบบปากเปิด ซึ่งออกแบบให้คลุมจมูก แก้ม และบริเวณคางของผู้สวมอย่างแนบสนิท เมื่อขอบของหน้ากากไม่แนบชิดใบหน้าและเลื่อนได้ เช่น ตอนพูด อากาศภายใน/ภายนอกผ่านเข้าออกตามขอบของหน้ากากโดยไม่ถูกกรองผ่านผ้า ขนาดและรูปทรงของหน้ากากอาจทำให้เกิดช่องว่าง ทำให้มีอากาศที่ไม่ถูกกรองผ่านผ้าไหลผ่านเข้าออกได้แม้สวมหน้ากากอยู่ (Lee et al., 2016)

ประเภทของหน้ากากอนามัยแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่

2.7.2 หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ (Surgicalmask หรือ Medicalmask)

หน้ากากอนามัยทางการแพทย์ (Surgicalmask หรือ Medicalmask) ในทางการแพทย์หน้ากากชนิดนี้เป็นหน้ากากที่สวมขณะผ่าตัดเพื่อป้องกันเลือดหรือสารคัดหลั่งของผู้ป่วยที่อาจกระเด็นเข้าปากและจมูกของแพทย์ผ่าตัด และป้องกันน้ำลายเสมหะหรือสารคัดหลั่งจากระบบทางเดินหายใจของแพทย์ผ่าตัดที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในบริเวณที่ทำการผ่าตัดผลิตขึ้นจากผ้าหรือพอลิโพรไฟลีนซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ในปัจจุบันหน้ากากอนามัยชนิดนี้เป็นหน้ากากที่พบเห็นได้บ่อยที่สุด เนื่องจากมีวางขายตามร้านสะดวกซื้อและท้องตลาดทั่วไป และมีราคา

ไม่แพง คุณสมบัติของหน้ากากชนิดนี้คือ สามารถป้องกันเชื้อโรคที่มีอนุภาคขนาด 3 ไมครอน ที่แพร่กระจายผ่านทางไอหรือจาม ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อไวรัสบางชนิด (เช่น เชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ตามฤดูกาลและเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่ 2019) รวมทั้งสามารถป้องกันฝุ่นควันที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ และป้องกันของเหลวซึมผ่านได้ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของหน้ากากอนามัยชนิดนี้คือ ไม่แนบกระชับกับใบหน้า เวลาใส่อาจมีลมรอบๆ หน้ากากไหลผ่านเข้ามาได้อยู่ โดยเฉพาะบริเวณด้านล่างของหน้ากากอนามัยดังนั้นหน้ากากอนามัยชนิดนี้ไม่สามารถป้องกันเชื้อโรคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เช่น เชื้อไวรัสหัด สุกใส วัณโรค และไม่สามารถป้องกันฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM 2.5 ได้การใช้หน้ากากอนามัยชนิดนี้แนะนำให้เปลี่ยนใหม่ทุกวัน ไม่แนะนำให้นำกลับมาใช้ซ้ำ และไม่แนะนำให้ใช้ร่วมกับผู้อื่น



ภาพที่ 15 หน้ากากอนามัยทางการแพทย์

(ที่มา : <https://www.isranews.org/isranews-article/86178-mask-86178.html>)

2.7.3 หน้ากากอนามัยชนิด N95

หน้ากากอนามัยชนิด N95 ตัว N ย่อมาจาก "not resistant to oil" คือไม่ทนต่อน้ำมัน และ 95 หมายถึงความสามารถในการกรองฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 3 ไมครอนได้ไม่น้อยกว่า 95 % หน้ากากชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพในการกรองสูงกว่าหน้ากากอนามัยทางการแพทย์โดยสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าได้นอกจากนี้ยังเป็นหน้ากากที่เมื่อใส่แล้วจะแนบสนิทกับใบหน้าในการใส่หน้ากากชนิดนี้จะต้องใส่ให้ถูกวิธีโดยจะต้องมีการทำ Fit test ซึ่งเป็นการทดสอบการแนบสนิทของหน้ากากกับใบหน้าซึ่งถ้าแนบสนิทจะไม่มีลมรั่วของลมหายใจ ทั้งนี้การใส่หน้ากาก N95 ที่ไม่ถูกวิธีจะทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการติดเชื้อลดลง อย่างไรก็ตามในการใส่หน้ากากชนิดนี้จะทำให้หายใจลำบากจึงไม่เหมาะกับผู้ป่วยที่มีปัญหาในระบบทางเดินหายใจผู้ป่วยโรคหัวใจหรือผู้ที่

ปัญหาทางสุขภาพบางอย่างทั้งนี้ไม่แนะนำให้ใช้หน้ากากชนิดนี้ในประชาชนทั่วไปโดยแนะนำให้ใช้ในบุคลากรสาธารณสุขเท่านั้น



ภาพที่ 16 หน้ากาก N95

(ที่มา : สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงาน (ประเทศไทย) ในพระราชูปถัมภ์
https://www.shawpat.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1067:-n95-pm25-&catid=49:-m---m-s&Itemid=203)

2.7.4 หน้ากากกันฝุ่นทั่วไป หรือ หน้ากากผ้า

หน้ากากกันฝุ่นทั่วไป หรือ หน้ากากผ้า มี 2 แบบ แบบแรกผลิตจากผ้าฝ้ายใช้สำหรับป้องกันฝุ่นละออง และป้องกันการกระจายของน้ำมูกหรือน้ำลายจากการไอ/จามได้ แต่ไม่สามารถกรองเชื้อโรคที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ แบบที่สองผลิตจากใยสังเคราะห์ ซ้อนทบชั้นกัน โดยรวมแล้วคุณสมบัติของหน้ากากชนิดนี้ มีคุณสมบัติในการกรองฝุ่น ป้องกันเชื้อโรคจำพวกเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราได้ (มนทรัตน์ ถาวรเจริญทรัพย์, 2563)



ภาพที่ 17 หน้ากากอนามัยแบบผ้า

(ที่มา : <https://www.listsothebysrealty.in.th/tha/highlight/covid19-pm25-mask/1494?full=1>)

2.7.5 กระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย

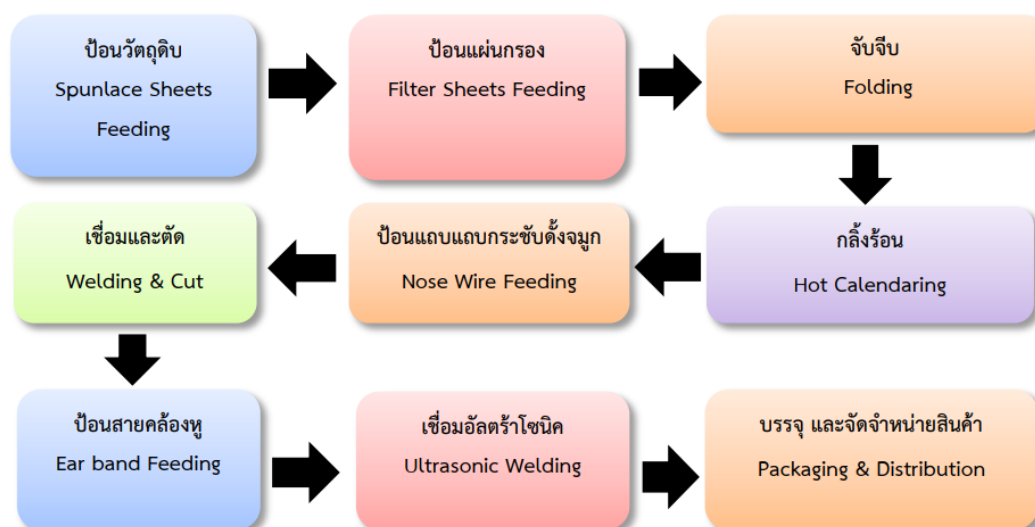
กระบวนการผลิต (Process)	เครื่องจักร (Machine)	วิธีการ
1. กระบวนการผลิตผ้าสปันเลส (Spunlace Nonwoven Sheets)	เครื่องผลิตผ้าสปันเลส (Spunlace Machine)	การขึ้นรูปผ้าไม่ถักไม่ทอ จะทำการขึ้นรูปเส้นใยจากเม็ดพลาสติกโดยตรงโดยการหลอมเม็ดพลาสติก ด้วยเครื่องหลอมอัดรีด (Extruder) แล้วจึงทำการอัดพอลิเมอร์หลอมผ่านหัวฉีดเส้นใยเพื่อให้เป็น เส้นใยยาวต่อเนื่องโรยลงบนสายพานเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นในกรณีที่ทำ การยัดเส้นใยด้วยเทคนิคการปักด้วยเข็ม น้ำ นอนวูฟเวนที่ได้ จะเรียกว่าสปันเลส (Spunlace) ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่มและโค้งงอ คล้ายผ้ามากที่สุด
2. เครื่องผลิตเมลต์โบลนไฟเบอร์ (Meltblown Machine)	เครื่องผลิตผ้าสปันเลส (Spunlace Machine)	แผ่นกรองหน้ากากอนามัยนิยมใช้ผ้าชนิด เมลต์โบลน นอนวูฟเวน ซึ่งเป็นนอนวูฟเวน อีกกลุ่มหนึ่งที่มีการขึ้นรูปเส้นใยจากเม็ด พลาสติกโดยตรงเช่นเดียว ผ้าสปันเลส แต่มี ความแตกต่างคือ เส้นใยจะมีลักษณะเล็ก ละเอียดในระดับนาโนเมตรไมโครเมตร แต่ไม่ เป็นเส้นยาวต่อเนื่อง เนื่องจาก พอลิ เมอร์หลอมจากเครื่องหลอมอัดรีดจะถูก ส่งผ่านไปยังหัวฉีด ซึ่งถูกออกแบบให้มีลม ร้อนอยู่รอบรูของหัวฉีด ทำให้พอลิเมอร์หลอมที่ไหลผ่านรู ของหัวฉีดถูกพ่นกระจาย ด้วยลมร้อนที่มีความเร็วสูง เส้นใยจึงมีขนาด เล็กละเอียดเทคนิคที่ใช้ในการยัดเส้นใยใน แผ่นส่วน ใหญ่เป็นเทคนิคการเชื่อมยัดด้วยความร้อนการเชื่อมยัดด้วยเคมี และการปัก ด้วยเข็ม

ตารางที่ 1 กระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย (ต่อ)

กระบวนการผลิต (Process)	เครื่องจักร (Machine)	วิธีการ
3. กระบวนการเชื่อมด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Welding)	เครื่องผลิตหน้ากากอนามัย (Surgical Face Mask Machine)	การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกอาศัยหลักการแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ความถี่สูงเป็นการสั่นทางกลด้วยเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างและหดตามทิศทางของสนามไฟฟ้า ทำให้เกิดความร้อน เนื่องจากแรงเสียดทานในชิ้นงาน โดยอุปกรณ์ในการเชื่อมประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Ultrasonic Generator) ตัวแปลงสัญญาณความถี่เป็นการสั่น (Piezoelectric transducer) ซึ่งจะมีเพียโซอิเล็กทริกเป็นตัวแปลงสัญญาณความถี่หัวเชื่อม (Sonotrode) เป็นตัวเชื่อมสัมผัสกับแผ่นผ้า และมีฮอร์น (Horn) เป็นตัวขยายแอมพลิจูดการสั่นในการเชื่อม ซึ่งหัวเชื่อมและฮอร์นอาจจะเป็นชิ้นเดียวกัน หรือแยกกันตามลักษณะของการเชื่อม

(ที่มา : <http://medicaldevices.oie.go.th/Article.aspx?aid=8482>)

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพที่ 18 กระบวนการผลิตหน้ากากอนามัย

(ที่มา : <http://medicaldevices.oie.go.th/Article.aspx?aid=8482>)

2.8 กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

2.8.1 กระบวนการย่อยสลาย

กระบวนการย่อยสลายออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.8.1.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรงแตกหักภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายใน บ่อฝังกลบขยะ กองปุ๋ย หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่งชิ้นพลาสติกที่มีการฉาบด้วย หมึกที่หนาмаกบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสีโดยตรง

2.8.1.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical Degradation) โดยการให้แรงกระทำ แก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.8.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่ง สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะ เคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็วแต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นเร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลเร็วขึ้น

2.8.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอมไนด์ พอลิคาร์บอเนต และ พอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้คะตะลิสต์ (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้คะตะลิสต์ (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ แบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยคะตะลิสต์จากภายนอกมี 2 ชนิด คือ คะตะลิสต์ที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase lipase esterase และ glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและคะตะลิสต์ที่ไม่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (alkaline metal) เบส (base) และกรด (acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมีสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้คะตะลิสต์จากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์ นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

2.8.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอนเนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อย เอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัว ของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์

ที่ทำให้ เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อ ในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และ สารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซ มีเทน น้ำเกลือ กรดแลกติก แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass) (พูนศักดิ์ สักกทัตติยกุล, 2551)

2.8.2 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) เป็นกระบวนการย่อยสลายโดยใช้สิ่งมีชีวิตคือ การใช้จุลินทรีย์เช่นแบคทีเรียและเชื้อราในกระบวนการย่อยสลาย (Gu et al., 2000) ในกระบวนการย่อยสลายพลาสติก พอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำได้ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นโดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์และมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ เมื่อพอลิเมอร์เปลี่ยนเป็นโมโนเมอร์ที่มีขนาดเล็กพอที่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์และเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ (Swift, 1997) กระบวนการที่เกิดขึ้นในธรรมชาติในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 เกิดการแตกสลายตัวของพลาสติกด้วยสิ่งที่ไม่มีชีวิต (abiotic) เช่นอุณหภูมิ ความชื้นและแสงเป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้พลาสติกเกิดการสูญเสียสมบัติทางกลเกิดการแตกร้าวจนมีขนาดเล็กกว่า 20 ไมโครเมตร

ขั้นตอนที่ 2 เกิดการย่อยสลายด้วยสิ่งมีชีวิต (biotic) คือ จุลินทรีย์ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการย่อยสลายได้ทางชีวภาพเพราะจุลินทรีย์จะนำอินทรีย์วัตถุที่เกิดการสลายตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์โดยการผลิตและปลดปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) เพื่อย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในรูปอินทรีย์คาร์บอนให้มีขนาดเล็กพอที่จะสามารถผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปภายในเซลล์จากนั้นจะถูกเอนไซม์ที่อยู่ภายในเซลล์ (intracellular enzyme) เปลี่ยนอินทรีย์คาร์บอนไปใช้เป็นแหล่งพลังงานเกิดกระบวนการเมตาบอลิซึม ขึ้นภายในเซลล์จุลินทรีย์ถ้าอินทรีย์คาร์บอนนั้นถูกเปลี่ยนไปเป็นโปรโตพลาสซึม คาร์บอน (protoplasmic carbon) จะเรียกกระบวนการนี้ว่า คาร์บอนแอสซิมิเลชัน (carbon assimilation) แต่ถ้าเกิดการเผาผลาญจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำกระบวนการนี้จะเรียกว่ามินิเอร์ไลเซชัน (mineralization) (Shah et al., 2008) ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และ สารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และ แก๊สมีเทน (CH_4) (Frazer, 1994 ; Hamilton et al., 1995) จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายพอลิเมอร์จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ

คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ น้ำ (H_2O) และการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และแก๊สมีเทน (CH_4) (Barlaz et al., 1989)

2.8.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ

เพื่อให้การย่อยสลายพอลิเมอร์หรือพลาสติกเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมีปัจจัยสำคัญที่มีส่วนในการย่อยสลายทางชีวภาพ คือ โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ ชนิดของจุลินทรีย์ และสภาวะแวดล้อม ดังนี้

2.8.3.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านจะย่อยสลายได้ช้ากว่าพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรง (Tokiwa et al., 1976) เนื่องจากกิ่งก้านจะกีดขวางการเข้ามาสัมผัสของเอนไซม์และจุลินทรีย์ ในปี ค.ศ. 1978 Tokiwa & Suzuki (1978) รายงานว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะย่อยสลายได้ง่าย เนื่องจากถูกส่งผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ง่ายกว่าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง นอกจากนี้แล้วความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ยังส่งผลโดยตรงต่ออัตราการย่อยสลายได้เช่นกัน โดยอัตราการย่อยสลายจะลดลงตามความเป็นผลึกที่เพิ่มขึ้น (Iwata & Doi, 1998; Tsuji & Miyauchi, 2001)

2.8.3.2 ชนิดของจุลินทรีย์

ในธรรมชาติมีความหลากหลายของจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดจะสามารถสังเคราะห์เอนไซม์ที่มีความจำเพาะเหมาะสมต่อการย่อยสลายพอลิเมอร์ประเภทใดประเภทหนึ่งโดยเฉพาะ ในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์หรือพลาสติกสามารถเกิดขึ้นโดยการทำงานของจุลินทรีย์มากกว่า 1 สายพันธุ์ ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีจุลินทรีย์ การย่อยสลายทางชีวภาพแทบจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้เลย

2.8.3.3 สภาวะแวดล้อม

สภาวะแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพอีกปัจจัยหนึ่ง เนื่องจากการปรับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายพอลิเมอร์หรือพลาสติกชีวภาพได้ จะส่งผลให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีดังนี้

1) อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมส่งผลให้ทั้งกระบวนการทางเคมี ทางกายภาพ หรือกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จุลินทรีย์ส่วนใหญ่มักจะเป็นกลุ่มที่เจริญได้ดีในอุณหภูมิปานกลาง (mesophile) ช่วงอุณหภูมิ 25 – 45 °C ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งอัตราการย่อยสลายได้ทางชีวภาพได้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 25 - 35 °C จัดเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ

2) ปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซออกซิเจนช่วยให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้รวดเร็วและสมบูรณ์ สำหรับการย่อยสลายของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนกระบวนการย่อยสลายจะเกิดช้าและทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นสภาพการระบายอากาศของดินจึงมีผลกระทบต่อกิจกรรมการย่อยสลายของสารอินทรีย์โดยตรง ในขณะที่ดินที่อยู่ในสภาพขาดอากาศหรือมีน้ำขัง อัตราการย่อยสลายจะลดลงเป็นอย่างมากและเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ ส่วนใหญ่จะเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และก๊าซมีเทน (Gu et al., 2000)

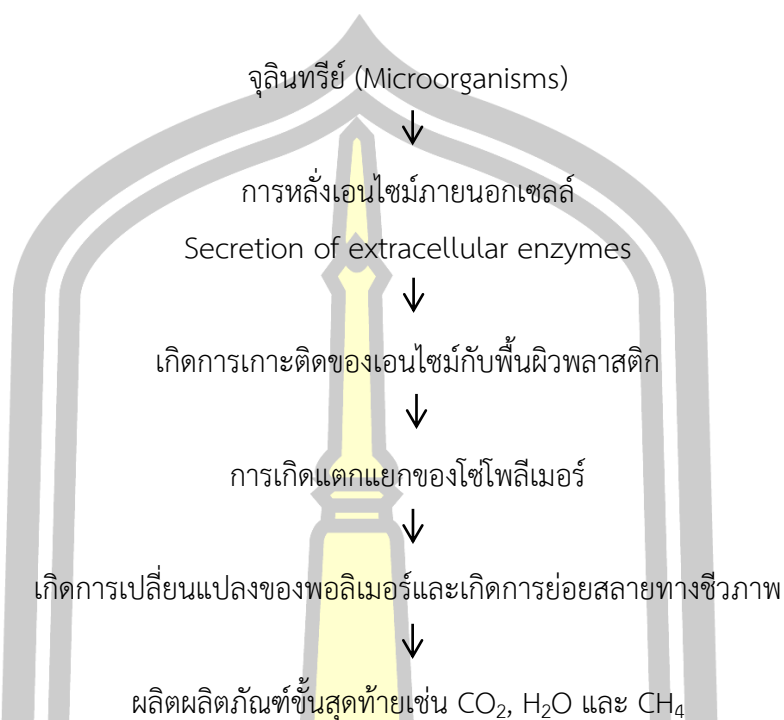
3) ความชื้น (moisture) น้ำและความชื้นช่วยในการเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และเป็นปัจจัยสำคัญของการย่อยสลายทางชีวภาพ (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ, 2550) กล่าวว่าน้ำและความชื้นมีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ โดยช่วยละลายธาตุอาหารที่อยู่ในดิน ช่วยในการเคลื่อนที่ อีกทั้งยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับจุลินทรีย์ ปริมาณความชื้นในดินส่งผลต่ออัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ หากดินมีความชื้นสูงเกินไปอัตราการย่อยสลายจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากขาดก๊าซออกซิเจน ในกรณีที่ความชื้นของดินต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมอัตราการย่อยสลายจะค่อย ๆ ลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการทนสภาพแห้งแล้งของจุลินทรีย์ด้วย

4) ขนาดวัตถุตัวอย่าง (particle size) พบว่าขนาดตัวอย่างที่มีขนาดเล็กจะทำให้กระบวนการย่อยสลายเร็วขึ้น เนื่องจากมีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์เข้าไปเกาะและทำการย่อยสลายได้มากขึ้น แต่ไม่ควรให้อัดแน่นเกินไป

5) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยทั่วไปแล้วเมื่อ pH เป็นกลาง การสลาย ตัวจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าในช่วงเป็นกรดหรือด่างมากเกินไป ดังนั้นการปรับ pH ของดินให้เป็นกลางจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินไปด้วย ในช่วง pH ที่เป็นกรดค่อนข้างมาก กิจกรรมของแบคทีเรียส่วนใหญ่ในดินจะลดลง แต่เชื้อรายังสามารถทนอยู่ได้ กิจกรรมการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นจากเชื้อราเป็นส่วนใหญ่

พหุ ประทีป ชีวะ

2.8.4 กลไกการย่อยสลายพลาสติกด้วยเอนไซม์



กระบวนการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพในสิ่งแวดล้อมเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น เอนไซม์ที่มีบทบาทในกระบวนการย่อยสลายพลาสติกทางชีวภาพนั้นมี 3 ชนิด ได้แก่

2.8.4.1 เอนไซม์ไลเปส (lipase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยา hydrolysis บริเวณพันธะเอสเทอร์ของโมเลกุลไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ที่มีสายคาร์บอนยาวกว่า 10 อะตอม ได้ผลิตเป็น มอนอกลิเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และ กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) เอนไซม์ ไลเปสสามารถย่อยสลายพอลิเมอร์ประเภทอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์เช่น เอนไซม์ไลเปสจากเชื้อ *Pseudomonas cepacia* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม subfamily *Pseudomonas* lipase เอนไซม์นี้สามารถย่อยสลาย PBS และ polybutylene succinate-co-lactate (PBSL) (Taniguchi et al., 2002) นอกจากนี้ยังมีรายงานที่ศึกษาการย่อยสลาย PBS โดยใช้ เอนไซม์ไลเปสทางการค้า (lipase PS[®]) พบว่าสามารถย่อยสลาย PBS ได้ เนื่องจาก PBS มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับ ไตรกลีเซอไรด์และไตรกลีเซอไรด์

2.8.4.2 เอนไซม์เอสเทอเรส (esterase) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการ hydrolysis โดยการตัดพันธะเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีสายคาร์บอนสั้นกว่า 10 อะตอม จากงานวิจัยพบว่าเชื้อจุลินทรีย์หลายสายพันธุ์สามารถสร้างเอนไซม์เอสเทอเรสที่ย่อยสลายพอลิเมอร์ประเภทอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ได้แก่เชื้อ *Bacillus pumilus* สายพันธุ์ KT1012 ที่สามารถย่อยสลาย PCL, PBSA, และ

polyethylene succinate (PESu) (Tezuka et al., 2004) (Mayumiet al., 2008) ได้ทำการศึกษา เอนไซม์ชนิดใหม่ (novel enzyme) ที่ย่อยสลาย PLA จากสิ่งแวดล้อม โดยพบว่าเอนไซม์เอสเทอร์เอส ชนิดใหม่ ถูกจัดอยู่กลุ่มของ carboxylesterase (EC 3.1.1.1) และมีรายงานว่าเอนไซม์เอสเทอร์เอส ของเชื้อ *Leptothrix* sp. สายพันธุ์ TB-71สามารถย่อยสลาย PBSA (Nakajima-Kambe et al., 2009) ในปี ค.ศ. 2010 (Hu et al., 2010) แยกเชื้อ *Thermobifida alba* สายพันธุ์ AHK119 ที่ สามารถย่อยสลาย PBS , PBSA , PCL , PES และ PHB และ เชื้อผลิตเอนไซม์เอสเทอร์เอส (Est119) ทนร้อนที่สามารถย่อยพลาสติกชีวภาพทางการค้า(Ecoflex™) ได้เช่นกัน

2.8.4.3 เอนไซม์ โปรติเอส (protease) เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาการ hydrolysis ในการตัดพันธะเปปไทด์ของโปรตีน ในปี ค.ศ. 2005 (Lim et al., 2005) ศึกษาการย่อยสลาย พลาสติกชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ α -chymotrypsin ทางการค้าเปรียบเทียบกับเอนไซม์ในกลุ่ม serine protease ชนิดอื่นๆ คือ trypsin, elastase, proteinase K และ subtilisin ในการย่อยสลาย PLA,PBS,PBSA,PHB,PCL,PBS/C และ PES พบว่าเอนไซม์ทั้งหมดสามารถย่อยสลาย PLA ได้ ส่วน เอนไซม์ α -chymotrypsin สามารถย่อยสลาย PLA และ PBSA ซึ่งเอนไซม์ α -chymotrypsin ถูก สร้างขึ้นจากตับอ่อนของมนุษย์ และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ทำให้เอนไซม์ย่อยสลาย biomedical material ที่มีส่วนประกอบเป็นพลาสติกชีวภาพได้ เช่น ไหมเย็บแผล และแคปซูลยา เป็นต้น และยัง พบว่าเอนไซม์สามารถย่อยพลาสติก ชีวภาพได้เนื่องจากมีความจำเพาะต่อพันธะ α - ester ของPLA

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 งานวิจัยในประเทศไทย

ปิติพงษ์ ธารมนต์ (2559) ศึกษาเรื่องการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในหอยสองฝา บริเวณชายหาดเจ้าหลาวและชายหาดคู้งวิมาน จังหวัดจันทบุรี การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการตรวจสอบ การปนเปื้อนของมูลฝอยประเภทไมโครพลาสติกในหอยสองฝาบบริเวณชายหาดเจ้าหลาวและชายหาด คู้งวิมานจากการศึกษาในหอยสองฝา 2 ชนิด คือหอยเสียบ (*Donax* sp.) และหอยกระปุก (*Paphia* sp.) พบว่ามีมูลฝอยประเภทไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในหอยเสียบบริเวณชายหาดเจ้าหลาว 3.13 ± 2.75 ชิ้น/ตัว โดยมีค่าใกล้เคียงกับชายหาดคู้งวิมานที่พบ 2.98 ± 3.12 ชิ้น/ตัว ($p > 0.05$) และมีการปนเปื้อนในหอยกระปุกบริเวณชายหาดเจ้าหลาว 11.31 ± 2.03 ชิ้น/ตัว เมื่อจำแนกตามรูปร่างของ มูลฝอยประเภทไมโครพลาสติกพบว่ารูปร่างที่พบมากที่สุดคือ เส้นใยทั้งชายหาดเจ้าหลาวและ ชายหาดคู้งวิมาน โดยพบที่ 82.3% และ 78.9% ตามลำดับ ส่วนสีของมูลฝอยประเภทไมโคร-พลาสติก ที่พบมากที่สุดในหาดเจ้าหลาวคือ สีดำ (23.12%) ส่วนชายหาดคู้งวิมาน คือ สีฟ้า (25.29%) ส่วน

ขนาดความกว้างและความยาวเฉลี่ยของมูลฝอยประเภทไมโครพลาสติก บริเวณชายหาดเจ้าหลาวมีค่าความกว้างเฉลี่ย 44.3 ± 95.7 ไมโครเมตรและความยาวเฉลี่ย 1809.1 ± 1273.1 ไมโครเมตร ส่วนบริเวณชายหาดคังวิมานมีความกว้างเฉลี่ย 63.3 ± 104.4 ไมโครเมตรและความยาวเฉลี่ย 1513.7 ± 1045.0 ไมโครเมตร

ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ และอภิวัฏ ธวัชสิน (2558) ศึกษาการพัฒนาเหยื่อพิษจากมันสำปะหลังในการกำจัดแมลงสาบเยอรมัน ปัจจุบันการนำสารสกัดจากพืชมาใช้ในการกำจัดแมลงพาหะนำโรคเป็นวิธีที่นิยม เพราะสลายได้ทางชีวภาพและมีความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดจากมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) ที่มีต่อแมลงสาบเยอรมันระยะตัวเต็มวัย (*B. germanica* (L.)) โดยวิเคราะห์ความเป็นพิษเฉียบพลันในรูปมัธยฐานของระดับความเข้มข้น (LC_{50}) โดยการกิน ในเวลา 24 ชั่วโมง (2) ศึกษาปริมาณสารไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่พบจากลำต้น เปลือกเนื้อและใบของมันสำปะหลัง (3) ศึกษาความชอบอาหารของแมลงสาบเยอรมันที่มีต่อรูปแบบของเหยื่อล่อที่ผลิตจากมันสำปะหลัง โดยใช้ดัชนีชี้วัดของรอดเจอร์สในการบ่งชี้การเลือกชนิดอาหารของแมลงสาบผลการวิจัยพบว่า (1) ความเป็นพิษเฉียบพลันในรูปมัธยฐานของระดับความเข้มข้น (LC_{50}) ของสารสกัดจากลำต้น เปลือก เนื้อและใบของมันสำปะหลังที่มีต่อแมลงสาบเยอรมันระยะตัวเต็มวัย ในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 49.287 ppm 126.224 ppm 129.625 ppm และ 137.645 ppm (ตามลำดับ) (2) ปริมาณสารไฮยาไนด์ที่พบจากส่วนต่างๆ ของมันสำปะหลังพบที่ลำต้นมีปริมาณสารไฮยาไนด์มากที่สุดคือ 305.34 mgHCN/L รองลงมาคือที่เปลือก เนื้อ และใบ (156.19 , 110.94 และ 32.83 mgHCN/L ตามลำดับ) (3) เหยื่อล่อที่แมลงสาบเยอรมันเพศผู้และเพศเมียชอบมากที่สุดคือเหยื่อที่ประกอบด้วยมันสำปะหลังสุก 500 กรัม น้ำตาลทราย 125 กรัม และสารสกัดเนื้อมันสำปะหลัง 30 มิลลิลิตร (A4) รองลงมาคือ เหยื่อที่ประกอบด้วยมันสำปะหลังสุก 500 กรัม น้ำตาลทราย 125 กรัม และสารสกัดเปลือกมันสำปะหลัง 30 มิลลิลิตร (A3) แมลงสาบเพศผู้ชอบเหยื่อล่อทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวมากกว่าชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ แมลงสาบเพศเมียชอบเหยื่อล่อ A4 มากกว่าชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$ นอกจากนี้พบว่าแมลงสาบเพศผู้ชอบเหยื่อล่อ A3 มากกว่าเพศเมีย ในทางตรงกันข้ามแมลงสาบเพศเมียชอบเหยื่อที่ประกอบด้วยมันสำปะหลังสุก 500 กรัม สารสกัดจากเนื้อวุ้น 125 กรัม และสารสกัดเนื้อมันสำปะหลัง 30 มิลลิลิตร (B4) มากกว่าเพศผู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยสรุป ความเป็นพิษเฉียบพลันในรูปมัธยฐานของระดับความเข้มข้น (LC_{50}) ของสารสกัดจากลำต้นมันสำปะหลังมีความเป็นพิษสูงที่สุดต่อแมลงสาบเยอรมัน ปริมาณสารไฮยาไนด์พบที่ลำต้นมากที่สุด ซึ่งสารสกัดจากมันสำปะหลังออกฤทธิ์ต่อแมลงสาบในลักษณะกินตาย (stomach poison) และเหยื่อล่อที่ใช้ทดลองความชอบอาหารของแมลงสาบสามารถ

ดึงดูดให้แมลงสาบมากินได้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนารสจากมันสำปะหลังในการใช้เป็นเหยื่อล่อเพื่อกำจัดแมลงสาบต่อไป

2.9.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

Roch & Brinker (2017) ศึกษาวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับของไมโครพลาสติคในระบบทางเดินอาหารของปลา โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของมลพิษไมโครพลาสติคผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำทั้งในทะเลและน้ำจืด ระบบนิเวศเน้นความต้องการที่เร่งด่วนและเพียงพอวิธีการตรวจจับเทียบเคียงการย่อยเนื้อเยื่อที่มีโปรโตคอลใช้เวลานาน (> 10 ชั่วโมง) หรือต้องการหลายอย่างหลายขั้นตอนในระหว่างที่วัสดุสามารถหายไปและสารปนเปื้อนที่แนะนำ วิธีการใหม่นี้ประกอบด้วยขั้นตอนการย่อยอาหารแบบเร่งโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไนตริกรวมกัน เพื่อย่อยสารอินทรีย์ทั้งหมดภายใน 1 ชั่วโมง บวกขั้นตอนการแยกเพิ่มเติมโดยใช้โซเดียมไอโอไดด์ ซึ่งสามารถใช้เพื่อลดสารตกค้างในตัวอย่าง วิธีนี้ให้อัตราการฟื้นตัวแบบไมโคร $\geq 95\%$ และโพลีเมอร์ที่ทดสอบแล้วทั้งหมดจะถูกกู้คืนด้วยเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในน้ำหนัก ขนาดและสีของเส้นใยสังเคราะห์ วิธีนี้ยังแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพในภาคสนาม ตัวอย่างจากปลาน้ำจืดสองสายพันธุ์ ซึ่งแสดงส่วนสำคัญของไมโครพลาสติคเปรียบเทียบได้กับที่ระบุไว้ในงานประพันธ์เป็นผลให้ วิธีการปัจจุบันช่วยประหยัดเวลา ลดการสูญเสียของวัสดุและลดความเสี่ยงของการปนเปื้อน และอำนวยความสะดวกในการจำแนกอนุภาคและเส้นใยพลาสติค จึงให้วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบและหาปริมาณไมโครพลาสติคในระบบทางเดินอาหารของปลา

Bron et al. (2018) ศึกษาความสามารถในการย่อยสลายโพลีสไตรีน (PS) ภายในลำไส้ของหนอนนก *Tenebrio molitor* Linnaeus โดยวัดอัตราการย่อยของหนอนที่เลี้ยงด้วย (PE) เป็นระยะเวลา 32 วันพบว่าอัตราการย่อยเท่ากับ $98.3\% \pm 0.0\%$ ซึ่งใกล้เคียงกับการเลี้ยงด้วยรำซึ่งเป็นอาหารสัตว์ $96.3\% \pm 4.1\%$ และพบว่าอัตราการย่อยของหนอนที่เลี้ยงด้วย PS เท่ากับ $90.8\% \pm 2.4\%$ ซึ่งใกล้เคียงกับการเลี้ยงด้วยรำเท่ากับ $91.3\% \pm 1.8\%$ จากการสกัดมูลของหนอนนกและวิเคราะห์ HT-GPC ของโพลีเมอร์ที่ยังคงอยู่จากหนอนนกที่เลี้ยงด้วย PE และ PS พบว่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยลดลง การเปรียบเทียบสเปกตรัม PE กับสเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่เหลือจากมูลแสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงของพันธะเคมีซึ่งเกิดจากการย่อยสลายพลาสติคแบคทีเรียที่พบในลำไส้ของหนอนนกคือ *Spiroplasma sp.*, *Cronobacter sp.* และ *Enterococcus sp.*

Yang et al. (2018) ศึกษาความหลากหลายของการย่อยสลายสไตรีนและการย่อยสลายทางชีวภาพภายในตัวอ่อนของหนอนนก นักวิจัยด้านวิชาการและ “นักวิทยาศาสตร์” จาก 22 ประเทศยืนยันว่าตัวอ่อนของหนอนนก สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีการกิน PS การประเมินรายละเอียดเพิ่มเติมของความสามารถนี้ดำเนินการสำหรับมื้ออาหาร จากแหล่งที่มาทั้งหมด 12 แห่ง 5 แห่งจากสหรัฐอเมริกา 6 แห่งจากจีนและอีกแห่ง 1 แห่งจากไอร์แลนด์เหนือ หนอนนกเหล่านี้สามารถย่อย

สลายโพลีเมอร์ PS ได้ทั้งหมดน้ำหนักของโพลีเมอร์ลดลงและการลดลงของค่าโพลีเมอร์สังเกตได้ ด้วยส่วนที่น้ำหนักโมเลกุลที่เหลือน้อยลงและประสิทธิภาพการทำงาน บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงออกซิเดชันในสารสกัดจาก มูล (ขับถ่ายแมลง) การเติมเจนตามัยซิน gentamycin ($30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), ยาปฏิชีวนะฆ่าเชื้อแบคทีเรีย, ยับยั้งดีโพลีเมอร์ไรเซชันเกี่ยวข้องกับลำไส้ ไมโครไบโอม ในกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ การวิเคราะห์ชุมชนของจุลินทรีย์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางอนุกรมวิธานที่สำคัญสำหรับหนอนนก การให้ PS ผสมรำข้าวเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้มากกว่า PS เพียงอย่างเดียว

Fesseha & Abebe (2019) ศึกษาการย่อยสลายพลาสติกโดยใช้จุลินทรีย์โดยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการย่อยสลายพลาสติกโดยใช้จุลินทรีย์พบว่ากลไกหลักในการย่อยสลายทางชีวภาพของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงคือการออกซิเดชันหรือไฮโดรไลซิสโดยเอนไซม์เพื่อเปลี่ยนกลุ่มฟังก์ชันที่ไม่ละลายเป็นกลุ่มฟังก์ชันที่ละลายน้ำและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทั้งเคมีและทางกายภาพอีกด้วย ขั้นตอนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์มี 2 ขั้นตอนคือขั้นแรกคือการที่จุลินทรีย์ปลดปล่อยเอนไซม์ภายนอกเซลล์เพื่อทำให้พอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำมีขนาดของโมโนเมอร์ที่เล็กลงและมีคุณสมบัติละลายน้ำจากนั้นเมื่อโมเลกุลมีขนาดเล็กพอที่สามารถซึมเข้าไปในเซลล์จึงเกิดกระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นโดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการย่อยสลายทางชีวภาพคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และชีวมวลเกิดขึ้นโดยในกระบวนการย่อยสลายจุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน โพลีเอทิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเสถียรซึ่งประกอบด้วยสายโซ่ของโมโนเมอร์เอทิลีนต่อกันเป็นสายยาว ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่ายจากการศึกษาพบว่ากระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของโพลีเอทิลีนเกิดขึ้นจากกลไกสองประการคือการย่อยสลายด้วยน้ำและการย่อยสลายทางชีวภาพโดยมีการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้ *Fusarium species* (AF4) พบว่าพลาสติกเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญเติบโตของเชื้อราและมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีบางอย่างโดยตรวจสอบจาก FTIR ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการสลายตัวของโซ่พอลิเมอร์และการเกิดออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์จาก PE รายงานการศึกษาเกี่ยวกับการย่อยสลายทางชีวภาพของ PP โดยจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น เชื้อราบางชนิดเช่น *Aspergillus niger* และแบคทีเรียเช่น *Pseudomonas* และ *Vibrio* ที่มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ PP พบว่ามีความหนืดลดลงและการก่อตัวของกลุ่มฟังก์ชันใหม่ ได้แก่ คาร์บอนิลและคาร์บอกซิล

Danso et al. (2019) ทำการศึกษามุมมองด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยี ชีวภาพเกี่ยวกับการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์พบว่ามีการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ PE โดยแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Pseudomonas*, *Ralstonia* และ *Stenotrophomonas* และยังแบคทีเรียแกรมบวกอีกหลายชนิด (เช่น *Rhodococcus*, *Staphylococcus*, *Streptomyces*, *Bacillus* และอื่น ๆ) นอกจากนี้ยังพบเชื้อราที่มีรายงานการย่อยสลายของ PE เหล่านี้ ได้แก่

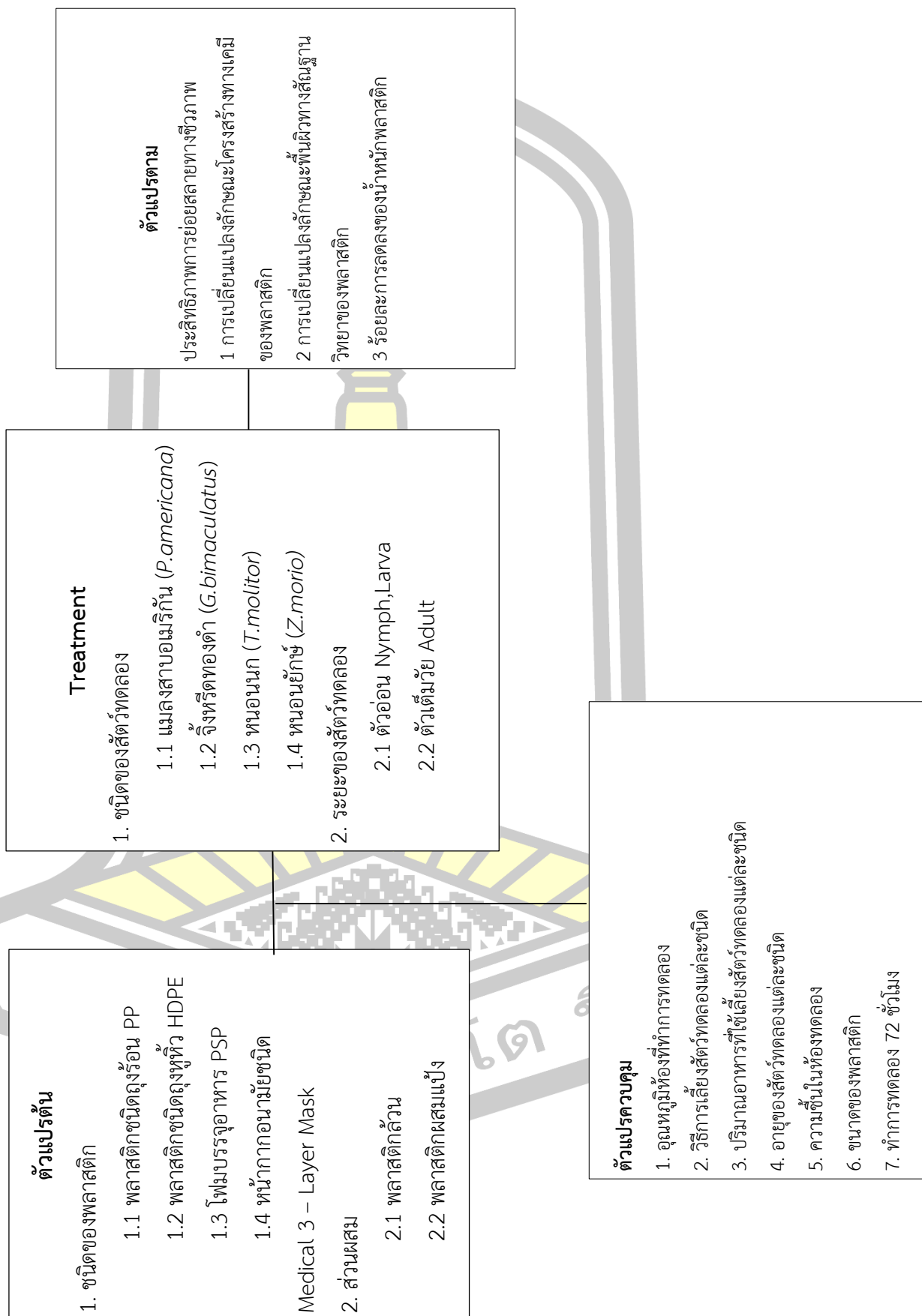
Aspergillus, *Cladosporium*, *Penicillium* และอื่น ๆ โดยจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลาย PE โดยจุลินทรีย์พิจารณาจากการวัดการสูญเสียน้ำหนักและใช้ FTIR เนื่องจากการสูญเสีย น้ำหนักและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพื้นผิวส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการย่อยสลายของสารเคมี ซึ่งมักจะเป็นส่วนสำคัญของพอลิเมอร์ผลลัพธ์ในการศึกษาเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบโดยใช้ เทคโนโลยีขั้นสูงนอกจากนี้มีการค้นพบเอนไซม์ laccase ที่ได้จาก *Penicillium* ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสลายตัวของ PE มีการศึกษาเชื้อรา *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete chrysosporium* และ *Trametes versicolor* และ *Gloeophyllum trabeum* มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดีโพลีเมอร์เซชันของ PS และพบว่าแบคทีเรียมีความสามารถในการย่อยสลาย PS คือ *Pseudomonas*, *Xanthobacter*, *Rhodococcus*, *Corynebacterium* และอื่นๆ เมื่อเร็วๆ นี้มีรายงานว่า สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังสามารถย่อยสลายพลาสติกชนิดต่างๆพบว่าหนอนนก สามารถย่อย PS ซึ่งพบว่าตัวอ่อนมีชีวิตอยู่ได้นานกว่าหนึ่งเดือนเมื่อเลี้ยงบนสไตรโพรโมภายในระยะเวลา 16 วันคาร์บอนสไตรโพรโมที่กินเข้าไปเกือบ 50% จะถูกเปลี่ยนเป็น CO₂ และพบสไตรโพรโมที่ตกค้างในอุจจาระ ในปี2017พบว่ามีรายงานเกี่ยวกับการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวอ่อนของมอดซีฟิ่ง (*Galleria mellonella*) พบว่าเกิดการกินและย่อยสลายของ PE อย่างรวดเร็วมากมีผลงานเพิ่มเติมของทีมวิจัยในจีนและสหรัฐอเมริการะบุว่า *Bacillus* sp. สายพันธุ์ YP1 เป็นแบคทีเรียที่ย่อยสลาย PE ใน Indian mealworms การศึกษาที่เกี่ยวข้องกันระบุว่าแบคทีเรีย *Citrobacter* และ *Kosakonia* เป็นตัวย่อยสลายหลักสำหรับ PE และ PS ในลำไส้ของหนอนนก

Woo, Song & Cha (2020) ศึกษาความเร็วและความว่องไวในการย่อยสลายทางชีวภาพของ PS โดยจุลินทรีย์ในลำไส้ของ *Plesiophthalmus davidis* ทำการศึกษา การย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้ตัวอ่อนของแมลงปีกแข็ง *P. davidis* โดยทำการงดให้อาหารตัวอ่อนเป็นเวลา 3 วัน และให้ PS เป็นอาหารเพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 14 วัน พบว่าใน 14 วัน *P. davidis* กิน PSP 34.27 ± 4.04 มิลลิกรัมต่อตัวและรอดชีวิตโดยการกิน PSP เท่านั้น โดยเครื่องFTIR แสดงผลว่า PSP ที่หนอนกินเข้าไปนั้นถูกออกซิไดซ์แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโมเลกุล และทำการสกัดจุลินทรีย์ภายในลำไส้และเพาะเลี้ยงโดยให้ฟิล์ม PS เป็นเวลา20วัน และตรวจสอบโดยตรวจพบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม และศึกษาด้วยวิธี XPS พบว่ามีพันธะ C-O เกิดขึ้นจากการย่อยสลายทางชีวภาพของPSโดย *Serratia* sp. strain WSW (KCTC 82146) จากการวิเคราะห์จุลินทรีย์พบว่ามี *Serratia* เพิ่มขึ้นเป็น 6 เท่าเมื่อตัวอ่อนได้รับอาหารเป็นสไตรโพรโมเป็นเวลา 2 สัปดาห์การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าตัวอ่อน *P. davidis* และแบคทีเรียในลำไส้สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างพันธะทางเคมีและย่อยสลาย PS ได้อย่างรวดเร็ว

Lee (2020) ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของ พลาสติกประเภทต่างๆ 4 ชนิดโดย *Pseudomonas aeruginosa* ที่แยกได้จากลำไส้ของหนอนยักซ์ โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสำหรับพลาสติกทั้งสี่ประเภทพบว่า PE ย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็วที่สุดในขณะที่การย่อยสลายทางชีวภาพของ PP ทำได้ช้าที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบออกซิเจนหนาแน่นบนพื้นผิวของทั้งเม็ด PE และ polyphenylene sulfide (PPS). PPS ซึ่งยืนยันว่าเกิดออกซิเจนที่ขึ้นระหว่างการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกทั้งสองประเภทนี้ในทางตรงกันข้ามเกิดออกซิเจนเพียงเล็กน้อยบนพื้นผิวของ PP นอกจากนี้ผู้วิจัยได้วัดน้ำหนักของพลาสติกทั้ง 4 ชนิดหลังจากผ่านไป 15 วัน พบว่าพลาสติก PE น้ำหนักลดลงเฉลี่ย 0.64% ต่อวันซึ่งสูงสุดรองลงมาคือ PPS มีน้ำหนักลดลง 0.53% ต่อวันและน้ำหนักของ PS และ PP ช้ามาก (ที่ 0.098% และ 0.025% ต่อวันตามลำดับ) เพื่อตรวจสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของ PP โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของ PP พบดูดกลืนของคาร์บอนิล ($-C=O$) ที่ 1715 cm^{-1} และ ไฮดรอกซิล ($-O-H$) ที่ $3300-3600\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสรุปได้ว่า เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพของ PP โดย *P.aeruginosa* เช่นกันอย่างไรก็ตามประสิทธิภาพการย่อยสลายของ PP ต่ำกว่า PE, PS หรือ PPS มาก

จากการศึกษาพบว่าการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกเกิดขึ้นโดยตัวของแมลงและจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารของแมลงซึ่งกระบวนการย่อยสลายของแมลงเกิดจากการกัดเคี้ยวของแมลงโดยปากเข้าสู่ระบบทางเดินอาหาร จากนั้นจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารจะยึดเกาะพลาสติกและทำการกัดกร่อนพลาสติกโดยพลาสติกจะถูกสลายเป็นชิ้นส่วนโอลิโกเมอร์ (oligomers) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หรือการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของเอนไซม์ ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารและตัวแมลงเป็นการย่อยสลายพอลิเมอร์จากนั้นพันธะของโอลิโกเมอร์จะถูกทำลายจนเกิดเป็นกรดไขมันซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพลาสติกจากโครงสร้างที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ (Hydrophobic) เป็นโครงสร้างที่สามารถละลายน้ำได้ (hydrophilic) คือการเกิดขึ้นของหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) และไฮดรอกซิล ($H-O$) โดยจากการศึกษาพบว่า การวัดประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพสามารถวัดได้ 7 รูปแบบคือ การวัดสมบัติเชิงกล ลักษณะความเป็นผลึก ชีวมวล การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพื้นผิว คุณสมบัติการละลายน้ำ/ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักที่ลดลงหลังการย่อยสลาย และลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยา

2.10 กรอบแนวคิดการวิจัย

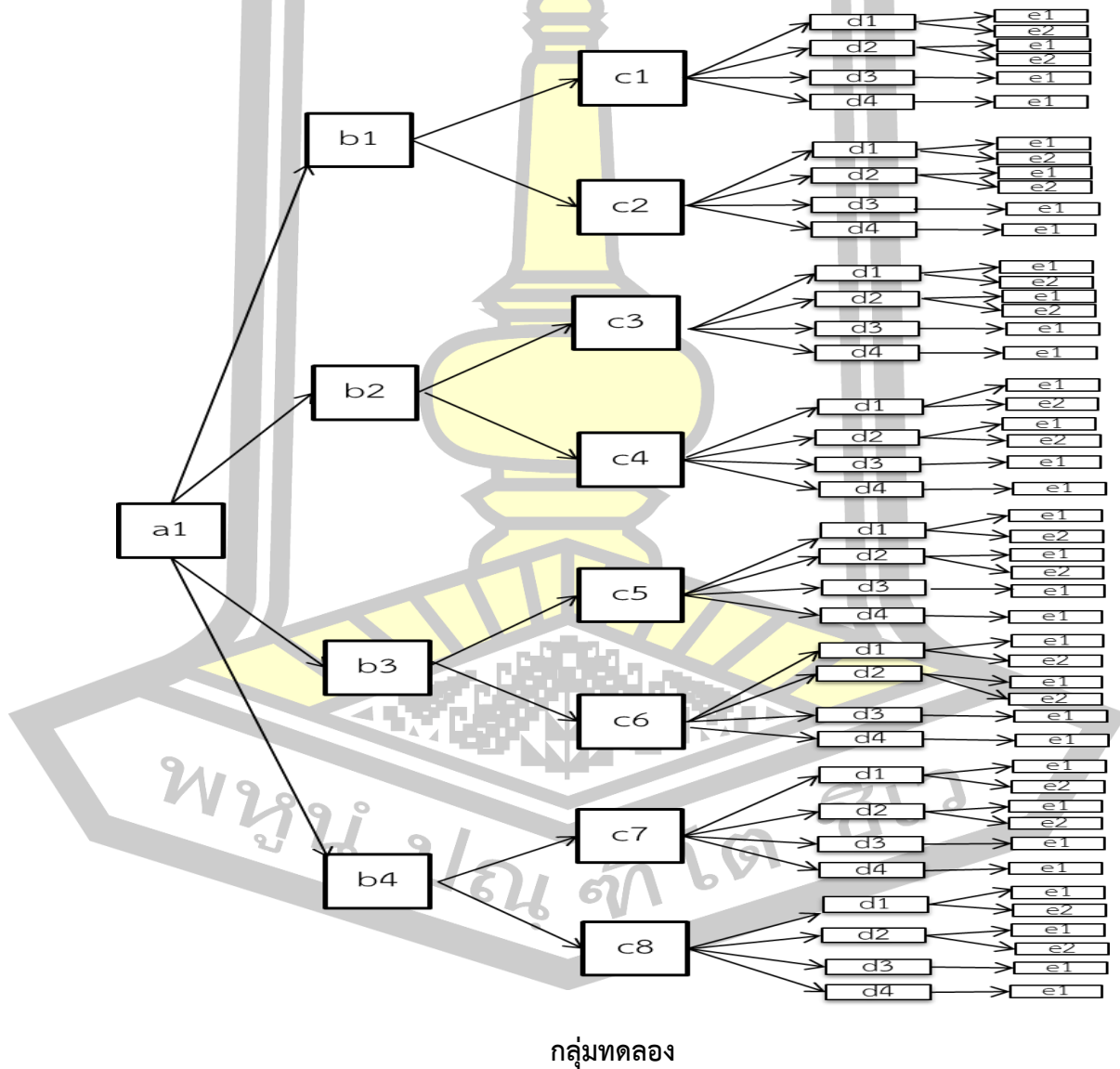


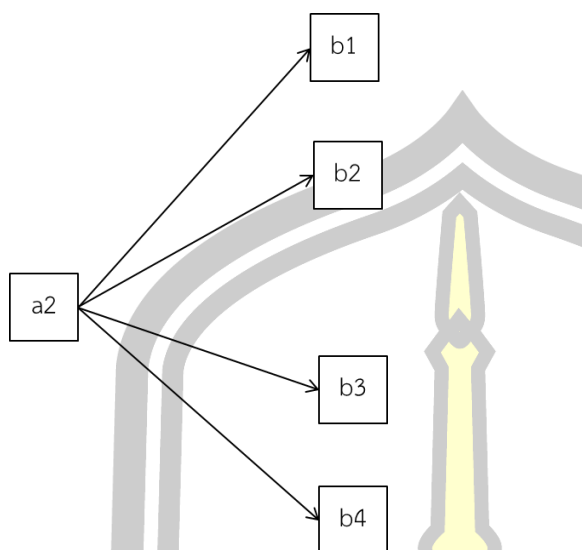
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยศึกษาการสลายทางชีวภาพโดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดลงของพลาสติกชนิด โฟม (PSP) ถุงหิ้ว (HDPE) โฟม (PSP) ชนิดถูร้อน (PP) และหน้ากากอนามัย (Mask) โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำแสดงดัง





กลุ่มควบคุม

- a1 หมายถึง กลุ่มทดลอง
- a2 หมายถึง กลุ่มควบคุม
- b1 หมายถึงพลาสติกถุงร้อนชนิด PP
- b2 หมายถึงพลาสติกถุงหิ้วชนิด HDPE
- b3 หมายถึงโฟม PSP
- b4 หมายถึงหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3-Layer Mask
- c1 หมายถึงพลาสติกถุงร้อนชนิด PP
- c2 หมายถึงพลาสติกถุงร้อนชนิด PP ผสมแป้งมัน
- c3 หมายถึงพลาสติกถุงหิ้วชนิด HDPE
- c4 หมายถึงพลาสติกถุงหิ้วชนิด HDPE ผสมแป้งมัน
- c5 หมายถึงโฟม PSP
- c6 หมายถึงโฟม PSP ผสมแป้งมัน
- c7 หมายถึงหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3-Layer Mask
- c8 หมายถึงหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3-Layer Mask ผสมแป้งมัน
- d1 หมายถึง แมลงสาบอเมริกัน (*Periplaneta americana*, Linnaeus)
- d2 หมายถึงจิ้งหรีดทองดำ (*Gryllus bimaculatus*, De Geer)
- d3 หมายถึงหนอนนก (*Tenebrio molitor*, Linnaeus)
- d4 หมายถึงหนอนยักซ์ (*Zophobas morio*, Fabricius)
- e1 หมายถึงแมลงระยะตัวอ่อน
- e2 หมายถึงแมลงระยะตัวเต็มวัย

3.2 ประชากรที่ศึกษา/กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ประชากร

3.2.1.1 พลาสติก PP ใช้พลาสติกถนอมร้อนชนิด Polypropylene ยี่ห้อดาว ผลิตโดยบริษัทสุณีย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย

3.2.1.2 พลาสติก HDPE ใช้พลาสติกถนอมหุ้ม High Density Polyethylene ยี่ห้อดาว ผลิตโดยบริษัทสุณีย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย

3.2.1.3 พลาสติก PSP ใช้โฟมสำหรับบรรจุอาหาร Polystyrene Paper ยี่ห้อ SITEX Foam ผลิตโดยบริษัทซีเท็กซ์ อินดัสตรี คอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

3.2.1.4 หน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask ใช้หน้ากากอนามัยยี่ห้อ FIDENS ผลิตโดยบริษัทไทยฮอโลพิทอล โปรดักส์ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบการวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยทุกบล็อกจะได้รับครบทุกทรีทเมนต์

3.2.2.1 พลาสติก PSP ใช้โฟมสำหรับบรรจุอาหาร Polystyrene Paper ยี่ห้อ SITEX Foam ผลิตโดยบริษัทซีเท็กซ์ อินดัสตรี คอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย พลาสติก น้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัมผสม แป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร

3.2.2.2 พลาสติก HDPE ใช้พลาสติกถนอมหุ้ม High Density Polyethylene ยี่ห้อ ดาว ผลิตโดยบริษัทสุณีย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย พลาสติก น้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัมผสม แป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร

3.2.2.3 พลาสติก PP ใช้พลาสติกถนอมร้อนชนิด Polypropylene ยี่ห้อดาว ผลิตโดย บริษัทสุณีย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัมผสม แป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร

3.2.2.4 หน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask ใช้หน้ากากอนามัยยี่ห้อ FIDENS ผลิตโดยบริษัทไทยฮอโลพิทอล โปรดักส์ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย น้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัมผสม แป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1x1 เซนติเมตร

3.2.3 กลุ่มควบคุม

3.2.3.1 พลาสติก PSP ใช้โฟมสำหรับบรรจุอาหาร Polystyrene Paper ยี่ห้อ SITEX Foam ผลิตโดยบริษัทซีเท็กซ์ อินดัสตรี คอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัม ผสมแป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.2.3.2 พลาสติก HDPE ใช้พลาสติกถุงหิ้ว High Density Polyethylene ยี่ห้อดาว ผลิตโดยบริษัทศูนย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัม ผสมแป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.2.3.3 พลาสติก PP ใช้พลาสติกถุงร้อนชนิด Polypropylene ยี่ห้อดาว ผลิตโดยบริษัทศูนย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัม ผสมแป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.2.3.4 หน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask ใช้หน้ากากอนามัยยี่ห้อ FIDENS ผลิตโดยบริษัทไทยฮอโลพิทอล โปรดักส์ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย น้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัม ผสมแป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.2.4 ทรีทเมนต์ (Treatment)

3.2.4.1 แมลงสาบอเมริกัน (*P.americana*) จากตำบลเกิ้ง อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม โดยนำแมลงสาบตัวเต็มวัยมาเลี้ยงต่อในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งเป็น ตัวอ่อน (Nymph) และ ตัวเต็มวัย (Adult) รุ่นต่อไป (F_2) ใช้ในการทดลอง 10 ซ้ำ ซ้ำละ 25 ตัว (WHO, 1981) รวมกลุ่มตัวอย่างระยะตัวอ่อน 2000 ตัว อายุ 8 สัปดาห์ และตัวเต็มวัย 2000 ตัว อายุ 8 สัปดาห์ (นับจากเข้าสู่ระยะตัวเต็มวัย)

3.2.4.2 จิ้งหรีดทองดำ (*G.bimaculatus*) จากอำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม จากนั้นนำมาเลี้ยงต่อในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งเป็น ตัวอ่อน (Nymph) และ ตัวเต็มวัย (Adult) รุ่นต่อไป (F_2) ใช้ในการทดลอง 10 ซ้ำ ซ้ำละ 25 ตัว (WHO, 1981) รวมกลุ่มตัวอย่างระยะตัวอ่อน 2000 ตัว อายุ 4 สัปดาห์ และตัวเต็มวัย 2000 ตัว อายุ 8 สัปดาห์

3.2.4.3 หนอนนก (*T.molitor*) จาก ตำบลตลาด อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม โดย นำมาเลี้ยงต่อในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย (Adult) และตัวอ่อน (Larva) รุ่นต่อไป (F_2) ใช้ในการทดลอง 10 ซ้ำ ซ้ำละ 25 ตัว (WHO, 1981) รวมกลุ่มตัวอย่างระยะตัวอ่อน 2000 ตัว อายุ 8 สัปดาห์

3.2.4.4 หนอนยักซ์ (*Z.morio*) พอแมพันธุ์หนอนยักซ์จากฟาร์มหนอนยักซ์จากอำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร โดยนำมาเลี้ยงต่อในห้องปฏิบัติการจนกระทั่งเป็นตัวเต็มวัย (Adult) และตัวอ่อน (Larva) รุ่นต่อไป (F_2) ใช้ในการทดลอง 10 ซ้ำ ซ้ำละ 25 ตัว (WHO, 1981) รวมกลุ่มตัวอย่างระยะตัวอ่อน 2000 ตัว อายุ 8 สัปดาห์

3.3 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

3.3.1 สัตว์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) แมลงสาบอเมริกัน (*P.americana*)
- 2) จิ้งหรีดทองดำ (*G.bimaculatus*)
- 3) หนอนนก (*T.molitor*)
- 4) หนอนยักซ์ (*Z.morio*)

3.3.2 พลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

- 1) พลาสติกถลุงร้อนชนิด PP ยี่ห้อดาว ผลิตโดยบริษัทสุณีย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย
- 2) พลาสติกถลุงหิ้ว HDPE ยี่ห้อดาว ผลิตโดยบริษัทสุณีย์อุตสาหกรรมพลาสติก จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย
- 3) โฟมสำหรับบรรจุอาหาร PSP ยี่ห้อ SITEX Foam ผลิตโดยบริษัทซีเท็กซ์ อินดัสตรี คอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย
- 4) หน้ากากอนามัย ยี่ห้อ FIDENS ผลิตโดยบริษัทไทยฮอโลพิทอล โปรดักส์ จำกัด กรุงเทพฯ ประเทศไทย

3.3.3 สารเคมี

- 1) HNO_3 65% (Nitric acid)
- 2) NaOH (Sodium hydroxide)
- 3) NaI (Sodium iodide)
- 4) KOH 2% (Potassium hydroxide)
- 5) H_2O_2 30 % (Hydrogen peroxide)

3.3.4 วัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง

- 1) ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50,100,250 และ 1000 มิลลิลิตร
- 2) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) ปิเปตแบบปริมาตร (Volumetric Pipette) ขนาด 1, 10 มิลลิลิตร

- 4) แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)
- 5) ลูกยางดูด (Pipette bulb)
- 6) กรวยกรอง (Funnel)
- 7) vernier caliper
- 8) กระดาษกรองเซลลูโลสไนเตรต ขนาดรูพรุน 0.45 μm
- 9) กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ขนาดรูพรุน 1.2 μm
- 10) เลือปฏิบัติการณ์
- 11) ถาดพลาสติก
- 12) ยางวง
- 13) โหลแก้ว
- 14) วาสลิน
- 15) ผ้าขาวบาง
- 16) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 17) หลอดทดลอง (Test tube)
- 18) จานเพาะเชื้อ (Plate)
- 19) ถังมือ
- 20) ตู้ดูดควัน (Hood)
- 21) เตาให้ความร้อน (Hot plate)
- 22) แป้งมันสำปะหลังยี่ห้อ New Grade ผลิตโดยบริษัทไทยวา จำกัด (มหาชน) จังหวัด

นครปฐม ประเทศไทย

- 23) กล้อง Zoom Stereo Microscope รุ่น GL- 99TI
- 24) ชุดกรองระบบสุญญากาศ

3.3.5 วัสดุอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

- 1) ถาดพลาสติก
- 2) กล้องพลาสติก
- 3) ผ้าขาวบาง
- 4) หินก้อนกรวดขนาดเล็ก
- 5) อาหารสัตว์ผสมสำเร็จรูป ชนิดผง สำหรับจิ้งหรีดและแมลงอื่นๆ ยี่ห้อ J80 โปรตีน

21% ไขมัน 4%

3.3.6 เครื่องมือวิเคราะห์

- 1) เครื่องวิเคราะห์สมบัติสลายด้วยคลื่นอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น INVENIO-S Internal Transmission RT-DLaTGS ประเทศ Germany
- 2) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น TM 4000 PLUS
- 3) เครื่องชั่งสารแบบดิจิทัล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น PRACTUM224-1S Germany
- 4) กล้อง Zoom Stereo Microscope 3 ตา รุ่น GL-99TI

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมแมลงแบบปากกัดเคี้ยว

3.4.1.1 การเพาะเลี้ยงแมลงสาบอเมริกัน (*P.americana*)

1) ใช้กับดักชนิด modified jar trap (Lauprasert, 2006) ออกวางดักแมลงสาบระยะตัวเต็มวัยทั้งเพศผู้และเพศเมีย ตำบลเกิ้ง อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคามในเวลา 18.00 น. และเก็บในเวลา 06.00 น.

2) นำแมลงสาบที่จับได้มาเลี้ยงในโหลแก้วโดยใส่รังกระดาษที่สำหรับรองไข่ไว้เพื่อจัดสภาพแวดล้อมให้คล้ายธรรมชาติและเพื่อให้แมลงสาบมีพื้นที่วางไข่ เลี้ยงในห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ให้อาหารปริมาณ 5 กรัม และน้ำดื่มโดยใช้ภาชนะใส่หิ้งก่อนกรวดขนาดเล็กและใส่น้ำวางไว้ให้อาหารและน้ำดื่มทุกวัน

3) แมลงสาบมีการผสมพันธุ์และพบว่าเพศเมียวางไข่ (cupsule) มีระยะตัวอ่อนฟักออกจากฝักไข่ (F_2) ทำการแยกตัวอ่อน ออกมาเลี้ยงในภาชนะใบใหม่

4) เมื่อพบว่าตัวมีอายุครบ 8 สัปดาห์จับแยกไว้เพื่อใช้ในการทดลองระยะตัวอ่อนต่อไป

5) แมลงสาบอีกส่วนเมื่อพบว่ามีการลอกคราบครั้งสุดท้ายเป็นตัวเต็มวัยแยกแมลงสาบเพศผู้และเพศเมียให้อยู่คนละภาชนะ เพื่อรอนำมาใช้ในการทดลองระยะตัวเต็มวัยต่อไป

3.4.1.2 การเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดทองดำ (*G.bimaculatus*)

1) นำไข่จิ้งหรีดมาจากฟาร์มธีรดาฟาร์ม อำเภอยางสีสุราช จังหวัดมหาสารคาม นำไข่มาฟัก 7-10 วันในห้องปฏิบัติการ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

2) เมื่อจิ้งหรีดฟักออกจากไข่เป็นตัวอ่อน (F_2) ใส่ลังกระดาษสำหรับรองไข่ในโหล แก้วที่สำหรับเลี้ยงจิ้งหรีดไว้เพื่อจัดสภาพแวดล้อมให้คล้ายธรรมชาติให้อาหารสำหรับจิ้งหรีด 5 กรัม และ น้ำดื่มโดยโดยใช้ภาชนะใส่หิ้งก่อนกรวดขนาดเล็กและใส่น้ำวางไว้ ให้อาหารและน้ำดื่มทุกวัน

3) เมื่อจิ้งหรีดอายุ 2 สัปดาห์แยกจิ้งหรีดเพื่อลดความแออัดของจิ้งหรีด โดยกำหนด 1 กล่องต่อจิ้งหรีด 30 ตัว

3.4.1.3 การเพาะเลี้ยงหนอนนก (*T.molitor*)

1) นำพ่อแม่พันธุ์หนอนนก มาจากร้านขายอาหารสัตว์ใน ตำบลตลาด อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

2) ให้อาหารสำหรับแมลงเป็นอาหารปริมาณ 5 กรัม ปล่อยหนอนนกลงในอาหาร หลังจากนั้นหนอนจะมุดลงใต้อาหารและให้น้ำดื่มโดยโดยใช้ภาชนะใส่หิ้งก่อนกรวดขนาดเล็กและใส่น้ำวางไว้ ให้อาหารและน้ำดื่มทุกวัน

3) ระยะที่เป็นตัวหนอน จะลอกคราบประมาณ 13 ครั้ง จนกระทั่งโตเป็นหนอนระยะสุดท้าย พรอมเข้าสู่ระยะดักแด้ เมื่อหนอนเริ่มทยอยเป็นระยะดักแด้ แยกดักแด้ ออกทุกวัน

4) เมื่ออยู่ในระยะดักแด้ประมาณ 7-10 วัน จะลอกคราบเป็นแมลงตัวเต็มวัย เก็บแมลงตัวเต็มวัยใส่ภาชนะเลี้ยงเพื่อขยายพันธุ์ต่อไป

5) เมื่อแมลงตัวเต็มวัยผสมพันธุ์กันและพบว่ามีระยะตัวอ่อน (F_2) ให้แยกตัวอ่อน เพื่อร่อนนำไปใช้ในทดลองต่อไป

3.4.1.4 การเพาะเลี้ยงหนอนยักซ์ (*Z.morio*)

1) นำพ่อแม่พันธุ์หนอนยักซ์มาจากฟาร์มหนอนยักซ์อำเภอทับคล้อ จังหวัดพิจิตร

2) ให้อาหารไก่เป็นอาหารปริมาณ 5 กรัม ให้น้ำดื่มโดยโดยใช้ภาชนะใส่หิ้งก่อนกรวดขนาดเล็กและใส่น้ำวางไว้ ให้อาหารและน้ำดื่มทุกวัน

3) เมื่อแมลงตัวเต็มวัยผสมพันธุ์กันและพบว่ามีระยะตัวอ่อน (F_2) ให้แยกตัวอ่อน เพื่อร่อนนำไปใช้ในทดลองต่อไป

3.4.2 การเตรียมพลาสติก

3.4.2.1 พลาสติกชนิด PP ในที่นี้ใช้เป็นพลาสติกชนิดถุงร้อน พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และพลาสติกที่ใช้ผสมกับแป้งมัน น้ำหนัก 0.09 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.4.2.2 พลาสติกชนิด HDPE ในที่นี้ใช้เป็นพลาสติกชนิดถุงหิ้วสีขาวขุ่น พลาสติก น้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และพลาสติกที่ใช้ผสมกับแป้งมัน น้ำหนัก 0.09 กรัม ตัดขนาดเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.4.2.3 พลาสติกชนิด PSP ในที่นี้ใช้เป็นพลาสติกชนิดกล่องโพนบรรจุอาหารพลาสติก น้ำหนัก 0.1 กรัมต่อน้ำหนักเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และพลาสติกที่ใช้ผสมกับแป้งมัน น้ำหนัก 0.09 กรัมต่อน้ำหนักเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.4.2.4 หน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask วัสดุเป็นผ้า PP แบบไม่ทอ (non-woven fabric) พลาสติกน้ำหนัก 0.1 กรัมต่อน้ำหนักเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร และ พลาสติกที่ใช้ผสมกับแป้งมัน น้ำหนัก 0.09 กรัมต่อน้ำหนักเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

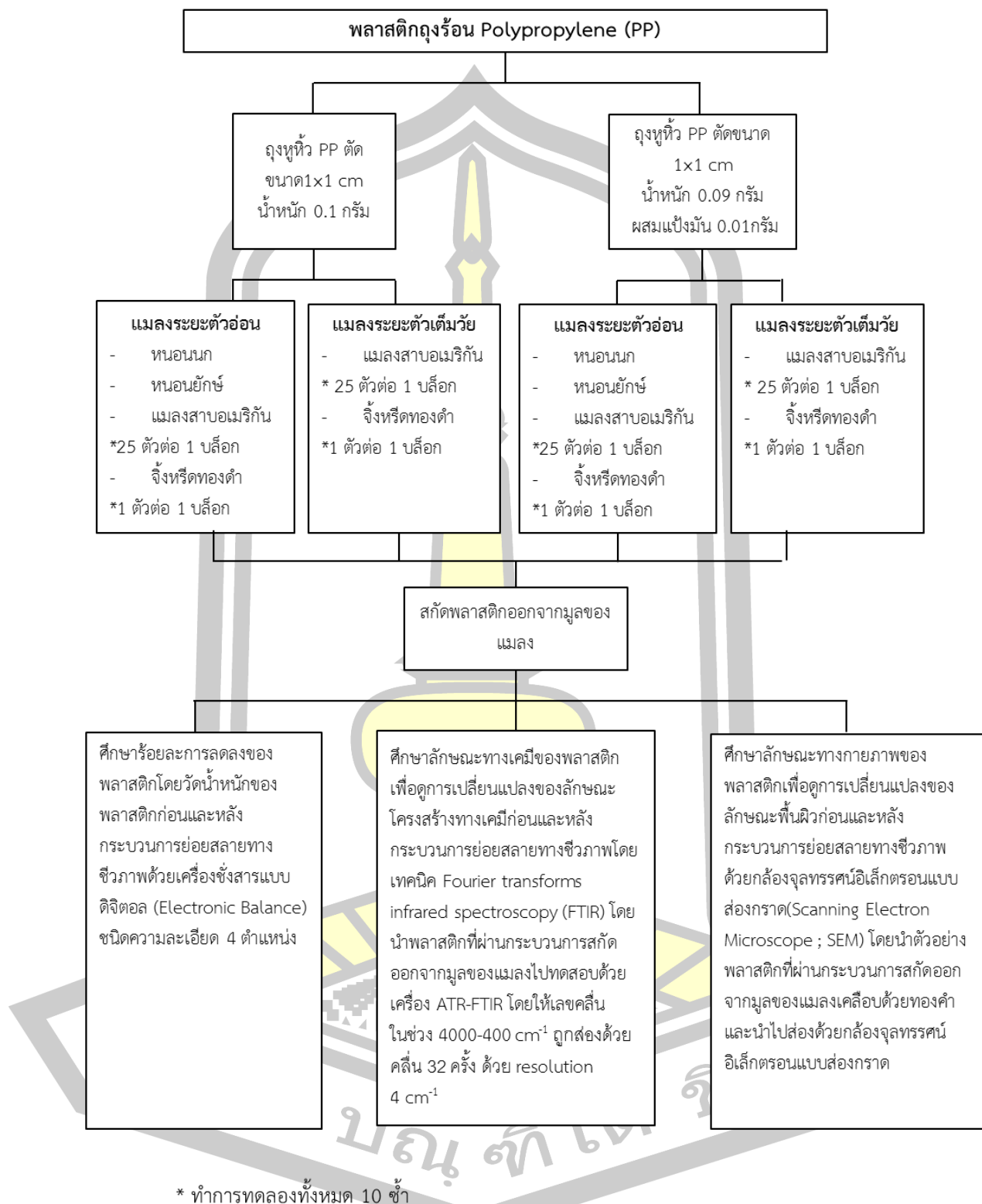
3.5.1 การศึกษาประสิทธิภาพการลดพลาสติกชนิด พลาสติกถุงร้อน (PP) พลาสติกถุงหิ้ว (HDPE) โพน (PSP) และหน้ากากอนามัย

3.5.1.1 ก่อนทำการทดลอง งดให้อาหารสัตว์ทดลอง 72 ชั่วโมงเนื่องจากแมลงมีการเก็บอาหารไว้ใน Crop แต่ยังไม่มีการให้น้ำเป็นปกติ จากนั้นจึงนำสัตว์ทดลองไปทำการทดลอง

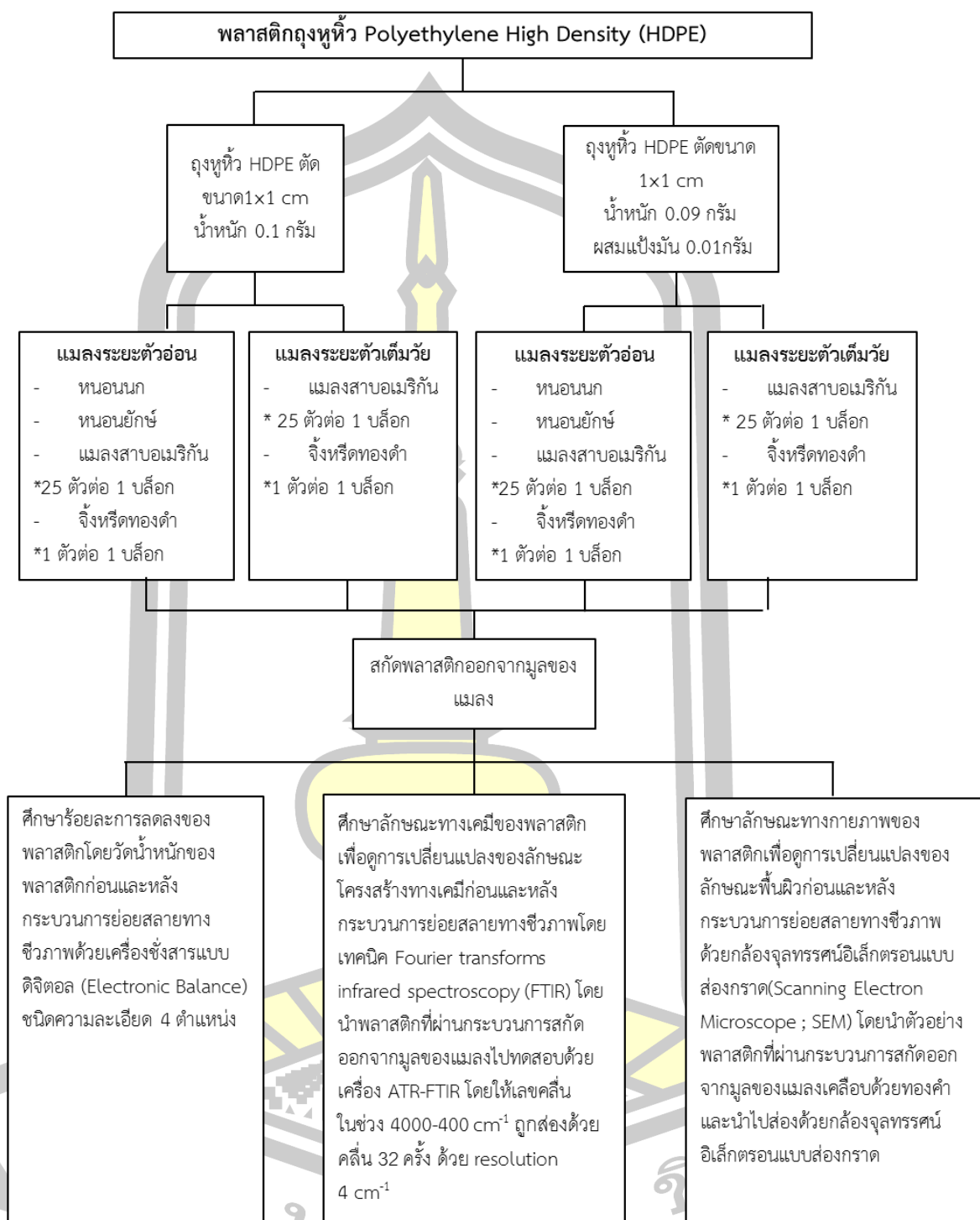
3.5.1.2 นำพลาสติกที่เตรียมไว้ใส่ลงในบีกเกอร์โดยแยกเป็นพลาสติก PP HDPE PSP และหน้ากากอนามัยโดยพลาสติกชั่งน้ำหนัก 0.1 กรัมต่อน้ำหนักเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตร ใส่พลาสติก 1 ชนิดต่อ 1 บีกเกอร์ และพลาสติก PP ผสมแป้งมัน HDPE ผสมแป้งมัน PSP ผสมแป้งมัน และหน้ากากอนามัยผสมแป้งมัน พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัมต่อน้ำหนักเท่าๆ กันประมาณ 1×1 เซนติเมตรผสมแป้งมัน น้ำหนัก 0.01 กรัมโดยใส่พลาสติก 1 ชนิดต่อ 1 บล็อก

3.5.1.3 หนอนนกและหนอนยักซ์ทดลองในระยะตัวอ่อน (Larva) อายุ 8 สัปดาห์ และแมลงสาบอเมริกัน ทดลองในระยะตัวอ่อน (Nymph) อายุอายุ 8 สัปดาห์ และระยะตัวเต็มวัย (Adult) อายุ 8 สัปดาห์ โดยสัตว์ทดลองที่ใส่ลงในแต่ละมีบล็อกจำนวนบล็อกละ 25 ตัวโดยมีขนาดลำตัวและ น้ำหนักใกล้เคียงกัน $\pm 5\%$ จิ้งหรีดทองดำ ทดลองในระยะตัวอ่อน (Nymph) อายุ 4 สัปดาห์ ระยะ ตัวเต็มวัย (Adult) อายุ 8 สัปดาห์ใส่ลงในแต่ละมีบล็อกจำนวนบล็อกละ 1 ตัวโดยมีขนาดลำตัวและ น้ำหนักใกล้เคียงกัน $\pm 5\%$

3.5.1.4 นำหนอนนกและหนอนยักซ์ในระยะตัวอ่อน (Larva) จิ้งหรีดทองดำจิ้งหรีด ทองแดงและแมลงสาบอเมริกัน ในระยะตัวอ่อน (Nymph) และระยะตัวเต็มวัย (Adult) ใส่บล็อกที่มี พลาสติกอยู่จำนวน 25 ตัวต่อ 1 บล็อกต่อพลาสติก 1 ชนิด ตั้งไว้ตั้งแต่ 09.00 น. – 09.00 น.เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นเก็บมูลทุก 24 ชั่วโมงดูพฤติกรรมการกินเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมงโดยใส่พลาสติกลง ไปเพียงครั้งเดียว ทำการทดลอง 10 ซ้ำแสดงดังแผนผังการทดลองในภาพประกอบที่ 19 – 22

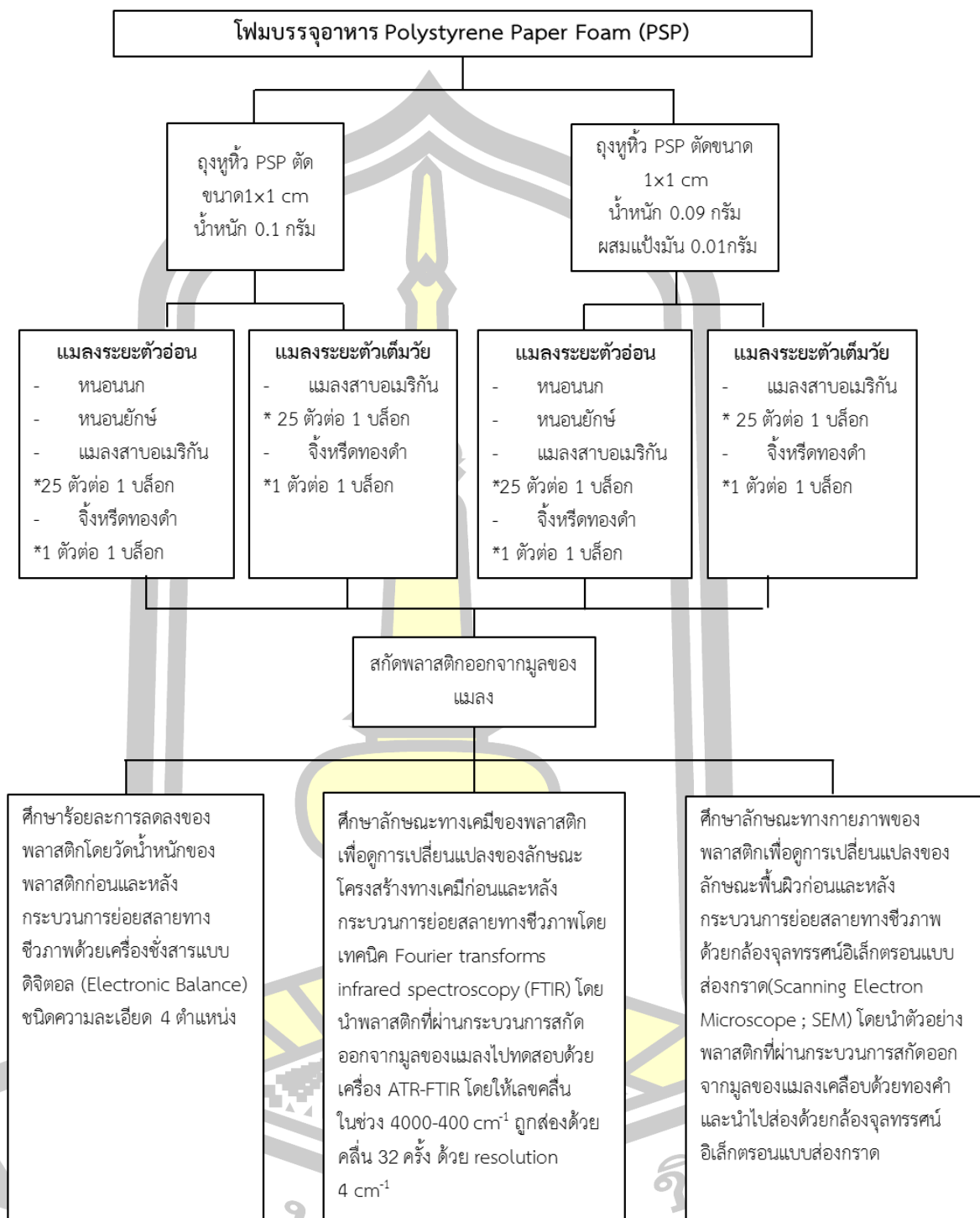


ภาพที่ 19 แผนผังการทดลองการย่อยพลาสติกถลุงร้อน PP



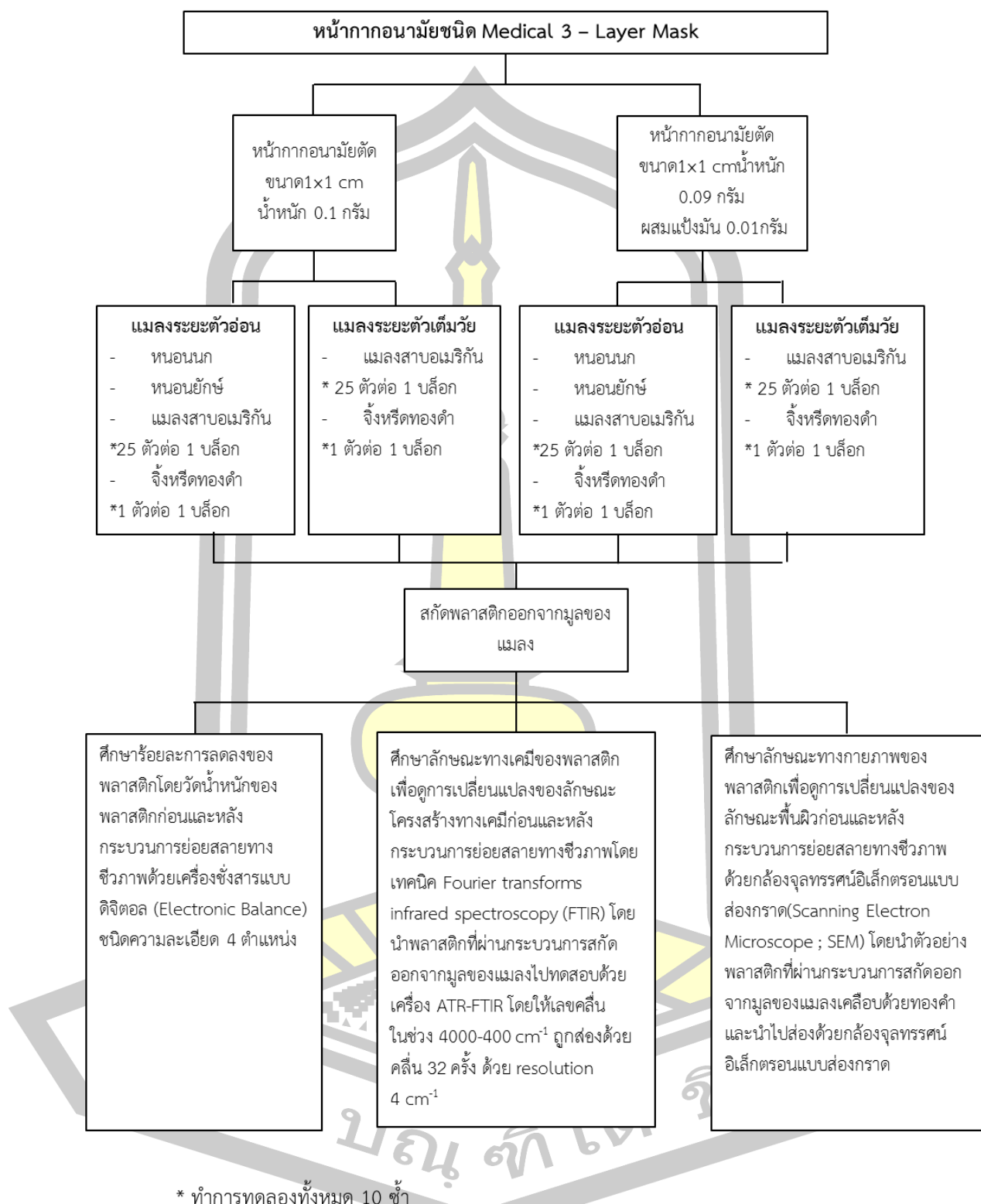
** ทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ

ภาพที่ 20 แผนผังการทดลองการย่อยพลาสติกถุงร้อน HDPE



* ทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ

ภาพที่ 21 แผนผังการทดลองการย่อยโฟมบรรจุอาหาร PSP



ภาพที่ 22 แผนผังการทดลองการย่อยหน้ากากอนามัย

3.5.1.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการกินพลาสติกของแมลงระหว่างพลาสติกเพียงอย่างเดียวกับพลาสติกผสมแป้งมัน

3.5.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแมลงในการย่อยพลาสติก

3.5.2.1 ศึกษาอัตราการลดลงของพลาสติกเพื่อวัดน้ำหนักของพลาสติกก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่ง

- 1) สกัดพลาสติกจากมูลของแมลงหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ
- 2) นำกระดาษกรองตัวอย่างและแผ่นพลาสติกอบแห้งให้สนิทที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใส่ในโถดูดความชื้นจนกระทั่งมวลแห้งคงที่
- 3) บันทึกมวลแห้งที่คงเหลือและคำนวณหาร้อยละของมวลที่หายไปด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Pan et al., 2009)

3.5.2.2 ขั้นตอนการสกัดพลาสติกออกจากมูลของแมลง

- 1) ขั้นตอนการเตรียม
 - (1) เก็บมูลของแมลงโดยใช้ Forceps ใส่ในปิเกอร์เป็นชุดการทดลอง
 - (2) ชั่งน้ำหนักของมูลด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่ง เพื่อคำนวณปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการสกัดพลาสติก
- 2) ขั้นตอนการสกัดพลาสติกออกจากมูลของแมลง
 - (1) นำมูลแมลงในแต่ละการทดลองใส่ในปิเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
 - (2) เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ($\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$) ตามน้ำหนักตัวอย่างในปิเกอร์ตามตาราง

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการย่อยตัวอย่าง			
น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)	NaOH (มิลลิลิตร)	HNO ₃ (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
<1	5	17.5	2.5
1 - 3	10	36	4
3 - 5	25	72	3
5 - 10	50	144	6
10 - 15	75	221	4

ให้ความร้อนโดยเตาให้ความร้อน (Hot Plate) ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 15 นาที เติมนิโตรเจน (HNO_3 65 %) และน้ำกลั่นปริมาณตามตารางที่อุณหภูมิ 50 °C อีก 15 นาที

(3) นำตัวอย่างที่เจือจางแล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองรูพรุนขนาด 2.5 ไมโครเมตรด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ กลั้วบีกเกอร์ที่มีตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

(4) ปลอ่ยกระดาษกรองให้แห้งในอุณหภูมิห้อง

(5) นำกระดาษกรองใส่ในบีกเกอร์ เติมนโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 20 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาที

(6) เจือจางด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที

(7) กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองกระดาษกรองขนาด 1.2 (μm) ไมโครเมตร (GF/C) โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ

(10) จากนั้นนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

(11) นำตัวอย่างไปวิเคราะห์

3.5.2.2 ศึกษาลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

1) สกัดพลาสติกจากมูลของแมลงหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

2) นำแผ่นพลาสติก (Control) และพลาสติกที่ถูกสกัดออกจากมูลแมลงหลังถูกย่อยสลายทางชีวภาพ เคลือบด้วยทองคำ

3) นำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทำการบันทึกภาพเพื่อดูลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้การย่อยสลายทางชีวภาพ

3.5.2.3 ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างทางเคมีก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเทคนิค Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR)

1) สกัดพลาสติกจากมูลของแมลงหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

2) นำพลาสติกที่ผ่านกระบวนการสกัดออกจากมูลของแมลงอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) นำแผ่นพลาสติก (control) และพลาสติกที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพทดสอบด้วยเครื่อง FTIR โดยให้เลขคลื่นในช่วง $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ รายงานผลเป็นกราฟอินฟราเรดสเปกตรัมซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างความถี่ (เลขคลื่น, cm^{-1}) และ % Transmittance (T) (Roy et al., 2005)

4) ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางเคมีก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

3.5.3 การตรวจสอบพลาสติกตกค้างในตัวแมลง

3.5.3.1 การเตรียมตัวอย่างแมลงโดยทำให้แมลงตายอย่างรวดเร็วด้วยความเย็นอุณหภูมิ -80°C

3.5.3.2 ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นก่อนนำไปสกัดพลาสติก

3.5.3.3 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ($\text{NaOH } 1 \text{ mol L}^{-1}$) ตามน้ำหนักตัวอย่างในปีเกอร์ตามตาราง

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการย่อยตัวอย่าง			
น้ำหนักของ ตัวอย่าง (กรัม)	NaOH (มิลลิลิตร)	HNO ₃ (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
<1	5	17.5	2.5
1 - 3	10	36	4
3 - 5	25	72	3
5 - 10	50	144	6
10 - 15	75	221	4

ให้ความร้อนโดยเตาให้ความร้อน (Hot Plate) ที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 15 นาที เติมกรดไนตริก (HNO_3 65 %) และน้ำกลั่นปริมาณตามตารางที่อุณหภูมิ 50°C อีก 15 นาที

3.4.3.4 นำตัวอย่างที่เจือจางแล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรองรูปวงรีขนาด 2.5 ไมโครเมตรด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ กรอว์ปีเกอร์ที่มีตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

3.4.3.5 ปลอ่ยกระดาษกรองให้แห้งในอุณหภูมิห้อง

3.4.3.6 นำกระดาษกรองใส่ในปีเกอร์ เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 20 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อนเป็นเวลา 5 นาทีเจือจางด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที

3.4.3.7 กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองกระดาษกรองขนาด $1.2 (\mu\text{m})$ ไมโครเมตร (GF/C) โดยใช้เครื่องกรองสุญญากาศ

3.4.3.8 จากนั้นนำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.4.3.9 นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาไมโครพลาสติกต่อไป โดยนำแผ่นกระดาษกรองที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อจำแนกไมโครพลาสติกโดยใช้กล้อง Zoom Stereo Microscope 3 ตา กระบวนการสกัดพลาสติกออกจากมวลของแมลงไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวพลาสติก

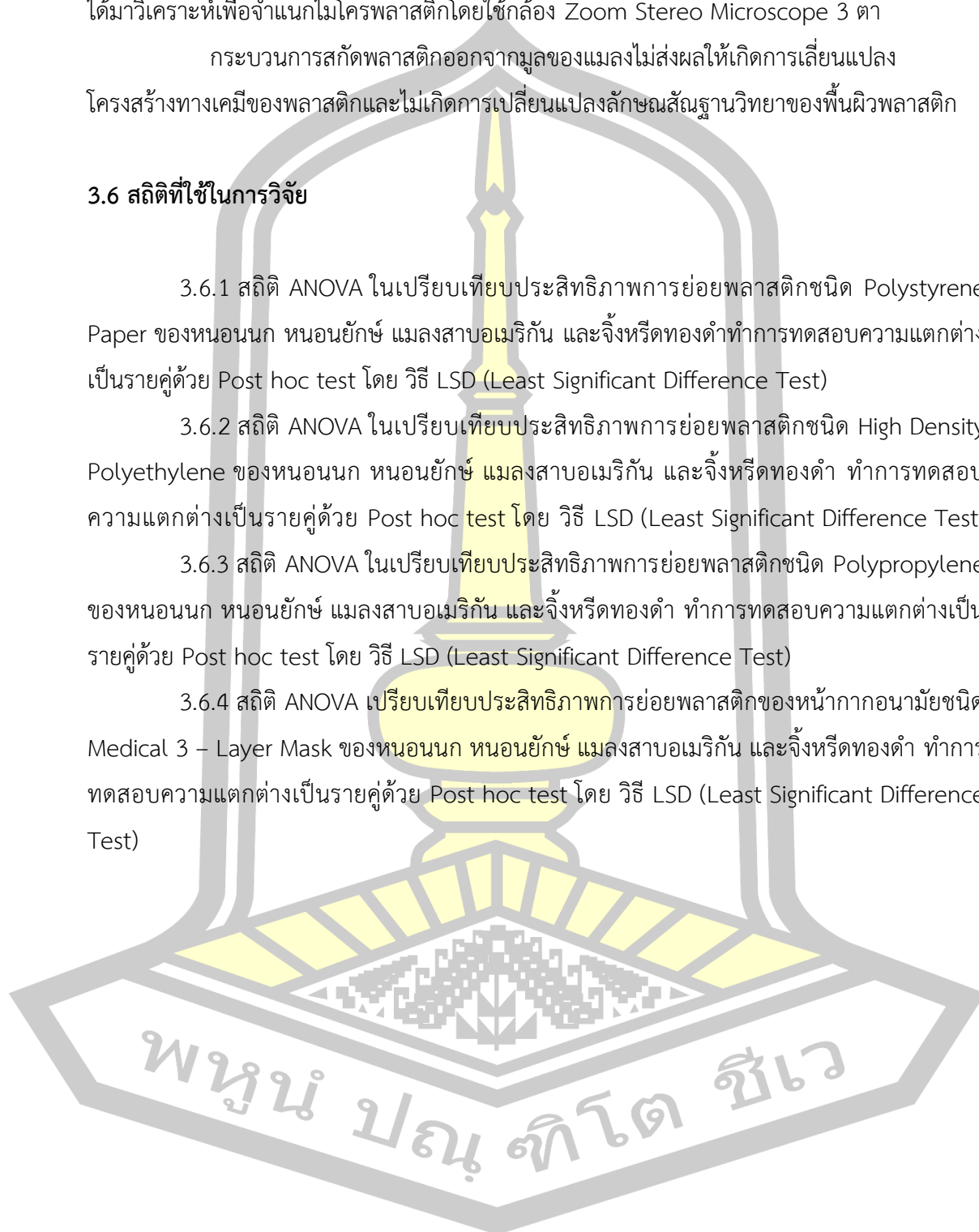
3.6 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.6.1 สถิติ ANOVA ในเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกชนิด Polystyrene Paper ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำทำการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วย Post hoc test โดย วิธี LSD (Least Significant Difference Test)

3.6.2 สถิติ ANOVA ในเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกชนิด High Density Polyethylene ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ ทำการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วย Post hoc test โดย วิธี LSD (Least Significant Difference Test)

3.6.3 สถิติ ANOVA ในเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกชนิด Polypropylene ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ ทำการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วย Post hoc test โดย วิธี LSD (Least Significant Difference Test)

3.6.4 สถิติ ANOVA เปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกของหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask ของหนอนนก หนอนยักษ์ แมลงสาบอเมริกัน และจิ้งหรีดทองดำ ทำการทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่ด้วย Post hoc test โดย วิธี LSD (Least Significant Difference Test)



บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่องการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัยโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบเชิงทดลอง (Experimental Research) ในศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกชนิดถนุร้อน (PP) พลาสติกถนุหั่ว (HDPE) โฟม (PSP) และหน้ากากอนามัย (Mask) โดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว ได้แก่ตัวอ่อนของหนอนนก หนอนยักซ์แมลงสาบอเมริกัน จิ้งหรีดทองดำและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันและจิ้งหรีดทองดำ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดลงของพลาสติกแต่ละชนิดก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำ โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์ตามลำดับดังนี้

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล

4.2 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

4.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในการสื่อความหมายผู้วิจัยได้กำหนดความหมายของสัญลักษณ์ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

Mean แทน ค่าเฉลี่ย

SD. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

MD แทน ค่าของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่ม (Mean Difference)

F แทน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA

p-value แทน ระดับนัยสำคัญทางสถิติ ที่ 0.05

4.2 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและผลการทดลองประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัยดังนี้

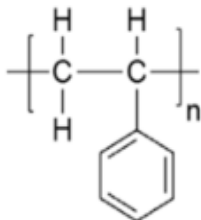
- 4.2.1 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PSP
 - 4.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ PSP
 - 4.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PSP
 - 4.2.1.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP
- 4.2.2 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก HDPE
 - 4.2.2.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ HDPE
 - 4.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ HDPE
 - 4.2.2.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติกของ HDPE
- 4.2.3 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PP
 - 4.2.3.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ PP
 - 4.2.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ PP
 - 4.2.3.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติกของ PP
- 4.2.4 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำกากอเนามัย
 - 4.2.4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของน้ำกากอเนามัย
 - 4.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของน้ำกากอเนามัย
 - 4.2.4.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติกของน้ำกากอเนามัย

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

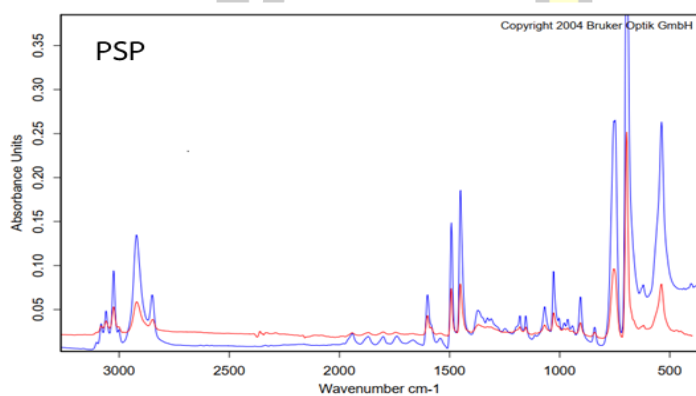
4.3.1 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PSP

จากการนำตัวอย่างของพลาสติกหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดลองแสดงในรูปแบบสเปกตรัม โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่าง % Absorbance และเลขคลื่น (cm^{-1}) โดยก่อนการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Library Search ของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น INVENIO-S Internal Transmission RT-DLaTGS ประเทศ Germany พบว่า โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP (แสดงดังภาพที่ 24) เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) พลาสติก PSP มีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_8\text{H}_8)_n$ (แสดงดังภาพที่ 23) และเมื่อนำพลาสติก PSP กลุ่มควบคุม (ไม่ผ่านการย่อยโดยแมลง) แต่ละชนิดนำเข้าสู่กระบวนการสกัดพลาสติก เพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก หลังกระบวนการสกัดพลาสติกพบว่าในกระบวนการสกัดพลาสติกไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพลาสติกในกลุ่มควบคุม (ในสเปกตรัมไม่ปรากฏ peak ใหม่) แสดงดังภาพที่ 25

PSP



ภาพที่ 23 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP
(ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2527)

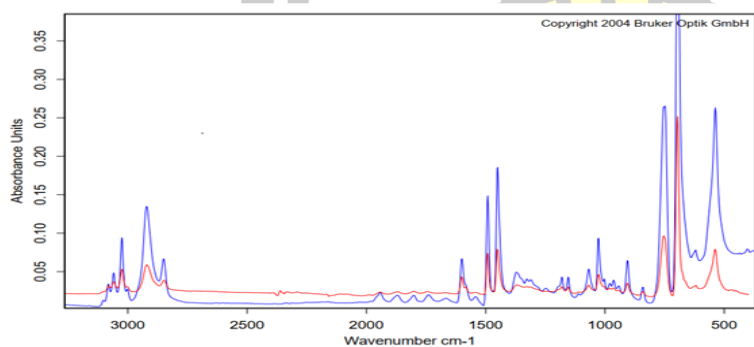


■ Polystyrene (PS)
■ ControlPSP

A

Polymer Classification	Polystyrene (PS)
Trade Name	Polystyrol 165 H
Manufacturer	BASF AG
Melting Point	Melt Temperature Range: 180 - 280 C
Density	1050 kg/m3
Colour	clear
Chemical / Physical Description	Polystyrol 165 H is a high molecular weight, good
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr

ภาพที่ 24 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติกก่อนการทดลองกลุ่มควบคุมเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของ
เครื่อง FTIR พลาสติก PSP



■ Polystyrene (PS)
■ ControlPSP

A

Polymer Classification	Polystyrene (PS)
Trade Name	Polystyrol 165 H
Manufacturer	BASF AG
Melting Point	Melt Temperature Range: 180 - 280 C
Density	1050 kg/m3
Colour	clear
Chemical / Physical Description	Polystyrol 165 H is a high molecular weight, good
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr

ภาพที่ 25 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP กลุ่มควบคุมหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก
เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR

4.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกชนิดโพลีสำหรับ

บรรจุอาหาร PSP

จากการนำตัวอย่างของพลาสติกชนิดโพลีสำหรับบรรจุอาหาร PSP หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนนกมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1650 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิลและมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 3336 cm^{-1} (O-H) และที่ช่วงความถี่ 3600 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลดังภาพที่ 26B

จากตัวอย่างพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายของหนอนยักษ์พบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1650 cm^{-1} (C=O) และ 1702.85 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิลและมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 3380.56 cm^{-1} (O-H) และที่ช่วงความถี่ 3600 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลดังภาพที่ 26C

จากตัวอย่างพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายโดยตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันพบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1650 cm^{-1} (C=O) และ 1770.01 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิล และมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) 3336.28 cm^{-1} (O-H) และที่ช่วงความถี่ 3644 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลดังภาพที่ 26D

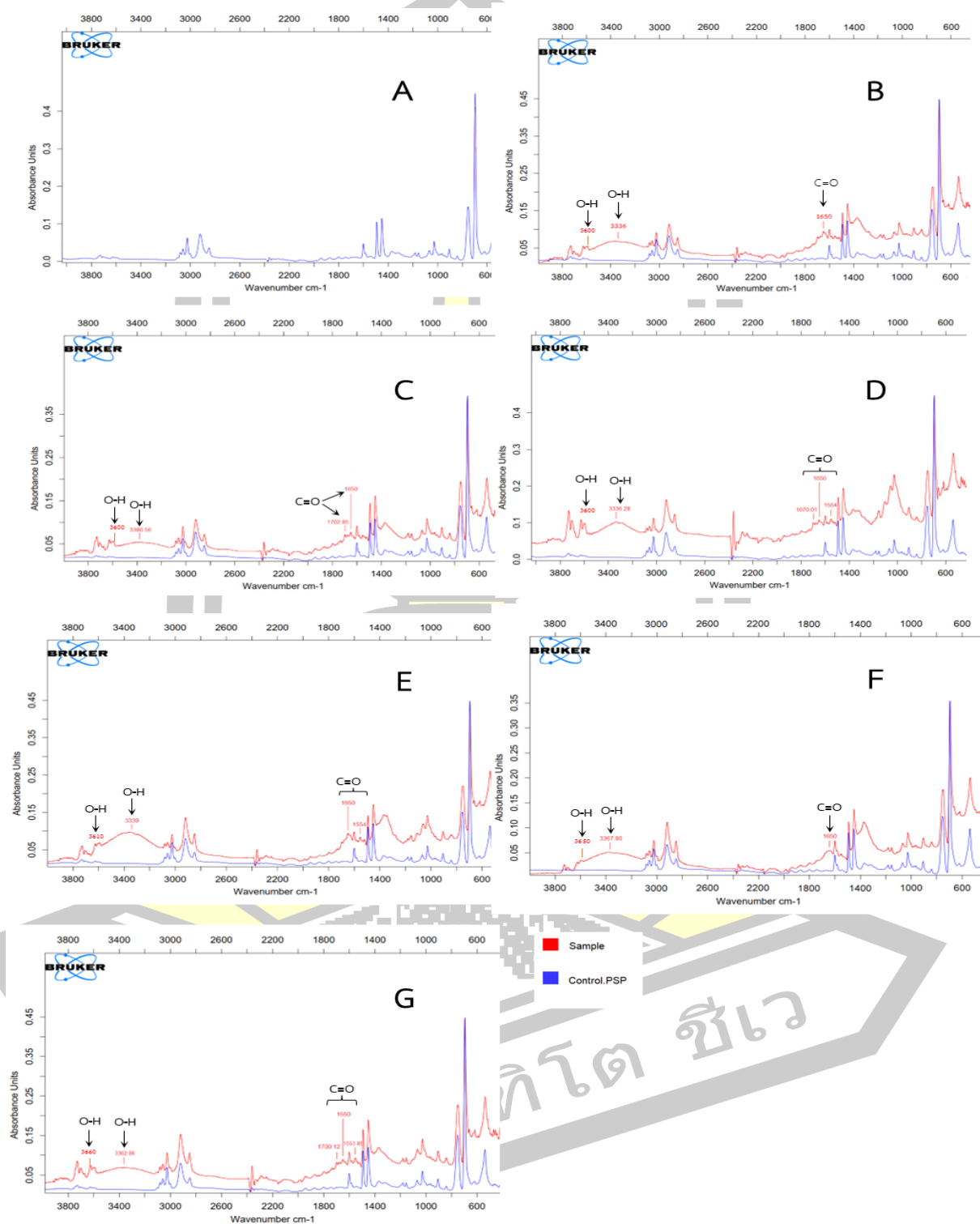
จากตัวอย่างพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายโดยตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันพบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1650 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิลและมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) 3339 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลดังภาพที่ 26E

จากตัวอย่างพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายโดยตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำพบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1650 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิล และมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 3367.80 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลดังภาพที่ 26F

จากตัวอย่างพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายโดยตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำพบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1650 cm^{-1} (C=O) และ 1700.12 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิลและมีการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 3362.86 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิล ดังภาพที่ 26G

เส้นสีน้ำเงินแสดงสเปกตรัมของพลาสติก PSP ก่อนการย่อยสลายและเส้นสีแดงแสดงสเปกตรัมของพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายโดยแมลงแต่ละชนิด จากผลการนำพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค

FTIR พบว่ามีการปรากฏหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลและไฮดรอกซิลแสดงให้เห็นถึงการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของ PSP ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 สเปกตรัมของ PSP หลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด

พลาสติกกลุ่มควบคุม (A) หนอนนก (B) หนอนยักษ์ (C) ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน (D) ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน (E) ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองคำ (F) ตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองคำ (G) โดยเส้นสีน้ำเงินแสดงสเปกตรัมของ PSP ก่อนการย่อยสลาย และ PSP เส้นสีแดงแสดงสเปกตรัมของ PSP หลังการย่อยสลายโดยแมลงแต่ละชนิดและลูกศรแสดง peak ใหม่ที่ปรากฏ

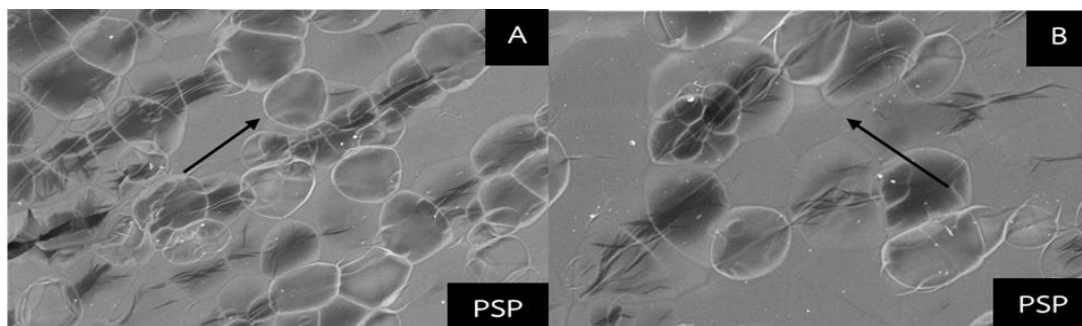
4.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PSP

จากการนำตัวอย่างของพลาสติกหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ยี่ห้อ HITACHI รุ่น TM 4000 PLUS) และเคลือบพื้นผิวตัวอย่างด้วยทองคำดังแสดงในรูปที่ 27



ภาพที่ 27 การเคลือบพื้นผิวตัวอย่างพลาสติกหลักการย่อยสลายทางชีวภาพก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

จากการนำพลาสติก PSP กลุ่มควบคุม (ไม่ผ่านการย่อยโดยแมลง) นำเข้าสู่กระบวนการสกัดพลาสติกเพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังกระบวนการสกัดพลาสติกเปรียบเทียบกับพลาสติกกลุ่มควบคุม ที่ไม่ผ่านกระบวนการสกัดพลาสติกพบว่า กระบวนการสกัดพลาสติกไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกดังภาพที่ 28

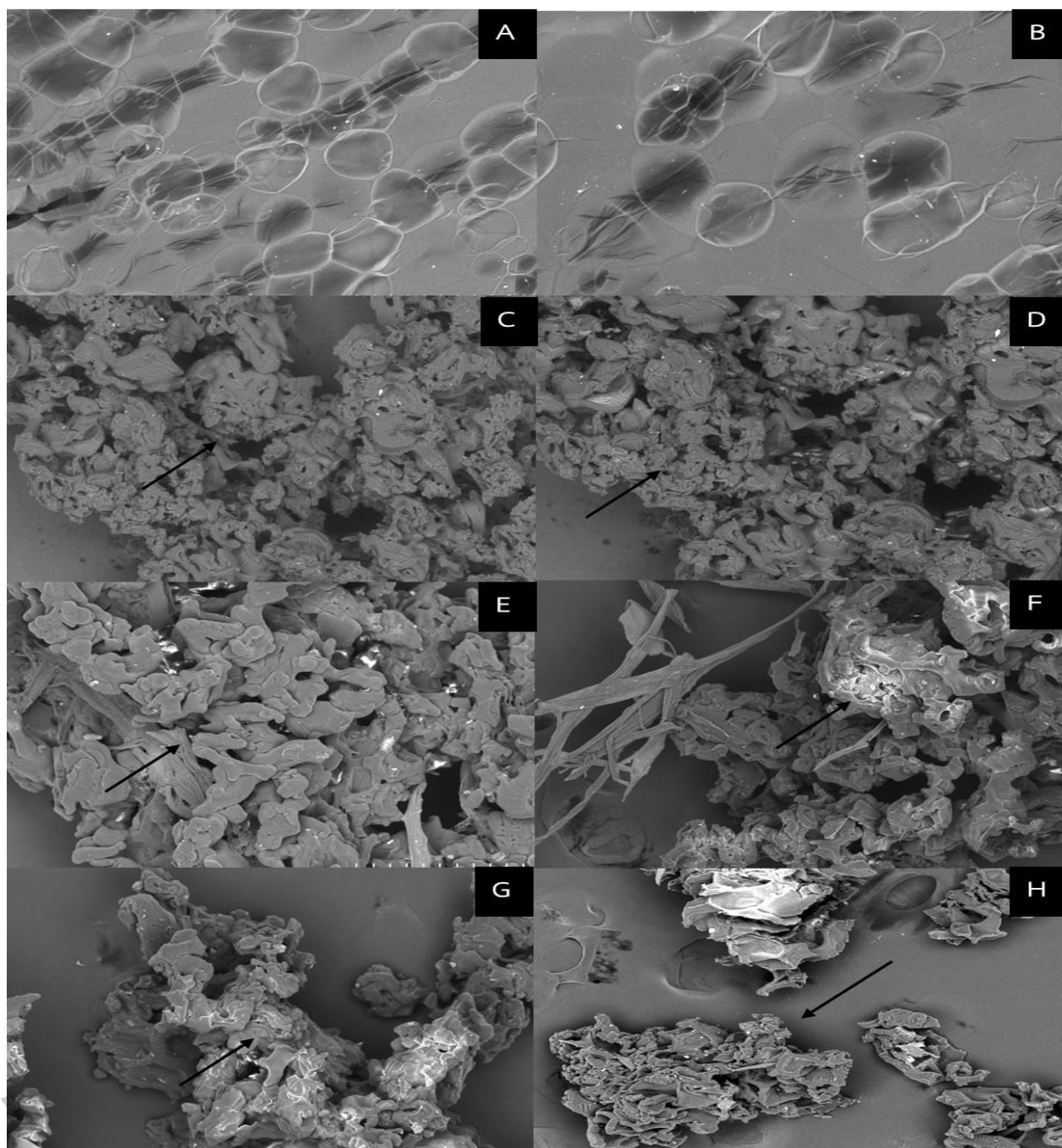


ภาพที่ 28 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกพลาสติก PSP

พลาสติก A คือพลาสติก PSP กลุ่มควบคุม

B คือพลาสติก PSP ที่ผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก

จากการนำตัวอย่างของพลาสติก PSP หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้เครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ PSP ก่อนการทดลองมีลักษณะพื้นผิวเรียบมีการเรียงตัวกันของเม็ดพลาสติกตามลูกศรดังภาพที่ 29A ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ PSP หลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติกมีลักษณะพื้นผิวไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากก่อนกระบวนการสกัดพลาสติกดังภาพที่ 29B จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนนกแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างดังภาพที่ 29C จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนยักษ์แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างดังภาพที่ 29D จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างดังภาพที่ 29E จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างดังภาพที่ 29F จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างดังภาพที่ 29G จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างดังภาพที่ 29H จากผลการนำพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดผ่านการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยเครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการทดลองมีลักษณะผิวขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด

A คือ PSP กลุ่มควบคุม B คือ PSP หลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก พลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายโดยหนอนนก (C) หนอนยักซ์ (D) ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน (E) ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน (F) ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองคำ (G) และตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองคำ (H) ลูกศรแสดงรูพรุนและพื้นผิวที่ขรุขระ

4.3.1.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

ตารางที่ 2 แสดงน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพจากการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PSP พบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0079 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0078) รองลงมาคือตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0678 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0072) และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0768 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0083) ในส่วนของพลาสติก PSP ผสมแป้งพบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0046 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0027) รองลงมาคือหนอนนกมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0368 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0050) และตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0628 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0070)

ตารางที่ 2 น้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ (g)

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	น้ำหนัก PSP (g)		น้ำหนัก PSP ผสมแป้ง (g)	
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
หนอนนก	0.1±0.0	0.0684±0.0078	0.1±0.0	0.0368±0.0050
หนอนยักษ์	0.1±0.0	0.0079±0.0028	0.1±0.0	0.0046±0.0027
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0768±0.0083	0.1±0.0	0.0592±0.0082
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0678±0.0072	0.1±0.0	0.0465±0.0062
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0736±0.0115	0.1±0.0	0.0628±0.0070
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0714±0.0084	0.1±0.0	0.0565±0.0065

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพจากการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PSP พบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 92.10 รองลงมาคือตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 32.17 และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 23.24 ในส่วนของพลาสติก PSP ผสมแป้งพบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 95.45

รองลงมาคือหนอนนกมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 59.15 และตัวอ่อนของ จิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 30.20

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP ระหว่าง PSP และ PSP ผสมแป้งพบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 31.58 (SD. เท่ากับ 7.75) และมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการ ลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 59.15 (SD. เท่ากับ 5.57) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของ น้ำหนัก PSP ผสมแป้งมากกว่า PSP ร้อยละ 27.57 มีค่า F-test เท่ากับ 83.33 เมื่อทดสอบความ แตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของ PSP และ PSP ผสมแป้งแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.000$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP ระหว่าง PSP และ PSP ผสมแป้งพบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก เท่ากับร้อยละ 92.10 (SD. เท่ากับ 2.79) และมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อย ละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 95.45 (SD. เท่ากับ 2.70) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลง ของน้ำหนัก PSP ผสมแป้งมากกว่า PSP ร้อยละ 3.35 มีค่า F-test เท่ากับ 7.44 เมื่อทดสอบความ แตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.014$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP ระหว่าง PSP และ PSP ผสมแป้งพบว่าตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการ ลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 23.24 (SD. เท่ากับ 8.32) และมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP ผสม แป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 34.22 (SD. เท่ากับ 9.10) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ย ร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP ผสมแป้งมากกว่า PSP ร้อยละ 10.98 มีค่า F-test เท่ากับ 7.93 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสม แป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.011$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP ระหว่าง PSP และ PSP ผสมแป้งพบว่าตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการ ลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 32.17 (SD. เท่ากับ 7.22) และมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP ผสม แป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 48.38 (SD. เท่ากับ 6.84) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ย ร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP ผสมแป้งมากกว่า PSP ร้อยละ 16.21 มีค่า F-test เท่ากับ 26.57 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสม แป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP ระหว่าง PSP และ PSP ผสมแปรงพบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 26.44 (SD. เท่ากับ 11.47) และมีประสิทธิภาพในการย่อยPSPผสมแปรงมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 30.20 (SD. เท่ากับ 7.78) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP ผสมแปรงมากกว่า PSP ร้อยละ 3.76 มีค่า F-test เท่ากับ 0.74 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแปรงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.402$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PSP ระหว่าง PSP และ PSP ผสมแปรงพบว่าตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 28.56 (SD. เท่ากับ 8.35) และมีประสิทธิภาพในการย่อยPSPผสมแปรงมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 37.23 (SD. เท่ากับ 7.21) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP ผสมแปรงมากกว่า PSP 8.67 มีค่า F-test เท่ากับ 6.18 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแปรงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.023$)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแปรงหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	PSP	PSP ผสมแปรง	MD	F	p-value
	Mean±SD.	Mean±SD.			
หนอนนก	31.58 ±7.75	59.15±5.57	27.57	83.33	<0.001*
หนอนยักซ์	92.10±2.79	95.45±2.70	3.35	7.44	0.014*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	23.24±8.32	34.22±9.10	10.98	7.93	0.011*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	32.17±7.22	48.38±6.84	16.21	26.57	<0.001*
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	26.44±11.47	30.20±7.78	3.76	0.74	0.402
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	28.56±8.35	37.23±7.21	8.67	6.18	0.023*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแปรงในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติก PSP พบว่า

หนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP แตกต่างกับหนอนยักษ์และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.025$) ตามลำดับและพบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP ผสมแป้งแตกต่างจากแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

หนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP แตกต่างกับแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และพบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP ผสมแป้งแตกต่างจากแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP แตกต่างกับตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.017$) และพบว่าตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP ผสมแป้ง PSP แตกต่างกับตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย PSP ผสมแป้งแตกต่างกับตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.001$) ตามลำดับ



ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแบ่งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

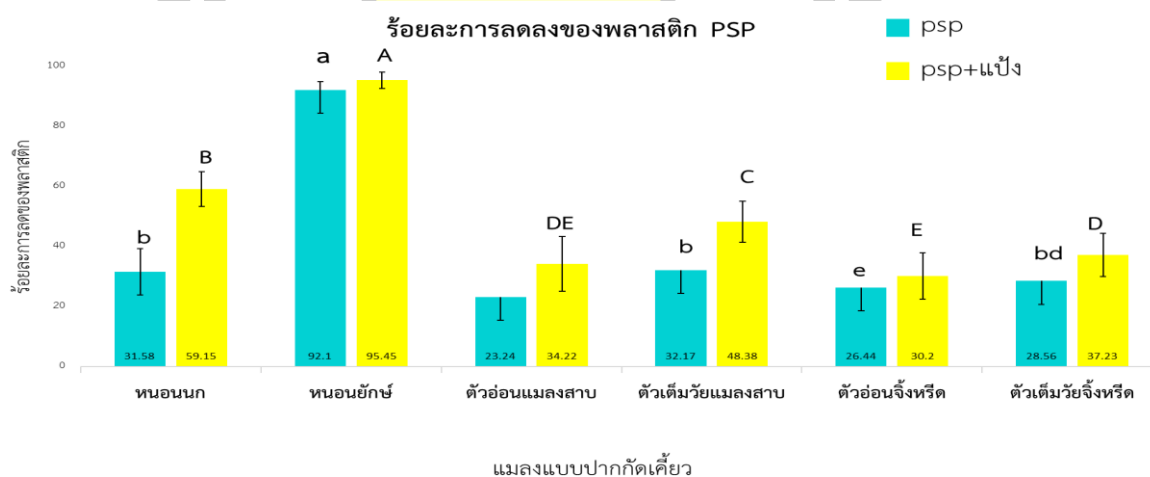
แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	PSP		PSP ผสมแบ่ง	
		MD	p-value	MD	p-value
หนอนนก	หนอนยักษ์	60.52	<0.001*	36.30	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	8.34	0.025*	24.93	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.59	0.871	10.78	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	5.14	0.160	28.95	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	3.02	0.406	21.92	<0.001*
หนอนยักษ์	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	68.86	<0.001*	61.23	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	59.93	<0.001*	47.07	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	65.66	<0.001*	65.25	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	63.54	<0.001*	58.22	<0.001*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	8.93	0.017*	14.16	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	3.20	0.379	4.02	0.194
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	5.32	0.146	3.01	0.329

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PSP และ PSP ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด (ต่อ)

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	PSP		PSP ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	5.73	0.118	18.18	<0.001*
	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	3.61	0.322	11.15	0.001*
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	2.12	0.559	-7.03	0.025*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การเปรียบเทียบร้อยละลดลงของน้ำหนักพลาสติก PSP โดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดพบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติก PSP ได้ดีกว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวชนิดอื่นดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติกและพลาสติกผสมแป้งระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

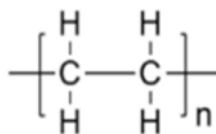
โดยตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างทางสถิติของ PSP และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างทางสถิติของ PSP ผสมแป้ง

4.3.2 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก HDPE

4.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE

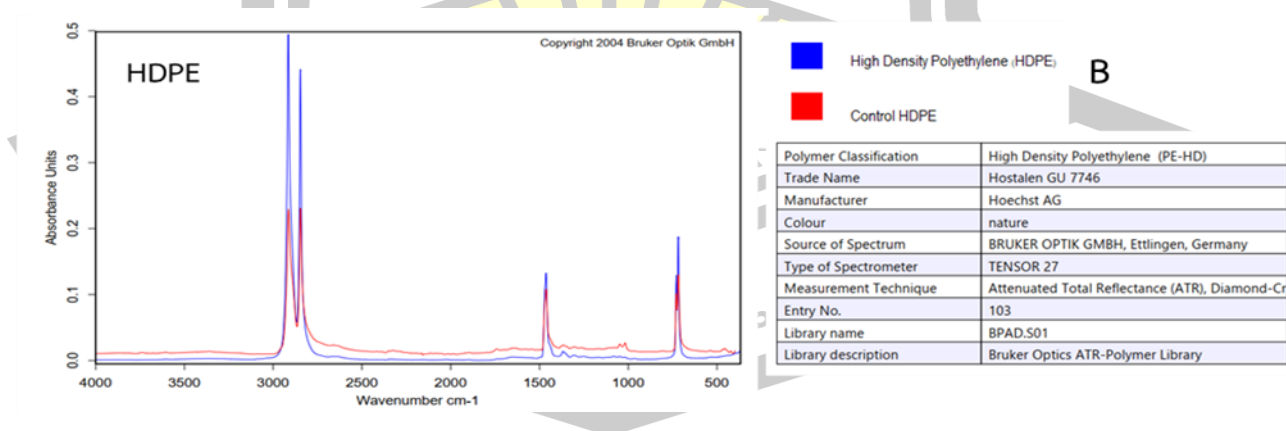
จากการนำตัวอย่างของพลาสติกหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดลองแสดงในรูปแบบสเปกตรัม โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่าง % Absorbance และเลขคลื่น (cm^{-1}) โดยก่อนการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Library Search ของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น INVENIO-S Internal Transmission RT-DLaTGS ประเทศ Germany พบว่า โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE แสดงดังภาพที่ 31 เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) พลาสติกชนิดถุงหิ้ว HDPE มีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_2\text{H}_2)_n$ ดังแสดงในภาพ 32 และพบว่ากระบวนการสกัดพลาสติกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE ดังแสดงในภาพที่ 33

HDPE

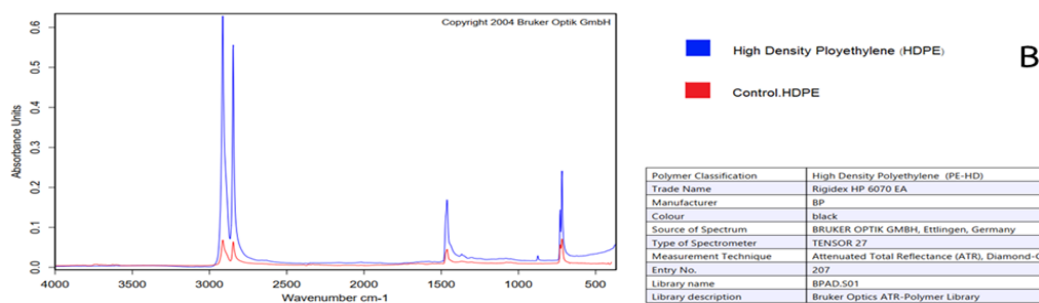


ภาพที่ 31 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE

(ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2527)



ภาพที่ 32 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE ก่อนการทดลองของกลุ่มควบคุมเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR



ภาพที่ 33 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE กลุ่มควบคุมหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก
เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR

จากการนำตัวอย่างของพลาสติกชนิดถุงหิ้ว HDPE หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนนกมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1175 cm^{-1} (C-O), 1274.86 cm^{-1} (C-O), 1525 cm^{-1} (C=O), 1712.87 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิล การสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1630.11 cm^{-1} (C=C) ของหมู่แอลคีน (Alkenes) และการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 3272.82 cm^{-1} (O-H) และ 3600 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิล ดังภาพที่ 34B

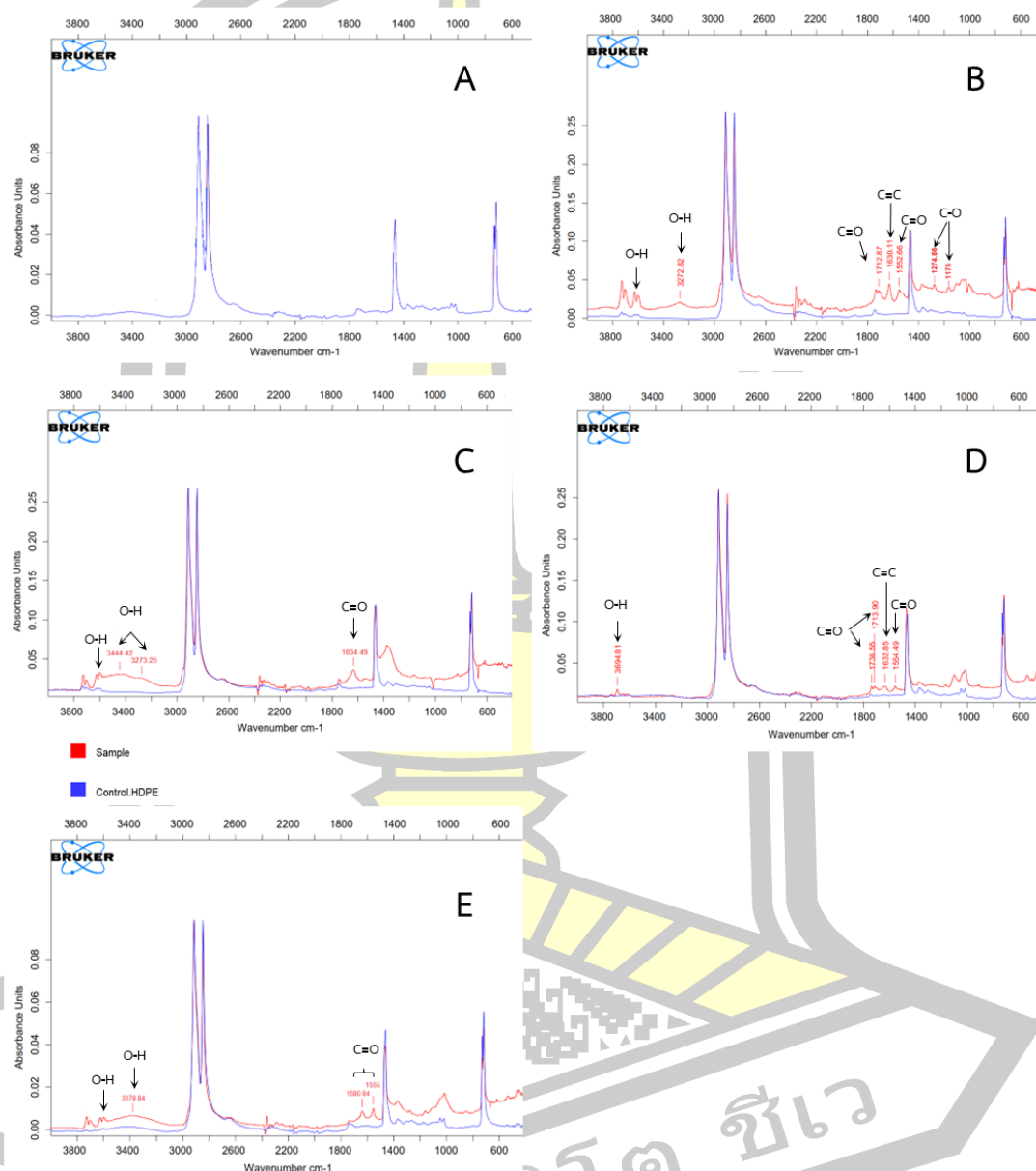
จากตัวอย่างของพลาสติก HDPE หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพของหนอนยักษ์ พบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1634.49 cm^{-1} (C=C) ของหมู่แอลคีน และการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 3273.25 cm^{-1} (O-H) และ 3444.42 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิล ดังภาพที่ 34C

จากตัวอย่างของพลาสติก HDPE หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำพบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ และการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1632.85 cm^{-1} (C=C) ของหมู่แอลคีน การสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1712.87 cm^{-1} (C=O), 1736.55 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิล และ 3694.81 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลดังภาพที่ 34D

จากตัวอย่างของพลาสติก HDPE หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำพบว่าปรากฏ peak ใหม่ที่สำคัญ คือการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ที่ช่วงความถี่ 1680.41 cm^{-1} (C=O) ของหมู่คาร์บอนิล และ 3378.84 cm^{-1} (O-H) และ 3610 cm^{-1} (O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิล ดังภาพที่ 34E

ในส่วนผลของสเปกตรัมของ HDPE หลังการย่อยสลายโดยตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันไม่สามารถแสดงได้เนื่องจากตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันไม่กัดกินพลาสติก ภาพที่ 34 สีน้าเงินแสดงสเปกตรัมของ

พลาสติก HDPE ก่อนการย่อยสลายและเส้นสีแดงแสดงสเปกตรัมของพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายโดยแมลงแต่ละชนิด จากผลการนำพลาสติก HDPE หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดผ่านการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบว่ามีการปรากฏหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลและไฮดรอกซิลแสดงให้เห็นถึงการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของ HDPE ดังแสดงในภาพที่ 34



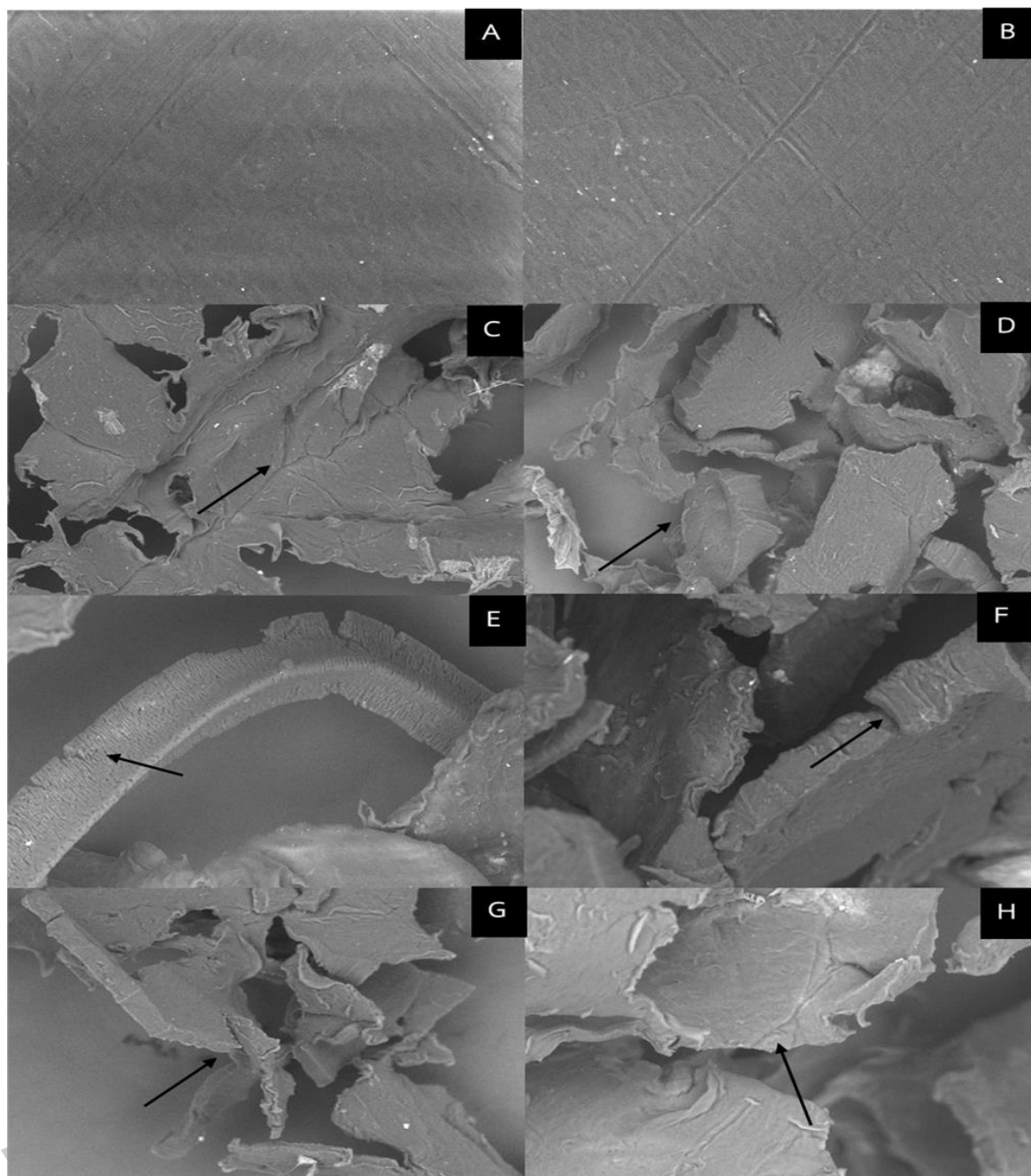
ภาพที่ 34 สเปกตรัมของ HDPE หลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด

พลาสติกกลุ่มควบคุม (A) หนอนนก (B) หนอนยักษ์ (C) ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำ (D) ตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำ (E) โดยเส้นสีน้ำเงินแสดงสเปกตรัมของ HDPE ก่อนการย่อยสลาย และ HDPE เส้นสีแดงแสดงสเปกตรัมของ HDPE หลังการย่อยสลายโดยแมลงแต่ละชนิดและถูกตรวจพบ peak ใหม่ที่ปรากฏ

4.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชนิด HDPE

จากการนำตัวอย่างของพลาสติก HDPE หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้เครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ HDPE ก่อนการทดลองมีลักษณะพื้นผิวเรียบดังภาพที่ 35A ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ HDPE หลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติกมีลักษณะพื้นผิวไม่เปลี่ยนแปลงจากก่อนกระบวนการสกัดพลาสติกดังภาพที่ 35B จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนนกแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระ และมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างดังภาพที่ 35C จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนยักษ์แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระ และมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างดังภาพที่ 35D จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระ เป็นรูพรุนและมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างดังภาพที่ 35E จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระและมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างดังภาพที่ 35F จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระ และมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างดังภาพที่ 135G จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำตัวแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะขรุขระ และมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างดังภาพที่ 35H จากผลการนำพลาสติก HDPE หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดผ่านการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยเครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการทดลองมีลักษณะผิวขรุขระและมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันของตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก HDPE หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวดังภาพที่ 35

พญนุ ปณ จิตโต ชีเว



ภาพที่ 35 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิด

A คือ HDPE กลุ่มควบคุม B คือ HDPE หลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก พลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายโดย หนอนนก (C) หนอนยักซ์ (D) ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน (E) ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน (F) ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำ (35G) และตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำ (35H) ลูกศรแสดงรอยแตกแยกและรูพรุน

4.3.2.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติก HDPE

ตารางที่ 5 แสดงน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพจากการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก HDPE พบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0932 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0040) รองลงมาคือตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0958 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0027) และตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0995 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0002) และพบว่าพลาสติก HDPE ผสมแป้งหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0789 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0036) รองลงมาคือตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0972 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0017) และตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0891 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0007)

ตารางที่ 5 น้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ (g)

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	น้ำหนัก HDPE (g)		น้ำหนัก HDPE ผสมแป้ง (g)	
	Mean±S	Mean±SD.	Mean±S	Mean±SD.
	D ก่อน	หลัง	D ก่อน	หลัง
หนอนนก	0.1±0.0	0.0939±0.0044	0.1±0.0	0.0843±0.0027
หนอนยักษ์	0.1±0.0	0.0932±0.0040	0.1±0.0	0.0789±0.0036
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0994±0.0003	0.1±0.0	0.0890±0.0006
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0995±0.0002	0.1±0.0	0.0891±0.0007
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0958±0.0027	0.1±0.0	0.0972±0.0017
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0972±0.0017	0.1±0.0	0.0864±0.0015

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ จากการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก HDPE พบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 6.78 รองลงมาคือตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 6.44 และตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 0.47 และพบว่าพลาสติก HDPE ผสมแป้งหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 12.27

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก HDPE ระหว่าง HDPE และ HDPE ผสมแป้งพบตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อย HDPE มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ 6.44 ร้อยละ (SD. เท่ากับ 2.47) และมีประสิทธิภาพในการย่อย HDPE ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 7.40 (SD. เท่ากับ 3.62) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก HDPE ผสมแป้งมากกว่า HDPE ร้อยละ 0.96 มีค่า F-test เท่ากับ 0.48 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.499$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก HDPE ระหว่าง HDPE และ HDPE ผสมแป้งพบตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อย HDPE มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 2.77 (SD. เท่ากับ 1.66) และมีประสิทธิภาพในการย่อย HDPE ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 3.98 (SD. เท่ากับ 1.71) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก HDPE ผสมแป้งมากกว่า HDPE ร้อยละ 1.21 มีค่า F-test เท่ากับ 2.57 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.126$)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	HDPE	HDPE ผสมแป้ง	MD	F	p-value
	Mean±SD.	Mean±SD.			
หนอนนก	6.11±4.43	6.34±2.99	0.23	0.02	0.896
หนอนยักซ์	6.78±3.97	12.27±4.06	5.49	9.37	0.007*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.57±0.25	1.13±0.72	0.56	5.48	0.031*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.47±0.24	1.02±0.78	0.55	4.63	0.045*
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	6.44±2.47	7.40±3.62	0.96	0.48	0.499
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	2.77±1.66	3.98±1.71	1.21	2.57	0.126

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติก HDPE พบว่า

หนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE แตกต่างกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และแตกต่างกับตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.008$) และพบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE ผสมแป้งแตกต่างกับ หนอนยักซ์ ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

หนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE แตกต่างกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และแตกต่างกับตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.002$) และพบว่าหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE ผสมแป้งเปรียบเทียบกับแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE แตกต่างกับตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และพบว่าตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE ผสมแป้งแตกต่างกันกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.008$)

ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE แตกต่างกับตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE ผสมแป้งแตกต่างกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.016$) ตามลำดับ

ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย HDPE และ HDPE ผสมแป้งจากการเปรียบเทียบกับตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.004$) และ ($p = 0.006$) ตามลำดับ

พูน ปณ จิต ชเว

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

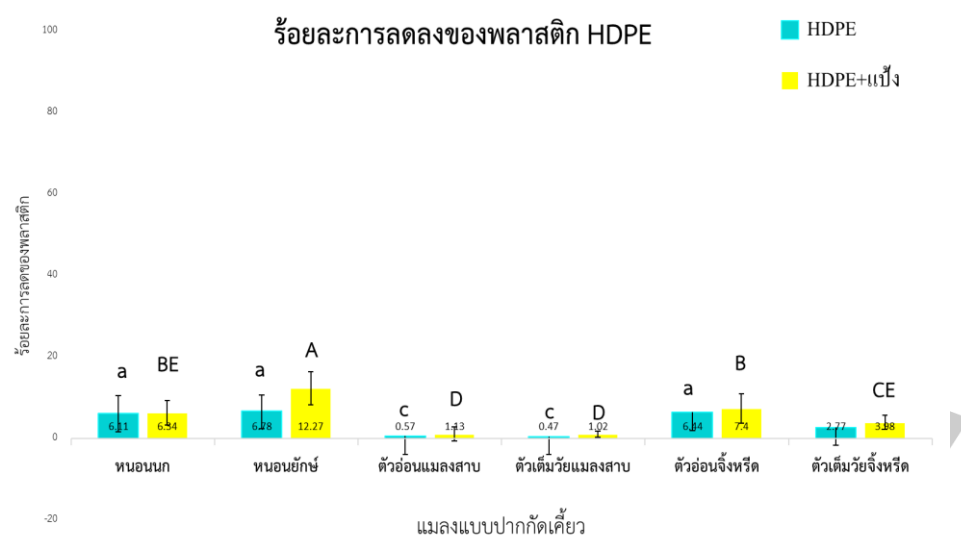
แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	HDPE		HDPE ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
หนอนนก	หนอนยักษ์	0.67	0.584	-5.93	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	5.54	<0.001*	5.20	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	5.64	<0.001*	5.31	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	-0.33	0.785	-1.07	0.375
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	3.34	0.008*	2.36	0.053
หนอนยักษ์	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	6.21	<0.001*	11.14	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	6.31	<0.001*	11.25	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	0.34	0.783	4.87	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	4.01	0.002*	8.29	<0.001*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.10	0.935	0.11	0.925
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	-5.87	<0.001*	-6.27	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	2.20	0.076	2.84	0.020*

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก HDPE และ HDPE ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด (ต่อ)

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	HDPE		HDPE ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	-5.97	<0.001*	-6.38	<0.001*
	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	-2.30	0.064	2.96	0.016*
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	3.67	0.004*	3.42	0.006*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก HDPE โดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด พบว่าหนอนยักษ์มีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติก HDPE ได้ดีกว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวชนิดอื่นดังแสดงในภาพที่ 36



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก HDPE และพลาสติก HDPE ผสมแป้งระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

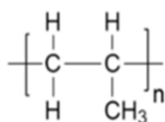
*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างทางสถิติของ HDPE และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างทางสถิติของ HDPE ผสมแป้ง

4.3.3 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PP

4.3.3.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PP

จากการนำตัวอย่างของพลาสติกหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดลองแสดงในรูปแบบสเปกตรัม โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่าง % Absorbance และเลขคลื่น (cm^{-1}) โดยก่อนการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Library Search ของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น INVENIO-S Internal Transmission RT-DLaTGS ประเทศ Germany พบว่า โครงสร้างทางเคมีของพลาสติกชนิดถุงร้อน PP เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) พลาสติก PP มีสูตรโมเลกุลคือมีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_3\text{H}_6)_n$ ดังภาพที่ 37

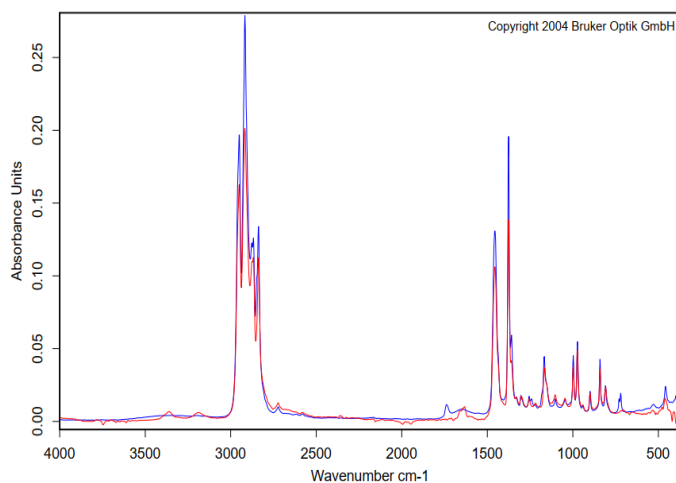
PP



ภาพที่ 37 โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PP
(ที่มา : ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2527)

จากการนำแมลงแต่ละชนิดใส่ลงในบล็อคของพลาสติกชนิดถุงร้อน PP พบว่าหลังจากการทดลองเมื่อนำพลาสติกที่เหลืออยู่ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น PRACTUM224-1S Germany พบว่า น้ำหนักของพลาสติกไม่หายไปและเมื่อนำมูลของแมลงหลังการทดลองไปสกัดพลาสติกพบว่าไม่มีพลาสติกอยู่ในมูลของแมลงจึงสรุปได้ว่า หนอนนก หนอนยักซ์ ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองไม่สามารถกัดกินพลาสติกชนิดถุงร้อน PP ได้เนื่องจากลักษณะพื้นผิวของพลาสติกมีความเหนียว โดยพลาสติก PP กลุ่มควบคุมมีสเปกตรัมดังภาพที่ 38

Library Search



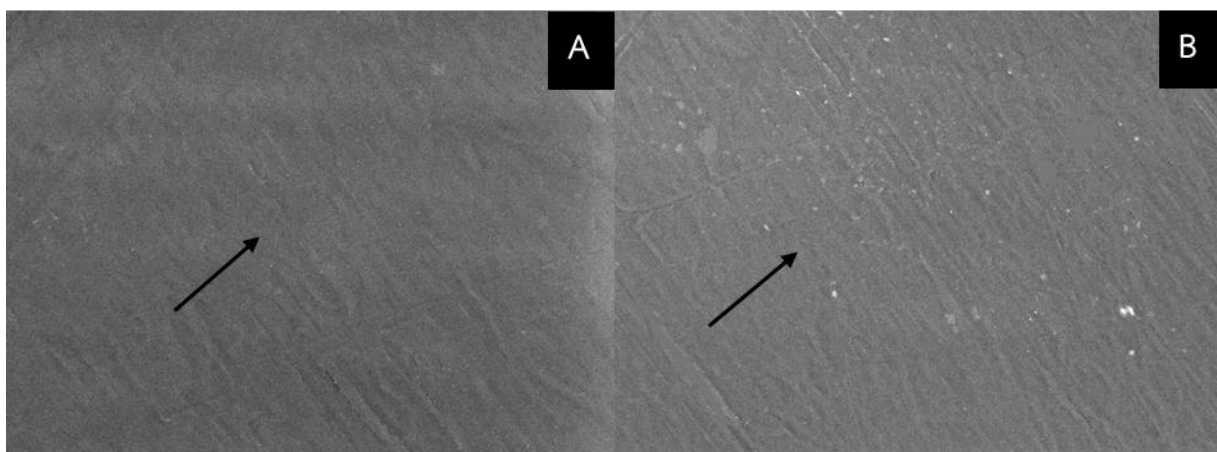
Polymer Classification	Polypropylene (PP)
Trade Name	Daplen DSC 1011
Manufacturer	DSM
Colour	black
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr
Entry No.	41
Library name	BPAD.S01
Library description	Bruker Optics ATR-Polymer Library

ภาพที่ 38 สเปกตรัมของพลาสติกชนิดถูร้อน PP เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR

โดยเส้นสีน้ำเงินแสดงสเปกตรัมของ PP จากฐานข้อมูล และเส้นสีแดงแสดงสเปกตรัมของตัวอย่างพลาสติกชนิดถูร้อน PP (Control)

4.3.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชนิดถูร้อน PP

จากการนำแมลงแต่ละชนิดใส่ลงในบล็อคอของพลาสติกชนิดถูร้อน PP พบว่าหลังจากการทดลองเมื่อนำพลาสติกที่เหลืออยู่ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Sartorius รุ่น PRACTUM224-1S Germany พบว่าน้ำหนักของพลาสติกไม่หายไปและเมื่อนำมวลของแมลงหลังการทดลองไปสกัดพลาสติกพบว่าไม่มีพลาสติกอยู่ในมวลของแมลงจึงสรุปได้ว่า หนอนนก หนอนยักซ์ ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำไม่สามารถกัดกินพลาสติกชนิดถูร้อน PP ได้เนื่องจากลักษณะพื้นผิวของพลาสติกมีความเหนียว โดยเมื่อนำพลาสติก PP กลุ่มควบคุม มาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้เครื่อง SEM พบว่า ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ PP ก่อนการทดลองมีลักษณะพื้นผิวเรียบดังภาพที่ 39A และนำพลาสติก PP หลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติกมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้เครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกมีลักษณะพื้นผิวเรียบเช่นเดียวกันกับพลาสติก PP กลุ่มควบคุมดังภาพที่ 39B ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการสกัดพลาสติกไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PP

กลุ่มควบคุม (A) และพลาสติก PP หลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก (B) ลูกศรแสดงพื้นผิวของพลาสติก

4.3.3.3 ร้อยละการลดลงของพลาสติก PP

ตารางที่ 8 แสดงของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ จากการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PP พบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0958 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0027) รองลงมาคือตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0995 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0002) และหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0932 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0040) และพบว่าพลาสติก PP ผสมแป้งตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0891 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0007) รองลงมาคือตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0842 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0022) และหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0843 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0027)

พูน ปณ จิโต ชเว

ตารางที่ 8 น้ำหนัก PP และ PP ผสมแบ่งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ (g)

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	น้ำหนัก PP (g)		น้ำหนัก PP ผสมแบ่ง (g)	
	Mean±SD.	Mean±SD.	Mean±SD.	Mean±SD.
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
หนอนนก	0.1±0.0	0.0939±0.0044	0.1±0.0	0.0843±0.0027
หนอนยักซ์	0.1±0.0	0.0932±0.0040	0.1±0.0	0.0790±0.0036
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0994±0.0003	0.1±0.0	0.0890±0.0006
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0995±0.0002	0.1±0.0	0.0891±0.0007
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0958±0.0027	0.1±0.0	0.0842±0.0022
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0972±0.0017	0.1±0.0	0.0864±0.0015

ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแบ่ง หลังการย่อยสลายทางชีวภาพ จากการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PP พบว่าตัวอ่อนของ จิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.54 รองลงมาคือตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.42 และหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก เท่ากับร้อยละ 0.06 และพบว่าพลาสติก PP ผสมแบ่งตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพ ในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.79 รองลงมาคือตัวอ่อน ของจิ้งหรีดทองดำมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.64 และหนอนนกมี ประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.39

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PP ระหว่าง PP และ PP ผสมแบ่ง พบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อย PP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.17 (SD. เท่ากับ 0.20) และมีประสิทธิภาพในการย่อย PP ผสมแบ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของ น้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.39 (SD. เท่ากับ 0.36) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PP ผสมแบ่งมากกว่า PP ร้อยละ 0.22 มีค่า F-test เท่ากับ 2.796 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแบ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติ ($p = 0.112$)

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของพลาสติก PP ระหว่าง PP และ PP ผสมแบ่ง พบว่าหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อย PP มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.06 (SD. เท่ากับ 0.11) และมีประสิทธิภาพในการย่อย PP ผสมแบ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของ

แตกต่างกันทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.035$)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	PP	PP ผสมแป้ง	MD	F	p-value
	Mean±SD.	Mean±SD.			
หนอนนก	0.17±0.20	0.39±0.36	0.22	2.796	0.112
หนอนยักซ์	0.06±0.11	0.47±0.33	0.41	13.513	0.002*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.15±0.34	0.54±0.36	0.39	6.197	0.023*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.42±0.52	0.79±0.65	0.37	1.945	0.180
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	0.54±0.67	0.64±0.54	0.1	0.143	0.709
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	0.27±0.27	0.53±0.25	0.26	5.18	0.035*

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติก PP พบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP ระหว่างหนอนนกกับแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดพบว่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.044$) และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP ผสมแป้งระหว่างหนอนนกกับแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดพบว่าไม่แตกต่างกัน ยกเว้นตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.045$) หนอนยักซ์มีประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP แตกต่างกับตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันและตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.050$) และ ($p = 0.010$) ตามลำดับและพบว่าหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP ผสมแป้งไม่แตกต่างกันกับแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิด ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP แตกต่างกับตัวอย่างของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.034$) และพบว่าตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP ผสมแป้งไม่แตกต่างกันกับแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิด พบว่าประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP และ PP ผสมระหว่างตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำไม่แตกต่างกัน และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลาย PP และ PP ผสมแป้งระหว่างตัวอ่อนกับตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้ง ในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	PP		PP ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
หนอนนก	หนอนยักษ์	0.11	0.542	0.08	0.696
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.02	0.912	0.16	0.433
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.25	0.169	0.40	0.045*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	0.37	0.044*	0.26	0.199
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	0.10	0.580	0.15	0.460
หนอนยักษ์ หนอนยักษ์	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.09	0.618	0.08	0.692
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.36	0.050*	0.33	0.103
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	0.48	0.010*	0.18	0.368
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	0.21	0.247	0.07	0.726
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.27	0.138	0.25	0.213
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	0.39	0.034*	0.10	0.612
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	0.12	0.506	0.15	0.457
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	0.15	0.407	0.26	0.197

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก PP และ PP ผสมแป้ง ในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด (ต่อ)

แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	PP		PP ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	0.27	0.138	0.11	0.581

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก PP และพลาสติก PP ผสมแป้ง ระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดพบว่าตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติก PP ได้ดีกว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวชนิดอื่นดังแสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักพลาสติก PP และพลาสติก PP ผสมแป้ง

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ

($p < 0.05$) โดยตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างทางสถิติของ PP และตัวอักษรพิมพ์

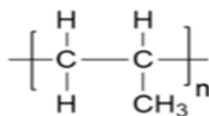
ใหญ่แสดงความแตกต่างทางสถิติของ PP ผสมแป้ง

4.3.4 ประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพของหน้ากากอนามัย

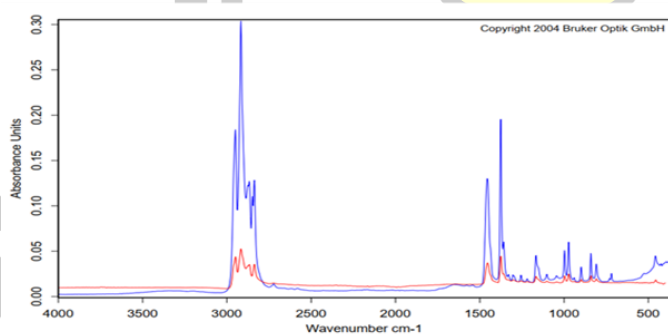
4.3.4.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัย

จากการนำตัวอย่างของพลาสติกหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ผลการทดลองแสดงในรูปแบบสเปกตรัม โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่าง % Absorbance และเลขคลื่น (cm^{-1}) โดยก่อนการทดลองผู้วิจัยได้ดำเนินการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกแต่ละชนิดกับฐานข้อมูล Library Search ของเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ยี่ห้อ BRUKER รุ่น INVENIO-S Internal Transmission RT-DLaTGS ประเทศ Germany พบว่าหน้ากากอนามัย (Mask) โดยหน้ากากอนามัยที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยสามชั้นซึ่งได้ทำการแยกแต่ละชั้นเพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีพบว่าทั้งสามชั้นแสดงสเปกตรัมเดียวกันดังภาพที่ 43A จากการวิเคราะห์สเปกตรัมทั้งสามชั้น (ภาพที่ 43B , 43C และ 43D) แสดงให้เห็นว่าหน้ากากอนามัยคือพลาสติกชนิด PP (ภาพที่ 42) โดยมีสูตรโมเลกุลคือ $(\text{C}_3\text{H}_6)_n$ ดังแสดงในภาพที่ 41

MASK



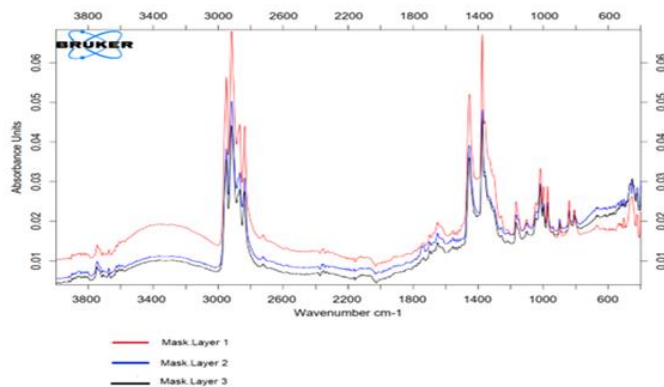
ภาพที่ 41 โครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัย
(ที่มา: ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, 2527)



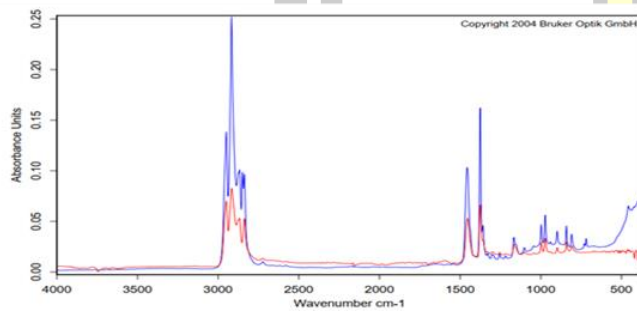
■ Polypropylene (PP)
■ Control.Mask

Polymer Classification	Polypropylene (PP)
Trade Name	Hostacom HCG 2 NO 3
Manufacturer	Hoechst AG
Colour	black
Chemical / Physical Description	20% glassy-globes, Homopolymer
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr
Entry No.	81
Library name	BPAD.501

ภาพที่ 42 โครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัยกลุ่มควบคุมหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก
เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR

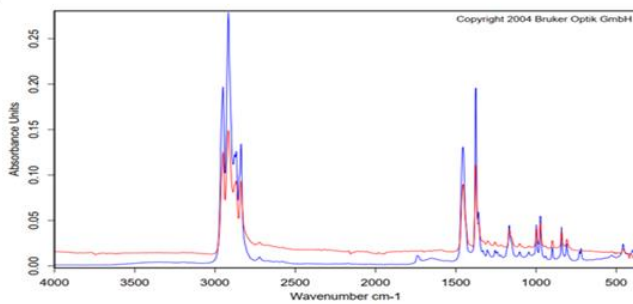


A



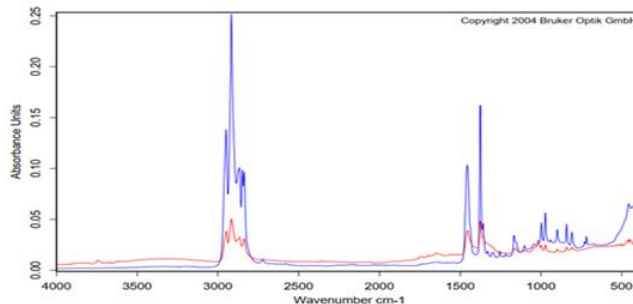
B

Polymer Classification	Polypropylene (PP)
Trade Name	Hostacom HCG 2 NO 1
Manufacturer	Hoechst AG
Colour	black
Chemical / Physical Description	20% glass-fibres, Homopolymer
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr
Entry No.	79
Library name	BPAD.S01



C

Polymer Classification	Polypropylene (PP)
Trade Name	Daplen DSC 1011
Manufacturer	DSM
Colour	black
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr
Entry No.	41
Library name	BPAD.S01
Library description	Brucker Optics ATR-Polymer Library



D

Polymer Classification	Polypropylene (PP)
Trade Name	Hostacom HCG 2 NO 1
Manufacturer	Hoechst AG
Colour	black
Chemical / Physical Description	20% glass-fibres, Homopolymer
Source of Spectrum	BRUKER OPTIK GMBH, Ettlingen, Germany
Type of Spectrometer	TENSOR 27
Measurement Technique	Attenuated Total Reflectance (ATR), Diamond-Cr
Entry No.	79
Library name	BPAD.S01

Control.Mask
Polypropylene (PP)

ภาพที่ 43 โครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัยในแต่ละชั้น (ก่อนการทดลอง)
สเปกตรัมของหน้ากากอนามัยทั้ง 3 ชั้น (A), หน้ากากอนามัยชั้นที่ 1 (B),
หน้ากากอนามัยชั้นที่ 2 (C), หน้ากากอนามัยชั้นที่ 3 (D)

จากการนำตัวอย่างของหน้ากากอนามัย (Mask) หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดย
หนอนนกมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบว่า สเปกตรัมที่แสดงก่อนและหลังการย่อยสลายทาง
ชีวภาพไม่มีความเปลี่ยนแปลง (ไม่ปรากฏ peak ใหม่) ดังภาพที่ 44B จากตัวอย่างของ Mask หลัง
ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพของหนอนยักพบว่าสเปกตรัมที่แสดงก่อนและหลังการย่อยสลายทาง
ชีวภาพไม่มีความเปลี่ยนแปลง (ไม่ปรากฏ peak ใหม่) ดังภาพที่ 44C

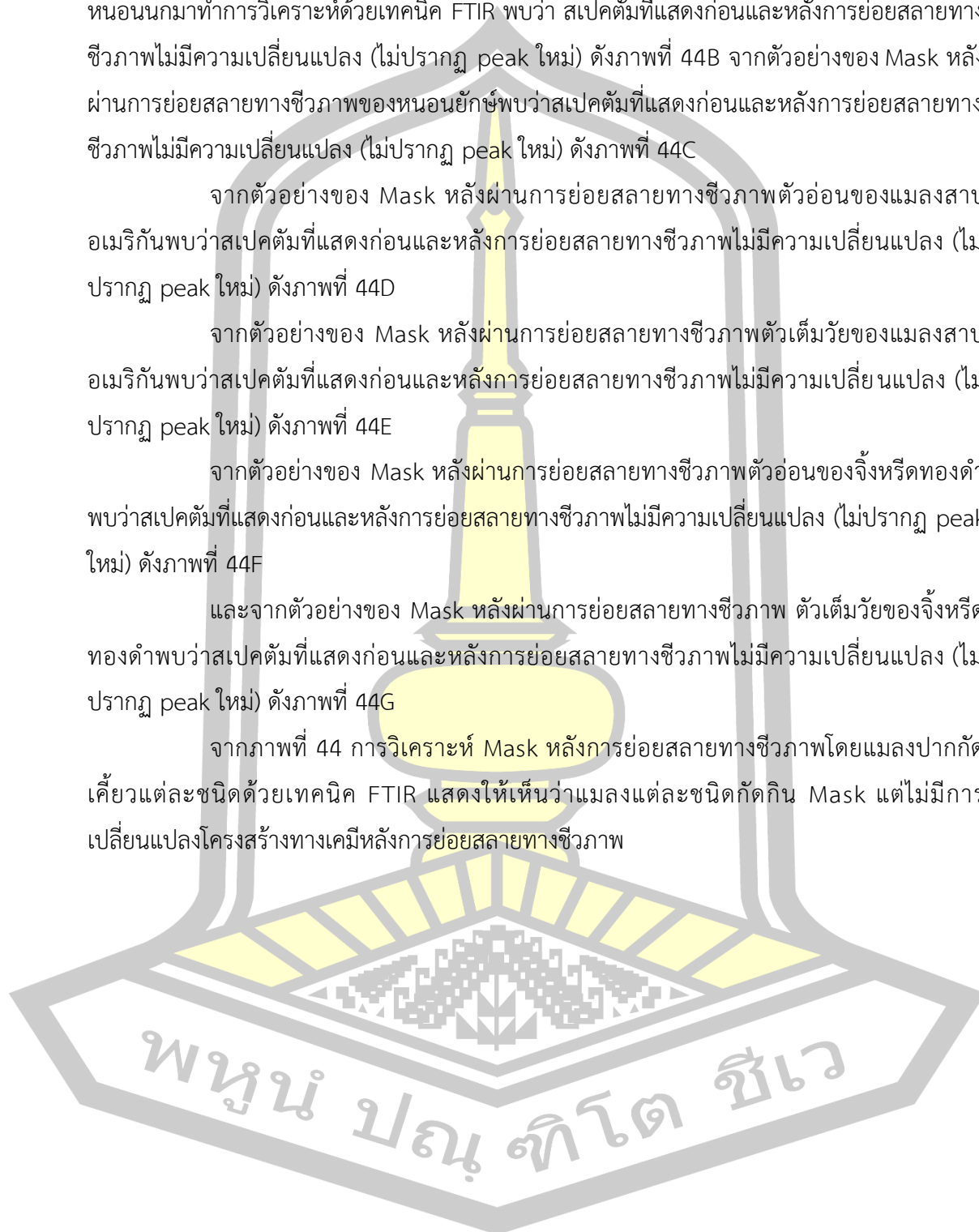
จากตัวอย่างของ Mask หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวอ่อนของแมลงสาบ
อเมริกันพบว่าสเปกตรัมที่แสดงก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพไม่มีความเปลี่ยนแปลง (ไม่
ปรากฏ peak ใหม่) ดังภาพที่ 44D

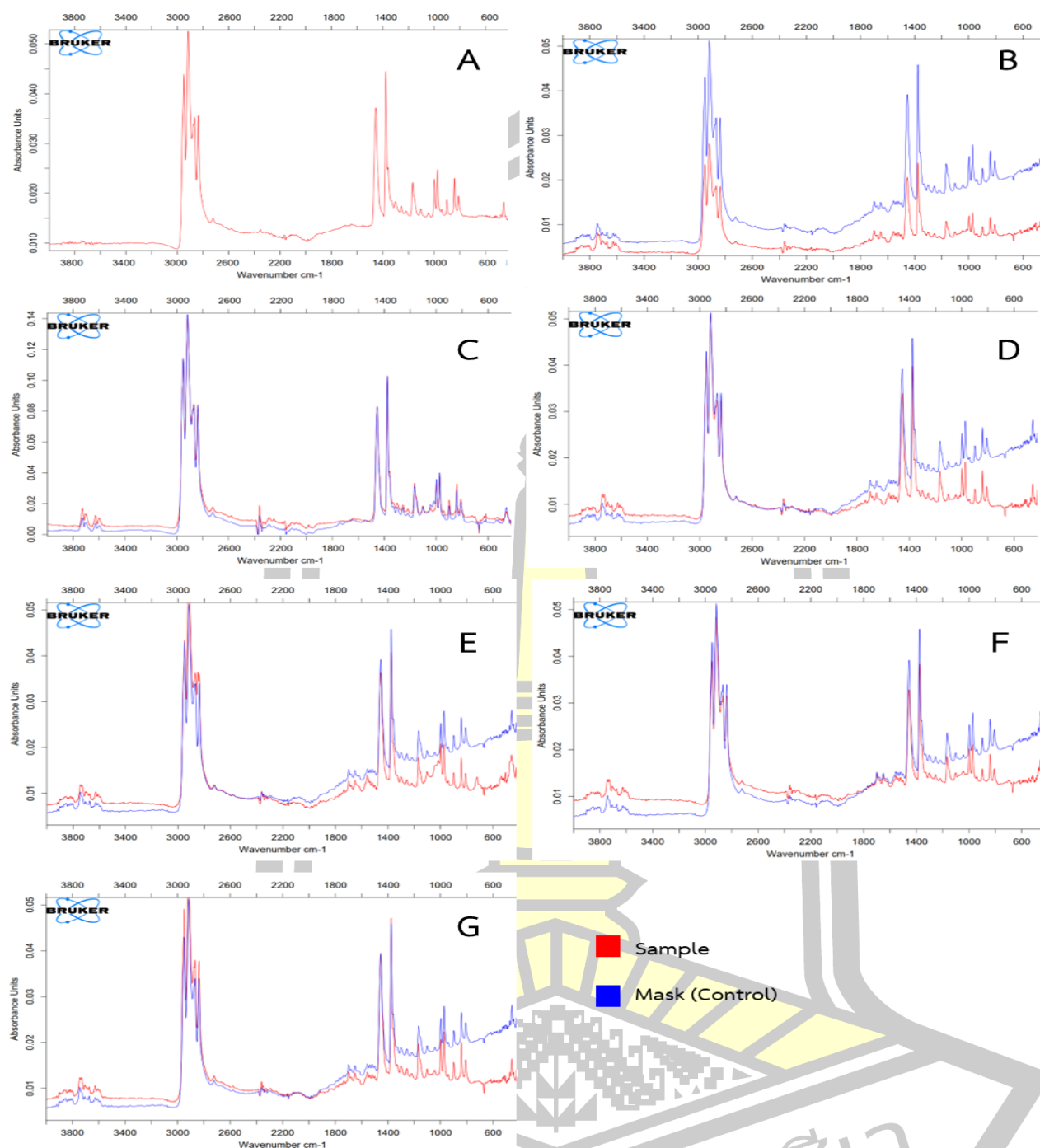
จากตัวอย่างของ Mask หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวเต็มวัยของแมลงสาบ
อเมริกันพบว่าสเปกตรัมที่แสดงก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพไม่มีความเปลี่ยนแปลง (ไม่
ปรากฏ peak ใหม่) ดังภาพที่ 44E

จากตัวอย่างของ Mask หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำ
พบว่าสเปกตรัมที่แสดงก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพไม่มีความเปลี่ยนแปลง (ไม่ปรากฏ peak
ใหม่) ดังภาพที่ 44F

และจากตัวอย่างของ Mask หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพ ตัวเต็มวัยของจิ้งหรีด
ทองดำพบว่าสเปกตรัมที่แสดงก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพไม่มีความเปลี่ยนแปลง (ไม่
ปรากฏ peak ใหม่) ดังภาพที่ 44G

จากภาพที่ 44 การวิเคราะห์ Mask หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงปากกัด
เคี้ยวแต่ละชนิดด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าแมลงแต่ละชนิดกัดกิน Mask แต่ไม่มีการ
เปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ



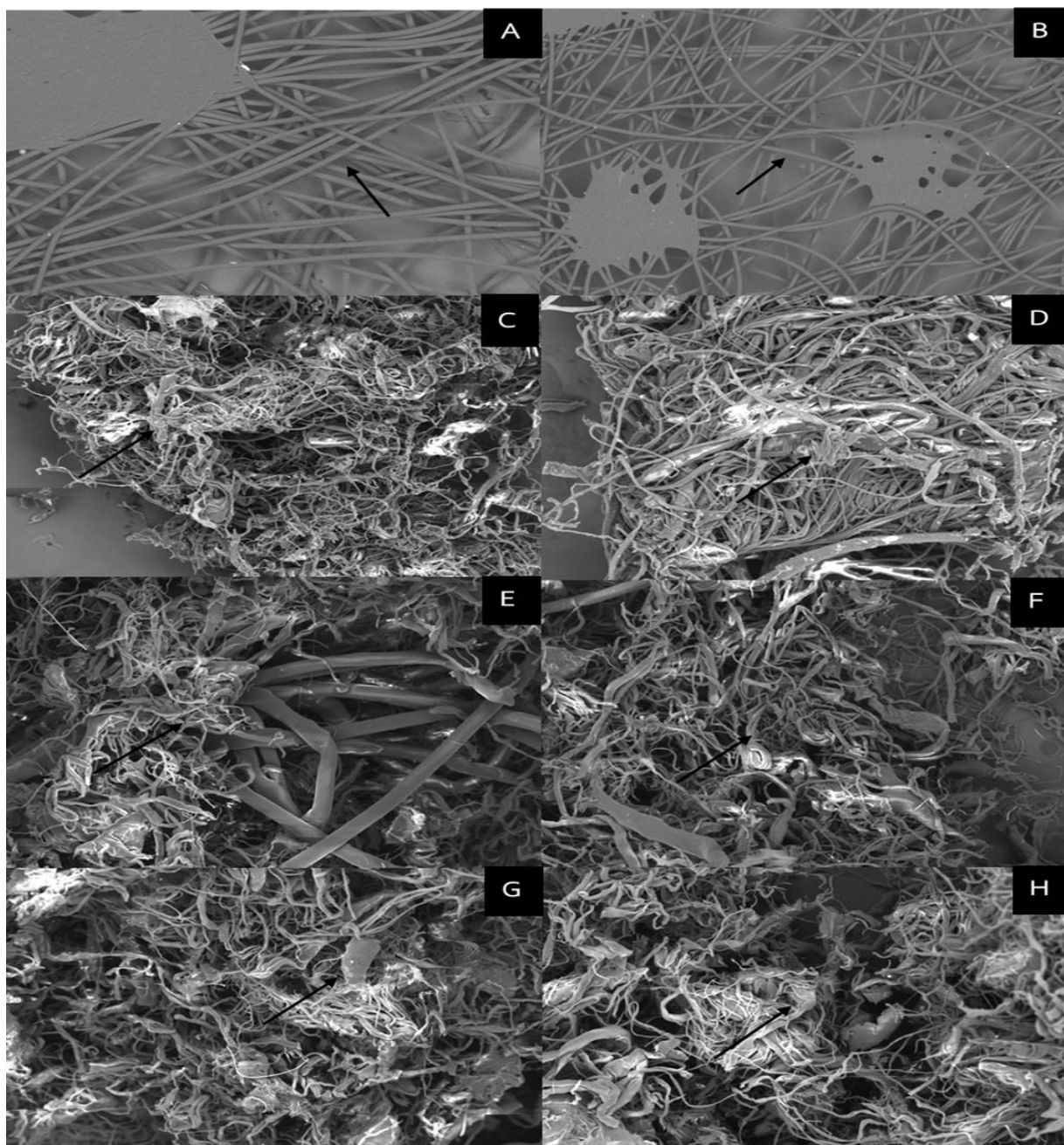


ภาพที่ 44 สเปกตรัมของ Mask หลังการย่อยสลายของแมลงแต่ละชนิดMask

A คือกลุ่มควบคุม หน้ากากอนามัยหลังการย่อยสลายโดยหนอนนก (B) หนอนยักซ์ (C) ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน (D) ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน (E) ตัวอ่อนของ จิ้งหรีดทองดำ (F) ตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำ (G) โดยเส้นสีน้ำเงินแสดงสเปกตรัมของ Mask ก่อนการย่อยสลาย และ Mask เส้นสีแดงแสดงสเปกตรัมของ Mask หลังการย่อยสลายโดยแมลงแต่ละชนิด

4.3.4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัย

จากการนำตัวอย่างของหน้ากากอนามัยหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกโดยใช้เครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยก่อนการทดลองมีลักษณะพื้นผิวเป็นเส้นใยเรียงต่อกันเป็นชั้น ซ้อนทับกันไปมา ดังภาพที่ 45A ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติกมีลักษณะพื้นผิวไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากก่อนกระบวนการสกัดพลาสติกดังภาพที่ 45B จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนนกแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างดังภาพที่ 45C จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยหนอนยักษ์แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างดังภาพที่ 45D จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างดังภาพที่ 45E จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างดังภาพที่ 45F จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างดังภาพที่ 45G จากตัวอย่างที่ผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพโดยตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างดังภาพที่ 45H จากผลการนำหน้ากากอนามัยหลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยโดยเครื่อง SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการทดลองมีลักษณะเป็นเส้นใย พบรอยฉีกขาด และรอยแตกขรุขระบนเส้นใยของตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยหลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวดังภาพที่



ภาพที่ 45 ลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยหลังการย่อยสลายของแมลงแต่ชนิด หน้ากากอนามัยกลุ่มควบคุม (37A) หน้ากากอนามัยหลังผ่านกระบวนการสกัดพลาสติก (37B) หนอนนก (37C) หนอนยักษ์ (37D) ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน (37E) ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน (37F) ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำ (37G) และตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำ (37H) ลูกศรแสดงเส้นใยที่ฉีกขาดมีรอยแตกแยก

4.3.4.3 ร้อยละการลดลงของ Mask

ตารางที่ 11 แสดงน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ จากการย่อยสลายทางชีวภาพของ Mask พบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองคำมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0926 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0036) รองลงมาคือตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองคำมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0954 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0039) และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0987 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0010) และพบว่าพลาสติก Mask ผสมแป้งตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0674 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0081) รองลงมาคือตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0788 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0050) และหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักหลังการทดลองเท่ากับ 0.0888 กรัม (SD. เท่ากับ 0.0009)

ตารางที่ 11 น้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งก่อนและหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	น้ำหนัก Mask (g)		น้ำหนัก Mask ผสมแป้ง (g)	
	Mean±SD.	Mean±SD.	Mean±SD.	Mean± SD.
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
หนอนนก	0.1±0.0	0.0989±0.0008	0.1±0.0	0.0829±0.0057
หนอนยักซ์	0.1±0.0	0.0980±0.0035	0.1±0.0	0.0888±0.0009
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0997±0.0002	0.1±0.0	0.0788±0.0050
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0987±0.0010	0.1±0.0	0.0674±0.0081
จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	0.1±0.0	0.0926±0.0036	0.1±0.0	0.0818±0.0042
จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	0.1±0.0	0.0954±0.0039	0.1±0.0	0.0828±0.0035

ตารางที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ จากการย่อยสลายทางชีวภาพของ Mask พบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองคำมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 7.40 รองลงมาคือตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองคำมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับ ร้อยละ 4.62 และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.29 และพบว่าพลาสติก Mask ผสมแป้งตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ

25.12 รองลงมาคือตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 21.25 และหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 1.00

หนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 1.13 (SD. เท่ากับ 0.84) และมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 7.94 (SD. เท่ากับ 6.37) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask ผสมแป้งมากกว่า Mask ร้อยละ 6.81 มีค่า F-test เท่ากับ 11.25 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.004$)

หนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อย Mask มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 1.05 (SD. เท่ากับ 1.30) และมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 1.37 (SD. เท่ากับ 1.00) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask ผสมแป้งมากกว่า Mask ร้อยละ 00.32 มีค่า F-test เท่ากับ 0.35 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.560$)

ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0.29 (SD. เท่ากับ 0.20) และมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 21.25 (SD. เท่ากับ 5.00) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask ผสมแป้งมากกว่า Mask ร้อยละ 20.96 มีค่า F-test เท่ากับ 175.75 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 1.32 (SD. เท่ากับ 0.98) และมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 25.12 (SD. เท่ากับ 9.03) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask ผสมแป้งมากกว่า Mask ร้อยละ 23.80 มีค่า F-test เท่ากับ 68.75 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 7.40 (SD. เท่ากับ 3.62) และมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 9.10 (SD. เท่ากับ 4.64) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask ผสมแป้งมากกว่า Mask ร้อยละ 1.7 มีค่า F-test เท่ากับ 0.83 เมื่อ

ทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.373$)

ตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask มีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 4.62 (SD. เท่ากับ 3.87) และมีประสิทธิภาพในการย่อย Mask ผสมแป้งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 8.06 (SD. เท่ากับ 3.85) ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask ผสมแป้งมากกว่า Mask ร้อยละ 3.44 มีค่า F-test เท่ากับ 3.96 เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.062$) ดังตาราง

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งหลังการย่อยสลายทางชีวภาพ

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว	Mask	Mask ผสมแป้ง	MD	F	p-value
	Mean±SD.	Mean±SD.			
หนอนนก	1.13±0.84	7.94±6.37	6.81	11.25	0.004*
หนอนยักซ์	1.05±1.30	1.37±1.00	0.32	0.35	0.560
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.29±0.20	21.25±5.00	20.96	175.75	<0.001*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	1.32±0.98	25.12±9.03	23.80	68.75	<0.001*
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	7.40±3.62	9.10±4.64	1.70	0.83	0.373
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	4.62±3.87	8.06±3.85	3.44	3.96	0.062

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละการลดลงของน้ำหนัก Mask และ Mask ผสมแป้งในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask พบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask แตกต่างกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.001$) ตามลำดับและพบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask ผสมแป้งแตกต่างกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และแตกต่างกับหนอนยักซ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.010$)

หนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.001$) ตามลำดับและเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลาย Mask ผสมแป้งระหว่างหนอนยักซ์กับแมลงแบบปากกัด เคี้ยวชนิดอื่นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask และ Mask ผสมแป้งแตกต่างกันกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask แตกต่างกับกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) และ ($p = 0.002$) ตามลำดับ และพบว่าตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask ผสมแป้ง แตกต่างกับกับตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยสลาย Mask แตกต่างกับกับตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.001$)



ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก Mask ในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

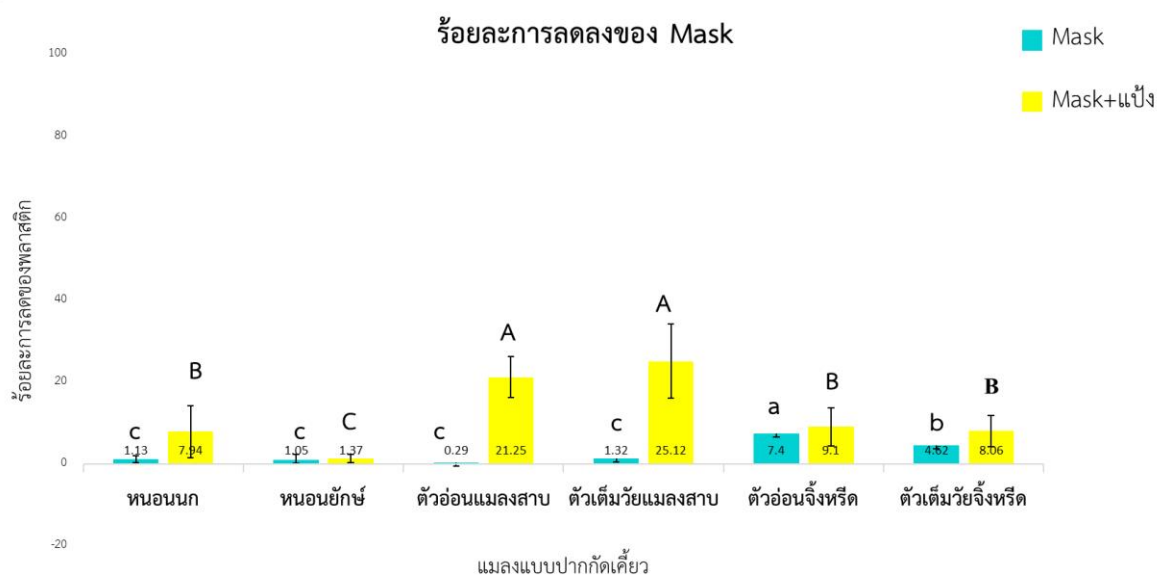
แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	Mask		Mask ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
หนอนนก	หนอนยักษ์	0.08	0.938	6.58	0.010*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.84	0.418	3.31	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.19	0.854	17.18	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	7.09	<0.001*	1.16	0.643
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	3.49	0.001*	0.11	0.964
หนอนยักษ์	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	0.76	0.464	19.88	<0.001*
	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	0.27	0.794	23.76	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	7.17	<0.001*	7.73	0.003*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	3.57	0.001*	6.69	0.009*
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวอ่อน)	แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	1.03	0.322	3.87	0.124
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวอ่อน)	7.93	<0.001*	12.15	<0.001*
	จิ้งหรีดทองคำ (ตัวเต็มวัย)	4.33	<0.001*	13.19	<0.001*

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก Mask ในแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด (ต่อ)

แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	แมลงแบบปากกัด เคี้ยว	Mask		Mask ผสมแป้ง	
		MD	p-value	MD	p-value
แมลงสาบอเมริกัน (ตัวเต็มวัย)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	6.90	<0.001*	16.02	<0.001*
	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	3.30	0.002*	17.07	<0.001*
จิ้งหรีดทองดำ (ตัวอ่อน)	จิ้งหรีดทองดำ (ตัวเต็มวัย)	3.60	0.001*	1.04	0.676

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักหน้ากากอนามัยและหน้ากากอนามัยผสมแป้งระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด พบว่าตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยหน้ากากอนามัยได้ดีกว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวชนิดอื่นดังแสดงในภาพที่ 46

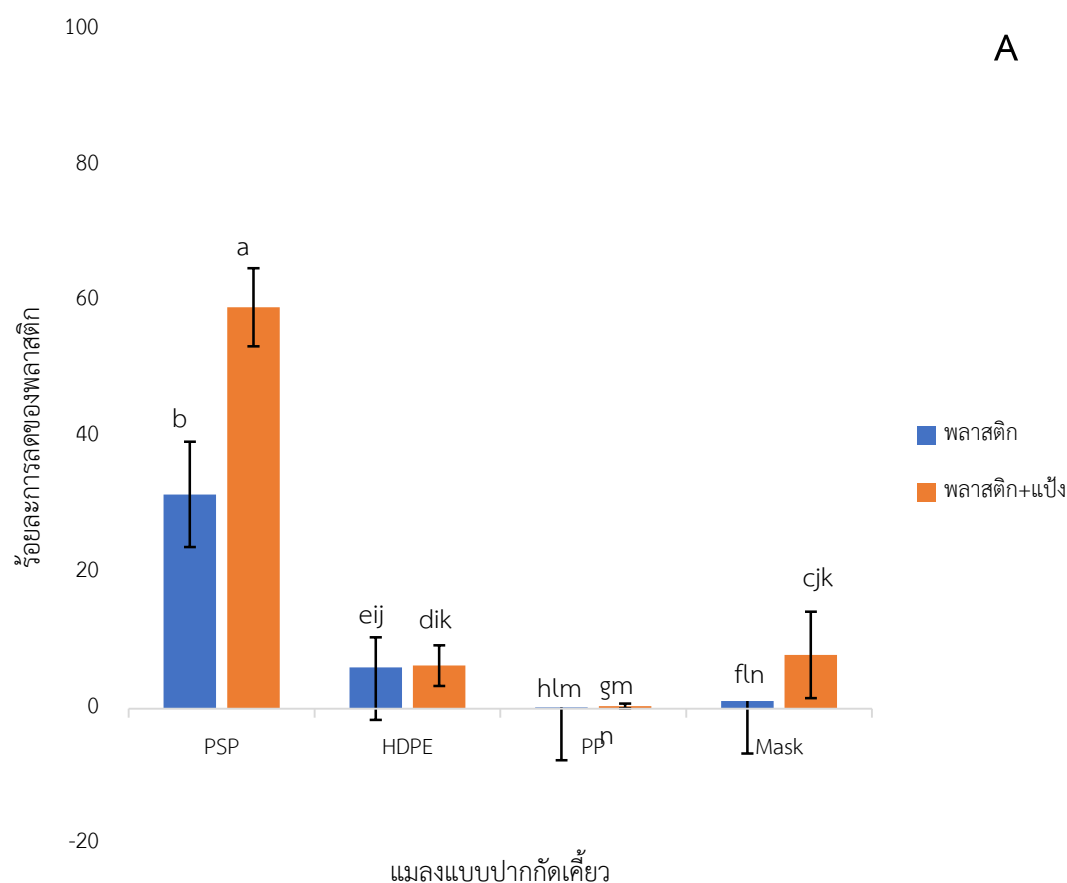


ภาพที่ 46 การเปรียบเทียบร้อยละการลดลงของน้ำหนักหน้ากากอนามัยและหน้ากากผสมแป้งระหว่างแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยตัวอักษรพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างทางสถิติของหน้ากากอนามัย และ ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างทางสถิติของหน้ากากอนามัยผสมแป้ง

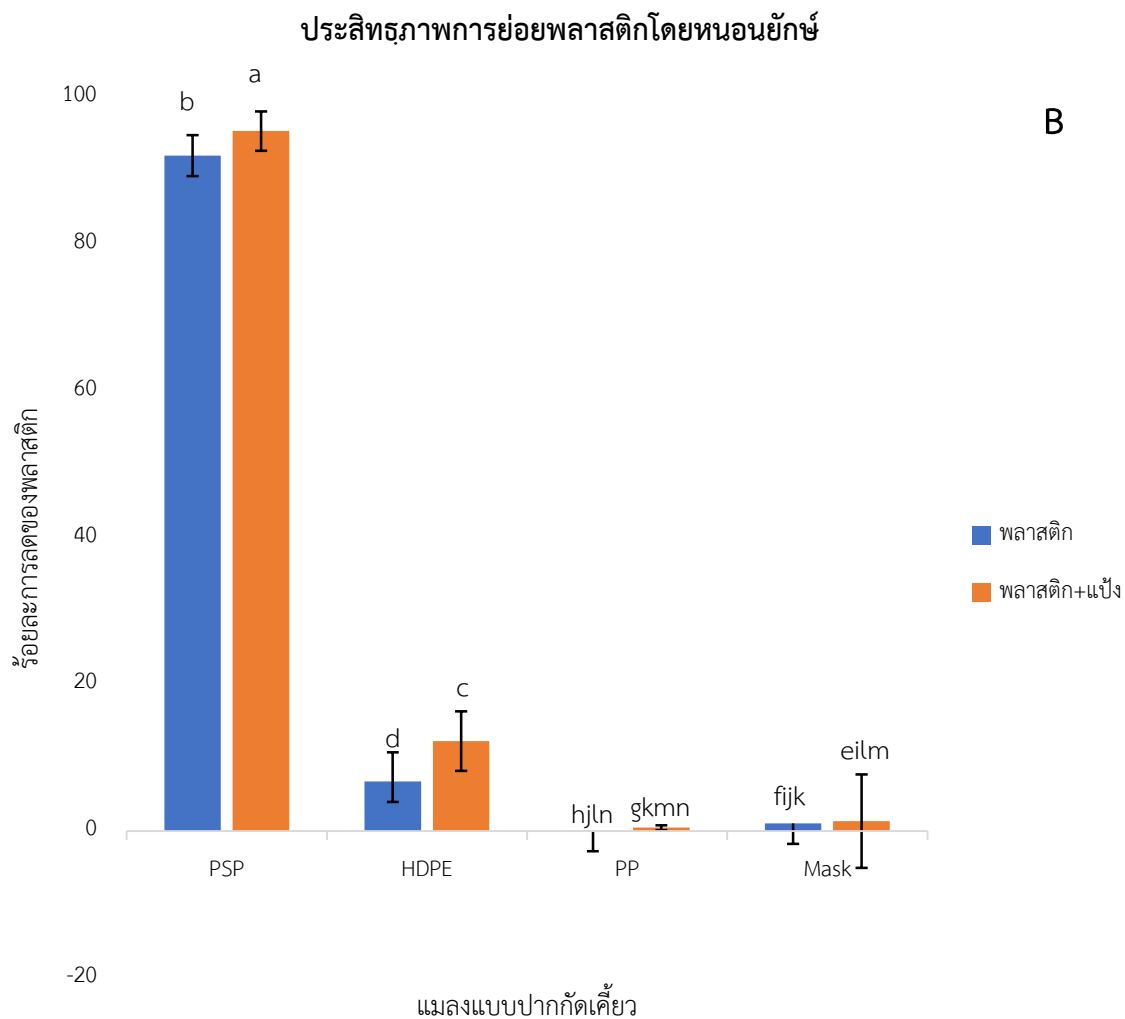
ประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท จากภาพที่ 47A พบว่าหนอนนกมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติกชนิด PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น จากภาพที่ 47B หนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติกชนิด PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น จากภาพที่ 47C พบว่าตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติกชนิด PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น จากภาพที่ 47D พบว่าตัวเต็มวัยแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติกชนิด PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น จากภาพที่ 47E พบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติกชนิด PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่น และจากภาพที่ 47F พบว่าตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติกชนิด PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่นดังแสดงในภาพที่ 47

ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกโดยหนอนนก



ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$)

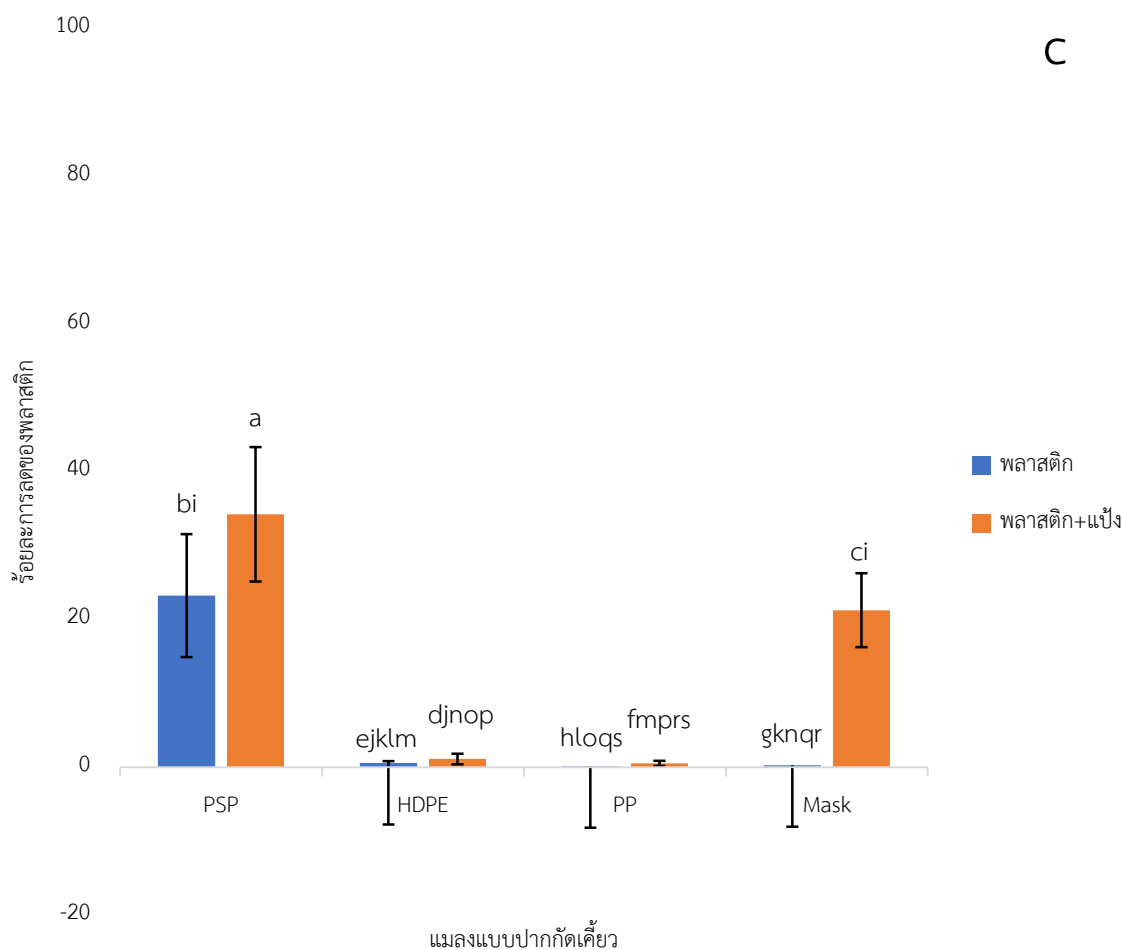


ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ต่อ)



ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกโดยตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน

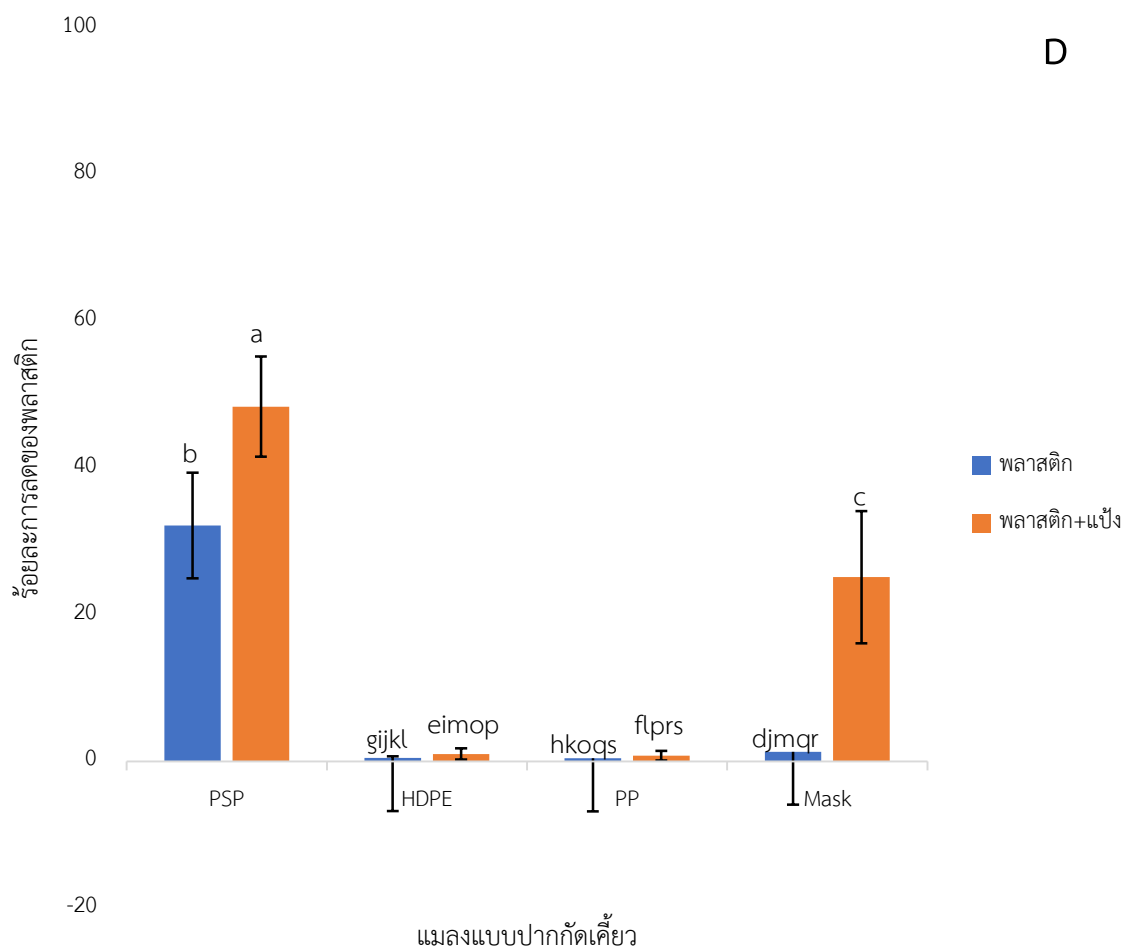


ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) (ต่อ)

พูน ปณ จิโต ชีเว

ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกโดยตัวเต็มวันของแมลงสาบอเมริกัน

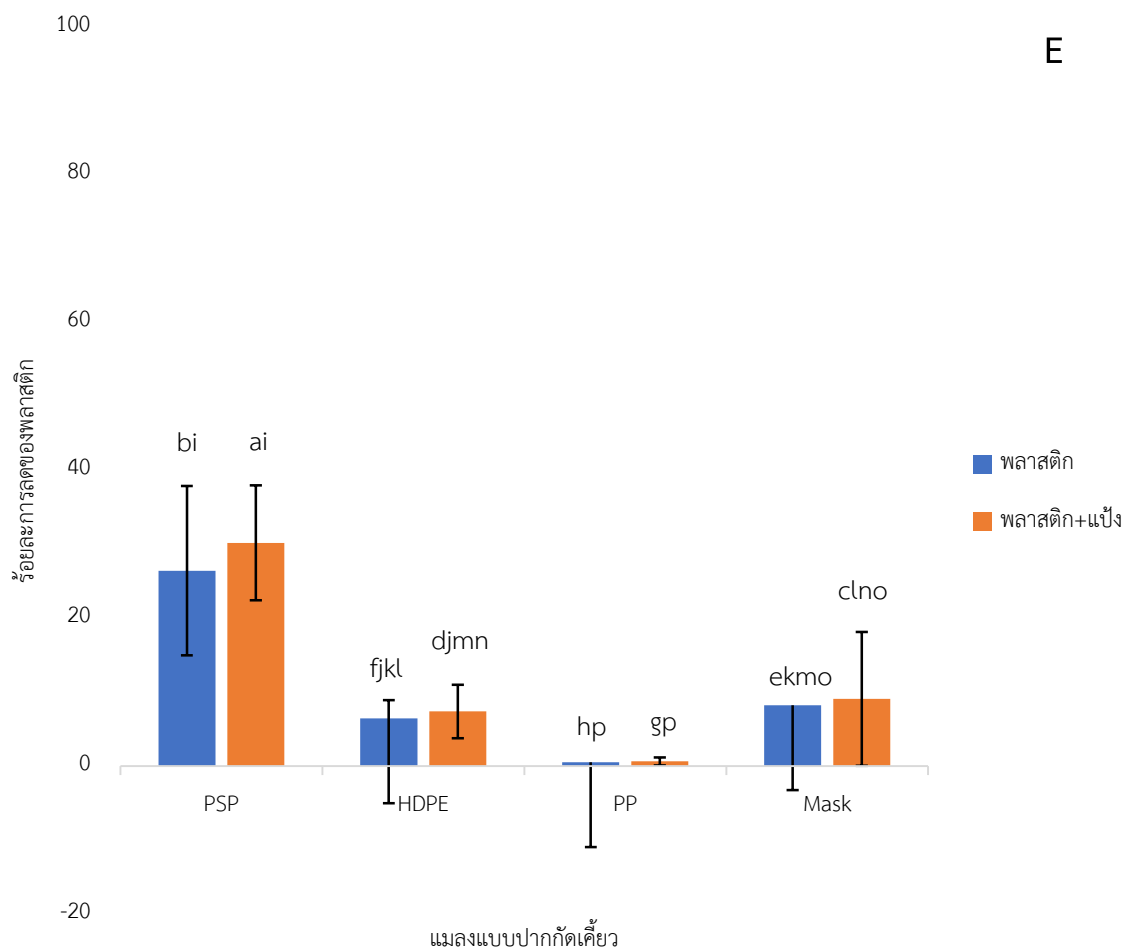


ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างทางสถิติ ($p < 0.05$) (ต่อ)

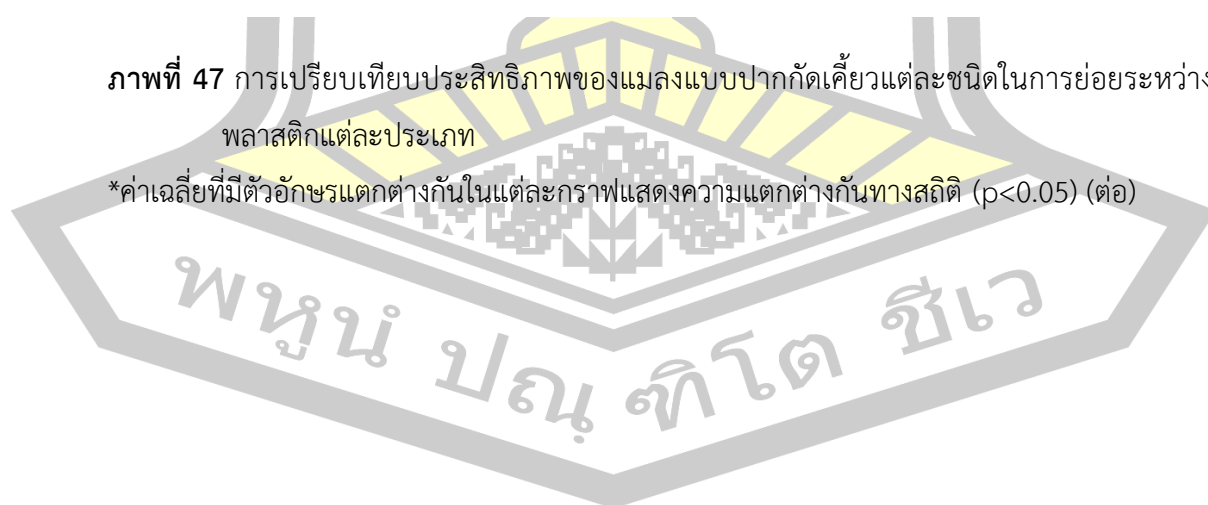


ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกโดยตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำ

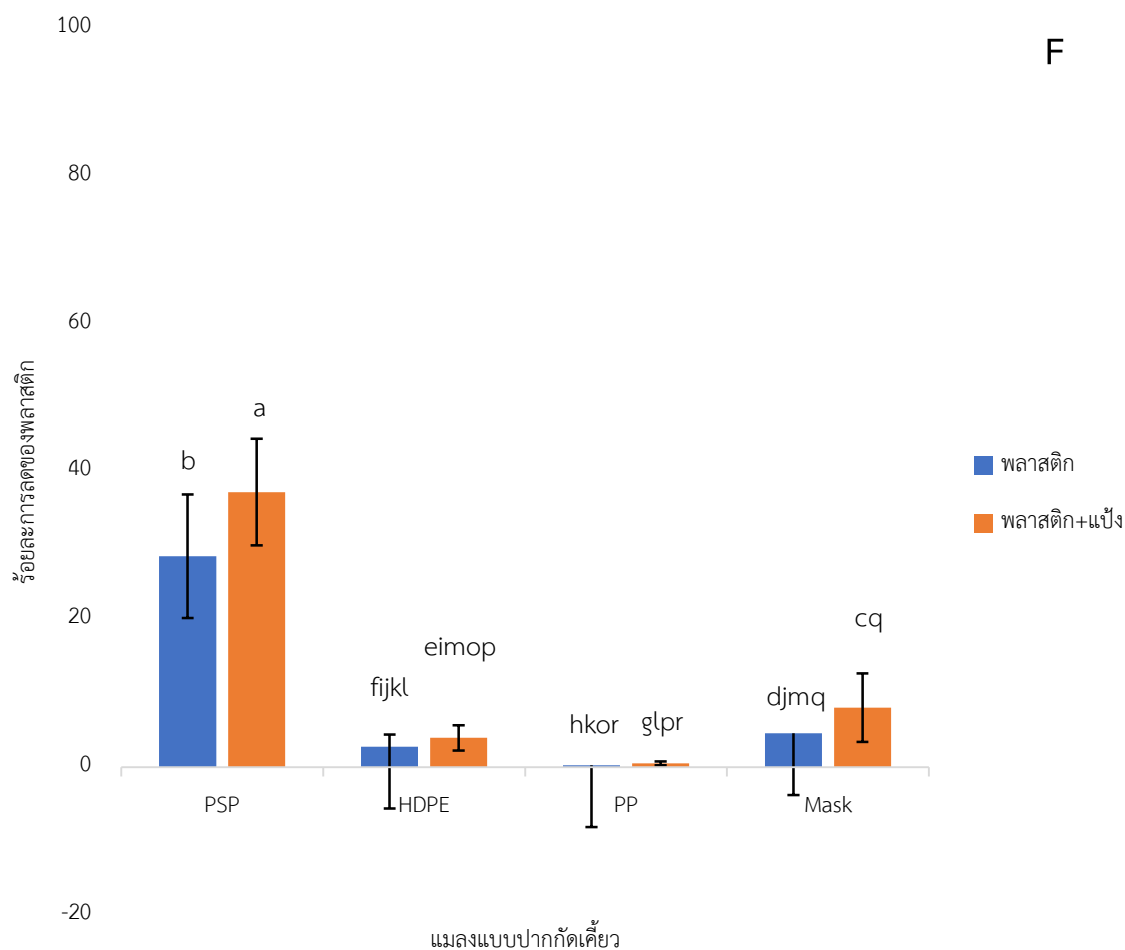


ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ต่อ)



ประสิทธิภาพการย่อยพลาสติกโดยตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองคำ



ภาพที่ 47 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดในการย่อยระหว่างพลาสติกแต่ละประเภท

*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแต่ละกราฟแสดงความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) (ต่อ)



บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยศึกษาการสลายทางชีวภาพโดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดลงของพลาสติก ชนิดถุงร้อน PP พลาสติกถุงหูหิ้ว HDPE โฟม PSP และหน้ากากอนามัย โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) โดยทุกบล็อกจะได้รับครบทุกทรีทเมนต์ทำทั้งหมด 10 ซ้ำ โดยตัวอย่างพลาสติก PP ใช้พลาสติกถุงร้อนชนิด Polypropylene พลาสติก PSP ใช้โฟมสำหรับบรรจุอาหาร Polystyrene Paper พลาสติก HDPE ใช้พลาสติกถุงหูหิ้ว High Density Polyethylene และหน้ากากอนามัยชนิด Medical 3 – Layer Mask น้ำหนัก 0.1 กรัม ตัดขนาดเท่าๆกันประมาณ 1x1 เซนติเมตร และ พลาสติกน้ำหนัก 0.09 กรัมผสมแป้งมัน 0.01 กรัม ตัดขนาดเท่าๆกันประมาณ 1x1 เซนติเมตร ทรีทเมนต์คือตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน (*P.americana*) ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำ (*G.bimaculatus*) หนอนนก (*T.molitor*) และหนอนยักซ์ (*Z.morio*) โดยใส่แมลงแบบปากกัดเคี้ยวลงในบล็อกที่มีพลาสติกอยู่จำนวน 25 ตัวต่อ 1 คูณพฤติกรรมการกินเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมงโดยใส่พลาสติกลงไปเพียงครั้งเดียว ทำการทดลอง 10 ซ้ำ ศึกษาประสิทธิภาพการลดลงของพลาสติกโดยศึกษาร้อยละการลดลงของพลาสติกเพื่อวัดน้ำหนักของพลาสติกก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอล (Electronic Balance) ชนิดความละเอียด 4 ตำแหน่ง ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) และศึกษาลักษณะโครงสร้างทางเคมีของพลาสติกเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างทางเคมีก่อนและหลังกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพโดยเทคนิค Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR) ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับหัวข้อ ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ประสิทธิภาพการย่อยสลายของพลาสติก PSP

การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีก่อนการทดลองพลาสติก PSP มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_2H_2)_n$ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) และมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำโดยพบว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก PSP เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายทางชีวภาพจากการปรากฏ peak ใหม่ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและดีพอลิเมอไรเซชัน เกิดการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ปรากฏหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (C=O) และไฮดรอกซิล (O-H) ซึ่งทำให้ PSP ที่ผ่านการย่อยสลามีคุณสมบัติละลายน้ำ

ก่อนการทดลองลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ PSP มีลักษณะพื้นผิวเรียบมีการเรียงตัวกันของเม็ดพลาสติก หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการทดลองมีลักษณะผิวขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบของตัวอย่าง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและดีพอลิเมอไรเซชัน ทำให้เกิดการเสียหายแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัว แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PSP หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

หลังการทดลองพบว่าหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อย PSP มากที่สุดร้อยละ 92.10 และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อย PSP น้อยที่สุดร้อยละ 23.24 และพบว่าหลังการทดลองหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อย PSP ผสมแป้งมากที่สุดร้อยละ 95.45 และตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดร้อยละ 30.20 โดยพบว่าหลังการทดลองน้ำหนักของพลาสติก PSP แป้งลดลงมากกว่า PSP เพียงอย่างเดียว

5.1.2 ประสิทธิภาพการลดของพลาสติก HDPE

ก่อนการทดลองพลาสติก HDPE มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_2H_2)_n$ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) พบว่าหนอนนก หนอนยักซ์ ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำและด้วงเตี้ยของจิ้งหรีดทองดำ มีความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติก HDPE เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE หลังการย่อยสลายทางชีวภาพจากการปรากฏ peak ใหม่ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและดีพอลิเมอไรเซชัน เกิดการสั่นในรูปแบบการยืด (stretching) ปรากฏหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล (C=O) และไฮดรอกซิล (O-H) ซึ่งทำให้ PSP ที่ผ่านการย่อยสลามีคุณสมบัติละลายน้ำและพบว่าตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันและด้วงเตี้ยของแมลงสาบอเมริกันไม่กัดกินพลาสติก

ก่อนการทดลองลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ HDPE มีลักษณะพื้นผิวเรียบ หลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกหลังการทดลองมีลักษณะขรุขระ และมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกันซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและดีพอลิเมอไรเซชัน ทำให้เกิดการเสียหายแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัว แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก HDPE หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิด

หลังการทดลองพบว่าหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อย HDPE มากที่สุดร้อยละ 6.78 และตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดร้อยละ 0.47 และพบว่าพลาสติก HDPE ผสมแป้งหนอนยักซ์มีประสิทธิภาพในการย่อยมากที่สุดร้อยละ 12.27 และตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดร้อยละ 1.02 หลังการทดลองน้ำหนักของพลาสติก HDPE โดยพบว่าหลังการทดลองน้ำหนักของพลาสติก HDPE แปรลดลงมากกว่า HDPE เพียงอย่างเดียว

5.1.3 ประสิทธิภาพการลดของพลาสติก PP

ก่อนการทดลองพลาสติก PP มีสูตรโมเลกุลคือ $(C_3H_6)_n$ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) หลังทดลองเมื่อนำพลาสติกที่เหลืออยู่ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารแบบดิจิตอลพบว่าน้ำหนักของพลาสติกไม่หายไปและเมื่อนำมูลของแมลงหลังการทดลองไปสกัดพลาสติกพบว่าไม่มีพลาสติกอยู่ในมูลของแมลงจึงสรุปได้ว่า หนอนนก หนอนยักซ์ ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำและตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองไม่สามารถกัดกินพลาสติกชนิดถูร้อน PP ได้เนื่องจากลักษณะพื้นผิวของพลาสติกมีความเหนียวโดยลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของ PP ก่อนการทดลองและหลังการทดลองมีลักษณะพื้นผิวเรียบหลังการทดลองพบว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวทุกชนิดไม่สามารถกัดกินพลาสติก PP ได้โดยน้ำหนักที่ลดลงของพลาสติก PP ลดลงไม่ถึงร้อยละ 1

5.1.4 ประสิทธิภาพการลดของหน้ากากอนามัย Mask

ก่อนการทดลองหน้ากากอนามัยเป็นพลาสติกชนิด PP โดยมีสูตรโมเลกุลคือ $(C_3H_6)_n$ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) หลังการทดลองพบว่าหลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวแต่ละชนิดพบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของหน้ากากอนามัย (ไม่ปรากฏ peak ใหม่)

ก่อนการทดลองลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยมีลักษณะพื้นผิวเป็นเส้นใยเรียงต่อกันเป็นชั้นซ้อนทับกันไปมา หลังการทดลองพบว่าพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยมีลักษณะเส้นใยที่พบบ่อยฉีกขาดระหว่างเส้นใย โดยเส้นใยมีลักษณะขดงอไปมาไม่เป็นระเบียบ และพบรอยแตกขรุขระบนเส้นใย

หลังการทดลองพบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยหน้ากากอนามัยได้ดีที่สุดร้อยละ 7.40 และตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยหน้ากากอนามัยน้อยที่สุดร้อยละ 0.29 และพบว่าหน้ากากอนามัยผสมแป้งตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยได้ดีที่สุดร้อยละ 25.12 และหนอนยักข์มีประสิทธิภาพในการย่อยน้อยที่สุดร้อยละ 1.00 โดยพบว่าหลังการทดลองน้ำหนักของหน้ากากผสมแป้งลดลงมากกว่าหน้ากากอนามัยเพียงอย่างเดียว

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

ศึกษาการสลายทางชีวภาพโดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการลดลงของพลาสติกชนิด PSP HDPE PSP PP และหน้ากากอนามัยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) ทำการทดลองทั้งหมด 10 ซ้ำโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวคือ หนอนนก หนอนยักข์ ตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกัน ตัวเต็มวัยของแมลงสาบอเมริกัน ตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำ และตัวเต็มวัยของจิ้งหรีดทองดำ

5.2.1 ประสิทธิภาพของลดลงของพลาสติก PSP

โครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP ประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2527) จากการศึกษาในครั้งนี้ค้นพบว่าการปรากฏ peak ใหม่ที่แสดงช่วงคลื่นความถี่ของหมู่คาร์บอนิล (C=O) และหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) หลังการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวพบ peak ใหม่เกิดขึ้นภายหลังการย่อยสลายซึ่งเกิดจากการแตกของพันธะในพลาสติก PS (Pushpadass et al., 2010) แสดงให้เห็นว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นซึ่งกระบวนการออกซิเดชันและดีพอลิเมอไรเซชันของ PSP เกิดขึ้นในลำไส้ของแมลง (Yang et al., 2015; Peng et al., 2020) เป็นการเปลี่ยนจากคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำเป็นคุณสมบัติละลายน้ำ (กาญจนา ตระกูลคู่, 2533) จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าแมลงสาบและจิ้งหรีดทองดำสามารถย่อยสลาย PSP ทางเคมีได้ กล่าวคือมีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก PSP แสดงให้เห็นจากการเกิดหมู่คาร์บอนิล (C=O) และหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เนื่องจากการออกซิโดซ์ทำให้ PS มีคุณสมบัติละลายน้ำซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้าในการย่อยสลาย PS โดยหนอนนก และหนอนยักข์ (Yang et al., 2015; Peng et al., 2020)

พลาสติก PSP หลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัญญาณวิทยาของพลาสติกจากเดิมมีลักษณะพื้นผิวเรียบมีการเรียงตัวกันของเม็ดพลาสติกเปลี่ยนแปลงมีลักษณะขรุขระและเกิดรูพรุนโดยรอบสอดคล้องกับการศึกษาของ (Chen et al., 2000) หลังเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันทำให้เกิดการเสียหายแตก

ออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัวเมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Fan et al., 2002)

ในการศึกษาในครั้งนี้พลาสติก PSP เป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ดีที่สุดโดยแมลงทุกชนิดบริโภค PSP ได้มากกว่าพลาสติกชนิดอื่นโดยเฉพาะหนอนยักซ์ เนื่องจากพลาสติก PSP เกิดจากการนำเม็ดพลาสติก PS เข้าสู่กระบวนการฉีดแก๊สชีวแทนผสมเข้าไปทำปฏิกิริยาให้พลาสติกที่กำลังหลอมนั้นเกิดการขยายตัวประมาณ 20 เท่าและนำไปขึ้นรูปด้วยความร้อนทำให้มีลักษณะเบา (ชลธิชา นุ่มหอม, 2538) แมลงแบบปากกัดเคี้ยวจึงสามารถย่อยสลาย PSP ได้ดีกว่าพลาสติกชนิดอื่นโดยจากการศึกษาในครั้งนี้หนอนยักซ์สามารถย่อยสลาย PSP ได้มากถึงร้อยละ 95.45 และหนอนนกร้อยละ 59.15 โดยอัตราเฉลี่ยการย่อยสลาย PSP ของหนอนยักซ์เท่ากับ 1.27 มิลลิกรัม /ตัว/วัน และหนอนนกเท่ากับ 0.84 มิลลิกรัม /ตัว/วัน ซึ่งมากกว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ของ (Yang et al., 2015, 2020) พบว่าหนอนยักซ์มีการย่อยสลายบริโภคเฉลี่ย 0.58 มิลลิกรัม/ตัว/วัน และหนอนนกมีอัตราการการย่อยสลายเฉลี่ย 0.12 มิลลิกรัม/ตัว/วัน และจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าแมลงสาบอเมริกันและจิ้งหรีดทองดำมีความสามารถในการย่อยสลาย PSP ได้โดยตัวเต็มของแมลงสาบอเมริกันสามารถย่อยสลาย PSP ได้ดีกว่าตัวอ่อนเช่นเดียวกับจิ้งหรีดทองดำซึ่งพบว่าที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาแมลงสาบอเมริกันและจิ้งหรีดทองดำในการย่อยสลายพลาสติก PSP จึงถือได้ว่าการศึกษาในครั้งนี้เป็นการค้นพบใหม่และนอกจากนี้ยังพบว่าการผสมแป้งกับตัวอย่างส่งผลให้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวย่อยสลายพลาสติกได้เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดอาจกล่าวได้ว่าแป้งเป็นปัจจัยที่ดึงดูดให้แมลงเข้ามาย่อยสลายนั่นเองเป็นไปได้ว่ามูลฝอยในธรรมชาติจะมีเศษอาหารจำพวกแป้ง น้ำตาล โปรตีน ปนเปื้อนอยู่คาดการณ์ว่าอัตราการย่อยสลายในธรรมชาติมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นจากการทดลอง

5.2.2 ประสิทธิภาพของลดลงของพลาสติก HDPE

พลาสติก HDPE เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีสายโซ่ยาวประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน(H) (ชลธิชา นุ่มหอม, 2538) จากการศึกษาในครั้งนี้ค้นพบที่มีการปรากฏ peak ใหม่ที่แสดงช่วงคลื่นความถี่ของหมู่คาร์บอนิล (C=O) หมู่แอลคีน (C=C) และหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ซึ่งพบว่าการปรากฏช่วงความถี่ $1710-1715\text{ cm}^{-1}$ บ่งชี้ให้ถึงการเกิดขึ้นหมู่คาร์บอนิล (C=O) ซึ่งถือเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกมีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้นซึ่งกระบวนการออกซิเดชันและดีพอลิเมอไรเซชันเป็นการเปลี่ยนจากคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำเป็นคุณสมบัติละลายน้ำ (กาญจนา ตระกูลคู่, 2533) นอกจากนี้การค้นพบของ Albertsson et al. (1998) สายโซ่ยาวของ HDPE ถูกทำให้แตกเป็นแอลคีน และ carboxylic acids จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าแมลงสาบและจิ้งหรีดทองดำสามารถย่อยสลาย HDPE ทางเคมีได้กล่าวคือมีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก HDPE แสดงให้เห็นจากการเกิดหมู่คาร์บอนิล (C=O) และหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เนื่องจากการออกซิโดซ์ทำให้ HDPE มีคุณสมบัติละลายน้ำซึ่งสะท้อนถึงความสามารถใน

การย่อยสลายทางชีวภาพ สอดคล้องกับการศึกษาของ Amobonye et al. (2021) ว่าเอนไซม์ proteases และ lipase สามารถย่อยสลาย PE ได้ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่อยู่ในลำไส้ของจิ้งหรีดและแมลงสาบเช่นเดียวกัน

พลาสติก HDPE หลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกจากเดิมมีลักษณะพื้นผิวเรียบเปลี่ยนแปลงมีลักษณะขรุขระและมีรอยแตกแยกของพื้นผิวโดยรอบมีความตื้นลึกแตกต่างกัน สะท้อนให้เห็นว่าเกิดการทำลายพื้นผิว HDPE จากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลเปลี่ยนไปโดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Skariyachan et al. (2015) โดยทำการศึกษการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกซึ่งพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของฟิล์ม HDPE หลังผ่านการกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และพบว่าหลังผ่านการเพาะเลี้ยงเชื้อ *Cephalosporium* sp.บนฟิล์ม HDPE พบว่าเกิดผิวขรุขระมีรอยแตกแยก Chaudhary & Vijayakumar (2020) เช่นเดียวกับการการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาที่เกิดขึ้นหลังการเพาะเชื้อจุลินทรีย์มีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Kowalczyk et al. (2016)

พลาสติก HDPE เป็นพลาสติกที่แมลงแบบปากกัดเคี้ยวสามารถย่อยสลายได้แต่ไม่ดีเท่า PSP เนื่องจากลักษณะของ HDPE มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในโครงสร้างเป็นสายตรงและมีปริมาณโครงสร้างผลึกสูง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2560) ด้วยเหตุผลนี้การกัดกินลักษณะของพลาสติกจะปรากฏร่องรอยในการพยายามกัดบรีเวอร์ขอบแต่ไม่หลุดแยกออกเป็นชิ้นๆโดยหนอนยักซ์สามารถย่อยสลาย HDPE ได้ดีที่สุด จากการศึกษาในครั้งนี้ค้นพบว่าจิ้งหรีดทองคำสามารถย่อยสลายพลาสติก HDPE ได้เช่นเดียวกันกับหนอนนก และหนอนยักซ์ (Lou et al., 2021., Peng et al., 2020) ซึ่งแมลงสาบอเมริกันมีการย่อยสลายไม่ถึงร้อยละ 1 อาจเป็นไปได้ว่าแมลงสาบอเมริกันมีความสามารถต่อการอดอาหาร จากผลของการศึกษาพบว่าการผสมแป้งกับHDPE มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการย่อยสลายน้อยในทุกแมลงยกเว้นหนอนยักซ์ที่พบว่า หนอนยักซ์มีอัตราการย่อยสลาย HDPE เพิ่มขึ้นเท่าตัว

5.2.3 ประสิทธิภาพของลดลงของพลาสติก PP

หลังการทดลองพบว่าน้ำหนักของพลาสติกไม่ลดลงเนื่องจากแมลงไม่สามารถกัดกินพลาสติกชนิดถุงร้อน PP ได้มีเพียงร่องรอยการกัดเท่านั้นอาจกล่าวได้ว่าเนื่องจากพลาสติก PP มีความทนแรงดึงสูง จุดหลอมเหลวสูง ทนอุณหภูมิสูงได้ดีจึงถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ถุงร้อน ชลธิชา นุ่มหอม (2538) ด้วยคุณสมบัติข้างต้นจึงเป็นปัจจัยที่ทำให้แมลงไม่สามารถกัดกินพลาสติกได้

5.2.4 ประสิทธิภาพของลดลงของน้ำกากอนามัย

น้ำกากอนามัยหลังจากการย่อยสลายทางชีวภาพโดยแมลงแบบปากกัดเคี้ยวพบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีซึ่งน้ำกากอนามัยเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีแล้วพบว่า

เป็นพลาสติกชนิด PP ซึ่งขัดแย้งการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของ PP โดยหนอนนกกและหนอนยักซ์โดยผ่านกระบวนการดีพอลิเมอไรเซชันที่ขึ้นกับจุลินทรีย์ในลำไส้ของ Yang et al. (2021) พบว่าหนอนนกกและหนอนยักซ์สามารถย่อยสลาย PP ได้

หลังการย่อยสลายหน้ากากอนามัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกจากเดิมมีลักษณะเป็นเส้นใยเรียงต่อกันเป็นชั้นซ้อนทับกันไปมา หลังการทดลองพบว่าพื้นผิวทางสัณฐานวิทยาของหน้ากากอนามัยมีลักษณะเส้นใยที่พรอยฉีกขาดระหว่างเส้นใย โดยเส้นใยมีลักษณะขดงอไปมาไม่เป็นระเบียบ และพบรอยแตกขรุขระบนเส้นใยโดยที่ผ่านมายังไม่มีรายงานวิจัยที่ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของหน้ากากอนามัยนอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าแมลงเลือกกัดกินหน้ากากอนามัยชั้นตรงกลางมากที่สุดจึงกล่าวได้ว่าความหนาและเหนียวของพลาสติกมีผลต่อการกัดของแมลง

จากการศึกษาพบว่าตัวอ่อนของจิ้งหรีดทองดำมีประสิทธิภาพในการย่อยหน้ากากอนามัยได้ดีที่สุด และค้นพบว่าแมลงสาบอเมริกันสามารถย่อยหน้ากากอนามัยเพียงอย่างเดียวได้เล็กน้อยเท่านั้นแตเมื่อนำแบ่งผสมกับหน้ากากอนามัยพบว่าแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยได้ดีมากกว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดทั้งสองระยะอาจกล่าวได้ว่าแบ่งสามารถดึงดูดแมลงสาบอเมริกันได้เป็นอย่างดีเนื่องจากแมลงสาบชอบอาหารประเภทแบ่ง (Lauprasert, et al, 2006) สอดคล้องกับการศึกษาของ Yang et al. (2018 และ 2021) ซึ่งให้เห็นว่าการเสริมแบ่งมันสำปะหลังจะทำให้การย่อยสลายเพิ่มขึ้น การเติมอาหารที่ไม่ใช่พลาสติกลงในตัวอย่างพลาสติกไม่ได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของสิ่งแมลงเท่านั้น แต่ยังอาจเพิ่มการบริโภคพลาสติกด้วย

เมื่อพิจารณาการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกพบว่าพลาสติกสามารถย่อยสลายได้เร็วขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงสภาพจากพลาสติกตั้งต้นกล่าวคือ การลดน้ำหนักพลาสติก การแตกพันธะเคมี การสร้างรอยแตกที่พื้นผิว และการเกิดขึ้นของกลุ่มฟังก์ชัน ทั้งหมดนี้เอื้อต่อกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการกำจัดมูลฝอยแบบฝังกลบ จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าแมลงแบบปากกัดเคี้ยวมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติกได้เป็นอย่างดีและสิ่งที่ค้นพบใหม่ของการศึกษาในครั้งนี้คือจิ้งหรีดทองดำและแมลงสาบอเมริกันมีประสิทธิภาพในการย่อยพลาสติก PSP HDPE และหน้ากากอนามัยได้เป็นอย่างดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยครั้งนี้

5.3.1.1 จากการศึกษาในครั้งนี้พลาสติกที่แมลงแบบปากกัดเคี้ยวย่อยสลายทางชีวภาพได้มากที่สุดคือพลาสติก PSP

5.3.1.2 การผสมแป้งในตัวอย่างทำให้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวบริโภคพลาสติกได้มากกว่าพลาสติกเพียงอย่างเดียวเนื่องจากแป้งจะเป็นตัวดึงดูดความอยากบริโภคของแมลงและเพิ่มปริมาณการบริโภคมากขึ้น

5.3.1.3 หนอนนกเหมาะกับการนำมาย่อยสลายพลาสติก PSP และการผสมแป้งจะดึงดูดหนอนนกให้เพิ่มการบริโภคได้เพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัว

5.4.1.4 หนอนยักซ์เหมาะกับการนำมาย่อยสลายพลาสติก PSP มากที่สุดเนื่องจากมีการย่อยสลายเกือบทั้งหมดในเวลาอันรวดเร็วโดยอาจจะไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มแป้งลงไปในพลาสติกเลยก็ได้เนื่องจากร้อยละการบริโภคต่างกันเพียงนิดเดียว

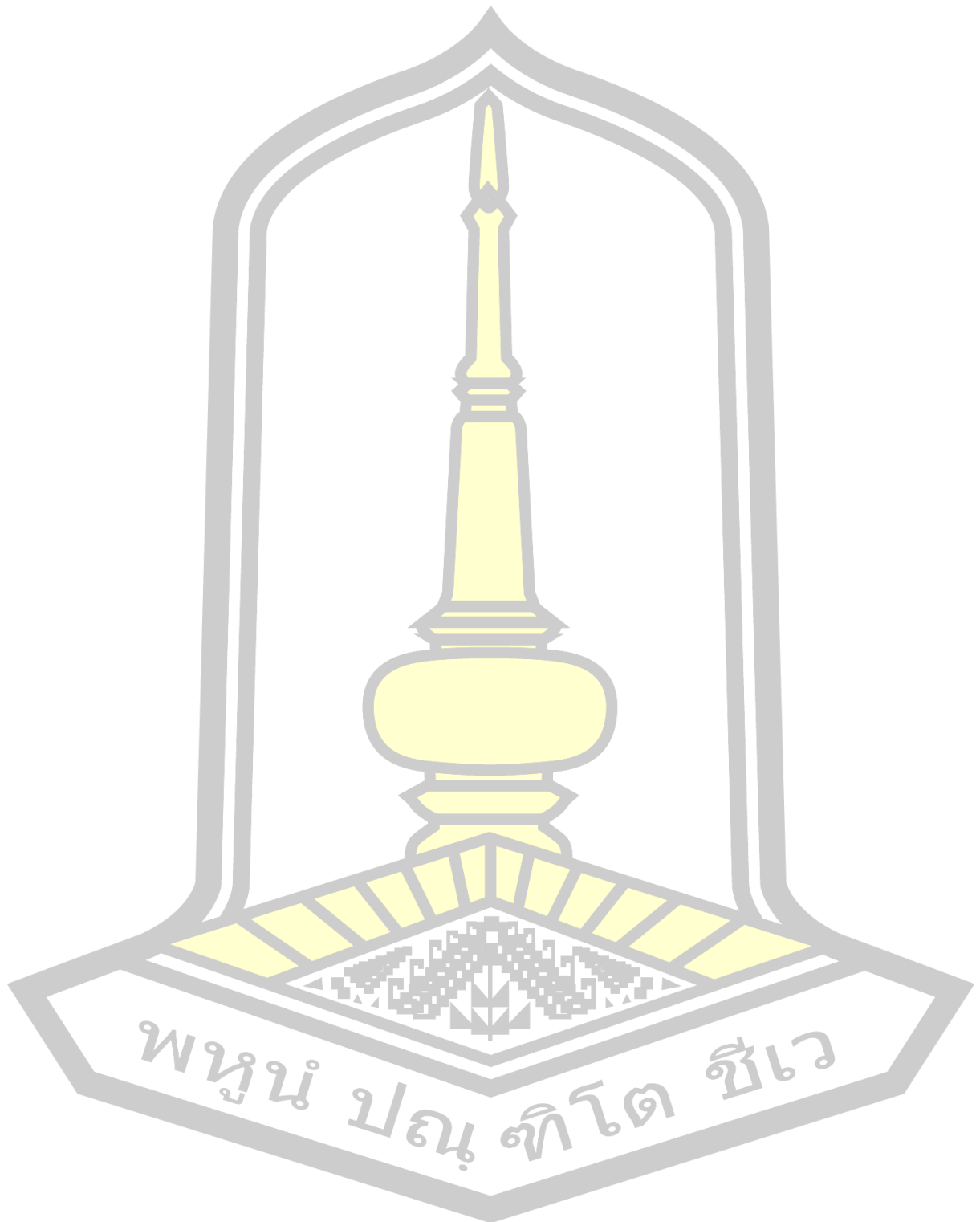
5.3.1.5 แมลงสาบอเมริกันเหมาะกับการนำมาย่อย PSP โดยตัวอ่อนของแมลงสาบอเมริกันมีร้อยละการบริโภคมากกว่าตัวเต็มวัยเนื่องมาจากการต้องการพลังงานในการลอกคราบ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาย่อยหน้ากากอนามัยได้อีกด้วยหากโดยเฉพาะการผสมแป้งจะดึงดูดการบริโภคของแมลงสาบอย่างเห็นได้ชัด

5.3.1.6 จิ้งหรีดทองคำเหมาะกับการนำมาย่อยสลาย PSP โดยร้อยละการบริโภคของตัวเต็มวัยและตัวอ่อนเท่าๆ กัน

5.3.2 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยครั้งต่อไป

แมลงแบบปากกัดเคี้ยว (หนอนนก หนอนยักซ์ แมลงสาบและจิ้งหรีด) เป็นแมลงที่แพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว ใช้พื้นที่น้อย และมีค่าใช้จ่ายต่ำ ข้อเท็จจริงที่ว่าหนอน *T. molitor* และ *Z. morio* สายพันธุ์ 2 สายพันธุ์เป็นที่รู้กันว่าสามารถย่อยสลาย PS และ HDPE ได้ ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้ได้ค้นพบว่าแมลงสาบและจิ้งหรีดสามารถย่อย PSP และ HDPE ได้อย่างสมบูรณ์ และความสามารถนี้มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นกับแมลงสาบและจิ้งหรีดชนิดอื่น ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงความสามารถที่ชัดเจนของการย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวและจุลินทรีย์ในลำไส้ของแมลงเพื่อลดประสิทธิภาพของพลาสติกอย่างใดก็ตาม ควรศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพจากจุลินทรีย์ในลำไส้ของแมลงต่อไป รวมทั้งศึกษาอุณหภูมิในการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายพลาสติก รวมทั้งศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกชนิดอื่นโดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยวต่อไปเพื่อยกระดับความก้าวหน้าในการย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคตโดยเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมมากที่สุด

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2560). แผนจัดการมลพิษพลาตีก้อย่างบูรณาการ (พ.ศ. 2560-2564).

กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.

กรมควบคุมโรค. (2564). สถานการณ์โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในประเทศไทย.

[ออนไลน์] ได้จาก: <https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/index.php>

[สืบค้นวันที่ 25 มกราคม 2564].

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (2561). รายงานสถานการณ์ด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง

และการกีดขวางชายฝั่งของประเทศไทย พ.ศ. 2560. กรุงเทพฯ: กองยุทธศาสตร์และ

แผนงาน: กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ

สิ่งแวดล้อม.

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2556). องค์ความรู้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสู่การเป็น smart officer ผัง

และแมลงเศรษฐกิจ : จังหวัด. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย

จำกัด.

กาญจนา ตระกูลคู่. (2533). เทคโนโลยีโพลีเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด

เอ็กซ์เพรส มีเดียคอมมิวนิเคชั่น.

ชลธิชา นุ่มหอม. (2538). พอลิเมอร์. กรุงเทพฯ: พรศิริการพิมพ์.

ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. (2527). เคมีโพลีเมอร์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

ทัศนีย์ แจมจรรยา, ชาญชัย ถาวรอนุกุลกิจ และวิโรจน์ ขลิบสุวรรณ. (2543). เอกสารประกอบการ

ฝึกอบรมการเลี้ยงจิ้งหรีดในเชิงอุตสาหกรรม. ขอนแก่น: ภาควิชาชีววิทยา

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธีรพัฒน์ เวชประสิทธิ์. (2556). จุลินทรีย์กับพลาสติก. [ออนไลน์] ได้จาก: [https://library.ipst.](https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/328)

[ac.th/handle/ipst/328](https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/328).

ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐและ อภิวัฏ ธวัช สีน. (2558). การพัฒนาเหี่ยวพิษจากมันสำปะหลัง ในการ

กำจัดแมลงสาบเยอรมัน. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น. 27-35.

มนรัตน์ ถาวรเจริญทรัพย์. (2563). ใช้หน้ากากอนามัย (Facemask) อย่างไรให้เหมาะสมในช่วงการ

ระบาดของไวรัสโควิด-19. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหิดล. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://healthydee.moph.go.th/backend/file>

Attach/23072020_083646-0000003722.pdf. [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2564].

- มันทนา นครเรียบ และคณะ. (2558). *การสร้างมาตรฐานต้นแบบการจัดการฟาร์มจิ้งหรีดให้ถูกต้องตามหลักสุขอนามัยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพของวิสาหกิจชุมชนผู้เลี้ยงจิ้งหรีดบ้านมะค่า*. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ลีลา กัญณันท์ และจารึก ศักดิ์วัฒนกำจร. (2545). *ชีววิทยาจิ้งหรีดเพื่อพัฒนาจัดการเพาะเลี้ยง*. รายงานการประชุมวิชาการปาไมประจำปี 2545.
- วิจารณ์ สิมายา. (2563). New Normal ชีวิตวิถีใหม่และโอกาสในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาเกษตร*, 4(2), 196-220.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. (2553). *ชีววิทยาและการควบคุมแมลงที่เป็นปัญหาสาธารณสุข*. [ออนไลน์] ได้จาก: http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_nih/applications/files/Insect%20Control%20rp4%2Bcover.pdf [สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2564].
- สรินทร ลิ้มปนาท. (2544). *มารู้จักกับโฟมพอลิสไตรีนกันดีกว่า*. [ออนไลน์] ได้จาก: <http://www.material.chula.ac.th/RADIO45/November/radio11-1.htm>. [สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2564].
- สาขาวิชาโรคติดเชื้อ ภาควิชากุมารเวชศาสตร์ และหน่วยโรคติดเชื้อและเวชศาสตร์เขตร้อน ภาควิชาอายุรศาสตร์คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2563). *ความรู้เกี่ยวกับหน้ากากอนามัย*. [ออนไลน์] ได้จาก: <https://w2.med.cmu.ac.th/nd/wpcontent/uploads/2020/02/%E0%B8%84%E0%B8%B3%E0%B9%81%E0%B8%99%E0%B8%B0%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8>. [สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2564].
- สาวตรี มาลัยพันธุ์. (2538). *บทปฏิบัติการ กวีวิทยาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: ภาควิชากวีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โสภณ บุญล้ำ. (2556). *คู่มือเพาะเลี้ยงหนอนนก*. คลินิกเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี.
- โสภณ บุญล้ำและชุตินา เสพยธรรม. (2551). *การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตหนอนนก*. เครือข่ายการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก สกอ. ภาคใต้ตอนบน.
- อภิรักษ์ สุวรรณรักษ์. (2543). หนอนนก : อาหารสุขภาพสัตว์. *ว.แม่โจ้ปริทัศน์*. 1(6), 68-75.
- อภิรักษ์ รัชสิน. (2557). *แมลงสาบ. ในการควบคุมแมลงทางการแพทย์*. อุษาวดี ถาวรระ บรรณาธิการ. นนทบุรี: บริษัท ดีวัน จำกัด. หน้า 93 – 106.

- Adam, D. C., Wu, P., Wong, J. Y., Lau, E. H., Tsang, T. K., Cauchemez, S., ... & Cowling, B. J. (2020). Clustering & superspreading potential of SARS-CoV-2 infections in Hong Kong. *Nature Medicine*, 26(11), 1714-1719.
- Adhikari, S. P., Meng, S., Wu, Y. J., Mao, Y. P., Ye, R. X., Wang, Q. Z., ... & Zhou, H. (2020). Epidemiology, causes, clinical manifestation & diagnosis, prevention & control of coronavirus disease (COVID-19) during the early outbreak period: a scoping review. *Infectious diseases of poverty*, 9(1), 1-12.
- Aragaw, T. A. (2020). Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. *Marine Pollution Bulletin*, 159, 111517.
- Association of Plastic Manufacturers. (2017). *Plastics the Facts 2017: An analysis of European plastics production, demand & waste data: Technical Report*. 2019. [https://www.plasticseurope.org/download_file/force ...](https://www.plasticseurope.org/download_file/force...)
- Awasthi, S., Srivastava, P., Singh, P., Tiwary, D. & Mishra, P. K. (2017). Biodegradation of thermally treated high-density polyethylene (HDPE) by *Klebsiella pneumoniae* CH001. *3 Biotech*, 7(5), 332.
- Ayieko, M. A., Ogola, H. J., & Ayieko, I. A. (2016). Introducing rearing crickets (gryllids) at household levels: adoption, processing & nutritional values. *Journal of Insects as Food & Feed*, 2(3), 203-211.
- Barlaz MA, Ham RK, Schaefer DM. (1989). Mass-balance analysis of anaerobically biodegradation of low density polyethylene in a polymer-starch blend. *Nat. Sci.Rep.* 9:2612. doi: 10.1038/s41598-019-39366-0
- Biological Diversity. (2020). *Ocean Plastics pollution*. https://www.biologicaldiversity.org/campaigns/ocean_plastics/. [Retrieved 25 Jan., 2021].
- Bisht, K. S., Henderson, L. A., Gross, R. A., Kaplan, D. L., & Swift, G. (1997). Enzyme-catalyzed ring-opening polymerization of ω -pentadecalactone. *Macromolecules*, 30(9), 2705-2711.
- Bombelli, P., Howe, C. J., & Bertocchini, F. (2017). Polyethylene bio-degradation by caterpillars of the wax moth *Galleria mellonella*. *Current Biology*, 27(8), R292- R293.

- Bron, A. M., Gao, S. H., Tian, R., Ning, D., Yang, S. S., Zhou, J., ... & Criddle, C. S. (2018). Biodegradation of polyethylene & plastic mixtures in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* & effects on the gut microbiome. *Environmental science & technology*, 52(11), 6526-6533.
- Chaudhary, A. K., & Vijayakumar, R. P. (2020). Effect of chemical treatment on biological degradation of high-density polyethylene (HDPE). *Environment, Development & Sustainability*, 22(2), 1093-1104.
- Chen, G., Qi, Z., & Shen, D. (2000). Shear-induced ordered structure in polystyrene/clay nanocomposite. *Journal of Materials Research*, 15(2), 351-356.
- Danso, D., Chow, J., & Streit, W. R. (2019). Plastics: environmental & biotechnological perspectives on microbial degradation. *Applied & Environmental Microbiology*, 85(19).
- De Smet, M. (2017). The new plastics economy: rethinking the future of plastics & catalysing action. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, Isle of Wight, UK.
- decomposed refuse. *J Environ Eng*, 1989(115), 1088–102.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44(9), 842-852.
- Fan, J., Liu, S., Chen, G., & Qi, Z. (2002). SEM study of a polystyrene/clay nanocomposite. *Journal of applied polymer science*, 83(1), 66-69.
- Fesseha, H., & Abebe, F. (2019). Degradation of plastic materials using microorganisms: a review. *Public Health Open J*, 4, 57-63.
- Frazer AC. (1994). *O-methylation & other transformations of aromatic compounds by acetogenic bacteria*. In: Drake HL, editor. New York: Acetogenesis.
- Fu, X., & Qutubuddin, S. (2000). Synthesis of polystyrene–clay nanocomposites. *Materials Letters*, 42(1-2), 12-15.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, & fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- Ghatge, S., Yang, Y., Ahn, J.-H., Hur, H.-G., 2020. Biodegradation of polyethylene: a brief review. *Appl. Biol. Chem.* 63 (1) <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00511-3>.

- Glass, J. E., & Swift, G. (1989). Agricultural & synthetic polymers, biodegradation & utilization. *In ACS symposium series*, 433, 9-64.
- Gu JD, Ford TE, Mitton DB, M. R. (2000). Microbial corrosion of metals. In : Revie W, editor. *The Uhlig Corrosion H & book*. 2nd ed. New York: Wiley; p. 915-27.
- Hahladakis, J. N., & Iacovidou, E. (2018). Closing the loop on plastic packaging materials: What is quality & how does it affect their circularity?. *Science of the Total Environment*, 630, 1394-1400.
- Hamilton JD, Reinert KH, Hogan JV, L. W. (1995). *Polymers as solid waste in Municipal Landfills*. *J Air Waste Manag Assoc*, 45(4) 247-251.
- Held, J. R. (1981). Requirements for laboratory animals in health programmes. *Bulletin of the World Health Organization*, 59(4), 513.
- Hu, X., Thumarat, U., Zhang, X., Tang, M., & Kawai, F. (2010). Diversity of polyester-degrading bacteria in compost & molecular analysis of a thermoactive esterase from *Thermobifida alba* AHK119. *Applied microbiology & biotechnology*, 87(2), 771-779.
- Ikada E. (1999). *Electron microscope observation of biodegradation of polymers*. *Journal of environmental polymer degradation*, 7, 197-201.
- Islam, S., Apitius, L., Jakob, F., & Schwaneberg, U. (2019). *Targeting microplastic particles in the void of diluted suspensions*. *Environment international*, 123, 428-435.
- Iwamoto, A., & Tokiwa, Y. (1994). Enzymatic degradation of plastics containing polycaprolactone. *Polymer Degradation & Stability*, 45(2), 205-213.
- Iwata, T. & Doi, Y. 1998. Morphology & enzymatic degradation of poly(L-lactic acid) single crystals. *Macromol.*, 31: 2461-2467.
- Jalil, M. A., Mian, M. N., & Rahman, M. K. (2013). Using plastic bags & its damaging impact on environment & agriculture: An alternative proposal. *International Journal of Learning & Development*, 3(4), 1-14.
- Jang, J. Y., & Kim, S. W. (2015). Evaluation of filtration performance efficiency of commercial cloth masks. *Journal of Environmental Health Sciences*, 41(3), 203-215.

- Jenna R. Jambeck et al. (2015). Plastic waste inputs from l& into the ocean. *Science*, 347(6223), 768-771.
- Jung, H., Kim, J. K., Lee, S., Lee, J., Kim, J., Tsai, P., & Yoon, C. (2013). Comparison of filtration efficiency & pressure drop in anti-yellows & masks, quarantine masks, medical masks, general masks, & h & kerchiefs. *Aerosol & Air Quality Research*, 14(3), 991-1002.
- Karimi, M., & Biria, D. (2019). *The promiscuous activity of alpha-amylase in biodegradation of low-density polyethylene in a polymer-starch blend. Scientific Reports*, 9(1), 2612.
- Kesti, S. S., & Shivasharana, C. T. (2018). The role of insects & microorganisms in plastic biodegradation: a comprehensive review. *J. Sci. Res. in Biological Sciences*, 5, 6.
- Kowalczyk, A., Chyc, M., & Latowski, D. (2016). *Achromobacter xylosoxidans* as a new microorganism strain colonizing high-density polyethylene as a key step to its biodegradation. *Environmental Science & Pollution Research*, 23, 11349–11356. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6563-y>
- Lauprasert, P., Sitthicharoenchai, D., Thirakhupt, K., & Pradatsudarasar, A. O. (2006). Food preference & feeding behavior of the German cockroach, *Blattella germanica* (Linnaeus). *Journal Science Research of Chulalongkorn University*, 31, 121-126
- Lee, S. A., Hwang, D. C., Li, H. Y., Tsai, C. F., Chen, C. W., & Chen, J. K. (2016). Particle size-selective assessment of protection of European st & ard FFP respirators & surgical masks against particles-tested with human subjects. *Journal of healthcare engineering*, 2016.
- Lim, H. A., Raku, T., & Tokiwa, Y. (2005). Hydrolysis of polyesters by serine proteases. *Biotechnology letters*, 27(7), 459-464.
- Liu, G., Agostinho, F., Duan, H., Song, G., Wang, X., Giannetti, B. F., ... & Lega, M. (2020). Environmental impacts characterization of packaging waste generated by urban food delivery services. *A big-data analysis in Jing-Jin-Ji region (China). Waste Management*, 117, 157-169.

- Lou, Y., Li, Y., Lu, B., Liu, Q., Yang, S. S., Liu, B., ... & Xing, D. (2021). Response of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) gut microbiome to diet shifts during polystyrene and polyethylene biodegradation. *J Hazard Mater*, 416. 126222. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2021.126222
- MacArthur, D. E., Samans, R., Waughray, D. & Stuchtey, M. R. (2017). The New Plastics Economy–Catalysing action. In *World Economic Forum & Ellen MacArthur Foundation*.
- MacArthur, D., Samans, R., Waughray, D., & Stuchtey, M. (2017). *The New Plastics Economy–Catalysing action*. Paper presented at the World Economic Forum & Ellen MacArthur Foundation.
- Mayumi, D., Akutsu-Shigeno, Y., Uchiyama, H., Nomura, N., & Nakajima-Kambe, T. (2008). Identification & characterization of novel poly (DL-lactic acid) de polymerases from metagenome. *Applied microbiology & biotechnology*, 79(5), 743-750.
- Natural Resources Defense Council. (2018). *Single-Use Plastics 101*. https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf [Retrieved 20 Feb., 2021].
- Mohan, N., Montazer, Z., Sharma, P. K., & Levin, D. B. (2020). Microbial & Enzymatic Degradation of Synthetic Plastics. *Frontiers in Microbiology*, 11. municipal l&fills. *J Air Waste Manage Assoc* 199, 43, 247–51.
- Nakajima-Kambe, T., Ichihashi, F., Matsuzoe, R., Kato, S., & Shintani, N. (2009). Degradation of aliphatic–aromatic copolyesters by bacteria that can degrade aliphatic polyesters. *Polymer degradation & stability*, 94(11), 1901-1905.
- Natural Resources Defense Council. (2018). *Single-Use Plastics 101* Retrieved 20 Feb., 2021, from https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf
- Neufeld, L., Stassen, F., Sheppard, R., & Gilman, T. (2016). *The new plastics eco*. The new plastics economy: rethinking the future of plastics. In *World Economic Forum* (Vol. 7).

- Natural Resources Defense Council. (2018). Single-Use Plastics 101 Retrieved 20 Feb., 2021, from https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf
- Neufeld, L., Stassen, F., Sheppard, R., & Gilman, T. (2016). *The new plastics economy: rethinking the future of plastics*. Paper presented at the World Economic Forum.
- Organisation for Economic Co-operation & Development. (2018). Improving Plastics Management: Trends, policy responses, & the role of international co-operation & trade. *Environ. Policy Pap.*, 12, 20.
- Ojha, N., Pradhan, N., Singh, S., Barla, A., Shrivastava, A., Khatua, P., ... & Bose, S. (2017). Evaluation of HDPE & LDPE degradation by fungus, implemented by statistical optimization. *Scientific Reports*, 7(1), 39515.
- Organisation for Economic Co-operation & Development. (2018). Improving Plastics Management: Trends, policy responses, & the role of international co-operation & trade. *Environ. Policy Pap.*, 12, 20.
- Oyebanji, O., Soyelu, O., Bamigbade, A., & Okonji, R. nt. (2014). Distribution of digestive enzymes in the gut of American cockroach, *Periplaneta americana* (L.). *International Journal of Scientific & Research Publications*, 4(1), 1-5.
- Pan, L., Gu, J. G., Yin, B., & Cheng, S. P. (2009). *Contribution to deterioration of polymeric materials by a slow-growing bacterium Nocardia*
- Paul, D., P & ey, G., P&ey, J., & Jain, R. K. (2005). Accessing microbial diversity for bioremediation & environmental restoration. *TRENDS in Biotechnology*, 23(3), 135-142.
- Peng, B. Y., Li, Y., Fan, R., Chen, Z., Chen, J., Br&on, A. M., ... & Wu, W. M. (2020). Biodegradation of low-density polyethylene & polystyrene in superworms, larvae of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad & limited extent depolymerization. *Environmental Pollution*, 266, 115206.

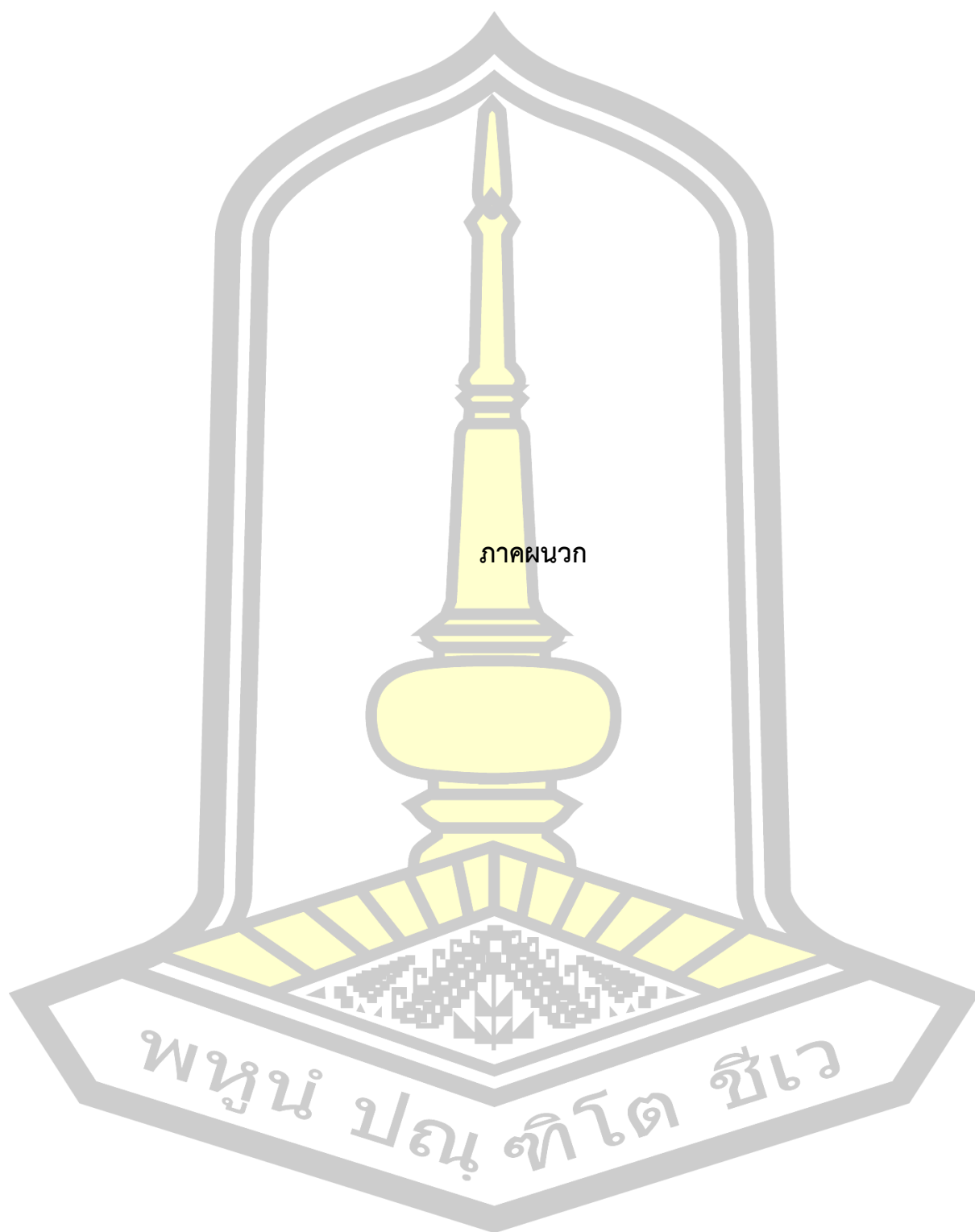
- Prabhu, J., Kumar, P. J., Manivannan, S. S., Rajendran, S., Kumar, K. R., Susi, S., & Jothikumar, R. (2020). IoT role in prevention of COVID-19 & health care workforces behavioural intention in India-an empirical examination. *International Journal of Pervasive Computing & Communications*. Quaid-i-Azam University, Islamabad, Pakistan, 2007.
- Pushpadass, H. A., Weber, R. W., Dumais, J. J., & Hanna, M. A. (2010). Biodegradation characteristics of starch-polystyrene loose-fill foams in a composting medium. *Bioresource technology*, 101(19), 7258-7264.
- Quennedey, A., N. Aribi, C. E. & J. D. (1995). Postembryonic development of *Zophobas atratus* Fab. (Coleoptera: Tenebrionidae) under crowded or isolated conditions applications. *J. Insect Physiol.* 41(2), 143-152.
- Restrepo-Flórez, J. M., Bassi, A., & Thompson, M. R. (2014). Microbial degradation & deterioration of polyethylene—A review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 88, 83-90.
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., ... & Teh, S. J. (2015). Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris & fibers from textiles in fish & bivalves sold for human consumption. *Scientific reports*, 5(1), 1-10.
- Rosa Machado, C., & Thys, R. C. S. (2019). Cricket powder (*Gryllus assimilis*) as a new alternative protein source for gluten-free breads. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 56, 102180.
- Roy, R. V., Das, M., Banerjee, R., & Bhowmick, A. K. (2006). Comparative studies on crosslinked & uncrosslinked natural rubber biodegradation by *Pseudomonas* sp. *Bioresource technology*, 97(18), 2485-2488.
- Saichua, P., & Jumnainsong, A. (2016). Cockroach in Thailand: the vector of pathogens & allergens. *Thammasat Medical Journal*, 16(4), 663-671.
- Schmidt, C., Krauth, T., & Wagner, S. (2017). Export of plastic debris by rivers into the sea. *Environmental science & technology*, 51(21), 12246-12253.
- Schmidt, J., Wei, R., Oeser, T., Dedavid e Silva, L. A., Breite, D., Schulze, A., & Zimmermann, W. (2017). Degradation of polyester polyurethane by bacterial polyester hydrolases. *Polymers*, 9(2), 65.

- Schnurr, R. E., Alboiu, V., Chaudhary, M., Corbett, R. A., Quanz, M. E., Sankar, K., ... & Walker, T. R. (2018). Reducing marine pollution from single-use plastics (SUPs): A review. *Marine pollution bulletin*, 137, 157-171.
- Shah, A.A., (2007). *Role of microorganisms in biodegradation of plastics*, Ph. D. thesis.
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A. & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotech. Advances*, 26, 246–265.
- Skariyachan, S., Megha, M., Kini, M. N., Mukund, K. M., Rizvi, A., & Vasist, K. (2015). Selection & screening of microbial consortia for efficient & ecofriendly degradation of plastic garbage collected from urban & rural areas of Bangalore, India. *Environmental monitoring & assessment*, 187, 1-14.
- Skariyachan, S., Patil, A.A., Shankar, A., Manjunath, M., Bachappanavar, N., Kiran, S., 2018. Enhanced polymer degradation of polyethylene & polypropylene by novel thermophilic consortia of *Brevibacillus* sps. & *Aneurinibacillus* sp. screened from waste management landfills & sewage treatment plants. *Polym. Degrad. Stab.* 149, 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.01.018>.
- Stull, V. J., Finer, E., Bergmans, R. S., Febvre, H. P., Longhurst, C., Manter, D. K., ... & Weir, T. L. (2018). Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults, a double-blind, randomized crossover trial. *Scientific reports*, 8(1), 1-13.
- synthetic plastics & associated products by *Pseudomonas* sp.: capabilities & challenges. *J. Appl. Microbiol.* 123, 582–593. doi: 10.1111/jam.13472
- Swift, G., & Wiles, D. M. (2002). Degradable polymers & plastics in landfill sites. *Encyclopedia of Polymer Science & Technology*. synthetic plastics & associated products by *Pseudomonas* sp.: capabilities & challenges. *J. Appl. Microbiol.* 123, 582–593. doi: 10.1111/jam.13472.
- Taniguchi, I., Nakano, S., Nakamura, T., El-Salmawy, A., Miyamoto, M., & Kimura, Y. (2002). Mechanism of enzymatic hydrolysis of poly (butylene succinate) & poly (butylene succinate-co-L-lactate) with a lipase from *Pseudomonas cepacia*. *Macromolecular Bioscience*, 2(9), 447-455.

- Thompson, R. C. (2015). *Microplastics in the marine environment: sources, consequences & solutions*. In *Marine anthropogenic litter* (pp. 185-200). Springer, Cham.
- Tokiwa, Y. & Suzuki, T. 1978. Hydrolysis of polyesters by *Rhizopus delemar* lipase. *Agric. Biol. Chem.*, 42, 1071-1072.
- Tokiwa, Y., & Suzuki, T. 1976. Degradation of polycaprolactone by a fungus. *J. Ferment. Technol.*, 54, 603-608.
- Tschinkel, W. R. (1981). Larval dispersal & cannibalism in a natural population of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Anim. Behav.* 29(4): 990-996.
- Tschinkel, W. R. (1984). Larval dispersal & cannibalism in a natural population of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Anim. Behav.* 29(4), 990-996.
- Tsuji, H. & Miyauchi, S. (2001). Poly(L-lactide): 6 effects of crystallinity on enzymatic hydrolysis of poly(L-lactide) without free amorphous region. *Polymer Degrad. Stabil.*, 71, 415-424
- United Nations Environment Programme. (2014). *UNEP Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment*: United Nations Environment Programme.
- Urbanek, A. K., Rybak, J., Wróbel, M., Leluk, K., & Mironczuk, A. M. (2020). A comprehensive assessment of microbiome diversity in *Tenebrio molitor* fed with polystyrene waste. *Environmental Pollution*, 262, 114281.
- Wang, J., Lv, S., Zhang, M., Chen, G., Zhu, T., Zhang, S., ... & Luo, Y. (2016). Effects of plastic film residues on occurrence of phthalates & microbial activity in soils. *Chemosphere*, 151, 171-177.
- Wilkes, R. A., & Aristilde, L. (2017). Degradation & metabolism of synthetic plastics & associated products by *Pseudomonas* sp.: capabilities & challenges. *Journal of applied microbiology*, 123(3), 582-593.
- Woodring, J., & Lorenz, M. W. (2007). Feeding, nutrient flow, & functional gut morphology in the cricket *Gryllus bimaculatus*. *Journal of Morphology*, 268(9), 815-825.
- World Health Organization. (2020a). *Coronavirus*. Geneva: World Health Organization.
- World Health Organization. (2020b). *Shortage of personal protective equipment endangering health workers worldwide*.

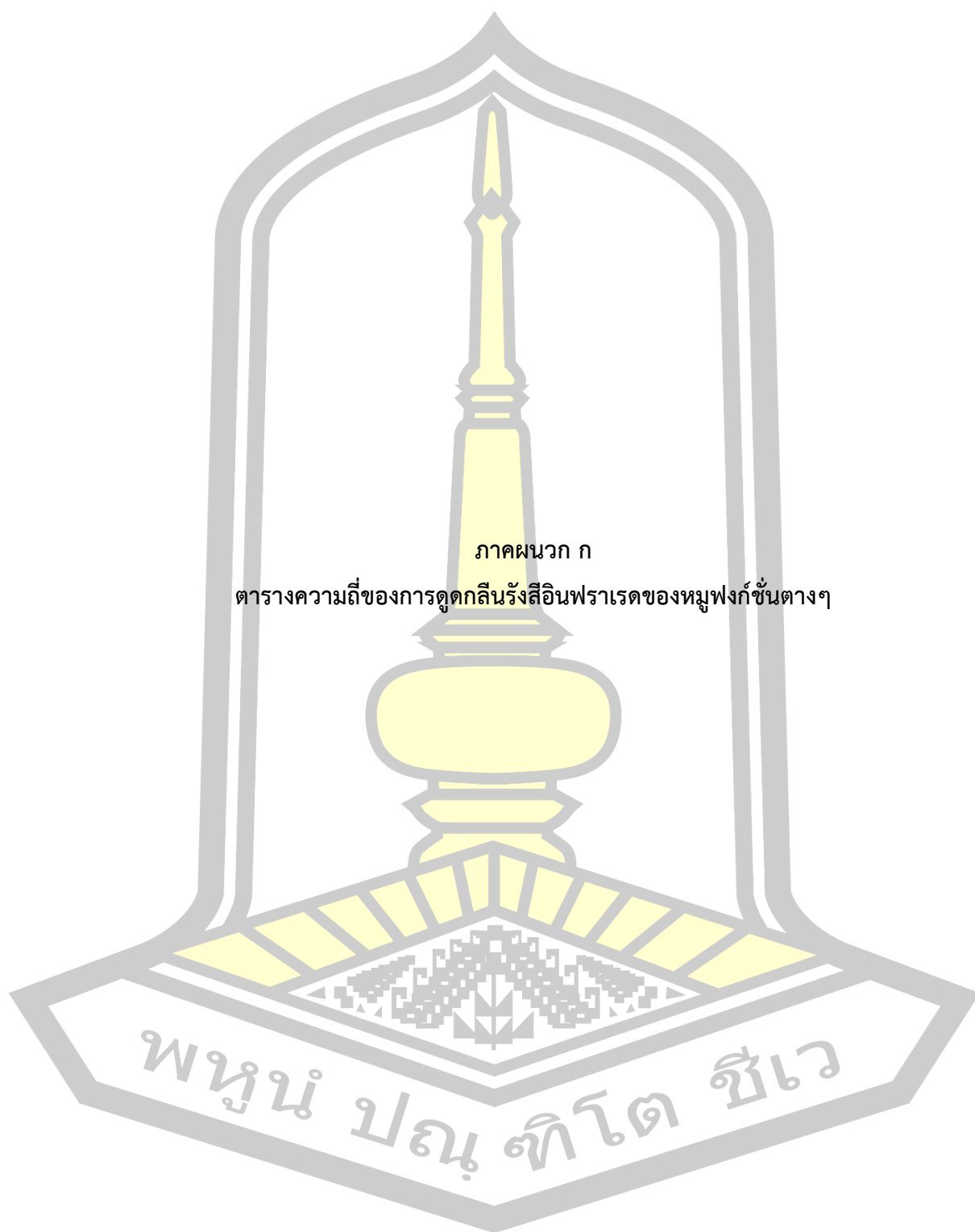
- Yang, J., Yang, Y., Wu, W. M., Zhao, J., & Jiang, L. (2014). Evidence of polyethylene biodegradation by bacterial strains from the guts of plastic-eating waxworms. *Environ. Sci. Technol.* 48, 13776–13784. doi: 10.1021/es504038a
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kol&hasamy, P. (. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental science & technology*, 49(22), 13622-13627.
- Yang, S. S., Brnon, A. M., Flanagan, J. C. A., Yang, J., Ning, D., Cai, S. Y., ... & Wu, W. M. (2018). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates & the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere*, 191, 979-989.
- Yang, S. S., Ding, M. Q., He, L., Zhang, C. H., Li, Q. X., Xing, D. F., ... & Wu, W. M. (2021). Biodegradation of polypropylene by yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) & superworms (*Zophobas atratus*) via gut-microbe-dependent depolymerization. *Science of The Total Environment*, 756, 144087.
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., et al. (2015). Biodegradation & mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms.2. role of gut microorganisms. *Environ. Sci. Technol.* 49, 12087–12093. doi:10.1021/acs.est.5b02663
- Yang, S. S., Ding, M. Q., He, L., Zhang, C. H., Li, Q. X., Xing, D. F., ... & Wu, W. M. (2021). Biodegradation of polypropylene by yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) & superworms (*Zophobas atratus*) via gut-microbe-dependent depolymerization. *Science of The Total Environment*, 756, 144087.

พหุ ประสิทธิภาพ



ภาคผนวก

พหุบัณฑิต จักรวรรดิ ชีวะ



ภาคผนวก ก

ตารางความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ

พูน ปณ จิต ชีวะ

ตารางความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ (1)

Bond	Functional Group	Frequency in cm^{-1} (Intensity*)
C-H	Alkane	3000–2850 (s)
	–CH ₃	1450 and 1375 (m)
	–CH ₂ –	1465 (m)
	Alkene	3100–3000 (m), 1000–650 (s)
	Aromatic	3100–3050 (s), 900–690 (s)
	Alkyne (terminal)	3300 (s)
	Aldehyde	2850 and 2750 (w)
C=C	Alkene	1630 (w-m)
	Aromatic	1600–1475 (w-m)
C-C	Alkyne	2150–2100 (w-m)
C=O	Aldehyde	1740–1720 (s)
	Ketone	1725–1705 (s)
	Carboxylic Acid	1730–1700 (s)
	Ester	1750–1730 (s)
	Amide	1670–1640 (s)
	Anhydride	1810 and 1760 (s)
	Acid Chloride	1800 (s)

Bond	Functional Group	Frequency in cm^{-1} (Intensity*)
C–O	Alcohol, Ether, Ester, Carboxylic Acid, Anhydride	1300–1000 (s)
O–H	Alcohol, Phenol	
	Free	3650–3600 (m)
	Hydrogen-bonded	3500–3200 (m)
	Carboxylic Acids	3300–2400 (m)
N–H	Primary and Secondary Amine and Amide	3550–3060 (m-s); 1640–1550 (m-s)
C–N	Amine	1250–1000 (m-s)
C=N	Imine and Oxime	1690–1640 (w-s)
C≡N	Nitrile	2260–2240 (m)
N=O	Nitro (R-NO_2)	1550 and 1350 (s)
C–Cl	Chloride	800–600 (s)

s = strong; m = medium; w = weak

ที่มา : Northern Illinois University

ตารางความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ (2)

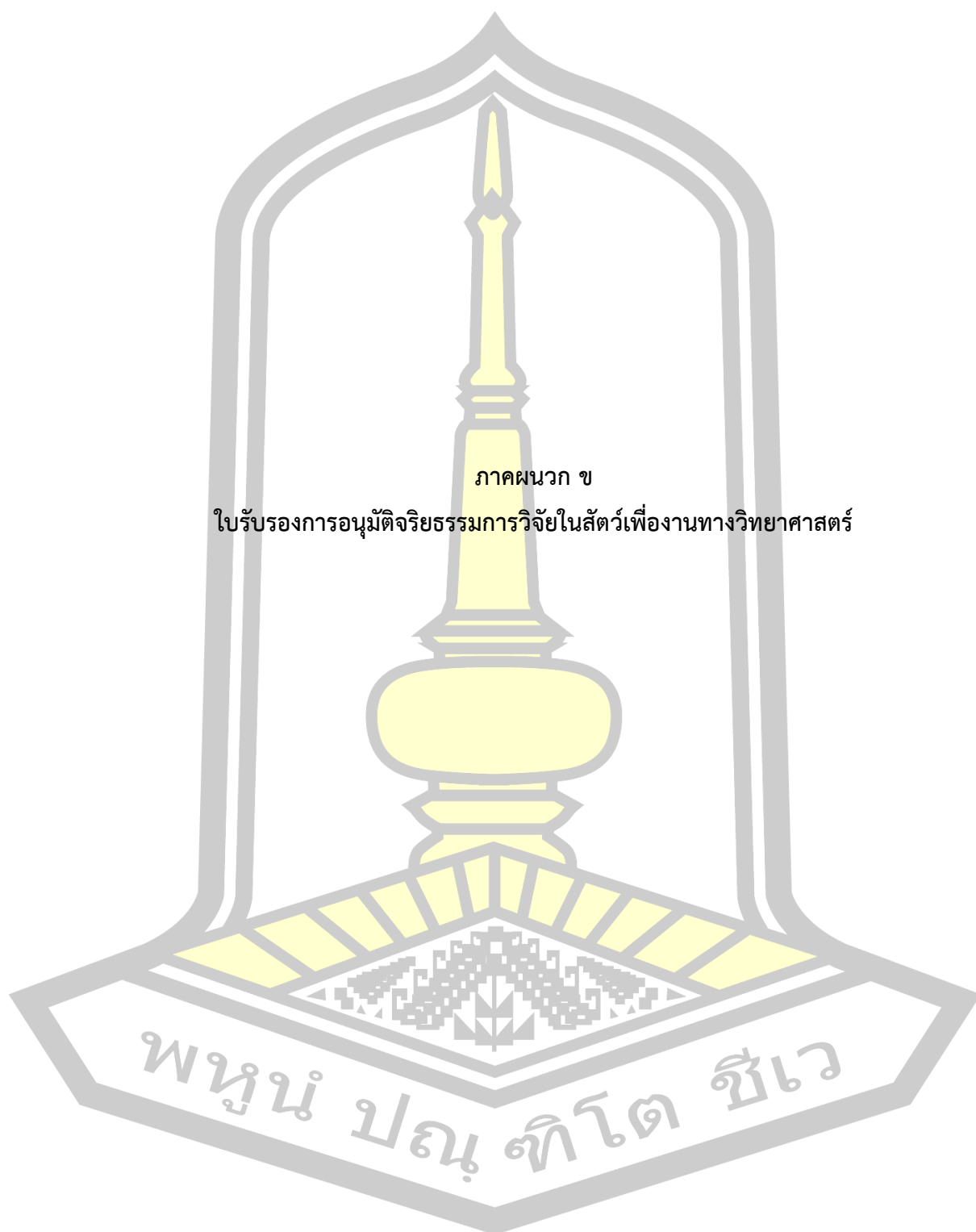
Bond	Type of bond	Absorption peak (cm ⁻¹)	Appearance
C-H	alkyl	1260	strong
		1380	weak
		2870	medium to strong
		2960	medium to strong
		1470	strong
		2850	medium to strong
		2925	medium to strong
		2890	weak
	vinyl	900	strong
		2975	medium
		3080	medium
		3020	medium
		900	strong
		990	strong
		670–700	strong
		965	strong
		800–840	strong to medium
	aromatic	3070	weak
		700–750	strong
		690–710	strong
		750	strong
		750–800	strong

Bond	Type of bond	Absorption peak (cm ⁻¹)	Appearance
		860–900	strong
		800–860	strong
	alkynes	3300	medium
	aldehydes	2720	medium
		2820	
C=C	acyclic C=C	1645	medium
		1655	medium
		1660	medium
		1675	medium
		1670	weak
	conjugated C=C	1600	strong
		1650	strong
	with benzene ring	1625	strong
	with C=O	1600	strong
	C=C (both sp ²)	1640–1680	medium
	aromatic C=C	1450	weak to strong (usually 3 or 4)
		1500	
		1580	
		1600	
	C≡C	2100–2140	weak
		2190–2260	very weak (often indistinguishable)

Bond	Type of bond	Absorption peak (cm ⁻¹)	Appearance
C=O	aldehyde/ketone	1720	
		1685	
		1685	
		1750	
		1775	
		1725	influenced by conjugation (as with ketones)
	carboxylic acids/derivates	1710	
		1680–1690	
		1735	influenced by conjugation and ring size (as with ketones)
		1760	
		1820	
		1800	
		1650	associated amides
		1550–1610	
		1550–1610	
O-H	alcohols, phenols	3610–3670	
		3200–3400	broad
	carboxylic acids	3500–3560	
		3000	broad
N-H	primary amines	3400–3500	strong
		1560–1640	strong

Bond	Type of bond	Absorption peak (cm ⁻¹)	Appearance
	secondary amines	>3000	weak to medium
	ammonium ions	2400–3200	multiple broad peaks
C-O	alcohols	1040–1060	strong, broad
		~1100	strong
		1150–1200	medium
	phenols	1200	
	ethers	1120	
		1220–1260	
	carboxylic acids	1250–1300	
	esters	1100–1300	two bands (distinct from ketones, which do not possess a C-O bond)
C-N	aliphatic amines	1020–1220	often overlapped
	C=N	1615–1700	similar conjugation effects to C=O
	C≡N (nitriles)	2250	medium
		2230	medium
	R-N-C (isocyanides)	2165–2110	
	R-N=C=S (isothiocyanates)	2140–1990	

ที่มา Socrates (2004)



ภาคผนวก ข

ใบรับรองการอนุมัติจริยธรรมการวิจัยในสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เบอร์ภายใน 1758

ที่ อว 0605.1(9)/ 3866

วันที่ 14 ตุลาคม 2564

เรื่อง ขอนำส่งใบรับรองการอนุมัติ (Certificate of Approval)

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ คณะสาธารณสุขศาสตร์

ตามที่ ท่านได้ยื่นเอกสารข้อเสนอโครงการวิจัยเพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในสัตว์เพื่อนงานทางวิทยาศาสตร์ มายังกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ รหัสโครงการ No.23/2021 : Biodegradation of Plastic and Hygienic Mask using Chewing Insect” นั้น

บัดนี้ คณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่อนงานทางวิทยาศาสตร์ ของสถานที่ดำเนินการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (คกส. มมส.) ได้ทำการพิจารณาข้อเสนอโครงการวิจัยข้างต้นบนพื้นฐานของโครงร่างงานวิจัยที่คณะกรรมการฯ ได้รับในด้านจริยธรรมการวิจัยในสัตว์เพื่อนงานทางวิทยาศาสตร์แล้ว พร้อมทั้งอนุมัติให้ดำเนินการวิจัยตามเอกสารใบรับรองการอนุมัติ เลขที่การรับรอง IACUC-MSU-28/2021 วันที่รับรอง : 6 ตุลาคม 2564 วันหมดอายุ : 6 ตุลาคม 2565 ที่ส่งมาพร้อมกันนี้ ทั้งนี้หากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในโครงการวิจัย ผู้วิจัยจะต้องยื่นขอรับการพิจารณาใหม่

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และดำเนินการต่อไป

(รองศาสตราจารย์ประยุต์ ศรีวิไล)

ประธานคณะกรรมการกำกับดูแลการดำเนินการต่อสัตว์เพื่อนงานทางวิทยาศาสตร์
ของสถานที่ดำเนินการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (คกส. มมส.)



Institutional Animal Care and Use Committee, Maharakham University (IACUC-MSU), Thailand

Certificate of Approval

Approval number : IACUC-MSU-28/2021

Research Title : Biodegradation of Plastic and Hygienic Mask using Chewing Insect

Name of user : Ms. Prachumporn Lauprasert

Affiliation : Faculty of Public health, Maharakham University

Research Site : Maha Sarakham province

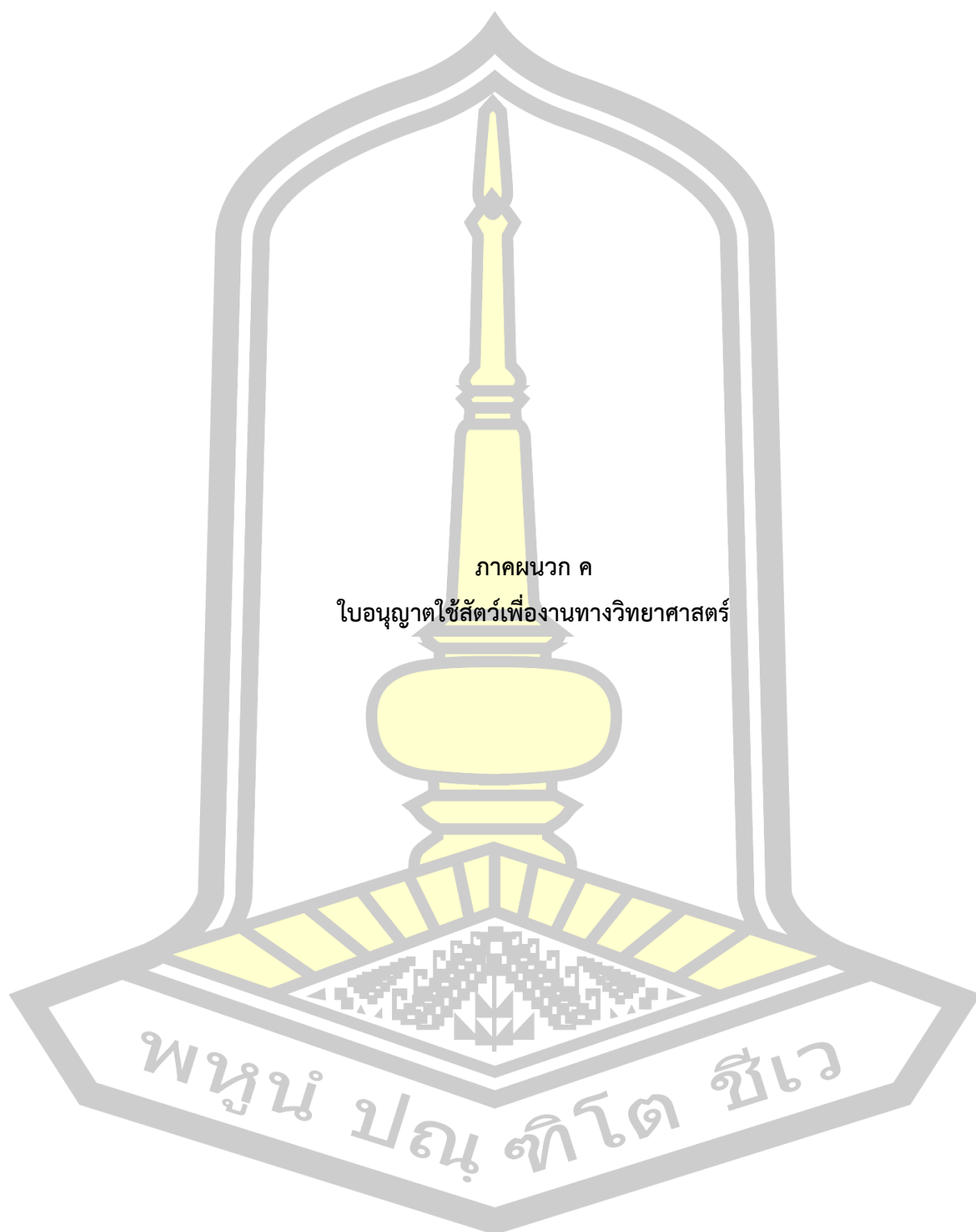
Date of Approval : 6 September 2021

Date of Expiration : 6 September 2022

This research project has been reviewed and approved by the Institutional Animal Care and Use Committee, Maharakham University (IACUC-MSU). The IACUC-MSU approval is limited to the project as approved. All researchers who associated with this research project must act strictly in accordance with the ethical principles, guidelines and act of parliament for the use of animals in scientific works, including all relevant policies and laws. Any subsequent changes to the consent form, the principal investigator must notify the IACUC-MSU immediately and re-submit the research application to the IACUC-MSU

(Assoc.Prof. Prayook Srivilai)

(The Institutional Animal Care and Use Committee's Chairman)





สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

สถาบันพัฒนาการดำเนินการต่อสัตว์เพื่อนานทางวิทยาศาสตร์

ขอมอบประกาศนียบัตรฉบับนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

นางสาวพรรณราย สุขมณี

เลขที่คำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ U1-09489-2564

ได้เข้ารับการอบรมและผ่านการทดสอบความรู้

หลักสูตร “ผู้ขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์เพื่อนานทางวิทยาศาสตร์” ครั้งที่ ๑-๒๕๖๖

วันที่ ๒๑ - ๒๒ กรกฎาคม ๒๕๖๖

(ดร.วิภารัตน์ ดืออง)

ผู้อำนวยการสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

ใบรับคำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์



เลขที่คำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ บ 1 - 0 9 4 ๕ 9 - 2 5 6 4

ผู้ขอรับใบอนุญาต ชื่อ นางสาว พรรณราย สุขมณี

บัตรประจำตัวประชาชน/หนังสือเดินทาง เลขที่ 1669900209713

เมื่อวันที่ - 5 พ.ค. 2564

ลงชื่อ.....นางสาว.....ผู้ยื่นขอรับใบอนุญาต

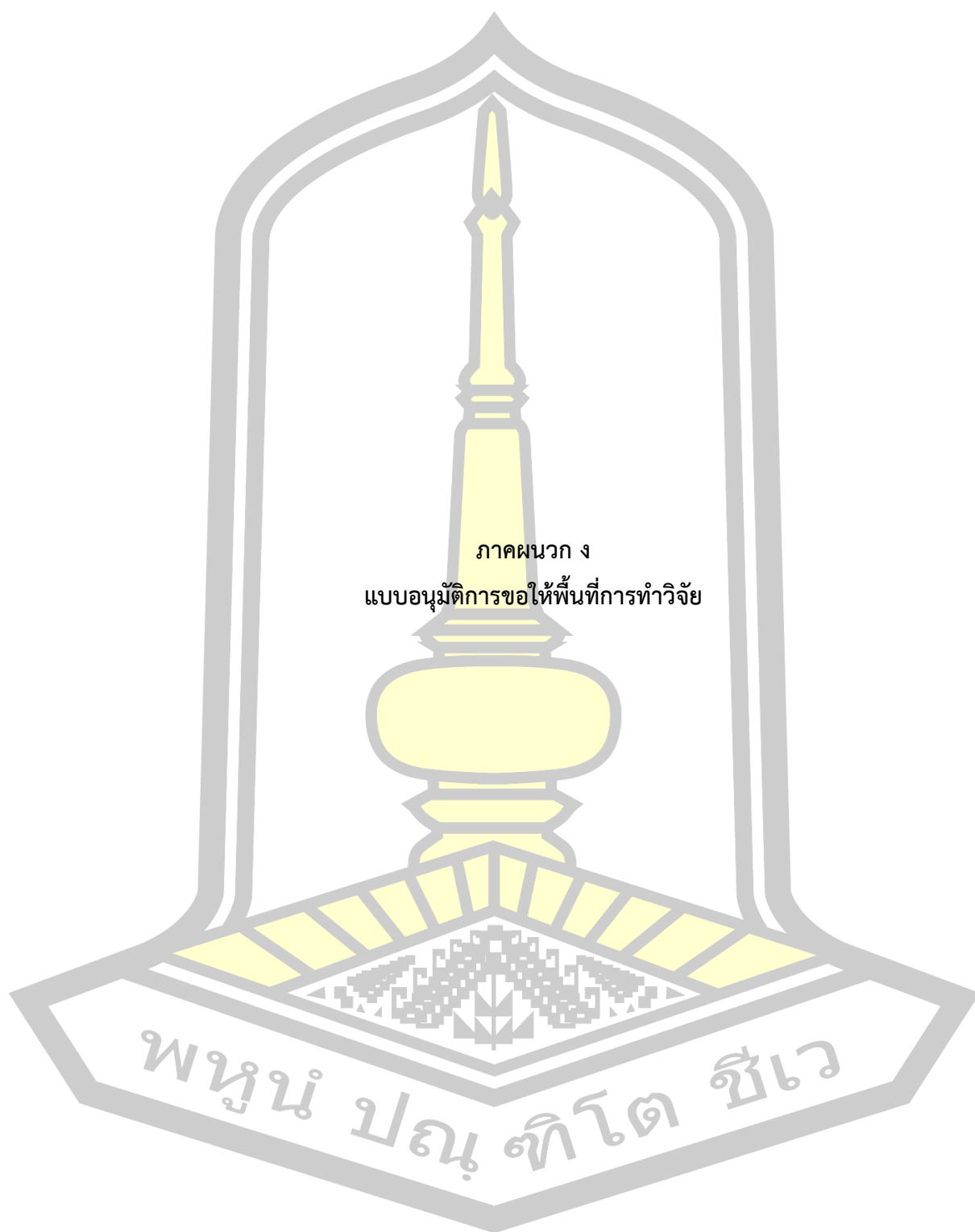
นางสาว พรรณราย สุขมณี

ลงชื่อ.....เจ้าหน้าที่ผู้รับคำขอ

(นางสาว.....)

กำหนดวันเข้ารับการอบรมขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ ครั้งที่ วันที่
สถานที่

หมายเหตุ : ใบรับคำขออนุญาตใช้เป็นหลักฐานแสดงว่าเป็นผู้ยื่นคำขอรับใบอนุญาตใช้สัตว์ ตามมาตรา 55 แห่งพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ 2558 แล้ว และได้เงินกว่ากฎหมายกระทรวงกำหนดคุณสมบัติ หลักเกณฑ์วิธีการ และเงื่อนไขในการขอรับใบอนุญาต การอนุญาต การต่อใบอนุญาตและใบแทนใบอนุญาตใช้สัตว์หรือผลิตสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ตามพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558 จะประกาศในราชกิจจานุเบกษา



ภาคผนวก ง
แบบอนุมัติการขอใช้พื้นที่การทำวิจัย

พูน ปณ จิต ชีวะ



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โทร. ๐-๔๓๗๕-๔๓๕๓

ที่ อว ๐๖๐๕.๑๘/

วันที่ ๓ เมษายน ๒๕๖๔

เรื่อง ขออนุมัติเข้าใช้พื้นที่ในการทำวิจัย

เรียน คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์

ตามที่ นางสาวพรรณราย สุขมณี นิสิตหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง การย่อยสลายทางชีวภาพของพลาสติกและหน้ากากอนามัย โดยใช้แมลงแบบปากกัดเคี้ยว (Biodegradation of plastics and Hygienic mask using Chewing Insect) โดยมี ผศ.ดร.ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร.ธิดารัตน์ สมดี และ ดร.อภิวิชญ์ อธิสิน เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม นั้น

ตามวัตถุประสงค์การวิจัยมีความจำเป็นต้องใช้ห้องปฏิบัติการทดลองในการกำหนดและควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น รวมทั้งพื้นที่สำหรับใช้ในการเลี้ยงสัตว์ทดลอง

ในการนี้ จึงขอความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในระหว่างวันที่ ๒๐ เมษายน ๒๕๖๔ ถึง ๓๑ ธันวาคม ๒๕๖๔

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

เรียน คณบดี

งานหอสมุดฯ ได้ตรวจสอบแล้ว พบว่า

มีห้องปฏิบัติการที่เหมาะสมในการใช้ สัตว์ทดลอง PH-416

ซึ่งได้ไว้มีเนื้อที่สำหรับทำการวิจัยของอาจารย์

ซึ่งทางหอสมุดฯ ได้แจ้งให้ฝ่ายบริหารทำวิจัยได้ ในช่วงเวลาที่กำหนด

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(นางสาวเจนจิรา แสงจันทร์)

นักวิทยาศาสตร์

พรรณราย สุขมณี

(นางสาวพรรณราย สุขมณี)

นิสิตหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

เรียนคณบดี

เรียน คณบดีคณะสาธารณสุขศาสตร์

(-) เพื่อโปรดทราบ

(-) เพื่อโปรดพิจารณา

(-) เห็นสมควรแจ้ง

1. เป็นงานวิจัยเร่งด่วนที่คณบดีอนุมัติอนุมัติ

2. ห้อง PH-413 เหมาะสมต่อ

3. เห็นควรให้ใช้พื้นที่ (บางส่วน) ของห้อง PH-417

4. เห็นควรอนุมัติ

-อนุมัติ

-นางสาวเจนจิรา แสงจันทร์

(นายวิชาญ สุขมณี) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ

หัวหน้าสำนักงานเลขานุการงานคณบดีฝ่ายบริหารและนวัตกรรม ศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ งามวงศ์

คณะสาธารณสุขศาสตร์

5 เม.ย. 64

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวพรรณราย สุขมณี
วันเกิด	วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดพิจิตร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 92/1 หมู่ 3 ตำบลท่าพ้อ อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร รหัสไปรษณีย์ 66000
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ สาขาสารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ตำบลสงเปลือย อำเภอนามน จังหวัดกาฬสินธุ์ รหัสไปรษณีย์ 46230
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2554 มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ลพบุรี จังหวัดลพบุรี พ.ศ. 2558 ปริญญาสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต (ส.บ.) สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2562 ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต (ส.ม.) สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2566 ปริญญาสาธารณสุขศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ส.ด.) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงิน รายได้ ประจำปีงบประมาณ 2566 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเภทส่งเสริม การตีพิมพ์สำหรับนิตยระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาเอก)
ผลงานวิจัย	1. พรรณราย สุขมณี, ประชุมพร เล่าห์ประเสริฐ และสัจด์ เชื้อลิ้นฟ้า. (2562). การประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นหมอลำต่อการป้องกันโรคที่เกิดจากยุงลาย. วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน. 5(4), ตุลาคม – ธันวาคม, 83-95. 2. บุญวัฒน์ ไทรย้อย, พรรณราย สุขมณี และวรรณวิมล เมฆวิมล กิ่งแก้ว. (2565). การเข้าถึงสิทธิประโยชน์ของผู้พิการตำบลลาดใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัด สมุทรสงคราม. วารสารสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. 7(2), กรกฎาคม – ธันวาคม, 71-81.