

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของสารอะชาติเรคตินที่มีต่อฟิล์มเป่า

๗/



T107748

นายสุรเชษฐ์ จงสุขสมใจมัน
นายรณจักร์ ชูสวัสดิ์

๒/๗๗
๘ ๘๗๘๖
๑๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107748
วัน,เดือน,ปี 10 พ.ค. 2553

b. 12210596
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา เคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Effect of Azadirachtin on Properties of Blown Film.

Mr. Surached Jongsuksomjaiman

Mr. Ronnajak Choosawat



A Special Project Submitted in partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science


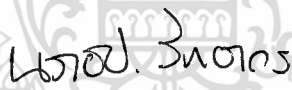

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง ผลของสารอะซาดิแรคตินที่มีต่อฟิล์มเป่า
นักศึกษา นายสุรเชษฐ์ จงสุขสมใจมั่น
นายรณจักร์ ชูสวัสดิ์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ	
กรรมการ ดร.นราธิป วิทยากร	
กรรมการ รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย	


(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	ผลของสารอะซาดิแรคตินที่มีต่อฟิล์มเป่า
นักศึกษา	นาย สุรเชษฐ์ จงสุขสมใจมั่น นาย รมจักร์ ชูสวัสดิ์
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมโดยแมลง เป็นศัตรูที่สำคัญที่สุดของผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่จะทำลายผลผลิตในช่วงจัดเก็บเพื่อจำหน่ายหรือรอการแปรรูป

โครงการนี้จึงมีเป้าหมายที่จะคิดค้นพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการป้องกันแมลงศัตรูพืชเป็นหลัก โดยจากการศึกษาพบว่าสารอะซาดิแรคติน ซึ่งเป็นสารสกัดจากสะเดา เป็นสารที่มีฤทธิ์ป้องกันแมลง จึงได้นำสารนี้ในปริมาณต่างๆกัน มาผสมกับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และมีการเติมสารเติมแต่งต่างๆเพื่อปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ได้ตามต้องการ ได้แก่ สารฟิวซาบอนด์ ใช้เป็นสารช่วยผสม และสารเคลือบ/สังกะสี เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน ก่อนจะนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม นำฟิล์มพอลิเมอร์ที่ได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง FTIR เพื่อตรวจวิเคราะห์ดูโครงสร้างของพอลิเมอร์ ซึ่งพบการเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอนิล อยู่ที่ 3500 cm^{-1} และ 1200 cm^{-1} ตามลำดับ หลังจากนั้นนำพอลิเมอร์ทั้ง 3 สูตร ไปตรวจสอบฐานวิทยา พบว่า พอลิเมอร์ทั้ง 3 สูตรมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แม้ไม่ใช้สารช่วยผสมพอลิเมอร์กับสารอะซาดิแรคติน ก็ยังคงเป็นเนื้อเดียวกันอยู่ เมื่อทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า พอลิเมอร์สูตรที่มีสารอะซาดิแรคตินมากจะมีสมบัติเชิงกลลดลง แต่จะลดลงในอัตราที่ต่ำ เมื่อนำไปทดสอบหาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง TGA พบว่า สารอะซาดิแรคตินมีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เมื่อนำไปทดสอบหาอัตราการสลายตัวของสาร โดยชั่งน้ำหนักที่หายไป พบว่ามีอัตราการสลายตัวที่ค่อนข้างต่ำ หลังจากนั้นนำมาทดสอบสมบัติการป้องกันแมลงกับด้วงถั่วเขียว พบว่า ประสิทธิภาพของการป้องกันแมลงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์มากขึ้น

Special Project Title	The Effect of Azadirachtrin on Properties of Blown Film.
Name	Mr. Surached Jongsuksomjaiman Mr. Ronnajak Choosawat
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry
Academic Year	2548
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Somsak Woramongkolchai

Thailand is an agricultural country having insects the most dangerous pest which make abundantly lose in storage time and waiting process time of agricultural products .

This project has primary purpose to produce polymer which can protect agricultural product from insects. From a number of reseachs give information that Azadirachtin which can extract from every part of neem tree has insect protective ability so we use Azadirachtin by varied amount in low density polyethylene. Furthermore Fusabond was add to be a compatibilizer and Ca-Zn was used to increase heat stability of polymer before process with blown-film extrusion. FTIR was used to investigation of polymer structure which indicated the additional peak of hydroxyl and carbonyl group in 3500 cm^{-1} and 1200 cm^{-1} , respectively. SEM was used to determine morphology of polymer which showed that low density ethylene and azadirachtin was compatible although compatibilizer was not add. Mechanical properties of polymer were slightly decreased with variation of azadirachtin. TGA was used to analyze thermal stability of azadirachtin which we found that azadirachtin has thermal stability close to low density polyethylene. By using weight loss to predict rate of decompose of azadirachtin. We found that azadirachtin has slowing rate of decompose. Then, we used green nut weevil to test protective ability of azadirachtin. It indicated that volume of azadirachtin was proportional to insect protective ability of azadirachtin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้ไม่อาจประสบความสำเร็จได้ถ้าปราศจาก รศ. ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการซึ่งได้ช่วยให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่าง จนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. วิณา ชูโชติ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับการทดสอบสมบัติป้องกันแมลง

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. มยุรา สุนย์วีระ ที่ได้เสนอแนวทางการออกแบบการทดสอบการป้องกันแมลงให้เป็นสากล อีกทั้งยังอนุเคราะห์ด้วงถั่วเขียวซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการทดสอบ

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำแนะนำให้กำลังใจตลอดการศึกษาที่ผ่านมา

ขอกราบขอบพระคุณ พี่นักวิทยาศาสตร์ที่ดูแลเครื่องมือทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือทันสมัยต่างๆ และเทคนิคที่หาไม่ได้ในห้องเรียน

สุรเชษฐ์ จงสุขสมใจมั่น
ธณจักร์ ชูสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 การสกัดสารจากสะเดา	3
2.2 กลไกการออกฤทธิ์ของสารป้องกันแมลง	7
2.3 ความสามารถในการเข้ากันได้	12
2.4 หลักการของเครื่องผสมและการขึ้นรูป	14
2.5 หลักการของเครื่องมือวิเคราะห์	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	32
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	33
3.4 การตรวจวิเคราะห์	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ	37
4.2 การตรวจวิเคราะห์ด้วยการดูดกลืนอินฟราเรด (FTIR)	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.3 การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อน(TGA)	41
4.4 การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	42
4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	43
4.6 การตรวจวิเคราะห์จากการชั่งน้ำหนัก	46
4.7 การทดสอบการป้องกันแมลง	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล	55
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อน	57
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการป้องกันแมลง	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะซาดิแรคติน	3
รูปที่ 2.2 สารอะซาดิแรคตินที่มีการสกัดขายตามท้องตลาด	4
รูปที่ 2.3 การสกัดด้วยซอกเลต (Soxhlet)	5
รูปที่ 2.4 เมล็ดหรือผลสะเดาแห้งที่บดเป็นผง	6
รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของสารไล่แมลงชนิดที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง	9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของฮอร์โมนและสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง	10
รูปที่ 2.7 การออกฤทธิ์ของเชื้อ <i>Bacillus thuringiensis</i>	11
รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของ ฟิวซาบอนด์ เอ็มบี 226ดี (Fusabond MB 226D)	13
รูปที่ 2.9 รูปทรงทางเรขาคณิตของสกรู	14
รูปที่ 2.10 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว	16
รูปที่ 2.11 เครื่องเป่าฟิล์ม	18
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของเครื่อง IR Spectrometer	20
รูปที่ 2.13 Fourier Transform Infrared Spectrometer	21
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA	22
รูปที่ 2.15 Thermogravimetric analyzer	23
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	24
รูปที่ 2.17 Scanning Electron Microscope	25
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง	26
รูปที่ 2.19 เครื่อง Universal testing machine	27
รูปที่ 2.20 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบการฉีกขาด	28
รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบลูกดอก	30
รูปที่ 4.1 ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ผ่านการเป่าตามสูตรต่างๆ	37
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและสารอะซาดิแรคติน	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.3	สเปกตรัมของ พอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคตินในปริมาณต่างๆกัน	39
รูปที่ 4.4	สเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคติน 1% ในเวลาต่างๆ	39
รูปที่ 4.5	สเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคติน 3% ในเวลาต่างๆ	40
รูปที่ 4.6	เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสม	41
รูปที่ 4.7	ภาพถ่ายจาก Scanning Electron Microscope	42
รูปที่ 4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับปริมาณ สารอะซาดิแรคติน	43
รูปที่ 4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับปริมาณสารอะซาดิแรคติน ในพอลิเมอร์	44
รูปที่ 4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานฉีกขาดกับ ปริมาณสารอะซาดิแรคติน ในพอลิเมอร์	45
รูปที่ 4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกตกกับ ปริมาณสารอะซาดิ แรคตินในพอลิเมอร์	45
รูปที่ 4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของน้ำหนักกับเวลา เปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคติน ในปริมาณต่างๆกัน	46
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของน้ำหนักกับเวลา เปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งต่างๆกัน	47
รูปที่ 4.14	จำนวนของดิวต์วี่เขียวหลังการทดลองกับปริมาณของ สารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์ผสมต่างๆ กัน	48
รูปที่ 4.15	น้ำหนักของดิวต์วี่เขียวที่เหลือกับปริมาณของสารอะซาดิแรคติน ในพอลิเมอร์ผสมต่างๆ กัน	48

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของสารที่ใช้ผสม	33
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสม	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันพอลิเมอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กันมากเนื่องจากคุณสมบัติที่หลากหลาย ซึ่งเกิดจากการเติมสารเติมแต่งต่างๆเข้าไป โดยสารเติมแต่งที่เป็นที่สนใจกันอยู่ของประเทศไทยในปัจจุบันคือ สารที่มีความสามารถในการป้องกันแมลง เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม รายได้ที่มาจากผลผลิตทางการเกษตรหรือแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีค่าสูงมาก ซึ่งในที่มีมีจำนวนไม่น้อยที่ถูกแมลงศัตรูพืชทำลายขณะขนส่งเพื่อนำไปจำหน่ายหรือแปรรูป ดังนั้นจึงตัดสินใจที่จะทำการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการใส่สารเติมแต่งที่มีคุณสมบัติในการป้องกันแมลงขึ้น เพื่อช่วยลดปัญหาของเกษตรกรไทย เกี่ยวกับการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อนำไปจำหน่ายหรือแปรรูป อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปลูกผักแบบปลอดสารพิษได้อีกด้วย โดยสารเติมแต่งที่ใช้ขึ้นต้องเป็นที่ยอมรับจากบุคคลโดยทั่วไป นอกจากนี้ต้องไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากงานวิจัยต่างๆ พบว่า สารสกัดจากสะเดานั้นมีการออกฤทธิ์กับแมลงศัตรูพืชได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จึงนำสารสกัดจากสะเดามาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงเติมสมบัติต่างๆ โดยการเติมสารเติมแต่งต่างๆ คือ แคลเซียม/สังกะสี เพื่อเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน และใช้ฟิวซาบอนด์ เอ็มบี 226ดี เป็นสารช่วยผสม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดปัญหาของเกษตรกรไทยเกี่ยวกับการป้องกันแมลงขณะจัดเก็บหรือขนส่งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
2. เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสะเดาไทยในการนำมาสกัดเป็นสารอะชาติเรคติน ซึ่งออกฤทธิ์ในการป้องกันแมลงได้กับพอลิเมอร์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของสารอะชาติเรคตินที่มีต่อแมลง และผลต่อการขึ้นรูปของพอลิเมอร์
2. ศึกษาความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์กับอะชาติเรคติน
3. ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1. การค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับพอลิเมอร์ที่ใช้เพื่อป้องกันแมลง เพื่อดูเป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัย
2. การค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับ สารชีวภาพที่ใช้ในการป้องกันไล่แมลงศัตรูพืช
3. นำข้อมูลจากการค้นคว้ามารวบรวมและอภิปราย หาสารที่เหมาะสมในการใช้เพื่อป้องกันแมลงศัตรูพืช
4. การเลือกใช้พอลิเมอร์
5. ออกสูตรส่วนผสมของพอลิเมอร์และสารเติมแต่ง
6. นำไปผสมและตัดให้เป็นเม็ดเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน
7. ขึ้นรูปให้เป็นฟิล์ม โดยใช้เครื่องเป่าฟิล์ม
8. นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)
9. นำไปส่องดูด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
10. นำไปทดสอบสมบัติเชิงกล
11. นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA)
12. นำไปทดสอบการสลายตัวโดยการนำไปแช่น้ำหนัก
13. นำไปทดสอบการป้องกันแมลง โดยอาศัยด้วงถั่วเขียวเป็นแมลงทดลอง
14. นำข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดมารวบรวมและประมวลผล
15. เขียนรายงานและสรุปผลการทดลอง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

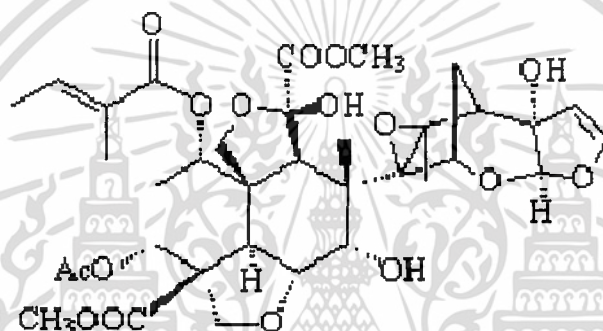
1. คาดว่าจะสามารถช่วยเหลือเกษตรกรไทยสร้างบรรจุภัณฑ์ป้องกันผลิตผลทางการเกษตรจากแมลง
2. เป็นแนวทางการสร้างและปรับปรุงพอลิเมอร์ป้องกันแมลงชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม เพื่อให้แมลงซึ่งเป็นปัญหาสำคัญสำหรับเกษตรกรถูกขจัดออกไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สารสกัดจากสะเดา [19]

โครงการนี้เลือกที่จะใช้สารสกัดจากสะเดาเป็นสารเติมแต่งป้องกันแมลง เนื่องจากใน ทุกส่วนของสะเดามี สารอะซาดิแรคติน (Azadirachtin) ซึ่งมีในปริมาณที่ต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของอะซาดิแรคติน [19]

อะซาดิแรคตินจัดเป็นสารจำพวก เตตระนอร์ไตรเทอร์พีนอยด์ (tetranortriterpenoids) มี หมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอนิล ซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer มีสีเหลืองออกน้ำตาล กลิ่นแรง

สารอะซาดิแรคตินออกฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดแมลงได้หลายรูปแบบ คือเป็นสารฆ่า-แมลง สารไล่แมลง ทำให้แมลงไม่ชอบกินอาหาร ทำให้การเจริญเติบโตของแมลงผิดปกติ ยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง มีผลทำให้หนอนไม่สามารถลอกคราบเจริญเติบโตต่อไป หนอนจะตายใน ระยะลอกคราบ เพราะสารออกฤทธิ์มีผลต่อการสร้างฮอร์โมน ซึ่งทำให้การผลิตไข่และปริมาณการฟักไข่จะลดน้อยลง

ส่วนของสารสะเดาที่นำมาสกัด เมล็ดของสะเดาเป็นส่วนที่เหมาะสมในการนำมา สกัด เนื่องจากพบสารอะซาดิแรคตินมากกว่าส่วนอื่น ๆ เช่น ส่วนของใบ เมล็ดสะเดาควรเป็นเมล็ดที่ไม่แก่หรืออ่อนเกินไปและควรเป็นผลที่ยังติดอยู่กับต้น ไม่ควรนำเมล็ดที่หล่นจากต้นและมีเชื้อราเข้า ทำลายมาสกัด เพราะจะทำให้ได้สารอะซาดิแรคตินต่ำ

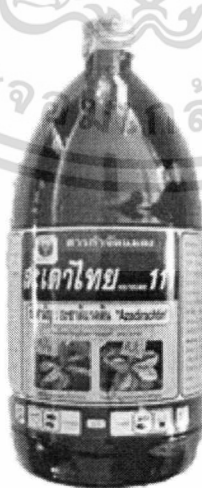
วิธีสกัดสารจากสะเดา [20, 23]

เป็นที่ทราบแล้วว่า สารออกฤทธิ์สูงสุดในการป้องกันและกำจัดแมลงคือสารอะซาดิแรคติน ซึ่งจะสะสมอยู่ที่เมล็ด ดังนั้นการเตรียมสารสกัดให้มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องใช้ส่วนของเมล็ดใน อย่างไรก็ตามส่วนอื่นของผลและเปลือกเมล็ดก็ยังมีสารอื่นที่ออกฤทธิ์เฉพาะกับแมลงบางชนิดและยังเป็นสารที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพของสารสกัดอะซาดิแรคตินให้มีฤทธิ์สูงขึ้น โดยต่างประเทศจะเน้นในการสกัดจากเมล็ดในเท่านั้น

การสกัดสารอะซาดิแรคตินจากเมล็ดหรือผลสะเดาทำให้หลายวิธีด้วยกันสิ่งที่สำคัญคือ ส่วนสะเดาที่ใช้ต้องบดให้ละเอียด สำหรับตัวสกัดที่เหมาะสมในการผลิตทางการค้า คือ แอลกอฮอล์ อาจเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ หรือเมทิลแอลกอฮอล์ก็ได้

1. การสกัดด้วยเมทิลแอลกอฮอล์

นำสะเดาจำนวน 50-100 กิโลกรัม (ขึ้นอยู่กับขนาดของถังสกัด) ใส่ถังสกัดเติม เมทิลแอลกอฮอล์ลงไปให้ท่วม เดินเครื่องกวนประมาณ 4 ชั่วโมง จึงเปิดก๊อกเอาน้ำยาออก หลังจากนั้นปิดก๊อกและเติมแอลกอฮอล์ลงไปใหม่ ให้ท่วมผลสะเดา เดินเครื่องกวนประมาณ 1-2 ชั่วโมง ปล่อยให้ค้างคืน รุ่งเช้าเดินเครื่องอีกประมาณ 1 ชั่วโมง เปิดก๊อกเอาน้ำยาสะเดาที่ได้ทั้ง 2 ครั้งใส่ในถังกลั่นสุญญากาศเพื่อทำน้ำยาสะเดาให้เข้มข้น และระเหยแอลกอฮอล์กลับมาใช้ใหม่ น้ำยาสะเดาเข้มข้นที่ได้ต้องแยกชั้นน้ำมันออกเสียก่อน จากนั้นนำน้ำยาสะเดาไปตรวจหาเปอร์เซ็นต์ อะซาดิแรคติน ด้วยเครื่อง HPLC ปรับความเข้มข้นของสารอะซาดิแรคติน และความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำยาให้ได้ตามที่ต้องการ เติมสารยับยั้งการสลายตัว (stabilizer) และบรรจุขวดต่อไป ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ผลิตสารอะซาดิแรคตินขายกันอย่างมากมาย

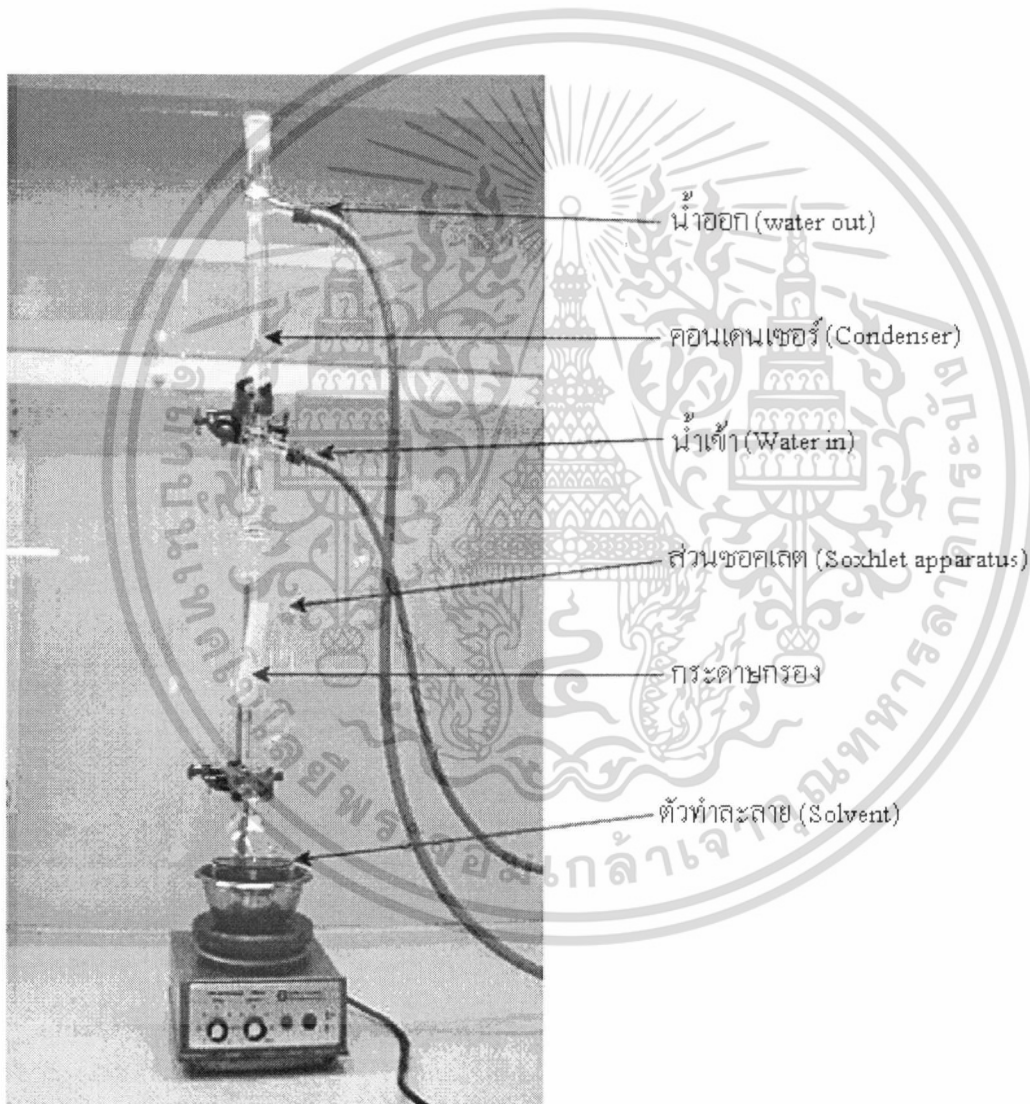


รูปที่ 2.2 สารอะซาดิแรคตินที่มีการสกัดขายตามท้องตลาด [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสกัดด้วยซอกເລດ (Soxhlet)

สำหรับวิธีอีกแบบหนึ่งใช้ระบบของ Soxhlet โดยการทำให้เอทิลแอลกอฮอล์ร้อนระเหยเป็นไอ จากนั้นให้ไอร้อนกระทบกับความเย็นกลั่นเป็นแอลกอฮอล์ซึ่งจะมาละลายสารอะชาติแรคตินจากผลสะเดาสารที่ได้จะตกมาที่เดิม เมื่อถูกความร้อนจะระเหยเป็นไอและหมุนเวียนไปเรื่อยๆ จนกว่าแอลกอฮอล์จะสกัดตัวสารหมด โดยปกติใช้เวลา 4-6 ชั่วโมง แล้วแต่ขนาดของเครื่องมือ

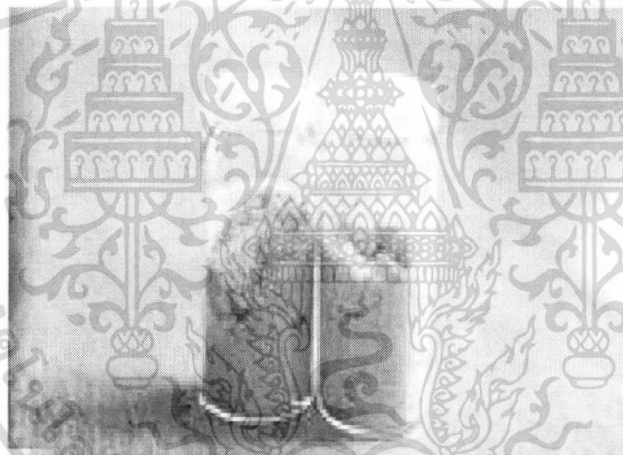


รูปที่ 2.3 การสกัดด้วยซอกເລດ (Soxhlet) [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสกัดด้วยน้ำ

นำเอาผงสะเดาที่ได้จากการบดผลสะเดาแห้งจำนวน 10 กิโลกรัม ใส่ในภาชนะบรรจุ เติมน้ำให้ท่วมประมาณ 200 ลิตร (ผงสะเดา 1 กิโลกรัม/น้ำ 20 ลิตร) แช่ไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ในระหว่างการแช่น้ำอาจใช้ไม้ยาวกวนให้ผลสะเดารวมกับน้ำเป็นครั้งคราว เมื่อครบกำหนดเวลา จึงกรองน้ำผ่านตาข่ายพลาสติกสีเขียว หรือหากต้องการประหยัดผงสะเดา อาจทำการแช่ครั้งแรก ประมาณ 3 ชั่วโมงจึงกรองน้ำออก จากนั้นเติมน้ำลงไปในภาชนะใหม่ แต่ใช้น้ำน้อยลงอาจ เป็น 100-150 ลิตร ทำการแช่ไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง จึงกรองน้ำไปใช้ นอกจากนั้นอาจใช้แอลกอฮอล์ร่วมสกัด โดยการนำผงสะเดาที่รู้น้ำหนักแล้วบรรจุในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท เติมน้ำแอลกอฮอล์ให้ท่วมผงสะเดา จะแช่ไว้จนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยควรรอนานกว่า 1 วัน จากนั้นนำผลสะเดา ที่แช่ในแอลกอฮอล์ไปแช่ในน้ำ โดยคิดอัตราส่วน ผงสะเดา 1 กิโลกรัม (ไม่รวมน้ำหนักของแอลกอฮอล์) ต่อน้ำ 20 ลิตร ทำการแช่ในน้ำเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงจึงกรองเหมือนวิธีเดิม



รูปที่ 2.4 เมล็ดหรือผลสะเดาแห้งที่บดเป็นผง [19]

ข้อดีจากการใช้สารสกัดจากสะเดา [20]

1. อันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อมต่ำ ไม่เหมือนกับการใช้สารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นมา
2. การออกฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดแมลงมีหลายลักษณะ สารสกัดสะเดาออกฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดแมลงในหลายลักษณะ เช่น ยับยั้งการเจริญเติบโต ยับยั้งการวางไข่ ยับยั้งการกิน เป็นสารไล่แมลง ลดปริมาณการผลิตไข่ทำให้ไข่ฟักน้อยลง เป็นต้น
3. สารสกัดสะเดาออกฤทธิ์ในการป้องกันกำจัดแมลงไม่เฉพาะเวลาที่ใช้เท่านั้น เป็นที่ทราบกันดีว่า หนอนหรือตัวอ่อนที่ได้รับสารสกัดสะเดาเข้าสู่ร่างกายแล้วนั้น อาจจะยังไม่ตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากได้รับความเข้มข้นไม่สูงพอแต่เมื่อหนอนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย การสร้างไข่ในตัวเมียจะลดน้อยลงและยังมีผลทำให้การฟักของไข่ลดน้อยลงด้วย

ข้อเสียจากการใช้สารสกัดจากสะเดา [20]

1. สารสกัดสะเดาไม่สามารถป้องกันแมลงได้ทุกชนิด สารสกัดสะเดาออกฤทธิ์ในการป้องกันแมลงแต่ละชนิดไม่เหมือนกันเหมือนสารฆ่าแมลงสังเคราะห์
2. เวลาในการสลายตัวเมื่อนำไปขึ้นรูปพร้อมกับพอลิเมอร์ยังไม่เป็นที่แน่ชัด
3. สารสกัดจากสะเดาหากต้องการสกัดนำมาใช้เองต้องรอให้ถึง ฤดูการเก็บเกี่ยวผลสะเดาซึ่งมีไม่ตลอดทั้งปี ทำให้บางช่วงไม่สามารถทำการสกัดได้

2.2 กลไกการออกฤทธิ์ของสารป้องกันแมลง [17]

กลไกการออกฤทธิ์ของแมลงในตำราหลายเล่มได้รวมวิถีทางที่สารฆ่าแมลงเข้าไปออกฤทธิ์ เช่น หากการออกฤทธิ์จะเกิดขึ้นได้เมื่อต้องกินสารเข้าไปเรียกว่า ออกฤทธิ์แบบกินตาย (stomach poison) หากการออกฤทธิ์เกิดขึ้นเมื่อสัมผัสสารเข้าไปเรียกว่าออกฤทธิ์แบบสัมผัสตาย (contact poison) หรือหากการออกฤทธิ์นั้นเมื่อแมลงได้รับสารในรูปควัน (fumigant) เรียกว่า fumigant action เป็นต้น ในความหมายของการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงที่จะกล่าวต่อไปนี้หมายถึง อวัยวะเป้าหมาย (target organ) หรือส่วนใดของแมลงที่สารฆ่าแมลงไปออกฤทธิ์ซึ่งตำแหน่งนั้นเรียกตำแหน่งการออกฤทธิ์ (site of action) และสารฆ่าแมลงไปมีผลต่อตำแหน่งดังกล่าวอย่างไร นั้นหมายความว่าหากสารฆ่าแมลงชนิดหนึ่งมีตำแหน่งออกฤทธิ์ที่ระบบศูนย์รวมประสาท (central nervous system) บริเวณไซแนปส์ (synapse) สารดังกล่าวไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส (acetylcholinesterase) โดยโมเลกุลของสารฆ่าแมลงไปรวมตัวกับเอนไซม์ดังกล่าวทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ จึงกล่าวได้ว่าตำแหน่งการออกฤทธิ์ของสารดังกล่าวคือเอนไซม์อะซิติลโคลีนเอสเทอเรส ซึ่งอยู่บริเวณไซแนปส์ของระบบประสาท โดยไม่ได้คำนึงว่าสารฆ่าแมลงนั้นมาถึงตำแหน่งดังกล่าวได้อย่างไรอาจได้รับโดยการกิน การสัมผัสหรือการหายใจก็ตาม ตำแหน่งแรกที่สารฆ่าแมลงเข้ามาสู่ลำตัวแมลงเรียก ตำแหน่งสัมผัส (site of contact) ซึ่งตำแหน่งสัมผัสอาจมีหลายส่วนด้วยกัน เช่น ส่วนของระยางค์ต่างๆ ได้แก่ หนวด ขา ปีก อวัยวะส่วนท้อง ได้แก่ cerci หรือผนังลำตัว (cuticle) หากแมลงได้รับสารโดยการกินเข้าไป ตำแหน่งสัมผัสคือระบบทางเดินอาหาร หากได้รับโดยการหายใจ ตำแหน่งสัมผัสคือระบบการหายใจหรือแลกเปลี่ยนแก๊สได้แก่ รูหายใจ และท่อลม เป็นต้น ดังนั้นการที่สารฆ่าแมลงจะออกฤทธิ์ได้นั้นจะต้องเดินทางไปยังตำแหน่งการออกฤทธิ์

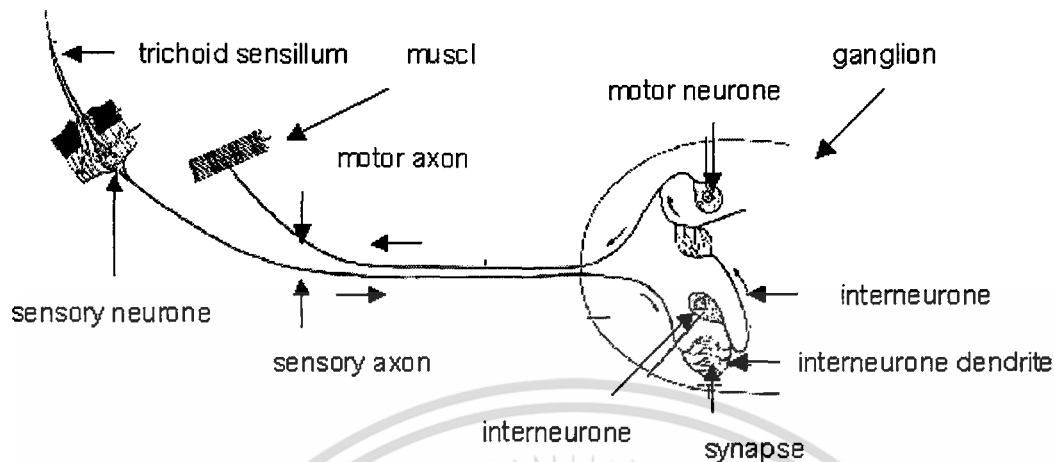
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสารฆ่าแมลงมีจำนวนหลายชนิดและอาจมีกลไกการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกัน การทราบการออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงดังกล่าวมีประโยชน์ในการเลือกใช้ได้อย่างถูกต้องเพื่อป้องกันการสร้างความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง สารฆ่าแมลงมีการออกฤทธิ์ต่อแมลงในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้คือ

1. สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง
2. สารที่ออกฤทธิ์ต่อกลิ้มเนื้อของแมลง
3. สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบหายใจของแมลง
4. สารที่ออกฤทธิ์โดยมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของแมลง
5. สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหารของแมลง

1. สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง

ระบบประสาทของแมลงประกอบด้วย 3 ระบบย่อยคือ central nervous system (CNS), visceral หรือ sympathetic nervous system และ peripheral nervous system ระบบ CNS เป็นระบบสำคัญประกอบด้วยปมประสาท (ganglion) ซึ่งตั้งอยู่บนส่วนหัวเรียกว่าสมอง (brain) ปมถัดมาอยู่ใต้หลอดอาหารของแมลงเรียก suboesophageal ganglion และปมส่วนอกและส่วนท้องซึ่งพาดตามความยาวลำตัวทางด้านล่างเรียก ventral nerve cord ทำหน้าที่เป็นศูนย์รวมประสาทของแมลง ระบบ visceral nervous system ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อยคือ stomodeal หรือ stomatogastric ได้แก่ frontal ganglion, ventral visceral และ caudal visceral โดยทั้งสามส่วนย่อยดังกล่าวทำหน้าที่ส่งและรับกระแสประสาทในลำไส้ส่วนหน้าและส่วนหลัง ระบบ endocrine system เช่น corpora cardiaca, corpora allata, ระบบสืบพันธุ์และระบบการหายใจ ส่วนระบบ peripheral nervous system ประกอบด้วยเซลล์ประสาท motor neuron ที่เชื่อมระหว่าง CNS กับกล้ามเนื้อ โดยมีเส้นประสาท axon ส่งกระแสประสาทจาก CNS ไปยังกล้ามเนื้อรวมทั้งเซลล์ประสาท sensory neuron ที่รับส่งกระตุ้นภายนอก



รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของสารไล่แมลงชนิดที่ออกฤทธิ์ต่อระบบประสาทของแมลง [17]

2. สารที่ออกฤทธิ์ต่อกล้ามเนื้อแมลง

สารกลุ่มนี้ได้แก่สารสกัดจากพืช *Ryania speciosa* ซึ่งมีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญคือ ryanodine,

10-(o-methyl)-ryanodine, 9, 21-dehydroryanodine และ ryanodol สาร ryanodine ไปทำให้แมลงเกิดอัมพาตโดยไปทำให้กล้ามเนื้อเกร็งเป็นเวลานานอันเป็นผลมาจากมีการสะสมของแคลเซียมไอออนเป็นจำนวนมากในกล้ามเนื้อทำให้กล้ามเนื้อหดตัวและเกร็ง และเป็นอัมพาตในที่สุด

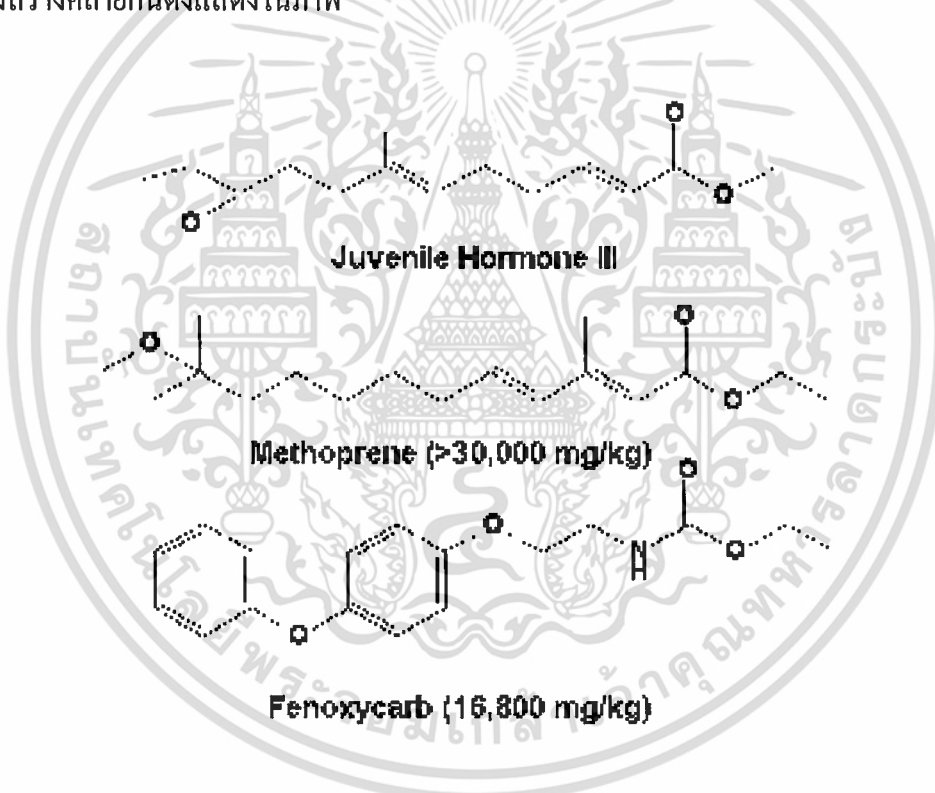
3. สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบหายใจของแมลง

สารที่ยับยั้งเมทาโบลิซึมในกระบวนการหายใจมีทั้งสารสารฆ่าแมลง จากธรรมชาติและสารสังเคราะห์ สารจากธรรมชาติ ได้แก่สาร rotenone ส่วนสารฆ่าแมลงสังเคราะห์ ได้แก่ สาร fenazaquin, pyridaben amidinohydrazone, hydramethylnon และ sulfluramid ตำแหน่งการออกฤทธิ์ของสารกลุ่มนี้อยู่ในไมโทคอนเดรีย โดยไปมีผลยับยั้งการส่งผ่านอิเล็กตรอนหรือยับยั้งการสร้าง ATP ในกระบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอน ตัวอย่างสารที่ไปยับยั้งการส่งผ่านอิเล็กตรอน ได้แก่ rotenone, fenazaquin, pyridaben และ hydramethylnon ผลจะทำให้ ATP ไม่สามารถถูกสร้างขึ้นได้ ทำให้ไมโทคอนเดรียใช้ออกซิเจนต่ำลง ส่วนสารที่ยับยั้งการสร้าง ATP คือสารอนุพันธ์ของ sulfluramid โดยการส่งผ่านอิเล็กตรอนเกิดขึ้นปกติแต่ ATP ไม่ถูกปลดปล่อยออกมาในกระบวนการนี้ ไมโทคอนเดรียมีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น ผลที่เกิดขึ้นจากการสูญเสีย ATP ทำให้เมทาโบลิซึมถูกยับยั้งทำให้แมลงหมดแรง เฉื่อยชา เป็นอัมพาต และตายในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง

การออกฤทธิ์ของสารฆ่าแมลงกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ยับยั้งการสร้างสารไคติน (inhibitors of chitin synthesis) และสารคล้ายฮอร์โมนจูวีไนล์ (juvenile hormone mimics) สารที่ยับยั้งการสร้างไคตินได้แก่สารกลุ่ม benzoylphenylurea ตัวอย่างเช่น diflubenzuron, teflubenzuron, flufenoxuron จะไปยับยั้งการสร้างไคตินทำให้การสร้างผนังลำตัวของแมลงในกระบวนการลอกคราบผิดปกติ เนื่องจากส่วนของผนังลำตัวแมลงมีองค์ประกอบของสารไคตินประมาณ 50% ผลที่ได้รับจากการได้รับสารกลุ่มนี้เข้าไป ผนังลำตัวแมลงเปราะบางสารคล้ายจูวีไนล์ฮอร์โมนได้แก่ สาร methoprene และ fenoxycarb มีกลไกการทำงานคล้ายจูวีไนล์ฮอร์โมนและมีสูตรโครงสร้างคล้ายกันดังแสดงในภาพ



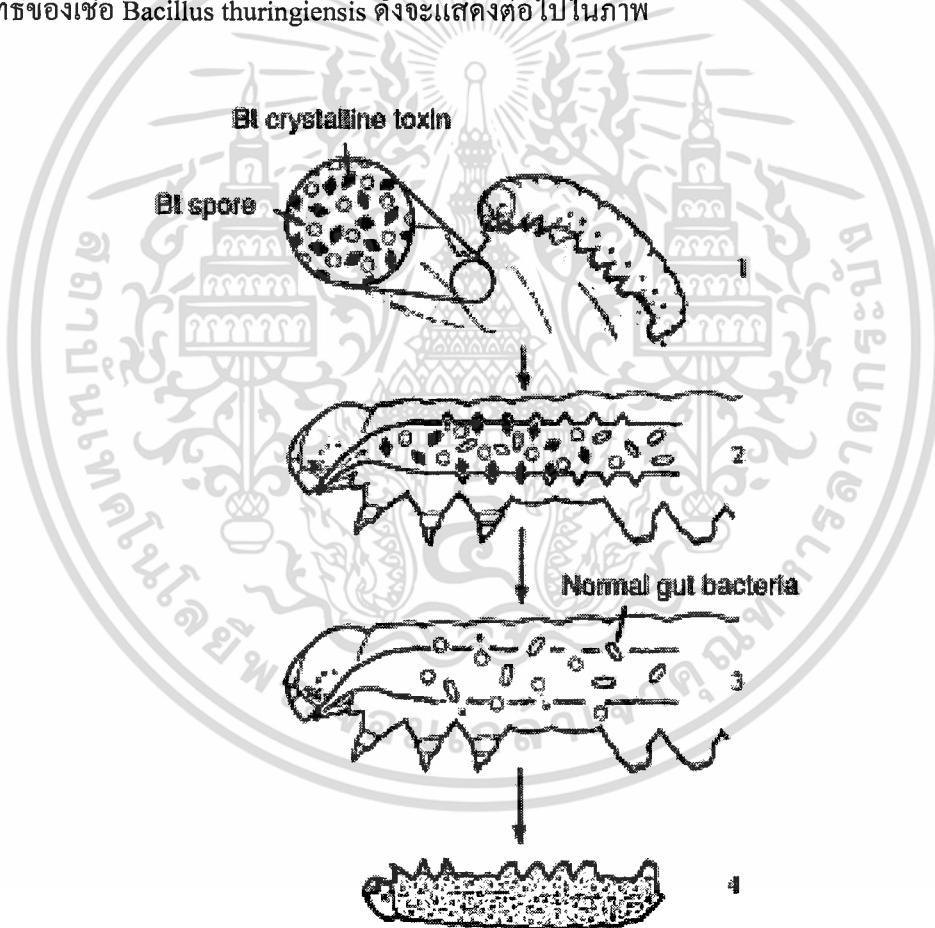
รูปที่ 2. 6 โครงสร้างของฮอร์โมนและสารยับยั้งการเจริญเติบโตของแมลง [9]

โดยมีผลต่อกระบวนการลอกคราบและการสืบพันธุ์ แมลงที่ได้รับสารฆ่าแมลงกลุ่มนี้ทำให้แมลงมีรูปร่าง 2 แบบในเวลาเดียวกัน เช่น ส่วนหนึ่งเป็นตัวอ่อนอีกส่วนหนึ่งเป็นดักแด้หรือส่วนหนึ่งยังเป็นตัวอ่อนอีกส่วนเป็นตัวเต็มวัย นอกจากนี้สารดังกล่าวมีผลต่อกระบวนการสืบพันธุ์ในตัวเต็มวัยของแมลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหารของแมลง

สารที่ออกฤทธิ์ต่อระบบทางเดินอาหารของแมลง เช่น สารพิษ (toxin) จากเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus thuringiensis* (Bt) สารพิษดังกล่าวถูกหุ้มด้วยผลึกโปรตีน เมื่อแมลงกิน *Bacillus thuringiensis* เข้าไปผลึกโปรตีนดังกล่าวถูกย่อยสลายในลำไส้ส่วนกลาง (midgut) ของแมลง สารพิษที่เรียกว่า delta-endotoxin ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนตั้งแต่ 200-300 ชนิดจนถึงมากกว่า 1,000 ชนิดถูกปลดปล่อยออกมา เมื่อ delta-endotoxin ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ proteases ที่อยู่ในลำไส้ของแมลง สารพิษที่เกิดขึ้นไปทำลายผนังลำไส้ที่เรียกว่า epithelial cells ถูกทำลาย ทำให้มีรูและเกิดรอยร้าวผลที่ตามมาคือ pH และ K^+ เสียสมดุลไปทำให้แมลงเกิดอัมพาตและตายในที่สุดขั้นตอนการออกฤทธิ์ของเชื้อ *Bacillus thuringiensis* ดังจะแสดงต่อไปในภาพ



รูปที่ 2.7 การออกฤทธิ์ของเชื้อ *Bacillus thuringiensis* [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [3]

ในอดีตมีการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่เพื่อตอบสนองการนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะทาง แต่ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มมีการนำพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่มาทำการผสมแทนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ และเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ พอลิเมอร์ผสม ซึ่งหมายถึงการนำพอลิเมอร์ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกันทั้งนี้มีประโยชน์หลายประการด้วยกันคือ

- หลีกเลี่ยงปัญหาของความยุ่งยากจากการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่
- ไม่ต้องลงทุนผลิตพอลิเมอร์ใหม่เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะทาง
- สามารถนำพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเด่นแต่ละชนิดมาผสมกัน เช่น การทำพอลิเมอร์ผสมของเทอร์โมพลาสติกซึ่งมีความเปราะและมีความทนทานแรงกระแทกได้สูง กับอีลาสโตเมอร์ซึ่งไม่เปราะแต่มีความแข็งต่ำ (Stiffness) เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ใหม่ที่มีสมบัติรวมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ซึ่งจะแตกต่างจากสมบัติของพอลิเมอร์หลักที่นำมาผสมกัน โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาวะในการผสม สมบัติการไหล สัณฐานวิทยา ซึ่งมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้และการนำไปใช้งานของพอลิเมอร์ผสมตามต้องการ

พอลิเมอร์ผสมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว (Miscible blend) หมายถึงพอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter, δ) ใกล้เคียงกันเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว

2. พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว (Immiscible blend) สามารถอธิบายได้จากสมการทางเทอร์โมไดนามิกส์

$$\Delta G_{\text{mix}} = \Delta H_{\text{mix}} - T\Delta S_{\text{mix}} \quad (2.1)$$

เมื่อ ΔG คือพลังงานอิสระกิบส์

ΔH คือการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสม

ΔS คือการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม

T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นสาเหตุทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสมต่ำ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสมมักมีค่าเป็นบวก ดังนั้นทำให้ค่าพลังงานอิสระกิบส์ของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากกว่าศูนย์ เป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว หรือกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้นมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter, δ) ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ภูมิภาค คือพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักของพอลิเมอร์ผสมเรียกว่า วัฏภาคหลัก (Matrix phase) ส่วนพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบส่วนน้อยเรียกว่า วัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility)

สารอะซาดิแรคติน มีลักษณะเป็น โมเลกุลที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ความแตกต่างกันในเรื่องของสมบัติดังกล่าวนี้เอง จึงทำให้การผสมระหว่างสารอะซาดิแรคตินกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงไม่รวมเป็นเนื้อเดียวจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีข้อบกพร่องดังนี้

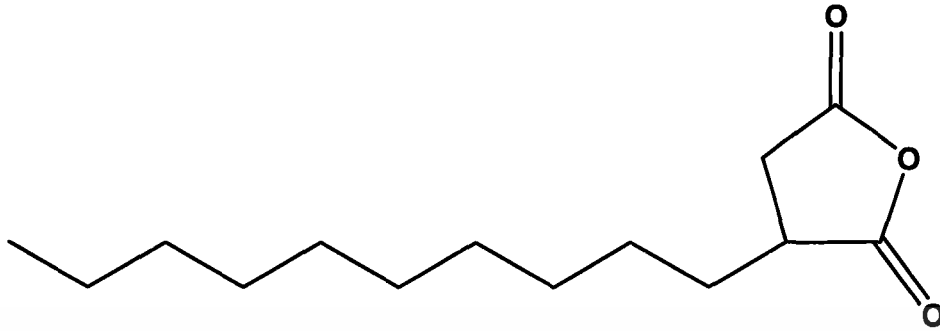
1. มีสมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคไม่ดี
2. มีค่าความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค (Interfacial tension) สูง
3. มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจึงต้องมีการนำสารช่วยผสม (Compatibilizer) มาใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) และให้ผลในการช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองวัฏภาค ทำให้พอลิเมอร์มีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป และทำให้สมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างวัฏภาคดีขึ้น ซึ่งวิธีการที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดีขึ้น คือการเติมสารช่วยผสมซึ่ง แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. Non-reactive Blending คือการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์แบบไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสูตร โครงสร้างเหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเพื่อให้เกิดการเกี่ยวพันกัน (Entanglement) กับวัฏภาคทั้งสองของพอลิเมอร์ ดังนั้นสารช่วยผสมที่ใช้คือพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีหลายชนิดคือพอลิเมอร์ร่วมแบบ โคปอลิเมอร์ แบบ ไตรบลอค แบบกราฟท์หรือแบบสุ่ม

2. Reactive Blending เป็นการเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์แบบเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีหมู่ที่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีขณะที่ทำการผสม หรือทำให้เกิดการกราฟท์พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้มีหมู่ว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง

สำหรับในงานวิจัยนี้จะมีการเติมฟิวซาบอนด์ เอ็มบี 226ดี (Fusabond MB 226D) เป็นสารช่วยผสมซึ่งสารนี้เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำต่อกิ่งกับ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.8 โดยโครงสร้างที่สายโซ่ตรงของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะเกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับพอลิเมอร์ และส่วนของกิ่งที่เป็นมาเลอิกแอนไฮไดรด์จะเกิดอันตรกิริยากับสารอะซาดิแรคติน ทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้เพิ่มมากขึ้น



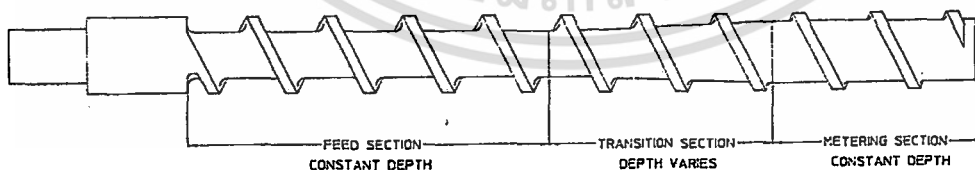
รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของ ฟิวซาบอนด์ เอ็มบี 226ดี (Fusabond MB 226D)

2.4 หลักการของเครื่องมือผสมและการขึ้นรูป

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) [6]

การอัดรีดจัดเป็นเครื่องมือที่มีจุดประสงค์หลากหลายในกระบวนการแปรรูปทางพอลิเมอร์ กล่าวคือเม็ดพลาสติกที่ถูกป้อนเข้ามาในระหว่างสกรูของเครื่องอัดรีดและกระบอกใส่สกรู (barrel) จะถูกอัด หลอม ผสม และวัด ด้วยความสวนทางที่เกิดขึ้นในระหว่างที่มีการไหลผ่านไปตามท่อและออกไปทางหัวตาย ทั้งนี้โดยอาศัยความแตกต่างของความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของสกรู และกระบอกใส่สกรูทำให้เกิดพลังงานเฉือน (shearing energy) ช่วยในการผสมและการหลอม ในกรณีของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวอาจทำให้การผสมและการเฉือนเพิ่มขึ้น โดยอาศัยอุปกรณ์เสริมไปติดเพิ่มระหว่างส่วนของเฟืองสกรู (screw flights)

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวจัดว่ามีความสำคัญอย่างมากในทางอุตสาหกรรม โดยมีลักษณะรูปทรงทางเรขาคณิตโดยทั่วไปแบ่งออกได้ 3 ส่วน ดังในภาพที่ 2.9



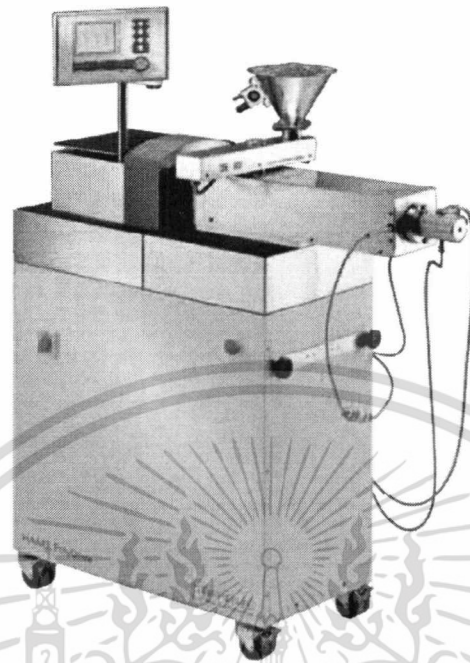
รูปที่ 2.9 รูปทรงทางเรขาคณิตของสกรู [6]

โครงสร้างของกรูแบบนี้ใช้แทนการทำงานแบบขั้นต่อนเดี่ยว (single state) ซึ่งหมายถึง สกรูมีเพียงส่วนของการอัด (compression section) เท่านั้น แม้ว่ารูปทรงทางเรขาคณิตจะแบ่ง-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกเป็น 3 ส่วนก็ตาม ในส่วนแรก (ใกล้กับทางเปิดให้วัสดุเข้า) จะมีเฟืองค้อนข้างเล็กโดยวัสดุที่เข้ามาในส่วนนี้จะอยู่ในสถานะของแข็งเรียกส่วนนี้ว่าส่วนป้อนวัสดุ (feed section) ส่วนท้ายสุด (ใกล้กับคายน) จะมีเฟืองค้อนข้างต้น โดยวัสดุที่อยู่ในส่วนนี้จะอยู่ในสภาวะหลอมเหลวทั้งหมด เรียกส่วนนี้ว่า ส่วนมาตรวัดหรือส่วนปั๊มวัสดุ (metering or pump section) ส่วนที่อยู่ระหว่างส่วนป้อนวัสดุและส่วนปั๊มวัสดุเรียกว่า ส่วนทรานสิชันหรือส่วนอัด (transition or compression section) ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการหลอมวัสดุ โครงสร้างแบบนี้ ความลึกของช่องสกรู (หรือความสูงของช่องสกรู) จะลดลงแบบเส้นตรงจากส่วนป้อนวัสดุไปยังส่วนมาตรวัดหรือส่วนปั๊มวัสดุ ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดการอัดตัวของวัสดุในช่องสกรู ตัวแปรอีกตัวหนึ่งในการออกสกรูที่นับว่ามีความสำคัญคือ อัตราส่วนความยาวของสกรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของสกรู (L/D) พบว่าโดยปกติจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 แต่ที่นิยมใช้คือ 24 แต่ในเครื่องอัดรีดบางประเภท เช่น เครื่องอัดรีดที่มีช่องระบายอากาศ (vented extruder) จะมีอัตราส่วนนี้สูงถึง 30 ถึง 40

การทำงานพื้นฐานของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว คือ วัสดุเข้ามาทางอุปกรณ์ ป้อนวัสดุ (feed hopper) โดยอาศัยหลักแรงโน้มถ่วงไหลลงมายังส่วนของกระบอกสกรู (extruder barrel) วัสดุบางชนิดป้อนเข้ามาได้ยากจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษช่วยเพื่อป้องกันการติดค้าง (bridging) ของวัสดุ เมื่อวัสดุเข้ามายังกระบอกสกรู จะผ่านไปยังช่องว่างวงแหวนหรือช่องว่างของสกรูที่อยู่หนึ่งหรือเคลื่อนที่เกิดแรงเสียดทานกระทำต่อวัสดุทั้งในส่วนของกระบอกใส่สกรูและพื้นผิวของสกรู แรงเสียดทานแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจะพาวัสดุให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกับมีความร้อนจากส่วนของอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ติดอยู่ตรงกระบอกใส่สกรู (barrel heater) เป็นตัวช่วยให้ความร้อนสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของวัสดุเกินจุดหลอมเหลวจะเกิดฟิล์มบางๆ ที่ผิวของกระบอกสกรูซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนสภาพพลาสติก (ไม่ใช่บริเวณเดียวกับส่วนที่เกิดการอัด) ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติของพอลิเมอร์ รูปทรงทางเรขาคณิตของเครื่องจักรและสภาวะการทำงาน ในขณะที่วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าปริมาณของของแข็งในแต่ละตำแหน่งจะลดลงในขณะที่ปริมาณการหลอมเหลวเพิ่มขึ้นและเมื่อของแข็งหมดไปจะเข้าสู่ปลายบริเวณของการเปลี่ยนสภาพพลาสติกและปั๊มเข้าสู่คายน ในขณะที่พอลิเมอร์ไหลผ่านคายนจะมีรูปร่างเหมือนกับช่องทางการไหลของคายน ทำให้วัสดุที่ออกจากคายนมีรูปร่างสอดคล้องกับภาคตัดขวางของส่วนสุดท้ายของช่องการไหลของคายนด้วย



รูปที่ 2.10 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [26]

2. เครื่องเป่าฟิล์ม (Blowing Machine) [6]

ฟิล์มเป่ามีความหนาน้อยกว่า 0.020 นิ้ว (0.05 เซนติเมตร) โคนอุปกรณ์ที่ใช้ทำฟิล์มเป่าประกอบด้วย เครื่องอัดรีดต่ออยู่กับหัวคาววงแหวน (annular die) ซึ่งโดยปกติจะมีทิศอยู่ในแนวตั้ง การผลิตฟิล์มเป่าแบบท่อ (turbular blown film) จะใช้อากาศและแรงดึงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอากาศที่อยู่ภายในจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ และมีส่วนของลูกกลิ้งที่ใช้รวบฟิล์ม (Collapsing guild and nip) อยู่ทางด้านบนดังแสดงในรูป ฟิล์มจะขยายตัวออกประมาณ 3 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางเดิมตามแนวนอน และขณะเดียวกันจะถูกดึงขึ้นในทิศทางตั้งฉาก ผลที่ได้ทำให้เกิดการจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง (biaxial orientation) เกิดการตกผลึก (Crystallization) และแข็งตัว (Freeze) อยู่ในทิศทางการจัดเรียงตัวนั้น

ฟิล์มที่เกิดจากการขยายตัวเนื่องจากการเป่ามีกระบวนการเป็นแบบแรงดึงมากกว่าที่จะเป็นแบบแรงเฉือน เพราะความเค้นเฉือนมีลักษณะการตอบสนองเป็นแบบวิสโคอิลาสติก ทำให้ความหนืดเนื่องจากแรงดึงมีค่าสูง ถ้าความหนืดเนื่องจากแรงดึงไม่ขึ้นกับอัตราความเครียด เรียกว่า troutonian ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมความเค้นเฉือนในนิวโตเนียน แต่ถ้าความหนืดเนื่องจากแรงดึงขึ้นกับอัตราความเครียด จะเรียกว่า non-troutonian ซึ่งแบ่งออกเป็นการทำให้แข็งเนื่องจากแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(tension stiffening) และการทำให้บางเนื่องจากแรงดึง (tension thinning) พอลิเมอร์หลอมเหลว ส่วนใหญ่จะเป็นแบบเทราเนียน ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบมีกิ่งและการตอบสนองแบบอิลาสติกจะเป็นการทำให้แข็งเนื่องจากแรงดึง พอลิโอลิฟินแบบเส้นตรง ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิพรอพิลีน เป็นการทำให้บางเนื่องจากการดึง

เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวออกจากสายและค่อยๆบางลง ความเค้นจะมากขึ้นและวัสดุที่ยังไม่แข็งพอจะเกิดความเครียดต่อไปเรื่อยๆจนเกิดการแตกของฟิล์มในที่สุด อย่างไรก็ตามการทำให้แข็งเนื่องจากแรงดึง ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหรือมีการตอบสนองแบบอิลาสติกมากพอที่จะชดเชยการเพิ่มขึ้นของความเค้น ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น อัตราการตกผลึก (crystallization rate) เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อเสถียรภาพ กล่าวคือ การผลิตฟิล์ม โดยวิธีนี้จะมีลักษณะที่เรียกว่า แนวเส้นแข็งตัว (frost line หรือ freeze line) เกิดขึ้นตามทางที่เกิดฟอง ซึ่งเป็นบริเวณที่พอลิเมอร์เกิดการตกผลึก ทำให้ความใสลดน้อยลง อิทธิพลของแนวเส้นแข็งตัวนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดการดึงและทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น ด้วยเหตุนี้อัตราการตกผลึกจึงไม่ควรสูงเกินไปจนทำให้ไม่เกิดการจัดเรียงตัวในสองทิศทาง

ส่วนประกอบของเครื่องเป่าฟิล์ม

1. เครื่องอัดรีด (extruder) มีหน้าที่หลักในการหลอมเหลวพอลิเมอร์
2. หัวดาย (die) โดยปกติมี 2 ชนิด คือ วงแหวนป้อนเข้าด้านล่าง (annular bottom feed die) และวงแหวนแบบป้อนเข้าด้านข้าง (annular side feed die)
3. ระบบการหล่อเย็น แบ่งเป็นแบบบังคับด้วยอากาศ (forced air) การทำให้เย็นโดยอาศัยแหล่งความเย็นจากภายในหรือภายนอก (internal or external refrigeration) และการหล่อเย็นด้วยน้ำ (water cooling bath)
4. หอคอยช่วยดึงขึ้น (take-off system) ได้แก่
 - 4.1 ลูกกลิ้งดึง (pull rolls) แบ่งเป็น แบบหลัก (primary type) และแบบรอง (secondary Type)
 - 4.2 ระบบการพับฟิล์ม (folding system)
 - 4.3 ระบบม้วนฟิล์ม (wind-up system) แบ่งเป็น แบบระบบขับโดยตรง (direct drive) และระบบขับพื้นผิว (surface drive)

5. อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องวัดความหนาของแผ่นฟิล์ม เครื่องวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศ , อุปกรณ์ปรับพื้นผิว เช่น โคโรนาดีสชาร์จ เปลมไฟฟ้า และอุปกรณ์เสริม เช่น เครื่องจักรสำหรับทำถุง เป็นต้น



รูปที่ 2.11 เครื่องเป่าฟิล์ม (Blown Film Machine) [32]

2.5 หลักการของเครื่องมือวิเคราะห์

1. การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) [8]

รังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าคลื่นแสงวิสิเบิล รังสีอินฟราเรดนี้ แบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR) แถบการดูดกลืนแสงของโมเลกุลในย่านนี้ส่วนใหญ่เกิดจากโอเวอร์โทน ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ $0.8\text{-}2.5\ \mu\text{m}$ ($12500\text{-}4000\ \text{cm}^{-1}$) อินฟราเรดย่านกลาง (Middle IR) อยู่ระหว่าง $2.5\text{-}50\ \mu\text{m}$ ($4000\text{-}200\ \text{cm}^{-1}$) ใช้ศึกษาคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ ในช่วงนี้จะแบ่งเป็นช่วงกลุ่มความถี่ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชัน และช่วงลายพิมพ์นิ้วมือที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุล อินฟราเรดย่านไกล (Far IR) อยู่ระหว่าง $50\text{-}1000\ \mu\text{m}$ ($200\text{-}10\ \text{cm}^{-1}$) จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล เนื่องจากพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการทรานซิชันมีระดับพลังงานค่อนข้างต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาโมเลกุลของสาร โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอะตอมที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมี เมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับการสั่นของโมเลกุลแล้ว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ โมเลกุลนั้นสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ เรียกว่า IR active แต่ถ้าการสั่นนั้นไม่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์จะไม่เกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เรียกว่า IR inactive

การสั่นของโมเลกุลแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การยืด (Stretching) และการงอ (Bending หรือ deformation) โมเลกุลที่มีอะตอมที่เหมือนกัน เช่น N_2 จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพลโมเมนต์ ขณะสั่น โดยโมเลกุลที่ประกอบด้วย n อะตอม มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงจะมีรูปแบบการสั่นเท่ากับ $3N-5$ แบบ ส่วนโมเลกุลที่ไม่เป็นเส้นตรงจะมีรูปแบบการสั่นเท่ากับ $3N-6$ แบบ

พิจารณาการสั่นแบบยี่กระหว่างอะตอม 2 อะตอม ที่ยึดกันด้วยพันธะเคมี ถ้าสมมติว่ามวลของอะตอมทั้งสองต่อกันขาดด้วยสปริง แล้วมีการแกว่งแบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย (Simple harmonic oscillation) สามารถคำนวณค่าของความถี่ได้จาก

$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (2.2)$$

เมื่อ

ν คือ ความถี่ของการสั่น (Hz)

k คือ ค่าคงที่ของแรง (N/m)

μ คือ reduced mass (kg)

ค่า

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (2.3)$$

เมื่อ m_1, m_2 คือ มวลของแต่ละอะตอม

ค่าคงที่ของแรงของพันธะสามจะมากกว่าพันธะสองและมากกว่าพันธะเดี่ยว ดังนั้นจึงสามารถคำนวณค่าความถี่ของการยี่กระหว่างอะตอมคู่หนึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

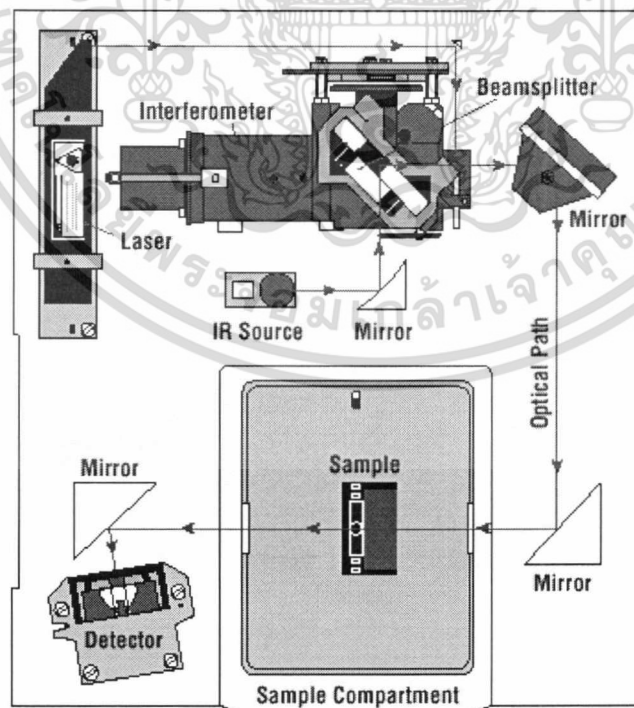
ปกติแล้วนิยมใช้หน่วย cm^{-1} แทนความถี่ ดังนี้

$$\nu = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{k}{\mu}} \quad (2.4)$$

เมื่อ c = ความเร็วของแสง ($c = 2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$)

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง IR spectrometer มีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดแสง (Radiation source) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการให้ความร้อนแก่โลหะ แล้วปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมา
2. ส่วนบรรจุสารตัวอย่าง (Sample containers) ถ้าเป็นของแข็งจะทำให้หลายวิธี เช่น บดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ แล้วอัดให้เป็นเม็ด หรือทำให้เป็นแผ่นบาง เป็นต้น ถ้าเป็นของเหลวจะบรรจุในเซลล์ หรือหยดลงผลึกของโซเดียมคลอไรด์ แล้วนำอีกแผ่นมาประกบก่อนนำไปตรวจวัด
3. ส่วนควบคุมความยาวคลื่น (Wavelength selector) ใช้เพื่อแยกคลื่นแสงที่ต้องการ
4. เครื่องตรวจวัดสัญญาณ (Detector)
5. เครื่องแปรสัญญาณและรายงานผล (Signal processor and readout devices)



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของเครื่อง IR spectrometer [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Fourier transform infrared spectrometer (FTIR) [21]

2. การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) [4]

เทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA) เป็นเทคนิคของการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักความร้อน (Thermal analysis, TA) นำมาใช้ประโยชน์มากโดยเฉพาะการหาความทนทานต่อความร้อน (Thermal stability) และหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร

เครื่อง TGA (Thermogravimetric analyzer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ถ้าทราบปฏิกิริยาการสลายตัวของสาร จะสามารถคำนวณน้ำหนักของสารที่สูญหายไป (%weight loss) ได้ ซึ่งจะตรงกับค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมแกรม ดังนั้นสามารถคำนวณหามวลโมเลกุลของสารที่สูญหายไปได้จากสมการ

$$\text{มวลโมเลกุลของสารที่สูญหายไป} = \frac{\%X}{100} \times MW_s \quad (2.5)$$

เมื่อ

%X คือ % weight loss

MW_s คือ มวลโมเลกุลของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือจากเทอร์โมแกรมทำให้เราทราบปฏิกิริยาการสลายตัวของสาร ความสามารถในการทนทานต่อความร้อน องค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในสารหรือสิ่งเจือปนที่อยู่ในสารนั้นได้ และสามารถคำนวณหาปริมาณหรือร้อยละของสารที่เป็นองค์ประกอบหรือเจือปนอยู่ได้จากสูตรต่อไปนี้ โดยถ้า A เป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในสารผสม

$$\%W_{AM} = \frac{\%W_M}{\%W_A} \quad (2.6)$$

เมื่อ

$\%W_{AM}$ คือ % น้ำหนักขององค์ประกอบ A

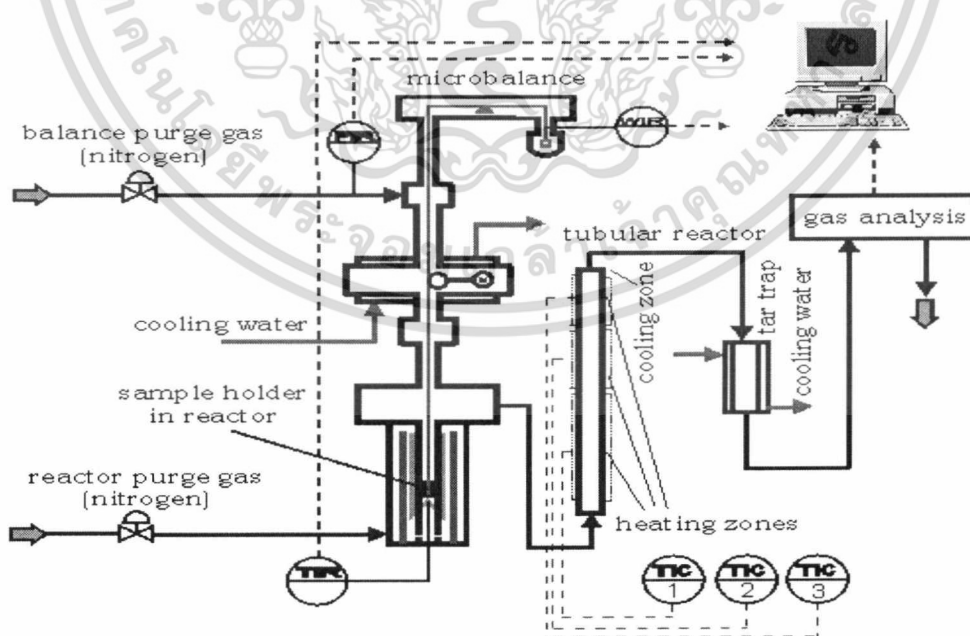
$\%W_M$ คือ % น้ำหนักของสารผสมที่เปลี่ยนแปลง

$\%W_A$ คือ % น้ำหนักของสาร A บริสุทธิ์ที่เปลี่ยนแปลง

การใช้เครื่อง TGA เพื่อการวิเคราะห์ทดสอบมีอยู่ 2 ประการ ดังนี้

1. ใช้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของปฏิกิริยาทางจลนศาสตร์ เช่นปฏิกิริยาการสลายตัว ปฏิกิริยาการระเหยกลายเป็นไอ และปฏิกิริยาคีไฮเดรชัน
2. ใช้ในการศึกษาหาปริมาณของส่วนประกอบต่างๆ ในของผสม เช่น ปริมาณสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ รวมทั้งพอลิเมอร์ผสม

โดยในการวิจัยนี้จะใช้ TGA หาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่อง TGA ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนของเครื่อง TGA เอง ซึ่งจะประกอบด้วย ระบบที่ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง ภาชนะใส่สารตัวอย่างทำด้วยแพลทินัม เครื่องตรวจวัดความร้อน และเครื่องชั่งน้ำหนัก
2. ส่วนควบคุมหรือ โปรแกรมอุณหภูมิพร้อมจอแสดงผล ส่วนนี้จะเชื่อมต่อกับส่วนที่ 1 อุณหภูมิหรือความร้อนที่เตาได้รับจะถูกควบคุมด้วยการ โปรแกรมอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะทำได้ 2 แบบ คือ

ก.) Isothermal Program เป็นการ ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนที่คงที่ตลอด เช่น $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ วิธีนี้เหมาะกับการใช้ศึกษาความทนทานต่อความร้อน หรือทนทานต่อการออกซิไดซ์ของสาร

ข.) Multi-state Temperature Program เป็นการ โปรแกรมให้ความร้อนเป็นช่วงๆ

3. ส่วนบันทึกข้อมูล หรือแสดงผลเป็นตัวบันทึกน้ำหนักของสารเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ โดยแกน x เป็นอุณหภูมิของสารตัวอย่าง และแกน y เป็นร้อยละ โดยน้ำหนักของสารตัวอย่าง



รูปที่ 2.15 Thermogravimetric analyzer (TGA) [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) [1]

การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยอาศัยหลักการใช้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun) ผ่านชุดคอนเด็นเซอร์เลนส์เพื่อปรับลำอิเล็กตรอนวิ่งลงสู่เลนส์วัตถุซึ่งทำหน้าที่ปรับจุดโฟกัสบนผิวชิ้นงาน และใช้ชุดขดลวดควบคุมการส่องกราด (Scanning coil) ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนพื้นผิวชิ้นงาน แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อแปลงเป็นสัญญาณภาพ

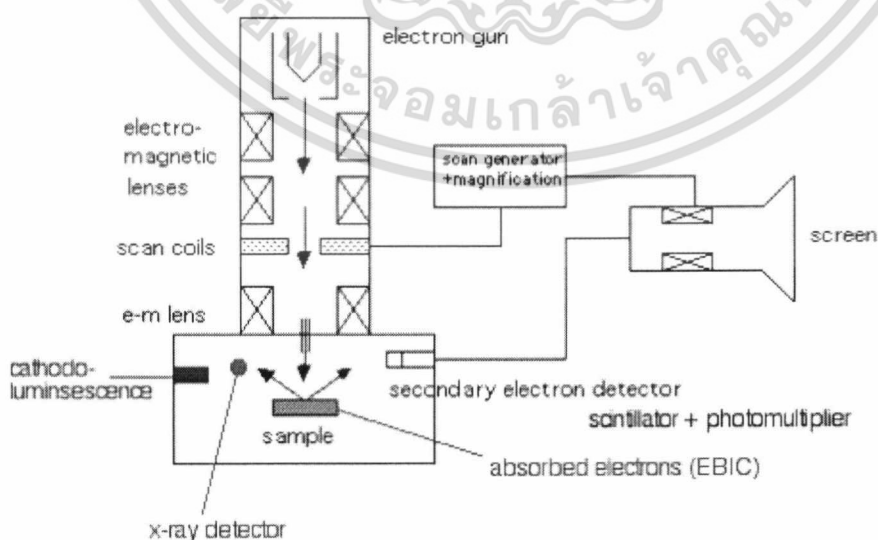
เมื่อลำอิเล็กตรอนกระทบกับตัวอย่างจะมีสัญญาณที่สำคัญเกิดขึ้น 3 สัญญาณ คือ

1. การกระเจิงกลับของอิเล็กตรอน (Backscattered electron, BSE) เป็นผลมาจากแรงกระทำทางไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนอิสระในลำอิเล็กตรอนกับนิวเคลียสของอะตอมตัวอย่างที่มีประจุบวก แล้วกระเจิงออกจากพื้นผิวของชิ้นงาน โดยอิเล็กตรอนที่ออกมาจะมีพลังงานสูง

2. อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron, SE) อิเล็กตรอนทุติยภูมิเกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงใน (inner shell) ของอะตอมตัวอย่าง อิเล็กตรอนชนิดนี้จะคายออกมาจากตัวอย่าง และมีพลังงานต่ำ

3. รังสีเอ็กซ์ (x-ray) เกิดจากการหายไปของอิเล็กตรอนในวงในของอะตอมตัวอย่างหลุดหายไป ทำให้อะตอมที่อยู่วงนอกซึ่งมีพลังงานสูงกว่าเข้ามาแทนที่แล้วคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์

สัญญาณทั้งหมดจะเกิดขึ้นพร้อมกัน ดังนั้นการตรวจวัดจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือตรวจวัด (Detector) ที่ใช้



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่สำคัญของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นหลอดทั้งสแตนท์ที่ถูกทำให้ร้อน (Heated tungsten filament) หรืออาจใช้เลนทาทันัมเฮกซะโบไรด์ (Lanthanum hexaboride, LaB_6) โดยจะต้องให้ลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานเพียงค่าเดียว

2. ชุดคอนเด็นเซอร์เลนส์ (Condenser lens) ใช้เพื่อปรับลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดตามต้องการ

3. ชุดขดลวดควบคุมการส่องกราด (Scanning coil) ใช้ควบคุมตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดที่ละตำแหน่งจนกระทั่งได้ข้อมูลทั้งภาพ

4. เครื่องตรวจวัด (Detector) ใช้ตรวจวัดสัญญาณที่เกิดขึ้น สามารถใช้ได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับความต้องการในการตรวจวัด เช่น Secondary electron detector จะใช้ในการตรวจวัดสัญญาณที่เป็นอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งมีพลังงานต่ำ โดยเรียกสัญญาณภาพที่เกิดขึ้นว่า Secondary electron image (SEI)

5. จอแสดงภาพ (Cathode ray tube, CRT) จะเป็นอุปกรณ์ที่แสดงภาพที่ได้จากเครื่องมือวัด



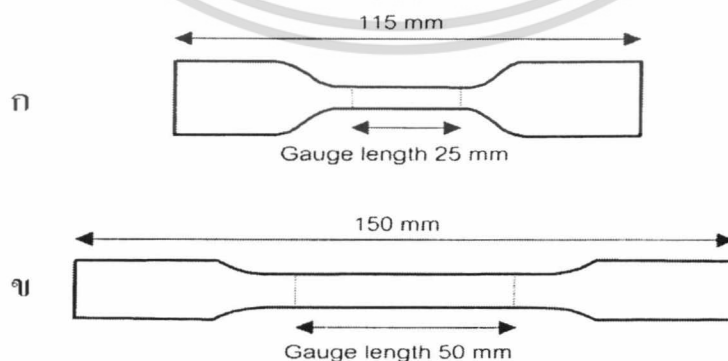
รูปที่ 2.17 Scanning Electron Microscope (SEM) [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) [2, 7]

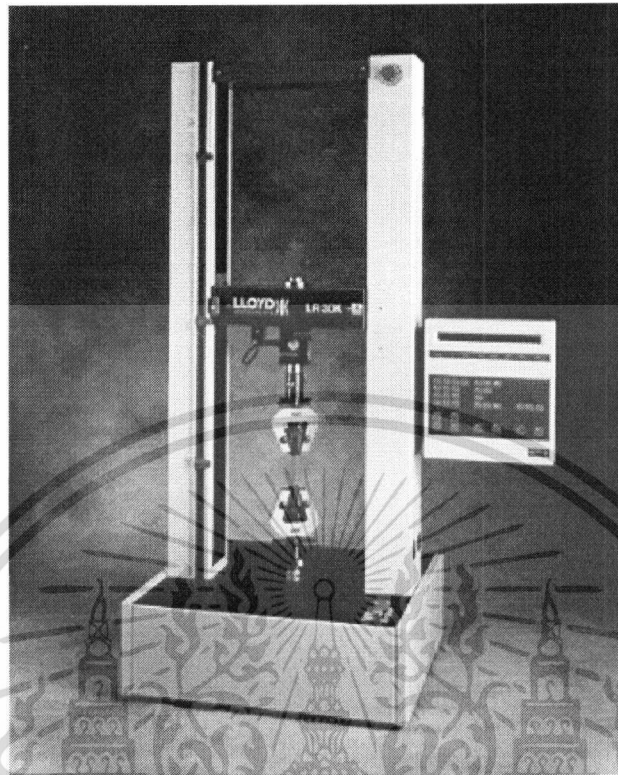
4.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Tests)

ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โมดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) นับเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของวัสดุต่างๆ และมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบสำหรับวัสดุพอลิเมอร์ การทดสอบแรงดึง คือการวัดความสามารถของวัสดุหนึ่งที่จะทนทานต่อแรงดึงยึดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหัก หรือเสียสภาพ ค่าโมดูลัสแรงดึงจะเป็นค่าที่บอกถึงความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุ สามารถได้จากความชันของกราฟความเค้น- ความเครียด (Stress-strain curve) การทดสอบแรงดึงทำได้โดยการยึดชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดและรูปร่างตามมาตรฐาน โดยใช้ที่จับ (Grips) สองชุด ที่จับข้างหนึ่งจะถูกยึดให้อยู่กับที่และอีกข้างหนึ่งจะเคลื่อนที่ โดยมีเซลล์วัดแรง (Load cells) เป็นตัววัดและควบคุมแรงที่กระทำกับชิ้นงานตัวอย่าง โดยมากแล้วชิ้นงานจะมีรูปร่างคล้าย”ดัมเบลล์” (Dumb-bell) เพื่อให้ชิ้นงานตัวอย่างเกิดการขาดที่บริเวณตรงกลางของตัวอย่าง ห่างจากบริเวณที่จับ การยึดออกของชิ้นงานพอลิเมอร์สามารถวัดได้จากการวัดระยะห่างระหว่างสองเส้น (Gauge marks) บนชิ้นงานตัวอย่างที่ห่างกันเป็นระยะเท่ากับ “ความยาวเกจ” (Gauge length) ตามมาตรฐานใช้ความยาวเกจ 20 หรือ 25 มิลลิเมตร (สำหรับตัวอย่างขนาดเล็ก รูป 2.19ก) หรือ 50 มิลลิเมตร (สำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่รูป 2.19ข) โดยใช้เครื่อง “เอ็กซ์ไซมิเตอร์” (Extensometer) หนีบกับชิ้นงานตัวอย่าง พลาสติกโดยทั่วไปใช้ความเร็วในการดึง 50-100 มิลลิเมตรต่อนาที เนื่องจากอัตราเร็วการดึงมีผลต่ออย่างมากต่อพฤติกรรมของพอลิเมอร์และผลการทดสอบแรงดึง การใช้อัตราเร็วต่ำเปรียบเสมือนการดึงธรรมดา ในขณะที่การดึงอัตราเร็วสูงเปรียบเสมือนการกระแทกหรือการกระตุกชิ้นงานตัวอย่าง การเพิ่มอัตราเร็วการดึงจะทำให้ความชันของเส้นกราฟความเค้น-ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือค่าโมดูลัสที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 เครื่อง Universal Testing Machine [30]

จากแรงดึงที่ใช้และการยืดออกของตัวอย่างสามารถคำนวณค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ดังนี้

- ความเค้นดึง (Tensile stress), $\sigma = F / A$
- ความเครียดดึง (Tensile strain), $\varepsilon = (l - l_0) / l_0 = \Delta l / l_0$
- โมดูลัส (Modulus), $E = \text{ความเค้นดึง} / \text{ความเครียดดึง}$

เมื่อ F คือแรงที่ใช้ดึงยึดตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน (N))

A คือพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร (mm^2))

l คือระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่าง (Gauge marks) ขณะดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm))

l_0 คือระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่างก่อนดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm))

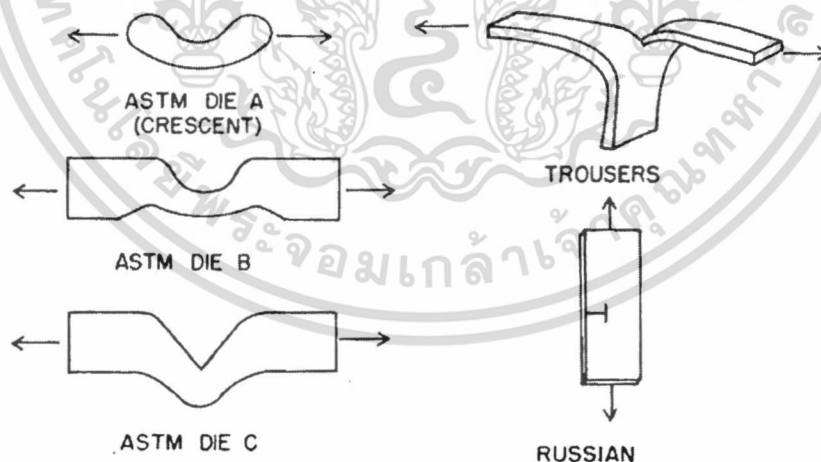
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดแรงดึงที่นิยมใช้เรียกว่า เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) หรือเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) เนื่องจากมีความหลากหลายในการใช้งาน ตัวเครื่องประกอบด้วยส่วนจับตัวอย่าง (Grips) สองข้าง ข้างหนึ่งยึดติดอยู่กับที่ อีกด้านหนึ่งติดกับส่วนให้แรง ที่สามารถเคลื่อนที่ให้แรงดึง (Tension) หรือเคลื่อนที่ลงให้แรงกดอัด (Compression) ในอัตราเร็ว (Crosshead speed) ที่สามารถควบคุมได้ โดยมีเครื่องวัดแรง (Load cell) ต่ออยู่ ทำหน้าที่วัดแรงที่ใช้ดึงหรือกดอัดตัวอย่าง ส่วนจับตัวอย่าง (Grips) มีหลายชนิดต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง สามารถจับยึดตัวอย่างได้ดี ไม่มีการเลื่อนหลุด (Slippage) หรือทำให้ตัวอย่างบิดเบี้ยว (ดังรูปที่ 2.19)

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และมอดูลัส (Modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยตัดชิ้นงานเป็นชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumb-bell) มีความยาวเกจ (Gauge length) 25 มิลลิเมตร

4.2 การทดสอบการฉีกขาด (Tear test)

การทดสอบการฉีกขาดขึ้นอย่างมากกับลักษณะของชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ อัตราเร็วการฉีก และอุณหภูมิ ลักษณะตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการฉีกขาดมีหลายลักษณะดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ลักษณะของตัวอย่างทดสอบการฉีกขาด (Tear specimens) [2]

ตัวอย่างการทดสอบการฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM และแบบ Trousers รอยขาดจะตั้งฉากกับทิศทางแรงที่ให้ แต่การทดสอบตัวอย่างแบบ Russian จะขาดตามแนวแรง โดยรายงานผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแรงที่ใช้ในการฉีกขาดตัวอย่างที่มีความหนาตามกำหนด นิยมเรียกผลที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ว่า “ความแข็งแรงฉีกขาด” (Tear strength) และนิยมเรียกผลที่ได้จากการทดสอบด้วยตัวอย่างแบบ Trousers ว่า “ความต้านทานฉีกขาด” (Tear resistance)

ค่าที่ได้จากการทดสอบฉีกขาดตัวอย่างแบบ Russian ให้ค่าความแข็งแรงสูงสุด รองลงมาคือตัวอย่าง ASTM Die A หรือ B และ ASTM Die C และตัวอย่างแบบ Trousers ให้ค่าความแข็งแรงต่ำสุด ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของแต่ละชนิดต่างกัน ไม่มีความสัมพันธ์กัน และไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้

ในการวิจัยนี้ใช้การทดสอบการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D 1004 โดยตัดตัวอย่างชิ้นงานตามแบบ ASTM Die C

4.3 การทดสอบแรงกระแทกตก (Falling-weight impact test)

การทดสอบแรงกระแทกตก (Falling-weight impact test) หรือ “Drop impact test” หรือ “Variable height impact test” เป็นการวัดสมบัติการทนทานต่อแรงกระแทกจากน้ำหนักที่ตกบนวัสดุที่ทดสอบ อาจใช้ลูกตุ้มกลมเหมือนลูกบอล หรือลูกดอก (Dart) ในการทดสอบแรงกระแทก ลูกน้ำหนักจะถูกปล่อยให้ตกจากความสูงที่กำหนด ลงบนแผ่นตัวอย่างกลมแบน น้ำหนักที่ตกสามารถปรับได้จากการเพิ่มลดน้ำหนักที่ส่วนปลายของลูกน้ำหนัก แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความแข็งแรงกระแทกตก

$$W_f = W_1 - [W (S/100 - 1/2)] \quad (2.7)$$

เมื่อ W_f = impact failure weight
 W = uniform weight increment (g)
 W_1 = lowest dart weight at 100% failure (g)
 S = sum of percentages of breaks at each dart weight (from 0%- 100% failure)

ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบแรงกระแทกตกตามมาตรฐาน ASTM D 1709

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เครื่องทดสอบแรงกระแทกตกแบบลูกดอก (Falling dart impact tester) [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Terezinha Monteiro dos Santos, Nivânia Pereira Costa, Adalci Leite Torres and Arlindo Leal Boiça Júnior (2004) นักวิจัยชาวบราซิล ได้ศึกษาผลของการนำน้ำมันของสะเดาที่สกัดได้ไปฉีดพ่นเพื่อป้องกันแมลงดูดน้ำเลี้ยงของต้นฝ้าย พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำมันที่สกัดจากสะเดา ปริมาณแมลงที่ลอกคราบได้มีน้อยลง ซึ่งแมลงส่วนใหญ่ที่ได้รับสารนี้จะตายระหว่างการลอกคราบ เนื่องจากการรบกวนของสารอะซาดิแรคตินที่มีต่อ ฮอว์โมน ecdisone และ juvenile ของแมลง [16]

Muhammad Amjad, Muhammad Afzal and Khalid Mehmood (2001) นักวิจัยชาวปากีสถาน ได้ทำการเปรียบเทียบสารป้องกันแมลงชนิดต่างๆกับข้าวโพด ซึ่งมีสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้น สารชีวภาพ และแบคทีเรีย ซึ่งมีสารสกัดจากสะเดาเป็นหนึ่งในตัวทดสอบด้วย พบว่าสารเคมีสังเคราะห์ 3 ชนิดที่เลือกมาทดสอบ มีเพียงชนิดเดียวที่มีความสามารถในการป้องกันแมลงเหนือกว่า อะซาดิแรคติน ที่สกัดได้จากสะเดา [12]

Müjgan Kivan (2005) นักวิจัยชาวตุรกี ได้ทดสอบนำแมลง 2 กลุ่มมาศึกษา ซึ่งมีวัยต่าง ๆ กัน รวมทั้งไข่ด้วย กลุ่มหนึ่งให้อาหารธรรมชาติ อีกชุดหนึ่งให้สารที่มีการผสม อะซาดิแรคติน 1% แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาที่สารออกฤทธิ์กับแมลงในวัยต่างๆ พบว่าจะสามารถเห็นความแตกต่างได้ในระยะเวลา 7 วัน จำนวนแมลงที่ตายจะมากกว่าชุดที่ไม่มีสารสกัดจากสะเดามาก และจะออกฤทธิ์ได้ดีเมื่อผ่านไป 10 วัน และพบว่าสารอะซาดิแรคตินมีผลทำให้ไข่ฟ่อได้มากขึ้นด้วย [11]

Otmar Schaaf , Andrew P. Jarvis , S. Andrew van der Esch ,Germina Giagnacovo, Neil J. Oldham นักวิจัยชาวอิตาลี ได้ทำการทดลองหาวิธีที่ใช้วิเคราะห์หาสารอะซาดิแรคตินหรือสารไตรเทอร์พีนอยด์ชนิดอื่นๆ โดยใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography และ atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry โดยมีลักษณะของพีคที่วิเคราะห์ได้แสดง รวมทั้งอธิบายลักษณะพีค [14]

Steven V. Ley นักวิจัยชาวอังกฤษ ได้แสดงวิธีการสังเคราะห์อะซาดิแรคตินจากสารตั้งต้น 2 ชนิด คือ Decalin และ Hydroxyfuran Acetal โดยมีวิธีการสังเคราะห์สารที่ใช้และสภาวะที่ใช้ในแต่ละขั้นอย่างละเอียด [15]

Murray Isman นักวิจัยชาวอังกฤษ ได้ทดสอบสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งการกินอาหารของแมลง พบว่าอะซาดิแรคติน สามารถอยู่ในตัวแมลงได้นานกว่าสารอีกชนิดหนึ่ง (Toosendanin) ซึ่งถูกกำจัดได้ง่ายกว่าด้วยระบบขับถ่ายของแมลง แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันที่สกัดจากสะเดาจะอยู่ในตัวแมลงได้นานกว่าอะซาดิแรคตินบริสุทธิ์ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. สารละลายอะซาดิเรคติน (Azadirachtin) ความเข้มข้น 0.1% ในเมทานอล ร้านพันธุ์ไม้ ม. ก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เกรดการค้า 1905F Thai Polyethylene (1993) Co., LTD.
3. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Ca/Zn stabilizer) GALLEON BRAND., LTD.
4. สารช่วยผสม (Fusabond MB 226D) Creative Polymer LTD.

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1.) เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer) รุ่น Model 3000 LAB TECH Engineering Company, LTD.
- 2.) เครื่องบดขยี้พลาสติก (Grinding machine): รุ่น A 600: Bosco Engineering
- 3.) เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder): Polydrive with Rheomex R 252 HAAKE
- 4.) เครื่องเป่าฟิล์ม (Blown – Film Machine) รุ่น Type LF 400 LAB TECH Engineering company, LTD.
- 5.) เครื่องตรวจวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer, TGA) รุ่น Pyris 1: Perkin
- 6.) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM): รุ่น LEO 1455 VP: LEO Ltd.
- 7.) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น LR30K: Llyod Instrument Ltd.
- 8.) เครื่องตรวจวิเคราะห์การดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR) รุ่น FTIR spectrum GX : Perkin Elmer
- 9.) เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทก (Falling dart impact tester) รุ่น D-2085AB-P บริษัท Dynisco polymer test
- 10.) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียด 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

1. ทำการผสมสารอะซาดิแรคตินที่ผ่านการอบเพื่อระเหยเมทานอล ออกบางส่วนกับสารเติมแต่งในบีกเกอร์ใช้แห้งแก้วคนให้เข้ากัน
2. นำมาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูงความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาทั้งหมด 10 นาที
3. นำของผสมที่ผสมเรียบร้อยแล้วตามอัตราส่วน โดยแสดงได้ในตารางที่ 3.1 ป้อนเข้าสู่เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยตั้งอุณหภูมิในช่วงต่างๆของเครื่องอัดรีดเป็นดังนี้ 130-140-145-150 °C (จากส่วนป้อนสารถึงหัวคาย) สกรูหมุนด้วยความเร็วคงที่ 50 รอบต่อนาทีโดยใช้หัวคายนวกลม
4. เมื่อผสมเรียบร้อยแล้วปล่อยให้พอลิเมอร์ผสมเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง นำไปบดย่อยด้วยเครื่องบดเก็บไว้เพื่อทำการทดสอบต่อไป
5. การขึ้นรูป จะทำการขึ้นรูปโดยการเป่าเป็นฟิล์มบาง โดยการนำพอลิเมอร์ที่ผ่านการบดมาอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 10 นาที แล้วทำการเป่าเป็นฟิล์ม ซึ่งตั้งอุณหภูมิในช่วงต่างๆของเครื่องเป่าฟิล์มเป็นดังนี้ 140-150-160-170°C (จากส่วนป้อนสารถึงหัวคาย) สกรูหมุนด้วยความเร็วคงที่ 50 รอบต่อนาที

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม (% โดยน้ำหนัก)

sample	LDPE	Fusabond MB226D	Ca/Zn stabilizer	Azadirachtin
1	100	-	-	1
2	100	10	-	1
3	100	-	1	1
4	100	10	1	-
5	100	10	1	1
6	100	10	1	2
7	100	10	1	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจวิเคราะห์

1. การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสาร โดยจะใช้ตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของสารอะซาดิเรคตินในพอลิเมอร์ผสมเพื่อตรวจสอบว่ามีอะซาดิเรคติน โดยคาดว่าจะมีฟังก์ชันของหมู่คาร์บอนิลและหมู่ไฮดรอกซิลเพิ่มขึ้นจากฟังก์ชันของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ในการทดสอบจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารอะซาดิเรคตินในสารละลายและในตัวอย่างพอลิเมอร์ผสม

ก่อนทำการทดสอบตัวอย่างด้วย FTIR จะต้องทำการเทียบมาตรฐานของเครื่องมือโดยการใช้บันทึกสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มพอลิสไตรีนเพื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมมาตรฐาน ว่ามีความคลาดเคลื่อนหรือไม่ ที่ความยาวคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$

ในส่วนของการทดสอบตัวอย่างที่เป็นสารละลาย (สารอะซาดิเรคตินในเมทานอล) จะทำการหยดสารละลายลงบนพลาสติกใส อบให้แห้ง แล้วนำไปบันทึกสเปกตรัม และในส่วนของตัวอย่างพอลิเมอร์ผสม นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบดขยี้มาประมาณ 2 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (ที่ผ่านการอบแห้งมาแล้ว) อัดของผสมที่ได้ให้เป็นแผ่นใส นำไปบันทึกสเปกตรัม โดยทั้งหมดจะทำการบันทึกสเปกตรัมที่ $4000-400\text{ cm}^{-1}$

นอกจากนี้ FTIR ยังใช้ติดตามการสลายตัวหรือการหายไปของสารอะซาดิเรคตินเมื่อเวลาผ่านไปอีกด้วย โดยดูจากลักษณะของฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไป (ทั้งรูปร่างและตำแหน่ง) ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบทุกๆ สัปดาห์

2. การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

Thermogravimetric analysis (TGA) นำมาใช้เพื่อหาเสถียรภาพทางความร้อนและปริมาณของสารอะซาดิเรคตินในพอลิเมอร์ผสม โดยในการทดสอบจะใช้สารตัวอย่างประมาณ 20-25 มิลลิกรัม ซึ่งจะถูกให้ความร้อนด้วยอัตราเร็ว 10°C ต่อนาที จากอุณหภูมิห้องจนถึง 500°C ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที แล้วบันทึกเทอร์โมแกรม

โดยการตรวจวิเคราะห์ด้วย TGA นี้ จะใช้เปรียบเทียบผลของการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์ผสม

3. การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาจะช่วยยืนยันความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับสารอะซาดิแรคติน ทั้งที่มีการเติมและไม่เติมฟิวซาบอนด์ เอ็ม บี 226 ดี โดยตัวอย่างจะถูกทำให้แตกหลังจากแช่ในไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำไปเคลือบพื้นผิวของตัวอย่างด้วยทองคำก่อนการทดสอบโดยใช้กำลังขยาย 250 เท่า

4. ทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

4.1 การทดสอบค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) และมอดูลัส (Modulus) (ตามมาตรฐาน ASTM D882)

นำชิ้นงานรูปดัมเบลล์ (Dumb-bell) มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) โดยมีสภาวะการทดสอบ ดังนี้

ความเร็วของแท่นตัดขวาง (Crosshead speed)	100	MPa
ระยะห่างของชิ้นงาน (Gauge length)	25	mm
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell)	5	kN
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	10	ชิ้นต่อสูตร

4.2 การทดสอบการฉีกขาด (ตามมาตรฐาน ASTM D 1004)

ตัดตัวอย่างชิ้นงานตามแบบ ASTM Die C โดยตัดชิ้นงานทิศทางตามเครื่องจักรและทิศทางตามขวางทิศทางละ 10 ชิ้นต่อ 1 สูตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) โดยมีสภาวะการทดสอบ ดังนี้

ความเร็วของแท่นตัดขวาง (Crosshead speed)	100	mm/min
น้ำหนักสูงสุดที่รับแรง (Load cell)	5	kN
จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ	10	ชิ้น/สูตร/ทิศทางการจัดเรียงตัว

4.3 การทดสอบแรงกระแทกตก (ตามมาตรฐาน ASTM D 1709)

ทำการตัดชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว จำนวน 20 ชิ้นงานต่อหนึ่งสูตร วัดความหนาของแต่ละชิ้นงาน ให้มีความหนาใกล้เคียง 0.001 นิ้ว นำชิ้นงานจับยึดกับ Stationary clamp ring อย่างระมัดระวังไม่ให้เกิดรอยขุ่น ทำการปล่อยลูกตุ้มที่มีน้ำหนักต่างๆกันที่ระดับความสูง 26 นิ้วลงบนชิ้นงาน บันทึกผล นำผลที่ได้ไปคำนวณหาความแข็งแรงกระแทกตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก

การชั่งน้ำหนักจะช่วยติดตามการสลายตัวหรือการหายไปของสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์ผสมได้ โดยการชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำแต่ละตัวอย่างไปวางไว้ในภาชนะเปิด ที่สภาวะปกติ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักทุกๆ สัปดาห์ ถ้าหากสารพอลิเมอร์ผสมมีน้ำหนักลดลงแสดงว่าสารอะซาดิแรคตินมีการสลายตัวไป

6. การทดสอบกับด้วงถั่วเขียว

ตัดฟิล์มตัวอย่างให้มีขนาดเท่าๆ กัน สูตรละ 1 ชิ้น ทำการพับให้เป็นถุง ใส่ในขวดโหลทดลอง ชั่งถั่วเขียวให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 50 กรัม ใส่ลงในถุงที่พับไว้แล้ว จากนั้นนับด้วงถั่วเขียวจำนวน 50 ตัว ใส่ลงไป ปิดปากโหลทดลองด้วยผ้าขาวบาง วางขวดโหลทดลองไว้ในสภาวะปกติ ปลดปล่อยทิ้งไว้ 3 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนดทำการแยกด้วงถั่วเขียวออก นำถั่วเขียวที่เหลือไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 5 นาที ก่อนนำไปชั่ง นอกจากนี้ยังสังเกตปริมาณการวางไข่ของด้วงถั่วเขียว และปริมาณของด้วงถั่วเขียวหลังการทดลองด้วย

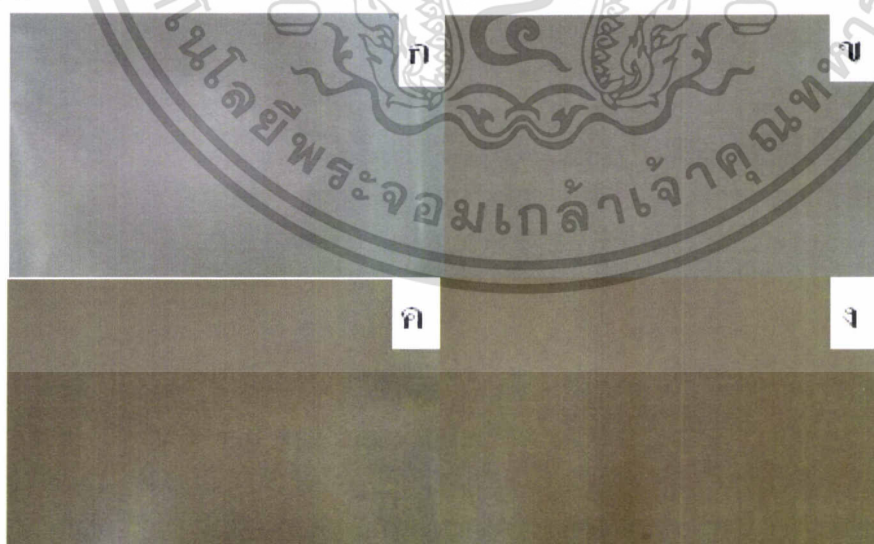
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองเป็นการเติมสารอะซาดิแรคตินลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ในปริมาณต่างๆ กัน และยังศึกษาผลของการเติมสารเติมแต่ง คือ สารช่วยผสม (Fusabond MB-226D) สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Ca-Zn Heat Stabilizer) โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอน-เดี่ยว จากนั้นนำมาขึ้นรูปโดยการเป่าให้เป็นฟิล์มบาง แล้วนำมาทดสอบสมบัติด้านต่างๆ คือ ลักษณะทางกายภาพที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อตรวจสอบความสามารถในการเข้ากันได้ การทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปใช้ประโยชน์ การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสี อินฟราเรด เพื่อตรวจหาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ผสม การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อนเพื่อใช้หาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม การวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนักจะใช้ติดตามการลดลงของสารในพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ยังทำการทดสอบกับดั่งแก้วเขียวเพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการป้องกันแมลงของพอลิเมอร์ผสม

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

หลังจากที่ทำการเป่าขึ้นรูปเป็นถุงเรียบร้อยแล้ว นำมาทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ซึ่งลักษณะทางกายภาพนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจเลือกใช้พอลิเมอร์ผสม โดยมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 4.1 ลักษณะของพอลิเมอร์ที่ผ่านการเป่า ตามสูตรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 ก-ง เป็นลักษณะของพอลิเมอร์ที่ผ่านการเป่า โดย 4.1ก. เป็นฟิล์มพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ ส่วนรูปที่ 4.1ข- 4.1ง จะเป็นลักษณะของฟิล์มที่มีสารอะซาดิเรคตินผสมอยู่ 1% 2% และ 3% ตามลำดับ โดยผลที่ได้แสดงตามตารางที่ 4.1

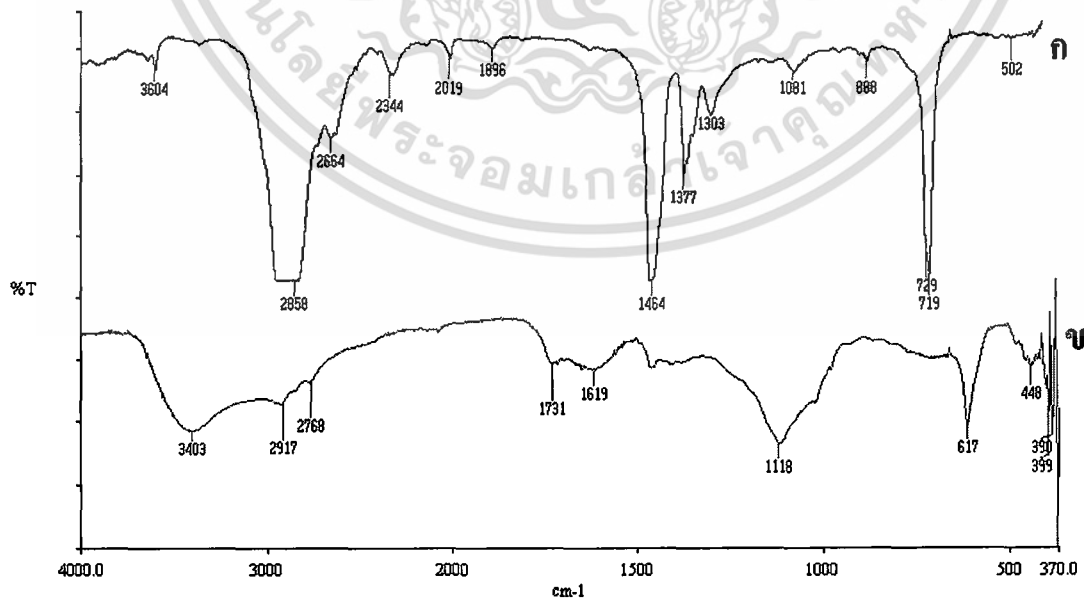
ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ในแต่ละสูตร

สูตร	ลักษณะทางกายภาพ
1% Azadirachtin	มีสีเหลืองอ่อน ผิวเนียน เป็นเนื้อเดียวกัน มีกลิ่นของสารอะซาดิเรคติน พื้นผิวเป็นมันเงา
2% Azadirachtin	มีสีเหลืองเข้มกว่าและกลิ่นแรงกว่า สูตร 1% เป็นเนื้อเดียวกัน ที่พื้นผิวมีความมัน
3% Azadirachtin	มีสีและกลิ่นแรงที่สุด พื้นผิวเป็นมันเงา เป็นเนื้อเดียวกัน

จากตารางจะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณสารอะซาดิเรคตินเพิ่มขึ้นจะทำให้สีและกลิ่นของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากสารอะซาดิเรคตินเป็นสารที่มีสีออกเหลืองและมีกลิ่นแรง เมื่อเติมในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีลักษณะดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นด้วย

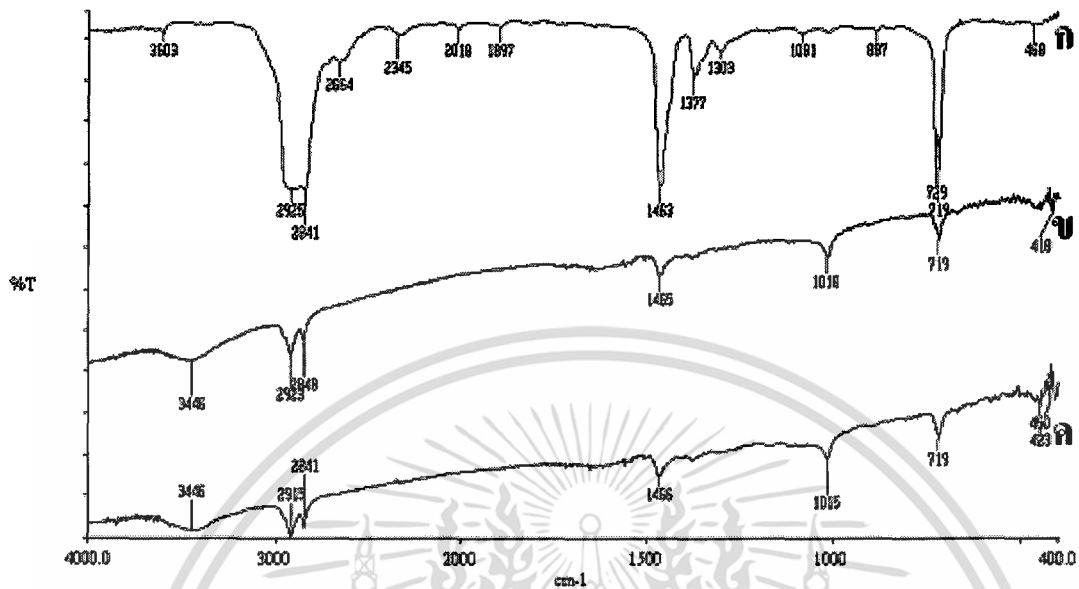
4.2 การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการดูดกลืนอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

การตรวจวิเคราะห์ด้วย FTIR จะช่วยยืนยันการมีอยู่ของสารอะซาดิเรคตินในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งผลการตรวจวิเคราะห์เป็นดังนี้

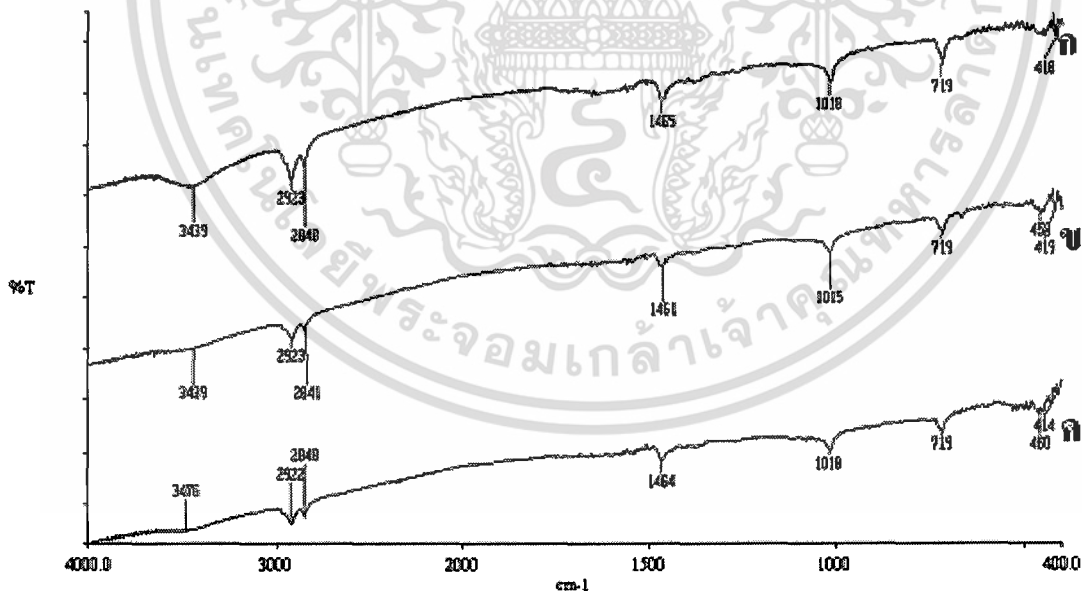


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(ก.) และสารอะซาดิเรคติน(ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

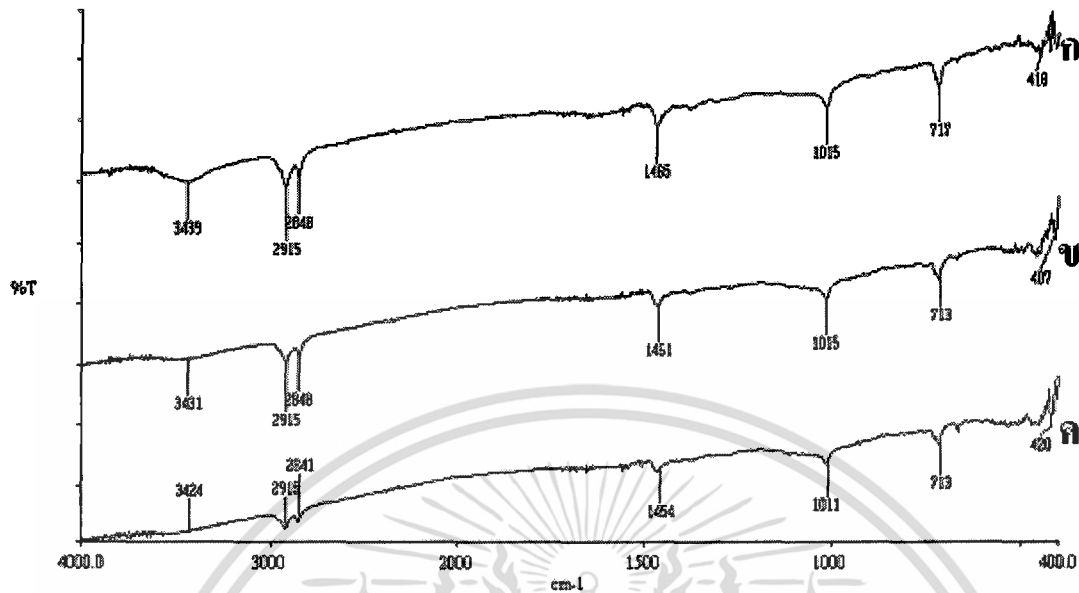


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของ พอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคตินในปริมาณต่างๆกัน



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคติน 1% ในเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่มีสารอะชาติแรคติน 3% ในเวลาต่างๆ

โดยรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับสารอะชาติแรคติน พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (เส้น ก.) มีพีคที่สำคัญ คือ ที่ 3000-2800 cm^{-1} ของ C-H stretching ที่ 1463 cm^{-1} ของ C-H bending for CH_2 ที่ 1377 cm^{-1} ของ C-H bending for CH_3 และ ที่ 729 cm^{-1} ของ CH_2 rocking และเมื่อพิจารณาสเปกตรัมเส้น ข. ซึ่งเป็นของสารอะชาติแรคติน พบว่ามีพีคปรากฏที่ความยาวคลื่น 3403 cm^{-1} แสดงถึง O-H stretching ซึ่งมีขนาดพีคที่ค่อนข้างกว้าง และยังมีพีคที่เห็นได้ชัดอีกแห่งหนึ่งคือที่ 1118 cm^{-1} แสดงถึง C-O-C stretching นอกจากนี้ยังมีพีคปรากฏที่ 1735 cm^{-1} ของ ester C-O stretching

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 เส้น ก. ข. และ ค. ซึ่งแสดงสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของสารต่างๆ กัน คือ 0% 1% และ 3% ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีการผสมสารอะชาติแรคตินลงในพอลิเมอร์จะทำให้ได้สเปกตรัมที่ต่างไปจากสเปกตรัมของพอลิเมอร์เดี่ยวๆ มาก พีคที่สำคัญ คือ ที่ 3446 cm^{-1} ของ O-H stretching ซึ่งเป็นของสารอะชาติแรคตินที่ไม่มีในพอลิเมอร์ แต่ก็ยังคงมีพีคที่สำคัญของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ 3000-2800 cm^{-1} ของ C-H stretching และที่ 1465 cm^{-1} ของ C-H bending for CH_3

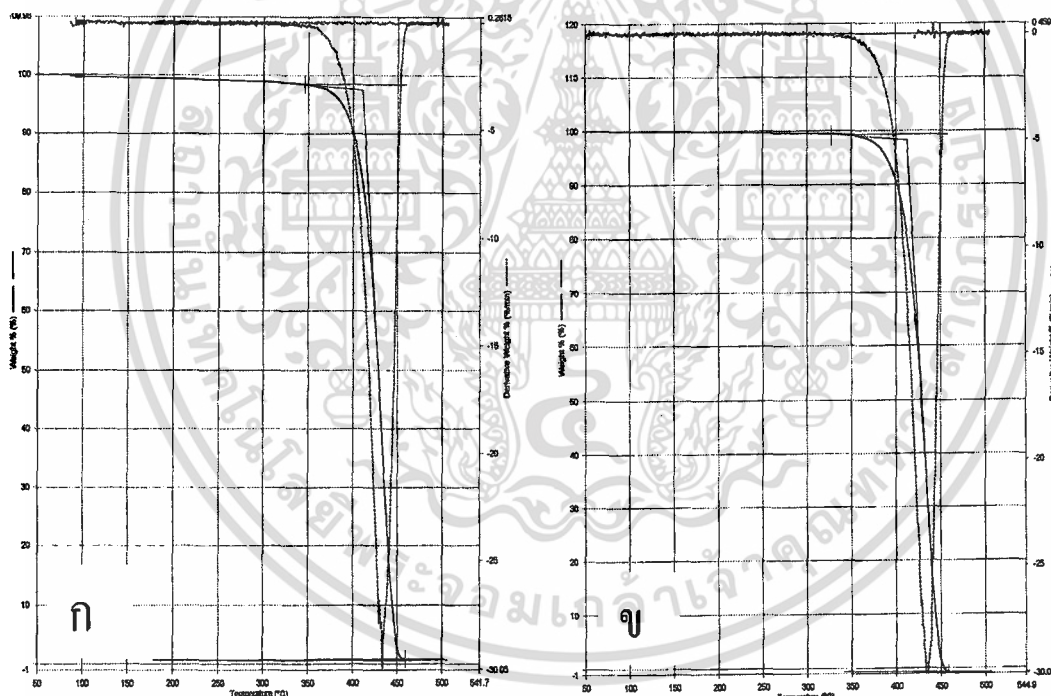
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงสเปกตรัมของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารอะชาติแรคตินผสม 1% ในช่วงเวลาต่างกัน โดย เส้น ก. ข. และ ค. เป็นการตรวจสอบในช่วงสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ พบว่า มีการลดลงของความสูงของพีคที่ 3500-3400 cm^{-1} ของ O-H stretching ที่เป็นลักษณะเฉพาะของสารอะชาติแรคติน เมื่อความสูงของพีคลดลง ทำให้ทราบว่าปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลลดลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งแสดงถึงการลดลงของสารอะซาดิเรคตินเช่นกัน ส่วนพีกที่สำคัญอื่นๆ ของสารอะซาดิเรคติน เช่นที่ 1740 cm^{-1} ของ ester C-O stretching และที่ $1250\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ ของ C-O-C stretching ก็พบว่ามีการลดลงเช่นกัน [5]

ในส่วนของรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบสเปกตรัมของพอลิเมอร์ที่ผสมสารอะซาดิเรคติน 3% ในช่วงเวลาต่างๆ กัน โดยเส้น ก. ข. และ ค. เป็นการตรวจสอบในช่วงสัปดาห์ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีการลดลงของความสูงของพีกเช่นกัน

4.3 การตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis, TGA)

การตรวจวิเคราะห์ด้วย TGA ใช้ศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.6 เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสม

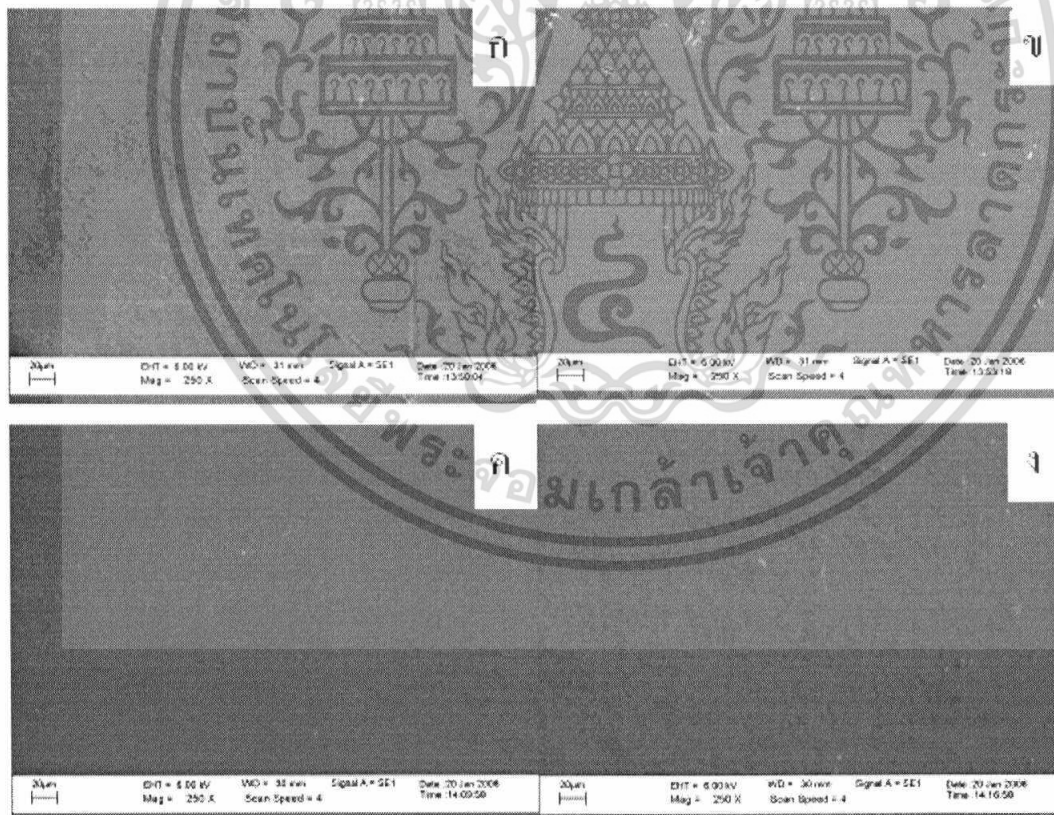
จากรูป 4.6 เป็นเทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารอะซาดิเรคติน 1% และมีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน พบว่าพอลิเมอร์ผสมเริ่มเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 345°C และเกิดการสลายตัวหมดที่อุณหภูมิประมาณ 415°C ซึ่งช่วงดังกล่าวเป็นช่วงการสลายตัวของทั้งพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและสารอะซาดิเรคติน และเนื่องจากปริมาณของสารอะซาดิเรคตินในพอลิเมอร์ผสมมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักได้อย่างชัดเจน แต่ก็ทำให้ทราบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้สามารถทนความร้อนได้สูง

นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน โดยในรูปที่ 4.6x เป็นพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนพบว่าพอลิเมอร์ผสมเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 20°C คือที่ 325°C และสลายตัวหมดที่อุณหภูมิประมาณ 410°C

4.4 การตรวจวิเคราะห์ด้วยสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เมื่อนำฟิล์มพลาสติกที่ได้หลังจากการผสมสูตรและเป่าขึ้นรูปเป็นถุงพลาสติก มาทำการทดสอบเพื่อดูความเข้ากันได้ระหว่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับสารอะซาดิเรคติน โดยมีปริมาณไม่เท่ากันในแต่ละสูตร และมีการใส่สารเติมแต่งต่างๆ แสดงได้ดังรูป 4.7



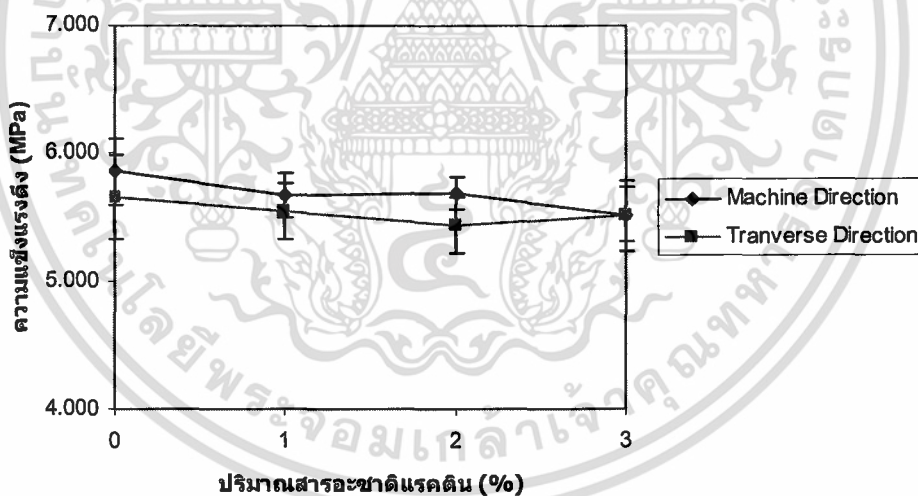
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจาก Scanning Electron Microscope (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7ก. เป็นฐานวิทยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเพียงอย่างเดียว จะเห็นว่า มีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ แต่จะเห็นเพียงริ้วรอยต่างๆ ที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องเป่าฟิล์ม เท่านั้น ส่วนรูปที่ 4.7ข. และ 4.7ค. เป็นฐานวิทยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มี สารอะซาดิเรคตินผสม 1% และ 2% ตามลำดับ และมีการใส่สารช่วยผสม โดยพบว่าพื้นผิวของ พอลิเมอร์ผสมมีความขรุขระ แต่ไม่มีรอยแบ่งวัฏภาคอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่า สารอะซาดิเรคตินมี ความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ แต่ในรูป 4.7ค. พื้นผิวจะมีความขรุขระมากกว่า เนื่องจากการมีปริมาณสารอะซาดิเรคตินมากกว่า ในส่วนของรูปที่ 4.7ง. เป็นฐานวิทยของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่มีสารอะซาดิเรคตินผสม 1% แต่ไม่มีการเติมสารช่วยผสม พบว่าพื้นผิวของพอลิเมอร์มีความขรุขระมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารช่วย ผสม (รูป 4.7ข.) แต่อย่างไรก็ตามก็ไม่เกิดการแบ่งวัฏภาคอย่างชัดเจน

4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

4.5.1 การทดสอบความแข็งแรงดึง

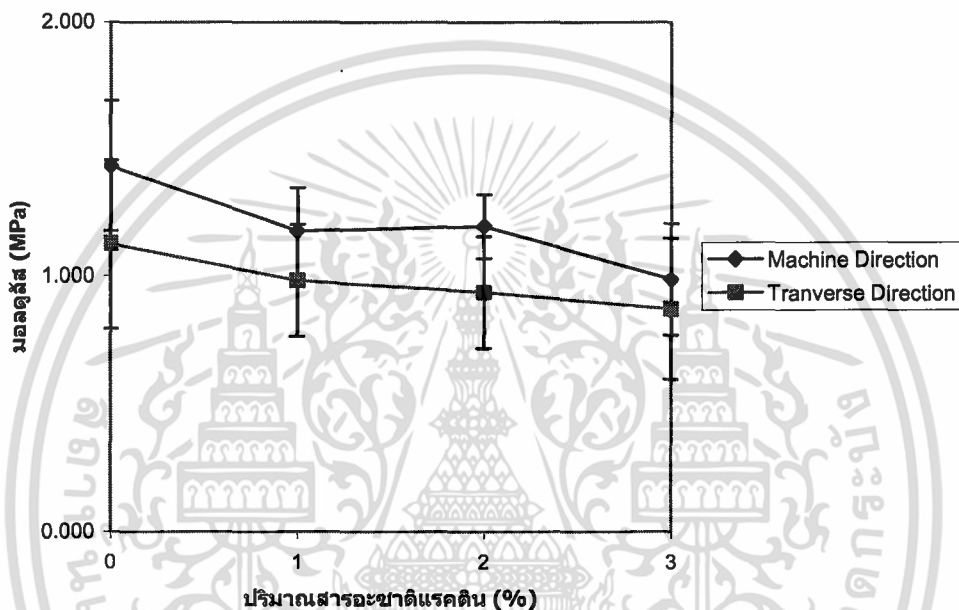


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึง กับ ปริมาณสารอะซาดิเรคตินในพอลิเมอร์

จากรูป 4.8 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารอะซาดิเรคตินแล้ว ความแข็งแรงดึงจะลดลง เนื่องจาก ปริมาณสารอะซาดิเรคตินที่แทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่ทำให้ การส่งผ่านแรงไม่สม่ำเสมอเท่ากับการส่งแรงระหว่างเนื้อพอลิเมอร์ด้วยกัน ทำให้พอลิเมอร์ที่มี สารอะซาดิเรคตินมากมีความแข็งแรงดึงต่ำกว่า [2, 7]

เมื่อพิจารณาจากการจัดเรียงตัว กับ ความแข็งแรงตึงพบว่าพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัว เป็นไปในทิศทางเดียวกับเครื่องจักร มีความแข็งแรงสูงกว่า เนื่องจาก สายโซ่พอลิเมอร์มีการ เคลื่อนที่จัดเรียงตัวระหว่างทำการขึ้นรูป ทำให้ความแข็งแรงตึงสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีการจัดเรียงตัว ในทิศทางตรงกันข้าม [2, 7]

4.5.2 การทดสอบหาค่ามอดูลัส

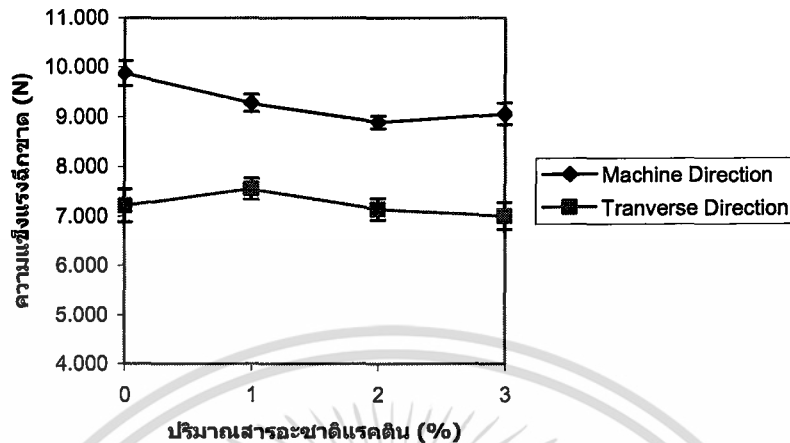


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัส กับ ปริมาณสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์

จากรูป 4.9 สังเกตได้ว่าปริมาณของสารอะซาดิแรคตินส่งผลให้ค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์มี ค่าลดลง เนื่องจากโมเลกุลของสารอะซาดิแรคตินสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ ทำให้ปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์มีมากขึ้น สายโซ่ของพอลิเมอร์จึงสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย เมื่อ ออกแรงกระทำกับพอลิเมอร์สายโซ่พอลิเมอร์จึงสามารถเคลื่อนที่เพื่อรับแรงได้ดี หรือเรียกได้ว่า พอลิเมอร์นิ่มมากขึ้น [2, 7]

เมื่อพิจารณาจากการจัดเรียงตัว กับ มอดูลัสพบว่าการจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักรมี มอดูลัสสูงกว่า เนื่องจากการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ตามแนวเครื่องจักรมีมากกว่า ความแข็งแรงจึง มีมากกว่า ส่งผลให้มอดูลัสมีค่าสูงกว่า [2, 7]

4.5.3 การทดสอบหาความต้านทานฉีกขาด

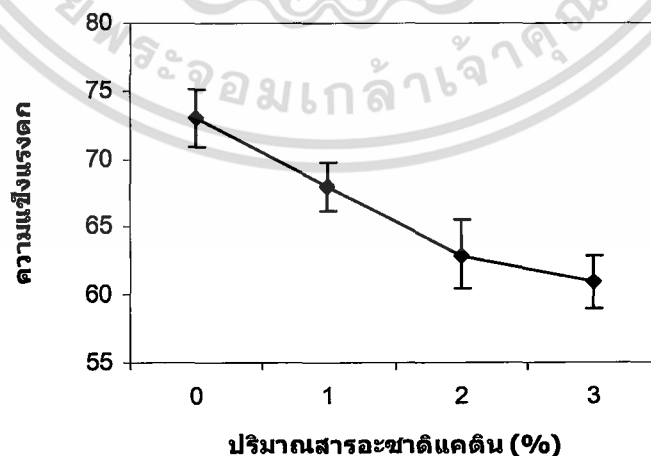


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานฉีกขาดกับปริมาณสารอะซาดิแรคติน

จากรูป 4.10 พบว่าค่าความต้านทานการฉีกขาดมีค่าน้อยลงเมื่อปริมาณสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์มีมากขึ้น เนื่องจากสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์เปรียบเสมือนวัฏภาคกระจายของพอลิเมอร์ ซึ่งส่งผ่านแรงไปยังเนื้อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้ไม่ดีเท่ากับการส่งผ่านระหว่างเนื้อพอลิเมอร์ด้วยกัน ดังนั้นค่าความต้านทานการฉีกขาดของพอลิเมอร์จึงลดลง [2, 7]

เมื่อพิจารณาจากการจัดเรียงตัวพบว่า การจัดเรียงตัวตามแนวเครื่องจักรจะมีความแข็งแรงฉีกขาดมากกว่า เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์มีการจัดเรียงตัวได้ดีในทิศทางที่ทดสอบทำให้ต้องใช้แรงในการทำให้เสียหายมากกว่า [2, 7]

4.5.4 การทดสอบความแข็งแรงกระแทกตก



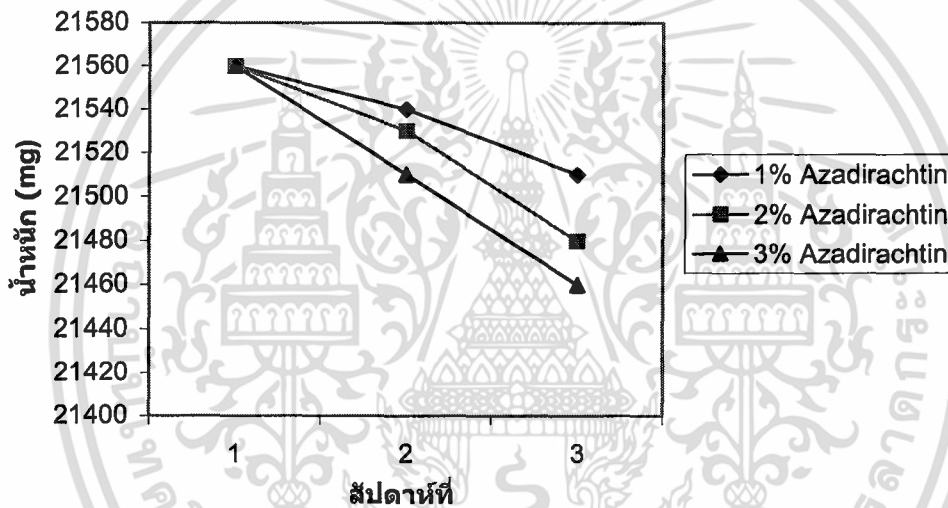
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงกระแทกตกกับปริมาณสารอะซาดิแรคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.11 พบว่าที่ปริมาณสารอะซาดิแรคตินมากขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกตกของพอลิเมอร์ลดน้อยลง เนื่องจากสารอะซาดิแรคตินที่ใส่ลงไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียหายในบริเวณนี้ก่อนที่จะขยายรอยแตกไปยังบริเวณอื่นๆ ต่อไป [2, 7]

4.6 การตรวจวิเคราะห์จากการชั่งน้ำหนัก

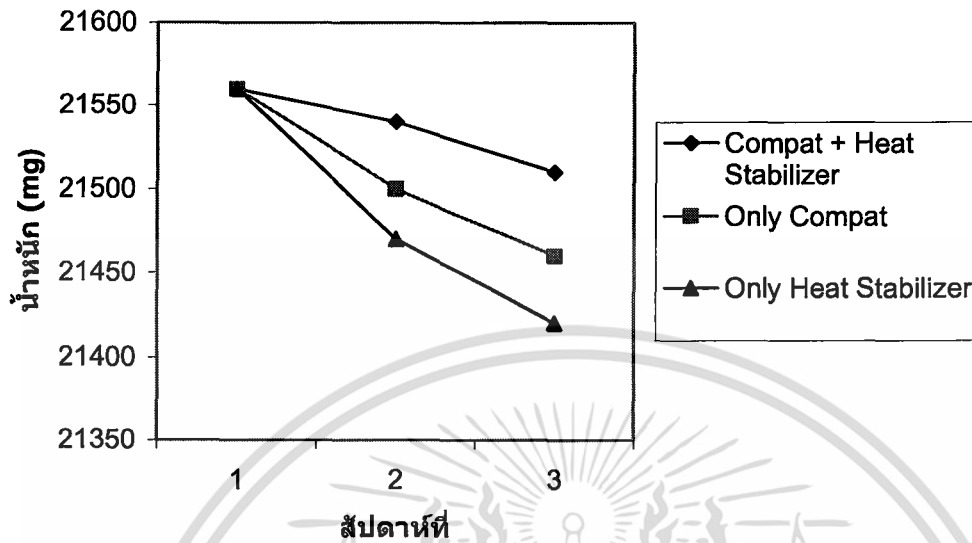
การตรวจวิเคราะห์ด้วยการชั่งน้ำหนัก จะช่วยติดตามการลดลงของสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์ผสม โดยการชั่งน้ำหนักจะทำในช่วงเวลาต่างๆ กัน ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของน้ำหนักกับเวลาเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารอะซาดิแรคตินในปริมาณต่างๆกัน

จากรูปที่ 4.12 เป็นการเปรียบเทียบการลดลงของน้ำหนักพอลิเมอร์ผสมที่มีสารอะซาดิแรคตินในปริมาณต่างๆ กัน คือ 1% 2% และ 3% ตามลำดับ จากกราฟพบว่า เมื่อเวลาผ่านไปน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมทั้ง 3 สูตร มีค่าลดลง โดยสูตรที่มีการเติมสารอะซาดิแรคติน 3% จะมีน้ำหนักลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ 2% และ 1% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่สารที่มากขึ้น สารอะซาดิแรคตินจะเข้าไปอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์ได้มาก อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของสารอะซาดิแรคตินต่อพอลิเมอร์มีค่ามาก และเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการหลุดออกจากพอลิเมอร์ของสารอะซาดิแรคติน สูตรที่มีการเติมสารอะซาดิแรคตินมาก ก็จะเกิดการสลายตัวมากตามไปด้วย ทำให้น้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

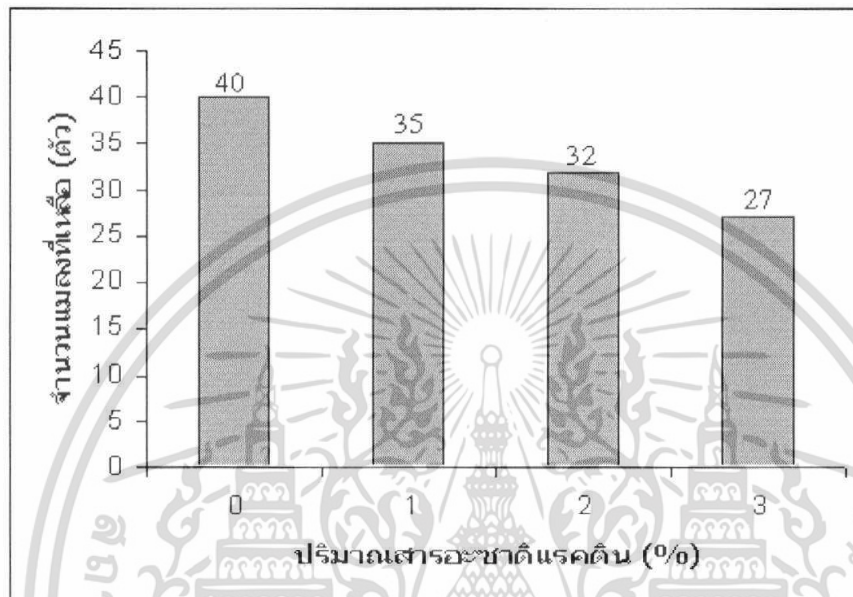


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการลดลงของน้ำหนักกับเวลาเปรียบเทียบกันระหว่างพอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งต่างๆกัน

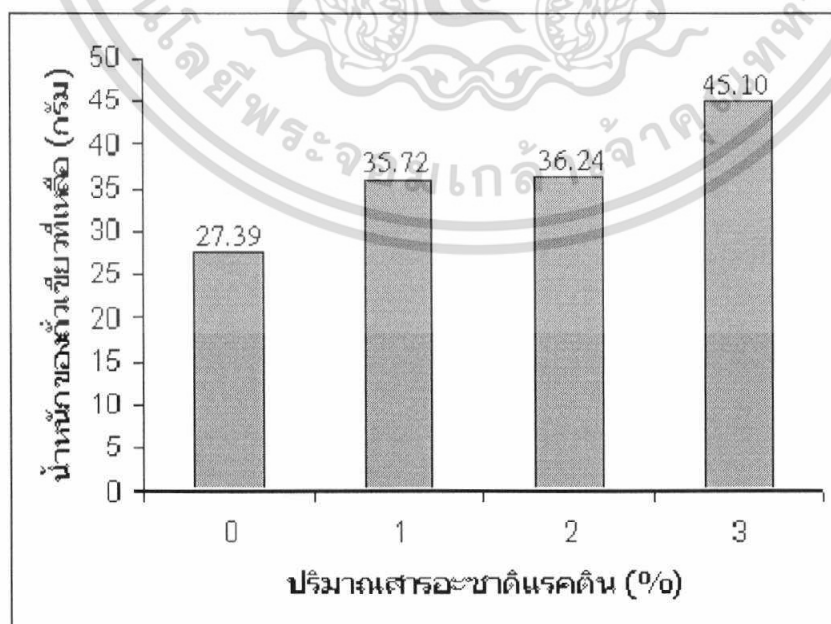
จากรูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบผลของการเติมสารเติมแต่งที่มีต่อการลดลงต่อน้ำหนักในพอลิเมอร์ คือ สารที่เพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Ca-Zn Stabilizer) และสารช่วยผสม (Compatibilizer, fusabond MB 226D) โดยทั้ง 3 สูตรมีปริมาณของสารอะซาดิแรคตินเท่ากัน คือ 1% พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าเกิดจากการสลายตัวของสารอะซาดิแรคติน เมื่อพิจารณากราฟทั้ง 3 พบว่า สูตรที่ไม่มีการเติมสารช่วยผสมจะมีอัตราการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์ที่ไม่ดีพอ คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ไม่มีขั้ว เมื่อนำมาผสมกับ สารอะซาดิแรคตินที่มีขั้ว โดยไม่มีสารช่วยยึดเกาะทำให้การหลุดออกของสารอะซาดิแรคตินเป็นไปได้ง่ายกว่าสารสูตรอื่นๆ[3] ส่วนสูตรที่มีการเติมสารช่วยผสมก็ม้ออัตราการลดลงของน้ำหนักที่มากกว่าสูตรที่มีการเติมทั้งสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและสารช่วยผสม เนื่องจากในบรรยากาศมีออกซิเจนซึ่งสามารถออกซิไดซ์สารในพลาสติกให้เกิดการเสื่อมสภาพได้ ดังนั้นการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนจึงมีส่วนช่วยในการลดลงของสารอะซาดิแรคตินในพอลิเมอร์ได้ด้วย แต่มีความสำคัญน้อยกว่าการเติมสารช่วยผสม [3]

4.7 การทดสอบการป้องกันแมลง

ในการทดสอบการป้องกันแมลงจะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแมลงทดลอง(ด้วงถั่วเขียว) และปริมาณอาหาร(น้ำหนักของถั่วเขียว) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.14 จำนวนของด้วงถั่วเขียวหลังการทดลองกับปริมาณของสารอะชาติแรคตินในพอลิเมอร์ผสมต่างๆ กัน



รูปที่ 4.15 น้ำหนักของถั่วเขียวที่เหลือกับปริมาณของสารอะชาติแรคตินในพอลิเมอร์ผสมต่างๆ กัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 3 สัปดาห์ ปริมาณของแมลงทดลองมีจำนวนลดลง โดยพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารอะซาดิแรคติน 3% จะมีจำนวนของแมลงทดลองลดลงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับน้ำหนักของอาหารที่ลดลง กล่าวคือ พอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารอะซาดิแรคติน 3% มีการลดลงของน้ำหนักมากที่สุด และรองลงมาคือพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารอะซาดิแรคติน 2% และ 3% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการมีปริมาณสารอะซาดิแรคตินที่มากขึ้น ทำให้แมลงทดลองมีโอกาสในการสัมผัสกับสารมากยิ่งขึ้น ซึ่งสารอะซาดิแรคตินนี้มีคุณสมบัติในการฆ่าและยับยั้งการกินอาหารของแมลง ส่งผลให้แมลงทดลองกินอาหารได้น้อยลงและช่วยเร่งเวลาให้แมลงทดลองตายเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้สารอะซาดิแรคตินมีผลต่อการให้กำเนิดลูกหลานของแมลงทดลองอีกด้วย โดยพบว่า มีไข่ของแมลงทดลองบางส่วนฝ่อ ไม่สามารถฟักตัวได้ [11]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพอลิเมอร์กันแมลงชนิดนี้ โดยมีสูตรของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความสามารถในการป้องกันแมลงในที่ต่างๆกัน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- จากการทดสอบความเข้ากันได้ด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ทำให้ทราบว่าสารอะซาดิแรคตินมีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำอยู่แล้ว โดยไม่ต้องอาศัยสารช่วยผสม

- จากการทดสอบการสลายตัวของสารอะซาดิแรคตินด้วยการดูคลื่นอินฟราเรด (FTIR) และจากการชั่งน้ำหนักที่หายไป พบว่าสารอะซาดิแรคตินมีการสลายตัวที่ค่อนข้างเร็ว เมื่อเทียบกับสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ใช้ในการป้องกันแมลงแต่มีอัตราการสลายตัวที่มากกว่าสารอินทรีย์ที่ใช้ในการป้องกันแมลงจากธรรมชาติชนิดอื่นๆ

- จากการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคทางความร้อน (TGA) พบว่า สารอะซาดิแรคตินมีอุณหภูมิในการสลายตัวเนื่องจากความร้อน ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้เป็นพอลิเมอร์ในการขึ้นรูป ซึ่งเป็นที่น่าพอใจ ว่า สารอะซาดิแรคตินที่มีอยู่ในฟิล์มเป่า สามารถนำไปใช้ได้ ในอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงประมาณ 350°C

- จากการทดสอบความสามารถในการผสมและเข้ากันได้ของสารอะซาดิแรคตินด้วยเครื่อง FTIR, SEM และ จากการสังเกต พบว่าเมื่อฟิล์มพลาสติกที่มีสารอะซาดิแรคตินผสมอยู่ เมื่อเป่าออกมาจะเป็นฟิล์มพลาสติกที่ค่อนข้างเหลือง เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อนำไปตรวจสอบด้วย FTIR ทำให้ทราบว่า มีสารอะซาดิแรคตินอยู่ภายในเนื้อพลาสติกจริง และเมื่อต้องการเห็นความเข้ากันได้ที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วย SEM ทำให้ทราบว่าเนื้อพลาสติกเป็นวัสดุภาคเดียวกันอย่างชัดเจน

- จากการทดสอบความสามารถในการป้องกันแมลงด้วยการทดลอง พบว่าพลาสติกที่มีส่วนผสมของสารอะซาดิแรคตินมีความสามารถในการฆ่าแมลงและยังทำให้ไข่ของแมลงบางชนิดฝ่อ อีกทั้งยังมีความสามารถในการยับยั้งการกินอาหารของแมลงอีกด้วย

- จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์พบว่า พอลิเมอร์ที่มีปริมาณสารอะซาดิแรคตินมากขึ้น จะมีสมบัติเชิงกลที่ลดลง ดังนั้นการเลือกปริมาณสารอะซาดิแรคตินที่จะใช้ผสมนั้น

ขึ้นกับสมบัติที่ต้องการของพอลิเมอร์ ว่าต้องการสิ่งใดมากกว่ากัน ระหว่างความสามารถในการป้องกันแมลง หรือสมบัติเชิงกล

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและระหว่างเตรียมการทดลอง พบว่ามีสิ่งที่น่าสนใจที่น่าจะปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ผลการทดลองดียิ่งขึ้น แบ่งได้เป็นข้อๆ ดังนี้

- การทดสอบสมบัติของ สารอะซาดิแรคตินที่ใช้ในการป้องกันแมลง ควรมีการเปรียบเทียบกับพลาสติกที่มีสารป้องกันแมลงชนิดอื่น เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบด้วย
- การเติมสารป้องกันแมลง 2 ชนิด อาจจะทำให้ผลการป้องกันแมลงที่ดีกว่าชนิดเดียว
- ปริมาณสารอะซาดิแรคตินที่ใช้ ขึ้นกับสมบัติของพอลิเมอร์ที่ต้องการว่าจะให้แสดงสมบัติใดเป็นหลัก หากต้องการให้ไล่แมลงได้ดีก็ให้ใส่สารอะซาดิแรคตินในปริมาณที่มากแต่สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ก็จะลดลงไปด้วย หากต้องการสมบัติเชิงกลเป็นหลักจะสามารถใส่สารอะซาดิแรคตินได้ในปริมาณที่น้อยกว่า
- การนำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปใช้งาน อาจใช้ในรูปแบบของแผ่นพลาสติกคลุมดิน หรือใช้คลุมโรงเรือนในการปลูกผักปลอดสารพิษ

เอกสารอ้างอิง

1. ชลลดา ฤตวิรุฬห์. 2546. **Scanning Electron Microscope**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. ชลลดา ฤตวิรุฬห์, มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์, สุภารัตน์ รักชลธิ์ และอิทธิพล แจ่มชัด. 2547. **การวัดพอลิเมอร์**. วิเคราะห์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. ชลลดา ฤตวิรุฬห์, สมศักดิ์ วรมงคลชัย, สุภารัตน์ รักชลธิ์ , และอิทธิพล แจ่มชัด. 2546. **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
4. คณิตา ตั้งคณานุกรักษ์. 2546. **Thermogravimetric Analysis (TGA)**. เอกสารประกอบปฏิบัติการเคมีเครื่องมือวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
5. ตะวัน สุขน้อย. 2547 . **สเปกโตรสโคปี** . กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2545. **เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1**. ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. สุภารัตน์ รักชลธิ์ และ อิทธิพล แจ่มชัด. 2547 . **ฟิสิกส์พอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
8. สุวรรณ ไชยสิทธิ์. 2546. **การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์โดยวิธีอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมตรี**. เอกสารประกอบปฏิบัติการเคมีเครื่องมือวิเคราะห์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
9. Bloomquist J. R. 1999. **Insecticides Chemistries and Characteristics**. Virginia: Department of Entomology. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg.
10. Green A. and Kook M. 2001. **Controlling insect pests without chemicals: Bacillus thuringiensis-a case study**.
11. Mujgan Kivan. 2005 . **Effect of azadirachtin on sunn pest ,eurygaster integriceps put. (heteroptera, scutelleridae) in the laboratory**. Department of plant protection , Faculty of Agriculture , Trakya University ,Turkey.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

12. Muhammad Amjad. 2001. **New Synthetic and Bio-insecticides Against Maize stem borer, *Chilo Partellus* (Swinhoe) on Golden Maize** . Department of Agri-Entomology , University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
13. Murray Isman. 2002. **Antifeedants**. University of British Columbia, Vancouver, Canada .
14. Otmar Schaaf. 2000. **Rapid and sensitive analysis of azadirachtin and related triterpinoid from neem (*azadirachtin indica*) by high-performance liquid chromatography – atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry**. Journal of Chromatography A, 886(2000) 89-97.
15. Steven V. Ley.1994 . **Synthesis and chemistry of the insect antifeedant azadirachtin** . Department of chemistry, University of Cambridge, Lensfield Road .
16. Teresinha Monteiro dos Santos. 2004. **Effect of neem extract on the cotton aphid**. Universidade Federal de Lavras, Dep de Entomologia .
17. http://classroom.psu.ac.th/users/naran/536-412/Content/Pest_part2_2.htm
18. http://engphys.mcmaster.ca/~garlandw/ep3w4/student_shahideh/ftir.htm
19. http://flora.sut.ac.th/oweb/enviit/class45/sadao/sadaoweb/active_intre.htm
20. <http://flora.sut.ac.th/oweb/enviit/class45/sadao/sadaoweb/extarct.htm>
21. <http://simx.epfl.ch/mathieu/Surfanalysis.html>
22. <http://www.amft.tugraz.at/science/pyrolyse/pyrolyse.de.4.html>
23. <http://www.bythepplanet.com/Neem/WhatIsNeem/aboutneemoil.htm>
24. <http://www.chem.binghamton.edu/ZHONG/research/instruments.htm>
25. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/science-facilities/analytical-imaging/vpsem.htm>
26. <http://www.psrc.usm.edu/org/Research%20Facilities/PolymerProcessing.htm>
27. <http://www.thaineem.com/product/product.html>
28. <http://www.uccs.edu/~tchrste/courses/PHYS549/549lectures/image.html>
29. <http://www.ch.ic.ac.uk/local/organic/expt6.jpg>
30. http://www.jbdamerican.com/Material_Testing/lloyd-instruments-lr-30k.htm
31. <http://www.qualitest-inc.com/dropdart.htm>
32. <http://e-catalog.machinesources.com/e/yei/left.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 1 ความแข็งแรงดึง

สูตรที่	ปริมาณอะซาดิแรคติน (%)	ความแข็งแรงดึง	
		MD	TD
1	0	5.852 ± 0.2581	5.661 ± 0.3279
2	1	5.673 ± 0.1723	5.551 ± 0.4459
3	2	5.680 ± 0.3515	5.437 ± 0.5423
4	3	5.521 ± 0.2146	5.510 ± 0.2718

ตารางภาคผนวกที่ 2 ความแข็งแรงฉีกขาด

สูตรที่	ปริมาณอะซาดิแรคติน (%)	ความแข็งแรงฉีกขาด	
		MD	TD
1	0	9.873 ± 0.7271	7.215 ± 0.6678
2	1	9.273 ± 0.2155	7.551 ± 0.5213
3	2	8.980 ± 0.4359	7.137 ± 0.5298
4	3	9.052 ± 0.8645	7.001 ± 0.7985

ตารางภาคผนวกที่ 3 มอดูลัส

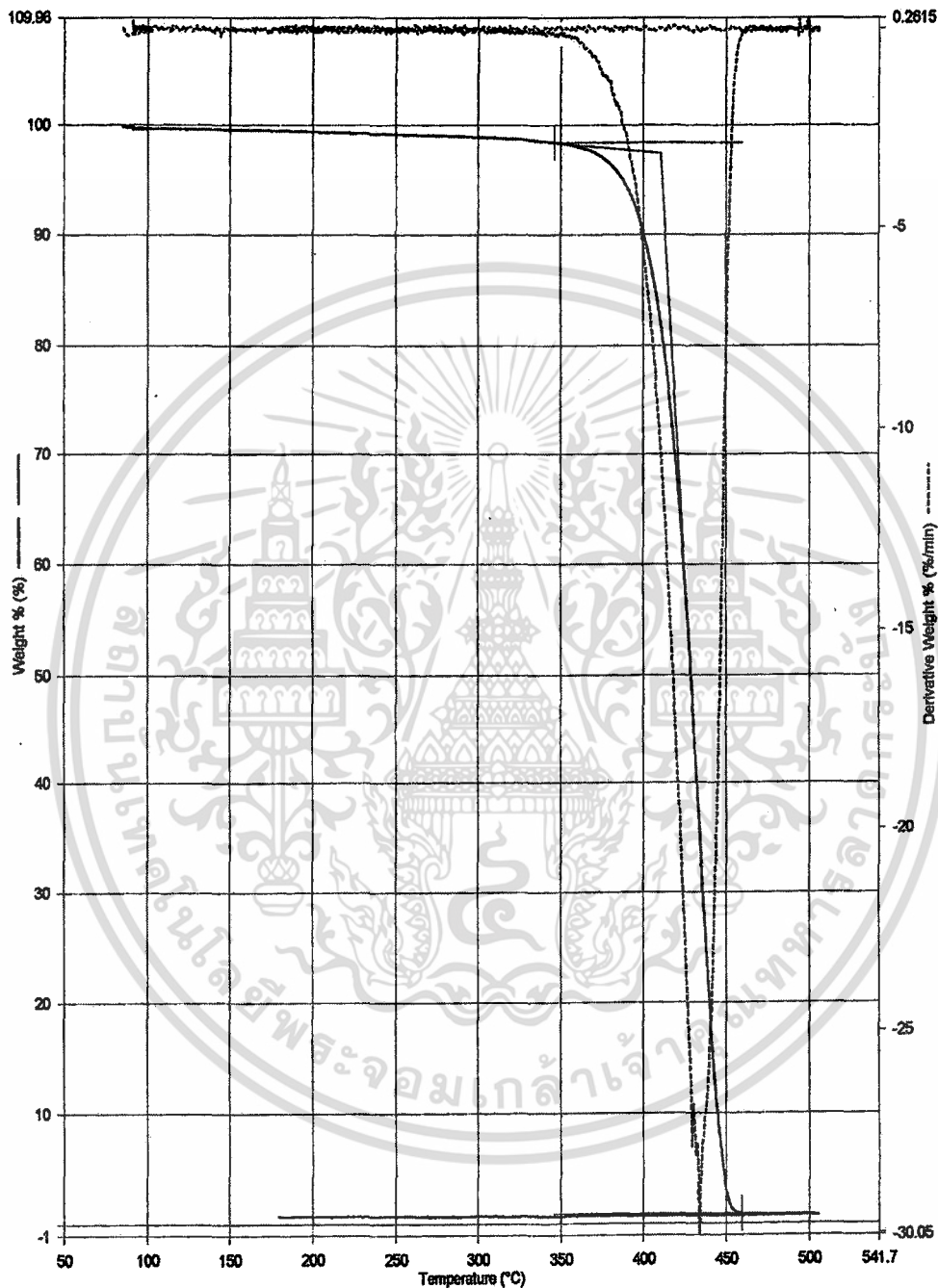
สูตรที่	ปริมาณอะซาดิแรคติน (%)	มอดูลัส	
		MD	TD
1	0	1.431 ± 0.0401	1.125 ± 0.0685
2	1	1.173 ± 0.0155	0.983 ± 0.1101
3	2	1.193 ± 0.0315	0.937 ± 0.0215
4	3	0.987 ± 0.0651	0.873 ± 0.0864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files... \ak2% @060120122925.th1d
 Operator ID: Jak
 Sample ID: 20060120
 Sample Weight: 20.603 mg
 Comment: LDPE + Azadirachtin1%



1/20/2006 1:44:08 PM

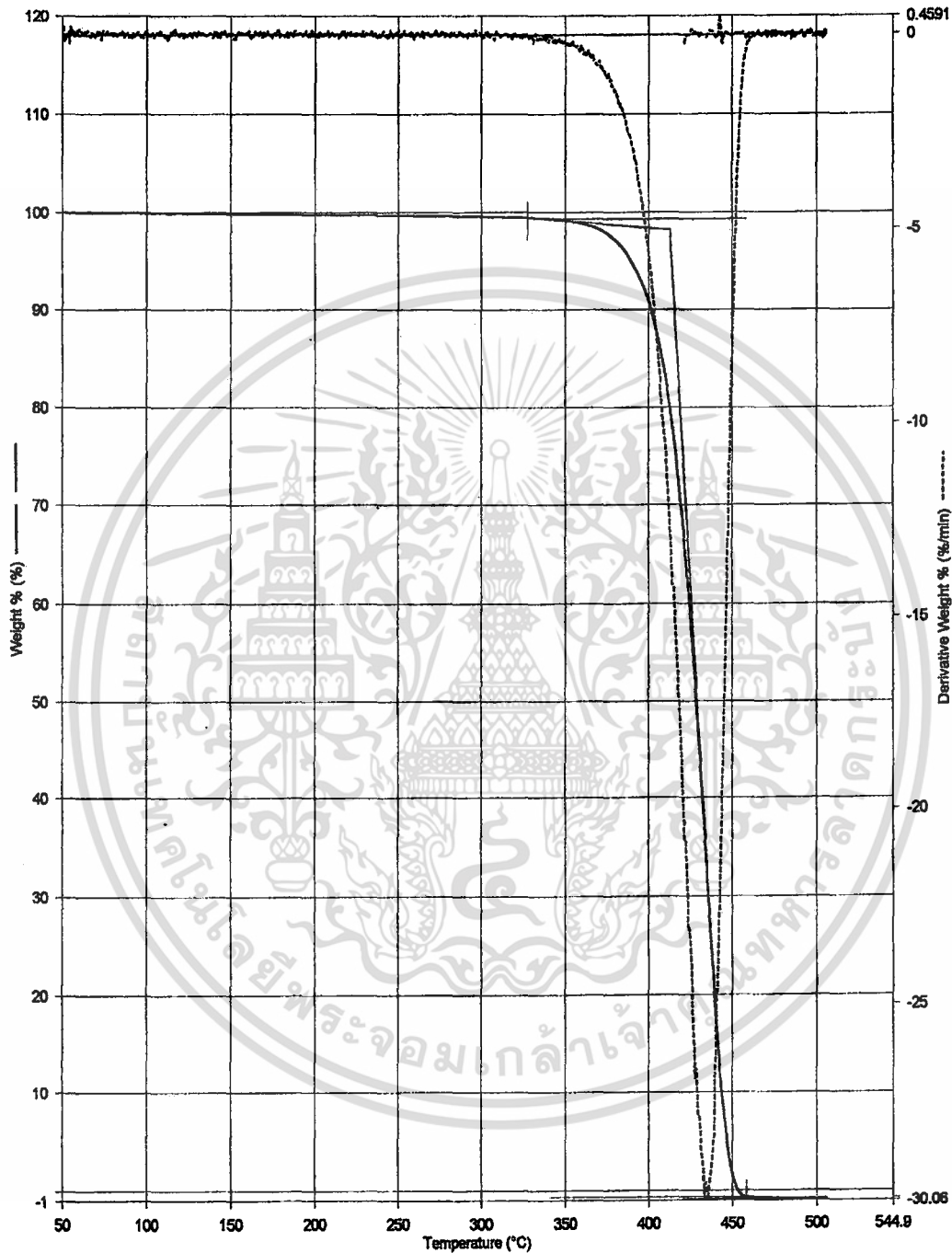
1) Hold for 1.0 min at 50.00°C
 2) Heat from 50.00°C to 500.00°C at 10.00°C/min

3) Cool from 500.00°C to 50.00°C at 20.00°C/min

รูป ก. เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารอะซาดีแรคติน 1%
 และมีการเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename: C:\Program Files...\Jak1% Nostabiliser.th1d
 Operator ID: Jak
 Sample ID: 20060120
 Sample Weight: 16.018 mg
 Comment: LDPE + Azadirachtin1% No Stabiliser



1/20/2006 3:01:54 PM

- 1) Hold for 1.0 min at 50.00°C
 2) Heat from 50.00°C to 500.00°C at 10.00°C/min
 3) Cool from 500.00°C to 50.00°C at 20.00°C/min

รูป ข. เทอร์โมแกรมของพอลิเมอร์ผสมที่มีสารอะซาดิแรคติน 1%
 และไม่มีสารเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของฟิล์ม	จำนวนแมลง (ตัว)		น้ำหนักถั่วเขียว (g)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
LDPE Pure	50	40	50	27.39
1% Azadirachtin	50	35	50	35.72
2% Azadirachtin	50	32	50	36.24
3% Azadirachtin	50	27	50	45.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้