

การพัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีนไวนิลอะซิเตต
สำหรับงานด้านเกษตรกรรม

DEVELOPMENT OF ETHYLENE VINYL ACETATE FILM
FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS

ชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว
CHANNARONG YIMKAEW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2766-7

การพัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีนไวนิลอะซิเตด
สำหรับงานด้านเกษตรกรรม

DEVELOPMENT OF ETHYLENE VINYL ACETATE FILM
FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS



ชาญรงค์ ยิ้มแก้ว
CHANNARONG YIMKAEW

จพ.
ร 48917
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **67422**
วัน,เดือน,ปี **15 S.A. 2549**

b. 11670873
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2766-7

**DEVELOPMENT OF ETHYLENE VINYL ACETATE FILM
FOR AGRICULTURAL APPLICATIONS**

CHANNARONG YIMKAEW

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2766-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีน ไวนิลอะซิเตดสำหรับงานด้านเกษตรกรรม
นักศึกษา	นายชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว
รหัสนักศึกษา	45061227
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร. สุรัตน์ อารีรัตน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาฟิล์มพลาสติกเพื่อใช้สำหรับคลุมโรงเรือนเพาะปลูก พืช ผัก และผลไม้ในลักษณะเกษตรอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้ฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE) ซึ่งยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งานเนื่องจากเป็นฟิล์มพลาสติกชนิดไม่โปร่งใส ไม่มีสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้าดำ ดังนั้นการนำพลาสติกชนิด LDPE มาผลิตฟิล์มพลาสติกต้องปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมสารเติมแต่งจึงทำให้มีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและมีต้นทุนสูง งานวิจัยนี้จึงพัฒนาฟิล์มพลาสติกโคพอลิเมอร์ชนิดเอทิลีน ไวนิลอะซิเตด (Ethylene Vinyl Acetate: EVA) มาใช้ทดแทน เพราะสามารถผลิตเป็นฟิล์มพลาสติกชนิดโปร่งใส มีสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้า โดยศึกษาผลของปริมาณไวนิลอะซิเตดตั้งแต่ร้อยละ 0, 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติดังกล่าว ตัวอย่างฟิล์มพลาสติกถูกขึ้นรูปด้วยกระบวนการเป่า (Blown Film Extrusion) โดยใช้เครื่องอัดรีดที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (L/D ratio) เท่ากับ 60 ความเร็ว 40 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่าฟิล์มพลาสติกที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดมากจะมีร้อยละการส่องผ่านของรังสี การแพร่ผ่านของไอน้ำ และค่ามอดุลัสของหยดน้ำมากขึ้น ส่วนค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว และค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดลดลง และยังพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิต โดยมีค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวในช่วงประมาณ 10^{14} โอห์ม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีความใส แสงสามารถส่องผ่านได้ดี มีสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้าที่ดีโดยไม่ต้องใช้สารเติมแต่งเพิ่มเติม ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนการผลิตไม่ซับซ้อน จึงมีราคาถูกลงเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานด้านการเกษตร

Thesis Title	Development of Ethylene Vinyl Acetate Film for Agricultural Applications
Student	Mr. Channarong Yimkaew
Student ID	45061227
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Dr. Surat Areerat

ABSTRACT

This research develops plastic film for greenhouse construction. Generally, low density polyethylene (LDPE) is widely used for agricultural applications. However, LDPE film still has some limitations such as poor transparence, less antistatic and antifogging properties. Therefore, LDPE compounding needs some additives to improve the aforementioned properties resulting in a complicate process and higher cost. This work aims to use ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) for agricultural films due to better transparence, antistatic and antifogging properties. The effects of vinyl acetate (VA) contents were investigated by varying VA contents from 0, 3, 18 and 28% by weight. Plastic films were prepared by a blown-film extrusion process with the extruder screw L/D ratio 60, screw speed 40 rpm and a constant temperature of 140 °C.

The experimental results showed that film transparence, water vapor permeation and water drop contact angle increased with an increase in VA content, while surface resistivity and tensile strength decreased. The surface resistivity of EVA films was found to be about $10^{14}\Omega$, revealing its antistatic characteristic. The EVA film containing 3 % wt VA without any additives provides transparent characteristic, good antistatic and antifogging properties, therefore, it suits the purpose for agricultural applications.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ทีพีไอโพลีน จำกัด (มหาชน) บริษัท ไทยพอลิเอทิลีน จำกัด และบริษัท Clariant Masterbatches (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเคมี และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือเสมอมา และขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบัณฑิตวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.4 การหล่อเย็นภายในลูกโป่ง.....	24
2.5.5 อุปกรณ์ดึง และม้วนฟิล์มพลาสติก.....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	28
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.1.1 พอลิเมอร์.....	28
3.1.2 สารเติมแต่ง.....	28
3.1.3 สารเคมี.....	28
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.3 วิธีการทดลอง.....	29
3.3.1 การผสมพอลิเมอร์ และสารเติมแต่ง.....	29
3.3.2 การเตรียมฟิล์มพลาสติก.....	30
3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก.....	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล.....	38
4.1 ผลของปริมาณ ไวนิลอะซิเตตต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก.....	38
4.1.1 ผลการทดสอบการส่องผ่านของรังสีของฟิล์มพลาสติก.....	38
4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	39
4.1.3 ผลการทดสอบการแพร่ผ่านของไอน้ำ.....	41
4.1.4 ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต.....	41
4.1.5 ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้าบนผิวฟิล์มพลาสติก.....	42
4.2 ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้า ของฟิล์มพลาสติก.....	45
4.2.1 ผลของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต.....	45
4.2.2 ผลของสารป้องกันการเกิดฝ้าต่อสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้าบนผิว ฟิล์มพลาสติก.....	46
4.3 ผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติก.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 ผลของการเสื่อมสภาพ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติก.....	47
4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	57
5.1.1 ผลของปริมาณ ไวนิลอะซิเตตต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก.....	57
5.1.2 ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกัน การเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติก.....	57
5.1.3 ผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต ของฟิล์มพลาสติก.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบผลของปริมาณ ไวนิลอะซิเตตต่อสมบัติทางกายภาพ ของฟิล์มพลาสติก.....	63
ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติก.....	70
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพ โดยรังสี อัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติก.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ร้อยละการส่องผ่านรังสีของฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ	6
2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีนที่นำมาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูก	7
2.3 การแบ่งประเภทวัสดุตามค่า Surface Resistivity	10
2.4 ค่าแรงดึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ	12
3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.2 ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง	29
3.3 ส่วนผสมสารเติมแต่งที่ใช้ในการทดลอง	30
4.1 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่าแรงดึงผิวของฟิล์มพลาสติก	44
4.2 ชื่อเรียกหมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่ง Wave Number ต่าง ๆ ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	48
ก.1 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก	64
ก.2 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่ออัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติก	65
ก.3 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก	65
ก.4 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพลาสติก	66
ก.5 ผลของชนิดสารละลายต่อค่ามุมสัมผัส	67
ก.6 ค่าแรงดึงผิวของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	68
ก.7 ผลการคำนวณค่า $\sqrt{\gamma_L^{nd} / \gamma_L^d}$ และ $\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1) / 2\sqrt{\gamma_L^d}$ ของฟิล์มพลาสติก	68
ก.8 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่าแรงดึงผิวของฟิล์มพลาสติก	69
ข.1 ผลของปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	71
ข.2 ผลของปริมาณสารป้องกันการเกิดฝ้าต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	71
ค.1 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติก	90
ค.2 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ไม่ตากรังสีอัลตราไวโอเลต)	92
ค.3 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง)	93

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ค.4 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 48 ชั่วโมง).....	94
ค.5 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 72 ชั่วโมง).....	95
ค.6 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 96 ชั่วโมง).....	96
ค.7 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 120 ชั่วโมง).....	97
ค.8 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 144 ชั่วโมง).....	98
ค.9 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง).....	99
ค.10 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง).....	100
ค.11 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก (ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง).....	101

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลของรังสีช่วงเห็นได้ด้วยตาต่อการสังเคราะห์แสงของพืช.....	5
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มพลาสติก และชนิดของฟิล์มพลาสติก LDPE และ EVA ที่ปริมาณ VA ต่างๆ ค่อยๆลดการส่องผ่านของรังสีในช่วง IR ยาว.....	6
2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลีน ไวนิลอะซิเตด.....	8
2.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไวนิลอะซิเตดและดัชนีการไหลกับการประยุกต์ใช้งาน EVA ในเชิงอุตสาหกรรม.....	9
2.5 กลไกการทำงานของสารป้องกันไฟฟ้าสถิต.....	10
2.6 ตัวอย่างสารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิด Glycerol Monostearate.....	11
2.7 มุมสัมผัสของหยดน้ำที่เกาะบนผิวฟิล์มพลาสติกและการส่องผ่านของแสง.....	12
2.8 ลักษณะหยดน้ำของฟิล์มพลาสติกที่ใส่สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดผสมภายใน.....	13
2.9 ตัวอย่างสารป้องกันการเกิดฝ้า ชนิด Sorbitan Monostearate.....	13
2.10 วงจรการทำงานของสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตประเภท HALS.....	15
2.11 ตัวอย่างสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลต ประเภท HALS ชนิด Lowilite77.....	16
2.12 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแข็ง-ของเหลว.....	17
2.13 ทิศทางของแรงดึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลวที่แสดงในรูปเวกเตอร์.....	17
2.14 กราฟที่ใช้คำนวณค่าแรงดึงผิวของฟิล์มพลาสติก.....	20
2.15 กระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก.....	21
2.16 หัวไคแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านข้าง.....	22
2.17 หัวไคแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านล่าง.....	22
2.18 หัวไคแบบแกนเป็นเกลียวเดี่ยว.....	23
2.19 แหวนหล่อเย็นแบบปากเดียว และสองปาก.....	24
2.20 การควบคุมความดันภายในลูกโป่งในการหล่อเย็น.....	25
3.1 อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด EVA.....	30
3.2 เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก.....	31
3.3 เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer.....	32
3.4 เครื่องทดสอบ Water Vapor Permeation.....	32
3.5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ.....	33
3.6 เครื่องทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 เครื่องทดสอบ Contact Angle	35
3.8 การหาค่า I_0 และ I_s ของสเปกตรัม	37
4.1 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่อร้อยละการส่องผ่านของรังสีโดยทดสอบในช่วง รังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีช่วงเห็นได้ด้วยตา	38
4.2 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่อความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	39
4.3 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	40
4.4 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่ออัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	41
4.5 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่อค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	42
4.6 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	43
4.7 การคำนวณค่าแรงดึงผิวด้วยวิธี Multiple Liquids Graphical Method	44
4.8 ผลของปริมาณไว้นิลอะซิเตตต่อค่าแรงดึงผิว	45
4.9 ผลของปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว	46
4.10 ผลของปริมาณสารป้องกันการเกิดฝ้าต่อค่ามุมสัมผัส	47
4.11 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่ไม่ตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต	48
4.12 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE	49
4.13 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	49
4.14 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ในช่วง Wave Number 1,700 ถึง 1,800 cm^{-1}	50
4.15 ผลของระยะเวลาในการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	51
4.16 ผลของการเติมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	52
4.17 ผลของปริมาณสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	53

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA	54
4.19 ผลของปริมาณสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง	55
4.20 ผลของระยะเวลาการตากรังสีรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด ของฟิล์มพลาสติกตามแนวเป่า	55
4.21 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด ของฟิล์มพลาสติกตามแนวขวาง	56
4.22 ผลของปริมาณสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง	56
ก.1 ผลการทดสอบสมบัติการส่องผ่านรังสีช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตถึงช่วงรังสี เห็นได้ด้วยตาของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA	64
ก.2 การคำนวณค่าแรงดึงผิวด้วยวิธี Multiple Liquids Graphical Method	69
ค.1 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต	73
ค.2 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ไม่ผ่านการตากแสงอัลตราไวโอเลต	73
ค.3 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต	73
ค.4 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต	74
ค.5 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต	74
ค.6 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง	74
ค.7 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง	75
ค.8 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง	75
ค.9 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง	75
ค.10 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.11 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง.....	76
ค.12 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง.....	76
ค.13 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง.....	77
ค.14 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง.....	77
ค.15 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง.....	77
ค.16 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง.....	78
ค.17 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง.....	78
ค.18 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง.....	78
ค.19 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง.....	79
ค.20 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง.....	79
ค.21 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง.....	79
ค.22 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง.....	80
ค.23 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง.....	80
ค.24 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง.....	80

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ค.25	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง.....	81
ค.26	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง.....	81
ค.27	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง.....	81
ค.28	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง.....	82
ค.29	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง.....	82
ค.30	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง.....	82
ค.31	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง.....	83
ค.32	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง.....	83
ค.33	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง.....	83
ค.34	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง.....	84
ค.35	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง.....	84
ค.36	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 168 ชั่วโมง.....	84
ค.37	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 168 ชั่วโมง.....	85
ค.38	สเปกตรัมโดยของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเลต 168 ชั่วโมง.....	85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.39	สเปกตรัมโดยของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง..... 85
ค.40	สเปกตรัมโดยของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง..... 86
ค.41	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง..... 86
ค.42	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง..... 86
ค.43	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง..... 87
ค.44	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง..... 87
ค.45	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง..... 87
ค.46	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง..... 88
ค.47	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง..... 88
ค.48	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง..... 88
ค.49	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง..... 89
ค.50	สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตาก รังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง..... 89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้พลาสติกในงานด้านเกษตรกรรมหรือที่เรียกว่า “เกษตรกรรมพลาสติก” เป็นที่แพร่หลายในหลายรูปแบบ ได้แก่ นำมาคลุมดิน งานด้านการชลประทาน บรรจุภัณฑ์ และที่นิยมใช้มาก คือ พลาสติกสำหรับใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูก เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหายจากภัยธรรมชาติ เช่น พายุ ฝน ลูกเห็บ น้ำค้างแข็ง ลดการระเหยของน้ำ (แบบคลุมดิน) ป้องกันศัตรูพืช วัชพืช ในการทำโรงเรือนเพาะปลูกนี้เป็นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ อุณหภูมิ ความชื้น การส่องผ่านของรังสี การแพร่ผ่านของไอน้ำ [1] ทำให้มีผลผลิตมากขึ้น และการปลูกพืชในโรงเรือนนี้ยังมีความปลอดภัยต่อโรค และแมลงศัตรูพืช จึงทำให้ไม่ต้องใช้สารเคมีปราบศัตรูพืช โดยเฉพาะการปลูกพืชไร้ดินซึ่งเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน [2] นอกจากนี้สมบัติที่สำคัญของพลาสติกที่ใช้ในงานด้านนี้คือการป้องกันไฟฟ้าสถิต เพราะสมบัติดังกล่าวจะทำให้พลาสติกลดการเกาะของฝุ่น สมบัติป้องกันการเกิดฝ้าก็มีความสำคัญต่อการเลือกใช้พลาสติกในการทำโรงเรือน เพราะพลาสติกชนิดนี้จะลดการเกิดหยดน้ำบนผิวพลาสติกซึ่งจะส่งผลให้พืชที่ปลูกในโรงเรือนมีการสังเคราะห์แสงได้เต็มที่ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและได้ผลผลิตมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันพลาสติกที่นำมาใช้คลุมโรงเรือนส่วนใหญ่จะใช้พลาสติกชนิด LDPE แต่พลาสติกชนิดนี้มีข้อด้อยในสมบัติการส่องผ่านของรังสี สมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต และสมบัติป้องกันการเกิดฝ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องผสมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติดังกล่าว [3] ทำให้มีขั้นตอนในการผลิตที่ยุ้งยากมากขึ้น และมีต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาพลาสติกสำหรับนำมาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูกให้เหมาะสมกับการปลูกพืช โดยใช้โคพอลิเมอร์ชนิดเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate: EVA) ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตตต่างกัน เพราะ EVA เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถขึ้นรูปเป็นพลาสติกได้และเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous Polymer) ซึ่งจะมีสมบัติการส่องผ่านของรังสี มีสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้าที่ดี เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของไวนิลอะซิเตตที่ผสมในสายโซ่ของเอทิลีนช่วยเพิ่มความเป็นอสัณฐานของพลาสติก และความมีขั้วในโครงสร้างโมเลกุล สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนบางส่วนกับน้ำในอากาศได้ จึงช่วยให้การนำไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวดี และในปัจจุบัน EVA สามารถผลิตได้ภายในประเทศ จึงมีราคาถูก [4] งานวิจัยนี้จะศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของพลาสติกชนิด LDPE และ EVA นอกจากนี้ได้ศึกษาสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกัน

การเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผสมสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือ สารป้องกันไฟฟ้าสถิต และ สารป้องกันการเกิดฝ้าตามลำดับ และเนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิดนี้ต้องใช้งานกลางแจ้ง ดังนั้นจึงต้องจำลองการทดสอบการใช้งานกลางแจ้ง และทดสอบสมบัติเชิงกล เพื่อศึกษาการเสื่อมสภาพ โดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติก [5]

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้โคพอลิเมอร์ชนิดเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต เป็นฟิล์มพลาสติกสำหรับการเกษตรกรรม

1.2.2 เพื่อพัฒนาฟิล์มพลาสติกให้มีประสิทธิภาพต่อการส่องผ่านของรังสี การป้องกันไฟฟ้าสถิต การป้องกันการเกิดฝ้า และความคงทน แข็งแรง สำหรับงานด้านเกษตรกรรม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ

1.3.1 ทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ ซึ่งประกอบด้วย การส่องผ่านของรังสีช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงเห็นได้ด้วยตา สมบัติเชิงกล สมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำ การป้องกันไฟฟ้าสถิต การป้องกันการเกิดฝ้า ระหว่างฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตต คือ ร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก

1.3.2 ทดสอบเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตและการป้องกันการเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผสมสารป้องกันไฟฟ้าสถิต และสารป้องกันการเกิดฝ้าตามลำดับ

1.3.3 ทดสอบการใช้งานกลางแจ้ง และสมบัติเชิงกล ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต เพื่อศึกษาการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษา และเก็บข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

1.4.3 ทดสอบเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

1.4.4 เตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ผสมกับสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือ สารป้องกันไฟฟ้าสถิต และสารป้องกันการเกิดฝ้า

1.4.5 ทดสอบเปรียบเทียบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผสมกับสารป้องกันไฟฟ้าสถิต และสารป้องกันการเกิดฝ้า

1.4.6 เตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ผสมกับสารเติมแต่งชนิดสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต

1.4.7 จำลองการทดสอบการใช้งานกลางแจ้ง และทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผสมกับสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต

1.4.8 วิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 พัฒนาฟิล์มพลาสติก EVA สำหรับใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูก

1.5.2 ปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก

1.5.3 เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาฟิล์มพลาสติกใช้งานด้านเกษตรกรรมอื่น ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์สำหรับ ผัก ผลไม้ เป็นต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกเพื่อการเกษตร (Plasticulture) [1, 3, 6-9]

2.1.1 นิยามและความหมาย

พลาสติกเพื่อการเกษตร หรือ Plasticulture มาจากการรวมคำว่า Plastic กับ Agriculture เข้าไว้ด้วยกัน หมายถึง การใช้พลาสติกในงานทางการเกษตรกรรม เช่น พลาสติกคลุมดินรอบโคน (Plastic Film Mulch) สายให้น้ำแบบหยด (Drip Irrigation Tape) พลาสติกคลุมแปลงปลูก (Row Cover หรือ Low Tunnel และ High Tunnel) โรงเรือนเพาะปลูกคลุมด้วยพลาสติก (Greenhouse) ถุงใส่อาหารสัตว์ (Silage Bag) พลาสติกห่อม้วนหญ้าแห้ง (Hay Bale Wrap) รวมทั้งธาตุสูง หรือกระถางที่ใช้ในการปลูกและย้ายต้นกล้า เป็นต้น ซึ่งการใช้พลาสติกเพื่อการเกษตรดังกล่าวโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ผัก ผลไม้ รวมทั้งไม้ดอก และไม้ประดับนั้นกำลังได้รับความสนใจอย่างยิ่งในช่วงสิบปีที่ผ่านมา เพราะพลาสติกเพื่อการเกษตรช่วยลดปัญหาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงของอากาศ ทั้งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน และลมตามธรรมชาติ ซึ่งบางครั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่รุนแรงดังกล่าวสามารถทำให้พืชที่ปลูกไว้ตาย เสียหาย หรือผลผลิตน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

2.1.2 ความเป็นมาและการพัฒนาพลาสติกเพื่อการเกษตร

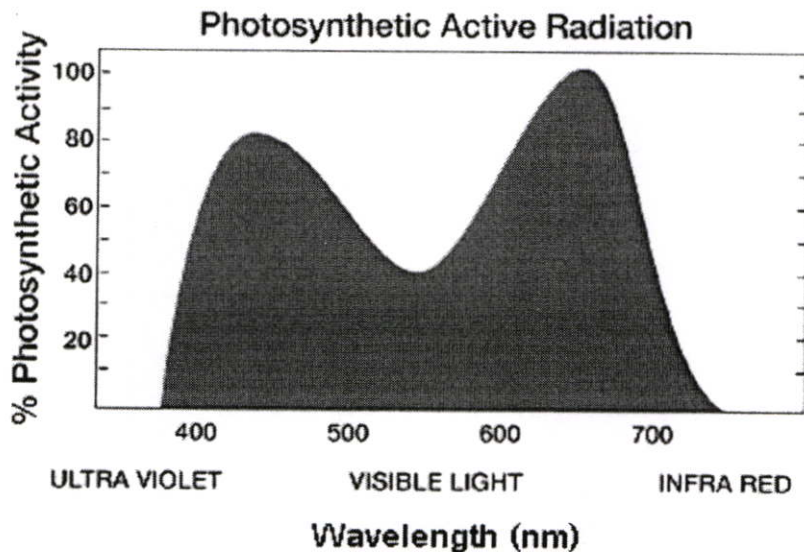
การนำพลาสติกมาใช้งานทางการเกษตรเริ่มต้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1940 ในหลายประเทศของทวีปยุโรป จากนั้นก็มีความสนใจนำพลาสติกไปใช้เพื่องานทางการเกษตรด้านอื่นมากขึ้น โดยเฉพาะการนำไปใช้ในระบบให้น้ำแก่พืช ดังตัวอย่างในปี ค.ศ. 1977 เมืองซานดิเอโก มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ได้รับการสำรวจว่าเป็นเมืองที่ใช้พลาสติกเพื่อการเกษตรมากที่สุดในสหรัฐอเมริกา ซึ่งประมาณร้อยละ 80 ของพลาสติกดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่องานที่เกี่ยวกับการลำเลียงและให้น้ำพืช ต่อมาการใช้พลาสติกในงานทางการเกษตรก็มีมากขึ้น ซึ่งจากตัวเลขการใช้งานพลาสติกในปี ค.ศ. 1987 พบว่าทวีปยุโรปมีพื้นที่เพาะปลูกที่ใช้พลาสติกเป็นส่วนประกอบจำนวน 250 ล้านตารางเมตร โดยเฉพาะที่เนเธอร์แลนด์มีการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินและใช้พลาสติกเป็นวัสดุหลักมีพื้นที่ถึง 30 ล้านตารางเมตร

เมื่อมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางพลาสติกมากขึ้นก็มีความพยายามนำเทคโนโลยีเหล่านั้นมาพัฒนาพลาสติกที่ใช้ในการเกษตรให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมขึ้น ซึ่งในระยะหลังช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมามีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจนได้ฟิล์มพลาสติกที่บางลงแต่ทนทานมากขึ้น เช่น การทำสายโซ่เชื่อมโยง (Crosslink) ในฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เพื่อลดปัญหา

การศึกษาค้นคว้าเมื่อได้รับความเค้นเป็นเวลานานและลดความหนาของฟิล์มพลาสติกได้ ในปัจจุบันได้มีการคิดค้นสูตรของฟิล์มพลาสติกที่มีสีและสารเติมแต่งที่เหมาะสม เพื่อช่วยการระงับการเจริญเติบโตของแมลงศัตรูพืชได้ทำให้ลดความต้องการยาปราบศัตรูพืช และทำให้ฟิล์มพลาสติกทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งฟิล์มพลาสติกเพื่อการเกษตรส่วนใหญ่จะมีสีเขียวหรือดำ แต่จากการศึกษาพบว่าฟิล์มพลาสติกสีอื่นๆ เช่น สีเงิน แดง น้ำเงิน เหลือง เขียว หรือน้ำตาล ก็สามารถนำมาใช้ในการปลูกพืชได้เช่นกัน สีที่ต่างกันจะช่วยในการควบคุมการเติบโตของพืช ระงับการเจริญเติบโตของวัชพืช แมลงศัตรูพืช และยังควบคุมอุณหภูมิของดินอีกด้วย [7]

2.1.3 สมบัติที่สำคัญของฟิล์มพลาสติกเพื่อการเกษตร [8]

สมบัติที่สำคัญของฟิล์มพลาสติกเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูก คือ สมบัติการส่องผ่านของรังสี โดยทั่วไปพืชส่วนใหญ่จะใช้ช่วงรังสีที่เห็นได้ด้วยตาที่มีความยาวคลื่น 400 ถึง 800 นาโนเมตร โดยเฉพาะในช่วงแสงสีแดงและน้ำเงินในกระบวนการสังเคราะห์แสงแสดงดังรูปที่ 2.1 ดังนั้นการเลือกฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้ก็ควรมีสมบัติการส่องผ่านรังสีที่ดี หรือเหมาะสมกับพืชที่นำมาปลูกในโรงเรือน จากผลการทดสอบร้อยละการส่องผ่านรังสีของฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ ในตารางที่ 2.1 พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีร้อยละการส่องผ่านรังสีในช่วงที่เห็นได้ด้วยตามากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ทำให้มีการนำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูกเป็นที่นิยมมากในทวีปอเมริกาและทวีปยุโรป [9]



รูปที่ 2.1 ผลของรังสีช่วงที่เห็นได้ด้วยตาต่อการสังเคราะห์แสงของพืช [3]

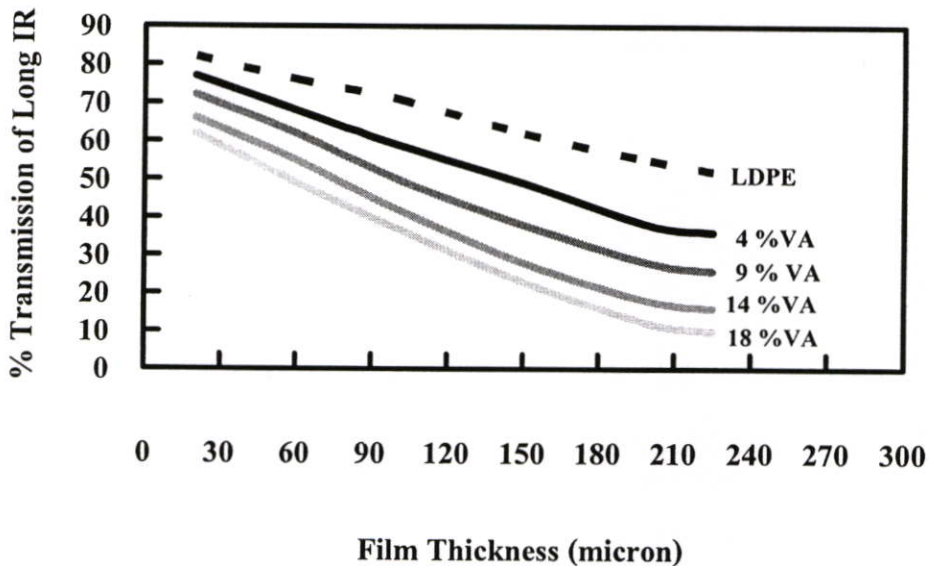
ตารางที่ 2.1 ร้อยละการส่องผ่านรังสีของฟิล์มพลาสติกชนิดต่างๆ [1]

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	รังสียูวี	รังสีช่วง เห็นได้ด้วยตา	รังสี IR สั้น	รังสี IR ยาว
พอลิเอทิลีน	78-84	84-90	70-89	80
พอลิเอทิลีนชนิดกักความร้อน (Thermic Polyethylene)	90	-	20-40	90
พีวีซี (PVC)	72	90	90	32
อีวีเอ (EVA)	-	90	-	38-55

IR = รังสีอินฟราเรด

แผ่นฟิล์มหนา 200 ไมครอน

จากตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA สามารถดูดกลืนรังสี IR ยาว ได้ดีกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE จึงทำให้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีสมบัติการเก็บกักความร้อน ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญกับการนำฟิล์มพลาสติกไปใช้งานในสภาพอากาศหนาว ที่ต้องการรักษาความร้อนไว้ภายในโรงเรือนช่วงเวลากลางคืน และนอกจากนี้ฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้คลุมโรงเรือนควรมีสมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำเพื่อลดปัญหาการหนาแน่นของก๊าซหรือไอน้ำมากเกินไป ที่เป็นสาเหตุทำให้พืชเฉาตายได้



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของฟิล์มพลาสติก และชนิดของฟิล์มพลาสติก LDPE และ EVA ที่ปริมาณ VA ต่างๆ ต่อร้อยละการส่องผ่านของรังสีในช่วง IR ยาว [1]

เนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิดนี้ต้องใช้งานกลางแจ้งภายในสภาพอากาศที่แปรปรวน จึงมีปัญหาการเกาะของฝุ่นบริเวณผิวของฟิล์มพลาสติก ดังนั้นฟิล์มพลาสติกควรมีสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตเพื่อลดปัญหาการเกาะของฝุ่น

อย่างไรก็ตามการนำฟิล์มพลาสติกมาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูกมักจะเกิดปัญหาการเกาะของหยดน้ำที่ผิวฟิล์มพลาสติกในเวลาเช้ามืด ดังนั้นฟิล์มพลาสติกควรมีสมบัติป้องกันการเกิดฝ้าหรือหยดน้ำ เพราะการเกิดหยดน้ำทำให้เกิดการสะท้อนกลับของแสง

ปัจจุบันฟิล์มพลาสติกที่นิยมนำมาใช้ในงานประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน ซึ่งมีทั้งชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene: LDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำสายโซ่ตรง (Linear Low Density Polyethylene: LLDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) เนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิดนี้มีขายทั่วไป และความหนาของฟิล์มพลาสติกก็มีให้เลือกหลายขนาด ข้อดีและข้อจำกัดของฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีนแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อจำกัดของฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีนที่นำมาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูก [1]

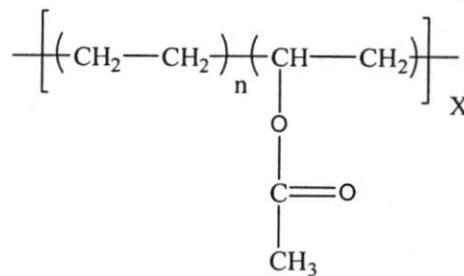
ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ข้อดี	ข้อจำกัด
พอลิเอทิลีนที่ไม่เติมสารเติมแต่ง	ราคาถูก	- อายุการใช้งานสั้น - ไม่มีสมบัติการเก็บกักความร้อน - เสี่ยงต่อความเสียหายจากน้ำค้างแข็ง
พอลิเอทิลีนที่มีอายุการใช้งานนาน (เติมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลต)	- อายุการใช้งาน 3-4 ปี ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ - ป้องกันการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลต	- ไม่มีสมบัติการเก็บกักความร้อน - ราคาสูง
พอลิเอทิลีนชนิดเก็บกักความร้อนอายุการใช้งานนาน	- ใช้งานได้ 2-4 ปี ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ - ป้องกันความร้อนสูง - มีสมบัติการเก็บกักความร้อน	- ราคาสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ชนิดฟิล์มพลาสติก	ข้อดี	ข้อจำกัด
พอลิเอทิลีนชนิดเก็บกักความร้อนสำหรับ 1 ฤดูกาล	- ลดความเสี่ยงจากน้ำค้างแข็ง - เพิ่มผลผลิต - การกระเจิงแสงสูง	- ราคาสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนที่ไม่เติมสารเติมแต่ง

2.2 เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA) [10]

EVA ได้จากการทำโคพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์กับ ไวนิลอะซิเตต มอนอเมอร์ เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างที่มีความอึดตัว การที่มีกลุ่มไวนิลอะซิเตตในโครงสร้างทำให้โคพอลิเมอร์มีความยืดหยุ่นได้ดีตามปริมาณไวนิลอะซิเตตที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากกลุ่มไวนิลอะซิเตตมีความเป็นขั้วจึงทำให้สมบัติด้านการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จึงเหมาะสมกับการนำไปทำเป็นฟิล์มพลาสติกชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิต



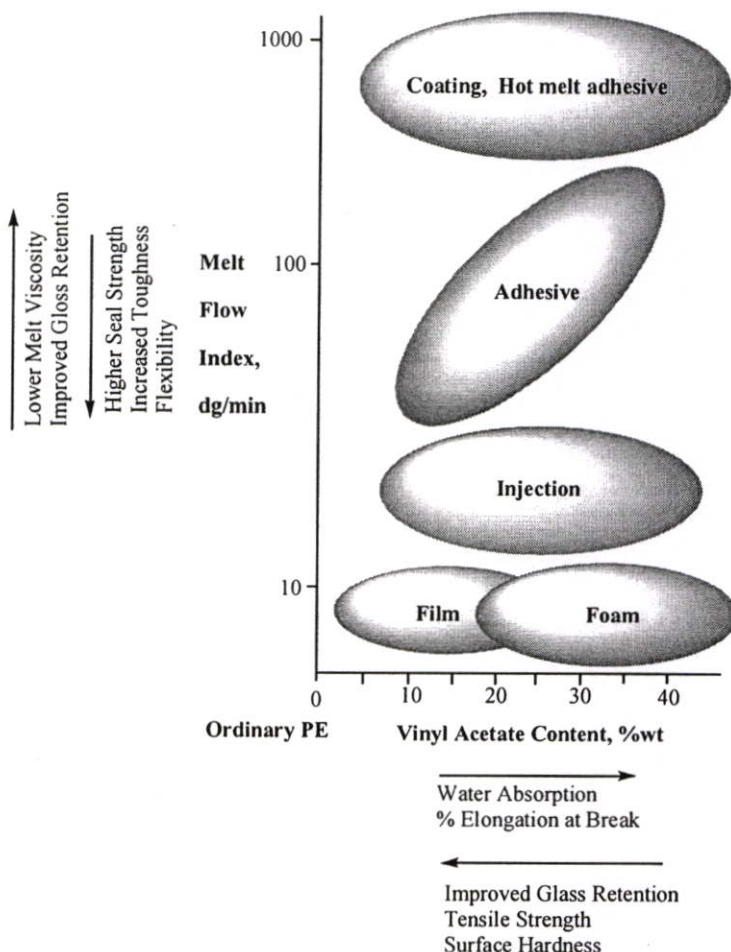
รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเอทิลีนไวนิลอะซิเตต

สมบัติทั่วไปของ EVA

- เป็นเทอร์โมพลาสติกมีลักษณะเป็นเม็ดใสจนถึงขุ่นขึ้นกับปริมาณไวนิลอะซิเตต
- จุดหลอมเหลวประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส
- สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายหลายชนิด ได้แก่ อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน เช่น เบนซีน โทลูอิน คลอโรฟอร์ม
- ใช้เป็นส่วนประกอบสารที่ใช้ในงานยึดเกาะ เช่น ใช้ทำเป็นกาว
- มีความยืดหยุ่นได้ดี ใช้ในงานบรรจุภัณฑ์อาหาร และทางด้านเกษตรกรรม
- มีความสามารถยอมให้มีการแพร่ผ่านของก๊าซและไอน้ำได้

จากการแบ่งประเภทฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามปริมาณไวนิลอะซิเตต เพื่อการใช้งาน ดังรูปที่ 2.4 ถ้าปริมาณไวนิลอะซิเตตมากขึ้นฟิล์มพลาสติกจะมีความใส การยืดหยุ่น และการดูดซึมน้ำ มีค่ามากขึ้น แต่มีค่าความแข็งแรงในลักษณะความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด (Tensile

Strength) ลดลง ส่วนการแบ่งประเภทตาม (Melt Flow Index, MFI) พบว่า ประเภท MFI สูง มีสมบัติการยึดติดเพิ่มขึ้น จึงนิยมมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต กาว สารยึดติด และสารเคลือบ ส่วนประเภท MFI ต่ำ มีสมบัติการยึดหยุ่นที่ดี จึงนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติก และ โฟม



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไวนิลอะซิเตดและดัชนีการไหลกับการประยุกต์ใช้งาน EVA ในเชิงอุตสาหกรรม [10]

2.3 สารเติมแต่ง (Additives) [11-22]

การนำพอลิเมอร์ไปใช้งานต่างๆ ขึ้นอยู่กับสมบัติของพอลิเมอร์ และความต้องการของงานประเภทนั้น ๆ แต่มีหลายกรณีที่พอลิเมอร์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถให้สมบัติตามต้องการได้ จึงมีการผสมสารเคมีคือสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้ได้ตามความต้องการ สำหรับฟิล์มพลาสติกที่ต้องนำไปใช้งานกลางแจ้งจำเป็นต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการซึ่งสารเติมแต่งที่นิยมใช้กับฟิล์มพลาสติกทางการเกษตร เช่น สารป้องกันไฟฟ้าสถิตเพื่อลดการเกาะของฝุ่นบนผิวของฟิล์มพลาสติก สารป้องกันการเกิดฝ้าเพื่อป้องกัน

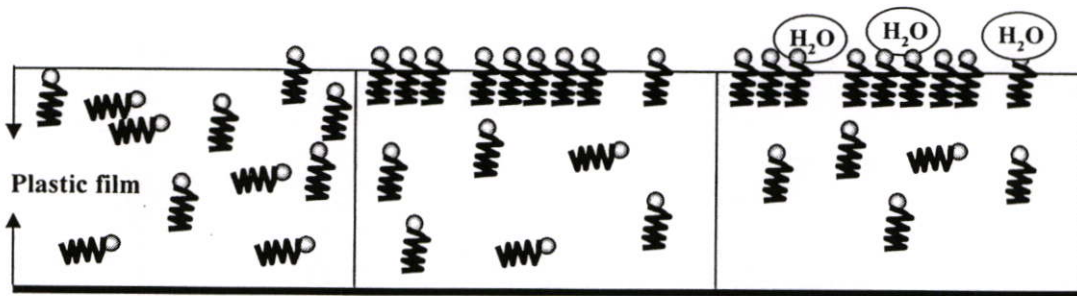
การเกิดฝ้าหรือหยดน้ำบนฟิล์มพลาสติก และสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อลดปัญหาการเสื่อมสภาพของฟิล์มพลาสติก โดยรังสีอัลตราไวโอเลต

2.3.1 สารป้องกันไฟฟ้าสถิต (Antistatic Agent) [12]

การนำฟิล์มพลาสติกใช้งานกลางแจ้งส่วนใหญ่จะพบปัญหาการเกาะของฝุ่นบนผิวฟิล์มพลาสติกเนื่องจากการสะสมของประจุไฟฟ้าบนผิวฟิล์มพลาสติก

สารป้องกันไฟฟ้าสถิตส่วนใหญ่ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว และมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนหางซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้ว และมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) สามารถเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดี

2.3.1.1 กลไกการทำงานของสารป้องกันไฟฟ้าสถิต เมื่อผสมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตในพอลิเมอร์ สารป้องกันไฟฟ้าสถิตจะเคลื่อนที่ไปอยู่บริเวณผิวของฟิล์มพลาสติก ส่วนที่มีขั้วจะดูดความชื้น ทำให้บริเวณผิวของฟิล์มพลาสติกอยู่ในสภาพนำไฟฟ้า ดังกลไกการทำงานในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเป็ผลดีต่อการทำโรงเรือนเพาะปลูกเพราะบริเวณผิวฟิล์มพลาสติกไม่มีการสะสมของประจุไฟฟ้า จึงทำให้ลดการเกาะของฝุ่นบนผิวฟิล์มพลาสติก



รูปที่ 2.5 กลไกการทำงานของสารป้องกันไฟฟ้าสถิต [13]

โดยทั่วไปการแบ่งประเภทวัสดุสามารถแบ่งได้ตามค่า Surface Resistivity ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทวัสดุตามค่า Surface Resistivity [14]

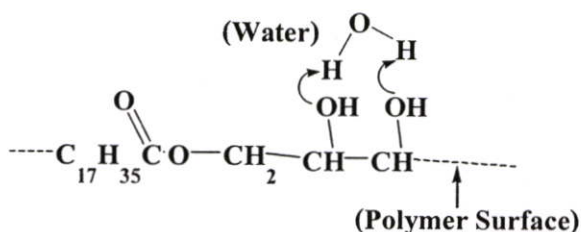
ประเภทวัสดุ	Surface Resistivity (Ω)
Conductive Material	$\leq 10^5$
Static Dissipative Material	$10^5 - 10^9$
Antistatic Material	$10^9 - 10^{14}$
Insulative Material	$\geq 10^{14}$

2.3.1.2 ประเภทของสารป้องกันไฟฟ้าสถิต แบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ

ก. สารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิดผสม (Internal Antistatic) การใช้งานผสมกับพอลิเมอร์ในกระบวนการผลิต เมื่อสารป้องกันไฟฟ้าสถิตเข้าไปผสมอยู่ในพอลิเมอร์แล้วจะเคลื่อนย้ายตัวมาอยู่บริเวณผิวหน้าของพอลิเมอร์ สารประเภทนี้จะมีขั้วเพียงพอที่จะลดความชื้นในอากาศ ตัวอย่างสารประเภทนี้ เช่น พวก Polyol และ Phosphate Esters

ข. สารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิดเคลือบภายนอก (External Antistatic) ประกอบด้วย Ionic Surfactants การใช้งานใช้เคลือบ ชุบ หรือพ่น บนพลาสติก ซึ่งส่วนที่ขบอบน้ำจะอยู่ส่วนบน ซึ่งจะช่วยให้ผิวหน้ามีขั้ว สามารถลดความชื้นหรือน้ำในสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ ส่งผลให้ผิวหน้ามีการกระจายตัวประจุ

ตัวอย่างสารป้องกันไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ที่นิยมคือ กลีเซอรอล ประเภทโมโน และไดเอสเทอร์ โดยมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างสารป้องกันไฟฟ้าสถิต ชนิด Glycerol Monostearate [12]

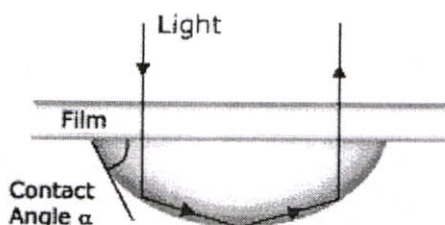
โดยปกติจะใช้สารป้องกันไฟฟ้าสถิตผสมในฟิล์มพลาสติกที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เช่น LDPE และ LLDPE ใช้ปริมาณร้อยละ 1.5-3 โดยน้ำหนัก HDPE และ PP ใช้ปริมาณร้อยละ 2-5 โดยน้ำหนัก [15]

2.3.2 สารป้องกันการเกิดฝ้า (Antifogging Agent) [16]

2.3.2.1 กลไกในการเกิดฝ้าที่ผิวฟิล์มพลาสติก “ฝ้า” หมายถึง ไอน้ำที่ควบแน่นเป็นหยดเล็กๆ อยู่บนผิวของฟิล์มพลาสติก การเกิดฝ้าเกิดเมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศรอบๆ ฟิล์มพลาสติกเท่ากับจุดน้ำค้าง (Dew Point) ไอน้ำที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ ฟิล์มพลาสติกจะเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำเล็กๆ และควบแน่นต่อไปถ้าอุณหภูมิของบรรยากาศต่ำกว่าจุดน้ำค้าง ทั้งนี้จุดน้ำค้างยังขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในระบบปิดสูงขึ้นจุดน้ำค้างก็จะสูงขึ้นด้วย

โดยทั่วไปรูปทรงของหยดน้ำหรือไอน้ำที่เกาะบนฟิล์มพลาสติกมีผลต่อการเกิดฝ้า ในทางปฏิบัติเราสามารถบอกลักษณะรูปทรงของหยดน้ำหรือไอน้ำได้โดยการวัดค่ามุม

สัมผัส (Contact Angle) ระหว่างหยดน้ำกับผิวของฟิล์มพลาสติกดังรูปที่ 2.7 ถ้ามีมุมสัมผัสมาก ใอน้ำที่เกาะจะมีลักษณะเป็นหยดชัดเจน มีผลต่อการสะท้อนของแสง คือ แสงที่ส่องผ่านจะลดลง จึงเป็นผลเสียต่อการสังเคราะห์แสงของพืชภายในโรงเรือนเพาะปลูก จึงควรทำโรงเรือนแบบเป็นหลังคาแนวลาดเอียง เพื่อช่วยให้หยดน้ำที่ก่อตัวขึ้นเคลื่อนที่หรือไหลลงสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก



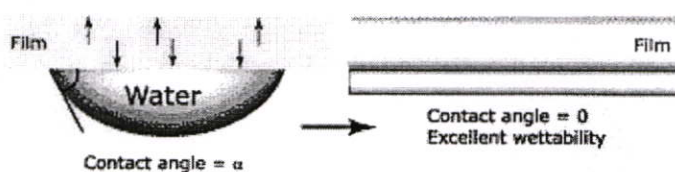
รูปที่ 2.7 มุมสัมผัสของหยดน้ำที่เกาะบนผิวฟิล์มพลาสติกและการส่องผ่านของแสง [17]

ใอน้ำที่ควบแน่นที่ผิวฟิล์มพลาสติกดังกล่าวจะก่อตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งมุมสัมผัสมากหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับค่าแรงตึงผิว (Surface Tension) และค่าแรงตึงผิววิกฤต (Critical Surface Tension) ของฟิล์มพลาสติก ใอน้ำที่ควบแน่นจะมีรูปร่างเป็นทรงหยดน้ำให้เห็นชัดเจนเมื่อความตึงผิวของน้ำมีค่ามากกว่าแรงตึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติก เมื่อแรงตึงผิวของน้ำมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่าค่าแรงตึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติก ใอน้ำที่ควบแน่นจะเป็นฟิล์มแผ่นเรียบๆ เคลือบผิวที่ฟิล์มพลาสติกแทน ลักษณะที่ปรากฏเป็นฝ้าให้เห็นจะจางหายไป เนื่องจากค่าแรงตึงผิวของน้ำมีค่าเท่ากับ 70.8 mN/m และจากตารางที่ 2.4 พบว่าค่าแรงตึงผิวของน้ำจะสูงกว่าค่าแรงตึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติก ดังนั้นน้ำที่ควบแน่นที่ผิวฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่จึงมีรูปร่างเป็นหยดน้ำ ทำให้เกิดฝ้าขึ้นเมื่อใช้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง

ตารางที่ 2.4 ค่าแรงตึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ [16]

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ค่าแรงตึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติก ที่ 20 °ซ (mN/m)
พอลิเอทิลีน	31.0
พอลิสไตรีน	33.0-35.0
พอลิไวนิลคลอไรด์	33.0-38.0
ไนลอน 6, 6	42.5-46.0

2.3.2.2 กลไกการทำงานของสารป้องกันการเกิดฝ้า [12] โครงสร้างทางเคมีของสารประเภทนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ปลายด้านหนึ่งมีความเป็นขั้วสูง เป็นส่วนที่เข้ากับน้ำได้ดี และปลายอีกด้านหนึ่งเข้ากับน้ำได้ไม่ดี สารเหล่านี้สามารถเข้ากับพลาสติกได้ระดับหนึ่ง เมื่อผสมแล้วสารป้องกันการเกิดฝ้าจะค่อยๆ แพร่จากเนื้อฟิล์มและเคลื่อนที่มาผิวฟิล์ม ส่วนที่ชอบน้ำจะดูดความชื้น โดยรอบทำให้ค่าแรงดึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติกมีค่าสูงขึ้น น้ำที่เคยควบแน่นเป็นหยดก็จะถูกกระจายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่บนผิวฟิล์มพลาสติกดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะหยดน้ำของฟิล์มพลาสติกที่ใส่สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดผสมภายใน [18]

2.3.2.3 ประเภทสารป้องกันการเกิดฝ้า [12] ทำหน้าที่เพิ่มค่าแรงดึงผิววิกฤตของฟิล์มพลาสติก ซึ่งช่วยลดมุมสัมผัสระหว่างน้ำกับผิวของฟิล์มพลาสติก สารป้องกันการเกิดฝ้ามี 2 ประเภท คือ

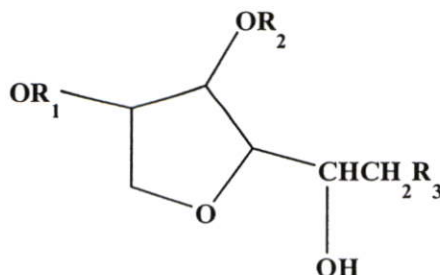
ก. สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดผสมภายใน (Internal Antifogging Agent)

สารป้องกันการเกิดฝ้าประเภทนี้ใช้ผสมกับพลาสติกในระหว่างกระบวนการผลิต

ข. สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดเคลือบภายนอก (External Antifogging Agent)

สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดเคลือบภายนอกอาศัยหลักการของการเคลือบโดยการจุ่มหรือพ่นไปบนผิวของพลาสติก สารป้องกันการเกิดฝ้าประเภทนี้สะดวกต่อการใช้งาน แต่มีข้อเสียคือง่ายต่อการชะล้างออก

ตัวอย่างสารป้องกันการเกิดฝ้าที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่ คือ ชนิด Sorbitan Monosterate โดยมีโครงสร้างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.9



R_1, R_2, R_3 : Saturated หรือ Unsaturated Fatty Acids C_{12-18} หรือ H

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างสารป้องกันการเกิดฝ้า ชนิด Sorbitan Monosterate [12]

ฟิล์มพลาสติกที่ผสมสารป้องกันการเกิดฝ้าใช้สำหรับบรรจุอาหารที่ต้องเก็บใน ห้องเย็น หรือใช้ทางการเกษตรเพื่อลดการเกิดฝ้าที่ผิวฟิล์มพลาสติกโรงเรือนเพาะปลูก [19] ฟิล์ม พลาสติกที่มักผสมสารเติมแต่งประเภทนี้ ได้แก่ PVC, LDPE, LLDPE, EVA, PS และ Polyester โดยปริมาณที่ใช้ในงานประเภทฟิล์มพลาสติกทั่วไปจะใช้ปริมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก [15]

2.3.3 สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Stabilizer) [20]

แสงอาทิตย์ประกอบด้วยคลื่นในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต รังสีช่วงเห็นได้ด้วยตา และรังสีอินฟราเรด เมื่อสารพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะเกิดการ ดูดกลืนพลังงาน โดยเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเลตทำให้เกิดการสลายพันธะโคเวเลนต์ของ พอลิเมอร์ และเกิดอนุมูลอิสระ จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง หรือ เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวซึ่งจะขึ้นอยู่กับภาวะของปฏิกิริยา

2.3.3.1 กลไกการเกิดการเสียหายที่เกิดจากรังสีอัลตราไวโอเลต โดยทั่วไปเมื่อ ฟิล์มพลาสติกได้รับแสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลง 2 แบบ คือ

ก. เกิดการขาดของสายโซ่ (Chain Scission) หรือเกิดพันธะเชื่อมโยงของ สายโซ่ (Chain Cross Linking)

การขาดของสายโซ่ จะทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง กลไกการขาดของ สายโซ่ มี 2 แบบดังนี้

- Oxidative Scission เป็นการขาดของสายโซ่โดยตรงที่ตำแหน่ง β ของ Peroxy Radical กลไกนี้จะใช้พลังงานกระตุ้นต่ำและอุณหภูมิปานกลาง หรือภายใต้สภาวะที่มี ปริมาณออกซิเจนมาก

- Thermal Scission เป็นการขาดของสายโซ่ที่ตำแหน่ง β ของ Alkyl Radical และ Secondary Alkyl Radical ที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นหมู่ไวไนล และ Alkyl Radical กลไกนี้ ไม่ต้องการออกซิเจน แต่จะใช้พลังงานกระตุ้นสูงกว่า Oxidative Scission

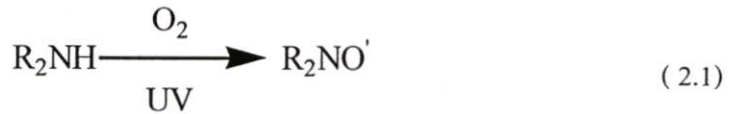
การเชื่อมโยงของสายโซ่ การเชื่อมโยงสายโซ่ จะทำให้น้ำหนักโมเลกุล สูงขึ้น กลไกนี้เกิดจากการรวมตัวกันของ Alkyl Radical ที่อุณหภูมิต่างๆ พอลิโอเลฟินส์จะเกิดการ เชื่อมโยง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการขาดของสายโซ่

ข. เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง โดยจะทำให้เกิดหมู่คาร์บอนิล คาร์ บอกซิล หรือเปอร์ออกไซด์ในพอลิเมอร์ และจะส่งผลให้เกิดการแข่งขันระหว่างเกิดพันธะ เชื่อมโยง หรือเกิดการขาดของสายโซ่ แต่อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสงจะเป็นปฏิกิริยา หลักที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้เกิดการย่อยสลายในพอลิเมอร์ และเกิดเป็น โครงสร้างประเภทควินอยด์เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี โครงสร้างที่ถูก

ไฮโดรไลซิสได้ง่าย เช่น เอสเทอร์ ยูเรเทน และเอไมด์ จะเกิดการไฮโดรไลซิสด้วยแสงเกิดเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเกิดกลุ่มที่เป็นกรดและมีขี้

2.3.3.2 กลไกการทำงานของสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต

สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่เป็นประเภท Hindered Amine Light Stabilizers, HALS สารเหล่านี้จัดเป็นอะลิฟาติกเอมีน คือ มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรงที่มีหมู่เอมีนมาเกาะ โดยเอมีนจะถูกออกซิไดส์ด้วยแสงก่อนเกิดเป็นอนุมูลไนโตรออกไซด์ (Nitroxide Radical) ดังสมการที่ 2.1



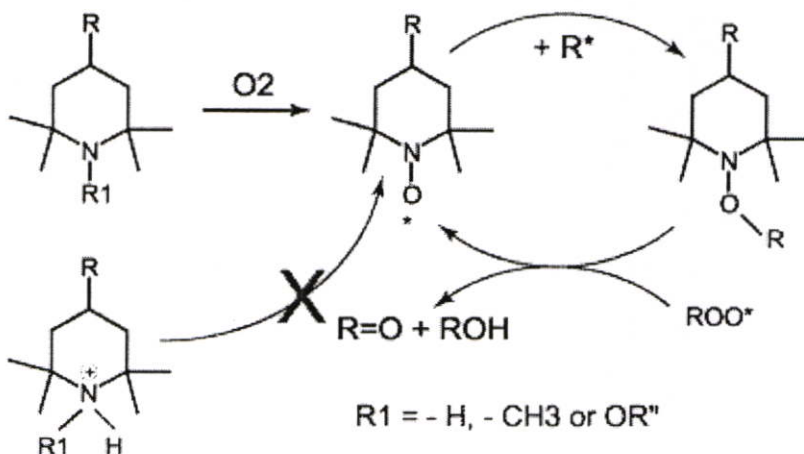
อนุมูลไนโตรออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลของพอลิเมอร์ที่เสื่อมสภาพ เกิดเป็นไฮดรอกซีลามีนอีเทอร์ (Hydroxylamine Ether) ดังสมการที่ 2.2



อนุมูลของพอลิเมอร์ที่เสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นมาใหม่จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซีลามีนอีเทอร์ เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรและเกิดอนุมูลไนโตรออกไซด์ ดังสมการที่ 2.3



เมื่อพิจารณาสมการที่ 2.3 พบว่า HALS ปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถทำให้เกิดรอบการทำปฏิกิริยาจำนวนมากเพื่อทำให้ปฏิกิริยามีเสถียรภาพ ซึ่งการทำงานจะเป็นลักษณะวงจรวงจรดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรการทำงานของสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตประเภท HALS [21]

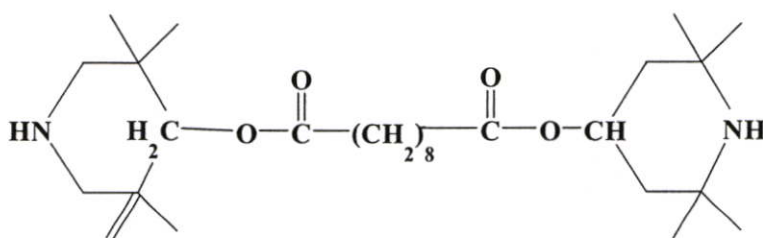
2.3.3.3 ประเภทของสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต สารเติมแต่งประเภทนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

ก. สารดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV Absorbers) สารประเภทนี้สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ดีและสมบูรณ์ก่อนที่จะมาถึงพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งสามารถปล่อยพลังงานออกมาโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับพอลิเมอร์ด้วยกระบวนการเรโซแนนซ์และทาวโทเมอร์ริก (Tautomeric) ทำให้เกิดเสถียรภาพต่อพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่สูง นอกจากนี้การที่มีหมู่อัลคิลต่อกับวงแหวนเบนซีนจะช่วยควบคุมความมีขั้วเหตุนี้จึงสามารถละลายในพอลิเมอร์ต่างๆ สารดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่นิยมใช้ ได้แก่ เบนโซฟีนอน และอโรไฮดรอกซีเบนโซไพราโซล

ข. สารระงับพลังงาน (UV Quenchers) มีกลไกการทำงาน คือ เมื่อพอลิเมอร์ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต สารประเภทนี้จะเข้าไปดูดพลังงานจากพอลิเมอร์มาเก็บไว้ และทำให้พอลิเมอร์มีความเสถียร หลังจากนั้นสารระงับพลังงานจะปล่อยพลังงานออกมาโดยไม่ทำให้เกิดอันตรายกับพอลิเมอร์ด้วยวิธีการเรโซแนนซ์และกระบวนการทาวโทเมอร์ริก ยกตัวอย่างเช่น สารประกอบอแกโนนิคเกิล นิยมใช้เป็นสารระงับพลังงาน โดยจะใช้เป็นสารเติมแต่งผสมร่วมกับสารดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ค. สารต้านอนุมูลอิสระ (Free Radical Scavenger) เพื่อให้สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีการทำงานที่บูรณ์ยิ่งขึ้น จึงมีการศึกษาวิจัยหาสารเคมีที่สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระหรือลดจำนวนอนุมูลอิสระเพื่อให้เกิดผลยับยั้งปฏิกิริยาการสลายตัวอย่างต่อเนื่องของพอลิเมอร์

ตัวอย่างสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติก ได้แก่ สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตประเภท HALS ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลดังรูปนี้ 2.11

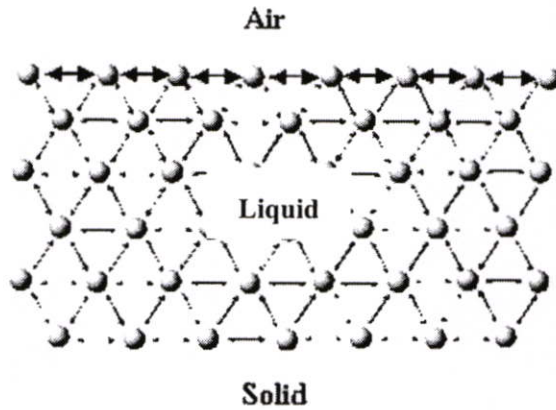


รูปที่ 2.11 ตัวอย่างสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตประเภท HALS ชนิด Lowilite 77 [22]

การผลิตฟิล์มพลาสติกที่นำไปใช้งานกลางแจ้ง ส่วนใหญ่จะผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณร้อยละ 0.5 ถึง 2 โดยน้ำหนัก [15]

2.4 ความสัมพันธ์ของค่าแรงตึงผิวกับค่ามุมสัมผัส [23-24]

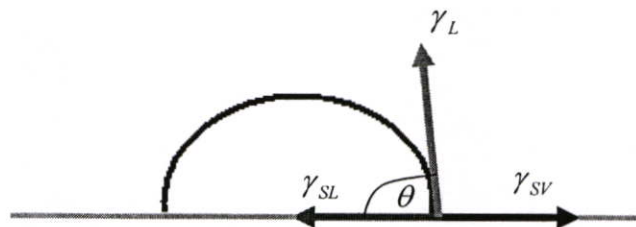
แรงตึงผิว คือการวัดแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของของแข็ง โมเลกุลของของแข็ง ดึงดูดกับ โมเลกุลของเหลว แรงของ โมเลกุลที่อยู่ในของแข็งดึงจากแรงกระทำของ โมเลกุล อื่นๆ ที่อยู่โดยรอบ ในขณะที่โมเลกุลที่อยู่บนพื้นผิวเกิดการไม่สมดุลดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลของของแข็ง-ของเหลว [23]

ผลจากปรากฏการณ์ดังกล่าว คือการเกิดพลังงานอิสระขึ้นที่ผิวของของไหล พลังงานที่มากเกินพอนี้เรียกว่าพลังงานอิสระที่พื้นผิว (Surface Free Energy) มักถูกบอกปริมาณในรูปของพลังงาน/ระยะทาง โดยทั่วไปหน่วยที่นิยมใช้ในการวัดแรงตึงผิวของ dyne/cm หรือ mN/m พลังงานที่เกินพอนี้เกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของของไหลสองชนิด ถ้าหากของไหลชนิดหนึ่งอยู่ในสถานะของเหลว พลังงานที่วัดได้จากผิวของของแข็งจะถูกเรียกว่าแรงตึงผิว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าแรงตึงผิวสามารถคำนวณได้เฉพาะวัสดุที่อยู่ในสถานะเป็นของเหลว ดังนั้นจึงมีผู้เสนอสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าแรงตึงผิวของของแข็ง เช่น พิล์มพลาสติก ดังนี้

Young เสนอการความสัมพันธ์ของค่าแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ในรูปเวกเตอร์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ทิศทางของแรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลวที่แสดงในรูปเวกเตอร์ [24]

จากรูปที่ 2.13 คุณแรงของเวกเตอร์ทั้ง 3 ทิศทาง จะได้ สมการที่ 2.4

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_L \cdot \cos\theta \quad (2.4)$$

- เมื่อ γ_{SL} คือ แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ณ สภาวะสมดุล
 γ_{SV} คือ แรงตึงผิวระหว่างของแข็ง-ไอ ณ สภาวะสมดุล
 γ_L คือ แรงตึงผิวของของเหลว ณ สภาวะสมดุล
 θ คือ มุมสัมผัสที่วัดได้จากหยดของของเหลวบนของแข็ง

นอกจากนี้ในการคำนวณค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก Dupre ได้เสนอสมการคำนวณงานที่เกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็ง-ของเหลว (Work of Adhesion, W_a) จากการขจัดลัทธิของเวกเตอร์ใน 3 ทิศทางที่เกี่ยวข้อง ดังสมการที่ 2.5

$$W_a = \gamma_L + \gamma_{SV} - \gamma_{SL} \quad (2.5)$$

เมื่อรวมสมการที่ 2.4 กับสมการที่ 2.5 จะได้

$$W_a = \gamma_L \cdot (\cos\theta + 1) \quad (2.6)$$

สมการนี้เป็นสมการที่คำนวณงานที่เกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ได้โดยวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มพลาสติกกับของเหลว ส่วนค่า γ_L สามารถหาได้จากเอกสารอ้างอิง [24]

Fowkes การหาค่างานที่เกิดจากการยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ดังสมการที่ 2.7

$$W_a = 2 \cdot \sqrt{\gamma_L^d \times \gamma_{SV}^d} \quad (2.7)$$

- เมื่อ γ_L^d คือ ค่าแรงตึงผิวของของเหลวในส่วน Dispersive Component
 γ_{SV}^d คือ ค่าแรงตึงผิวที่เกิดขึ้นระหว่างของแข็ง-ไอ ในส่วน Dispersive Component

Dispersive Component คือ ส่วนที่เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของแข็ง-ของเหลวที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพความเป็นขั้ว

Owens และ Wendt เสนอว่าการยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็ง-ของเหลว ไม่ได้เกิดขึ้นจาก ส่วน Dispersive Component เพียงส่วนเดียว แต่ยังเกิดจากส่วน Non Dispersive Component ด้วย เขียนในรูปสมการจะได้

$$W_a = 2 \cdot \sqrt{\gamma_L^d \times \gamma_{SV}^d} + 2 \cdot \sqrt{\gamma_L^{nd} + \gamma_{SV}^{nd}} \quad (2.8)$$

Fowkes เสนอว่าค่าแรงดึงดูดผิวของฟิล์มพลาสติกหาได้จาก ผลรวมของค่าแรงดึงดูดผิวของ ส่วนที่เป็น Dispersive Component กับส่วนที่เป็น Non Dispersive Component ดังสมการที่ 2.9

$$\gamma_{SV} = (\sqrt{\gamma_{SV}^d})^2 + (\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}})^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ γ_{SV}^d คือ ค่าแรงดึงดูดผิวระหว่างของแข็ง-ไอ ณ สภาวะสมดุล ในส่วน Dispersive Component

γ_{SV}^{nd} คือ ค่าแรงดึงดูดผิวระหว่างของแข็ง - ของเหลว ณ สภาวะสมดุลในส่วน Non Dispersive Component

จากสมการที่ 2.6 และสมการที่ 2.8 จะได้

$$\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1) = 2 \cdot \sqrt{\gamma_L^d \times \gamma_{SV}^d} + 2 \cdot \sqrt{\gamma_L^{nd} \times \gamma_{SV}^{nd}} \quad (2.10)$$

$2\sqrt{\gamma_L^d}$ หารตลอด จะได้ สมการที่ 2.11

$$\frac{\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1)}{2\sqrt{\gamma_L^d}} = \frac{2 \cdot \sqrt{\gamma_L^d \times \gamma_{SV}^d}}{2\sqrt{\gamma_L^d}} + \frac{2 \cdot \sqrt{\gamma_L^{nd} \times \gamma_{SV}^{nd}}}{2\sqrt{\gamma_L^d}} \quad (2.11)$$

จัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงจะได้สมการที่ 2.12

$$\frac{\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1)}{2\sqrt{\gamma_L^d}} = \sqrt{\gamma_{SV}^{nd}} \times \sqrt{\frac{\gamma_L^{nd}}{\gamma_L^d}} + \sqrt{\gamma_{SV}^d} \quad (2.12)$$

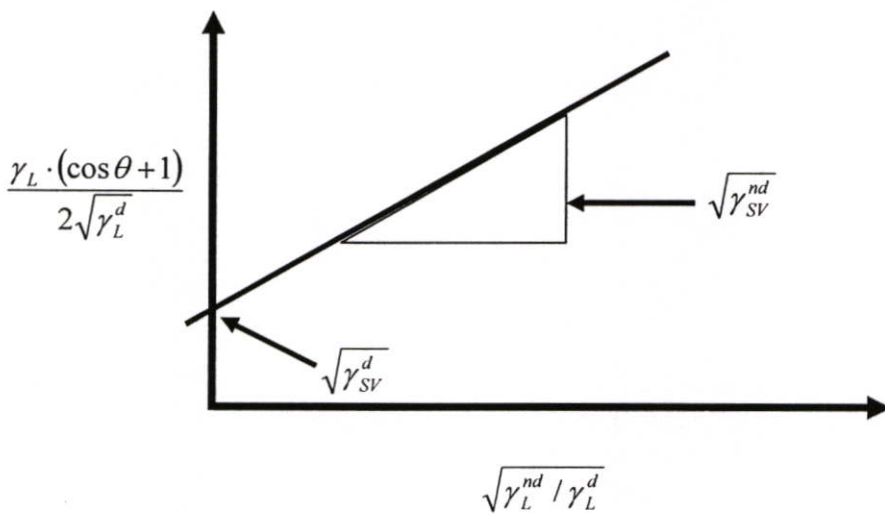
สมการที่ 2.12 สามารถคำนวณค่าแรงดึงดูดผิวของฟิล์มได้โดยวิธี Multiple Liquids Graphical Method ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ [24]

1. วัดค่ามุมสัมผัสของสารละลายที่มีค่าแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน ระหว่าง น้ำ กลิเซอรอล และ เอทิลีนไกลคอล กับฟิล์มพลาสติก และนำข้อมูลมาเขียนกราฟเพื่อใช้คำนวณค่าแรงตึงผิวต่อไป

2. เขียนกราฟโดยกำหนดให้ แกน Y คือ $\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1) / 2\sqrt{\gamma_L^d}$ และแกน X คือ $\sqrt{\gamma_L^{nd} / \gamma_L^d}$

3. จุดตัดแกน Y คือ ค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^d}$ และความชัน คือ ค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}}$

4. นำค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^d}$ และ $\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}}$ แทนในสมการที่ 2.9 จะได้ค่า γ_{SV} (ค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก)



รูปที่ 2.14 กราฟที่ใช้คำนวณค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก [24]

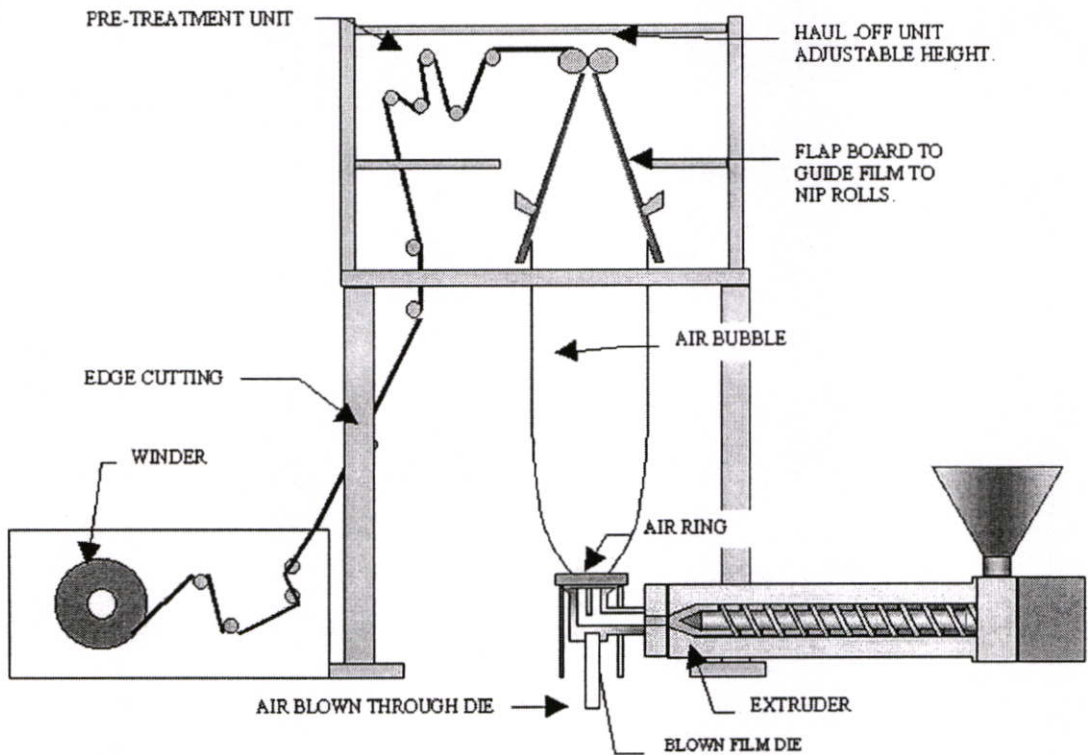
2.5 กระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกโดยการเป่า (Blown Film Extrusion) [25-26]

ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในชีวิตประจำวันเป็นบรรจุภัณฑ์ หรือใช้ในงานทางเกษตรกรรม อุตสาหกรรม หรืองานทางการแพทย์ ส่วนใหญ่จะใช้ LDPE, HDPE, LLDPE, EVA, PP และ PA ซึ่งกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกที่นิยมมากที่สุด คือ วิธีเป่า เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำและเทคนิคไม่ยุ่งยาก

2.5.1 ขั้นตอนการผลิตฟิล์มพลาสติก

การผลิตเริ่มต้นจากการหลอมเรซินพลาสติกในเครื่องอัดรีด (Extruder) สกรูจะขับพลาสติกเหลวผ่านหัวใดทรงกระบอกออกมาเป็นเส้น และถูกดึงขึ้นในทางตั้งแล้วถูกเป่าให้พองออกเป็นลูกโป่ง (Bubble) พร้อมๆ กันนั้นตรงบริเวณปากหัวใด จะมีแหวนหล่อเย็นเป่าลมออกมา

หล่อเย็นโดยรอบลูกโป่ง หลังจากนั้นลูกโป่งจะถูกขูดบีบซึ่งอยู่ด้านบนบีบให้แฟบก่อนที่จะถูกลูกกลิ้งรีดให้เรียบ เพื่อให้สามารถดึงไปม้วนเก็บด้วยเครื่องดึง ดังรูปที่ 2.15

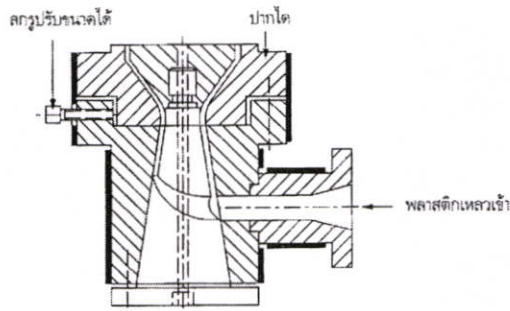


รูปที่ 2.15 กระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติก [26]

2.5.2 ชนิดหัวได

หัวไดที่ใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกเป็นของช่องทางออกของพลาสติกมีลักษณะเป็นวงกลม ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ แบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านข้าง (Side Feed Die) ดังรูปที่ 2.16 แบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านล่าง (Bottom Feed Die) ดังรูปที่ 2.17 และแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าด้านล่างโดยแบบแกนเป็นเกลียวเลื่อน (Spiral Mandrel Die) ดังรูปที่ 2.18 ซึ่งแต่ละชนิดจะมีข้อดีข้อเสีย ดังนี้

2.5.2.1 หัวฉีดแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านข้าง



รูปที่ 2.16 หัวฉีดแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านข้าง [25]

ข้อดีของหัวฉีดแบบนี้ คือ

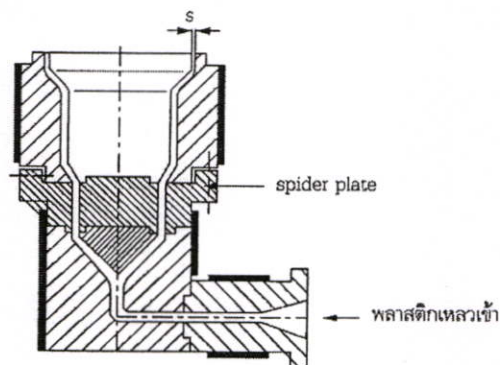
1. ราคาต้นทุนการผลิตต่ำ
2. สามารถปรับปากฉีดได้
3. ใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดสูงได้ (Low Melt Flow Index)

ข้อเสียของหัวฉีดแบบนี้ คือ

1. มีแกนกีดขวางทางเดินของพลาสติก ทำให้การไหลของพลาสติกไม่สม่ำเสมอ

2. ไม่สามารถหมุนหัวฉีดได้
3. มีแนวประสานที่ฟิล์มพลาสติกหนึ่งแนว

2.5.2.2 หัวฉีดแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านล่าง



รูปที่ 2.17 หัวฉีดแบบป้อนพลาสติกเหลวเข้าทางด้านล่าง [25]

ข้อดีของหัวฉีดแบบนี้ คือ

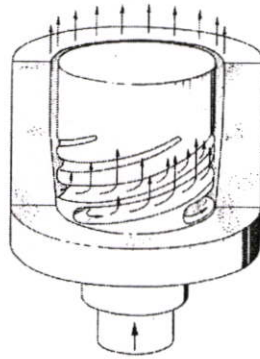
1. ความกว้างของปากหัวฉีดแน่นอน

2. สามารถหมุนหัวไดได้
3. ใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดสูงได้

ข้อเสียของหัวไคแบบนี้ คือ

1. ต้นทุนการผลิตสูง
2. ทำความสะอาดได้ยาก
3. มีแนวประสานที่ฟิล์มพลาสติกหลายแห่ง

2.5.2.3 หัวไคแบบแกนเป็นเกลียวเดี่ยว



รูปที่ 2.18 หัวไคแบบแกนเป็นเกลียวเดี่ยว [25]

ข้อดีของหัวไคแบบนี้ คือ

1. ไม่มีแนวประสานที่ฟิล์มพลาสติก
2. ความกว้างของปากหัวไคแน่นอน
3. ทำความสะอาดง่าย
4. สามารถหมุนหัวไดได้
5. ความใสของฟิล์มพลาสติกดีขึ้น เพราะหัวไคแบบนี้จะช่วยให้พอลิเมอร์ไหลออกมาในปริมาณที่สม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการควบคุมระบบการหล่อเย็นของฟิล์มพลาสติก

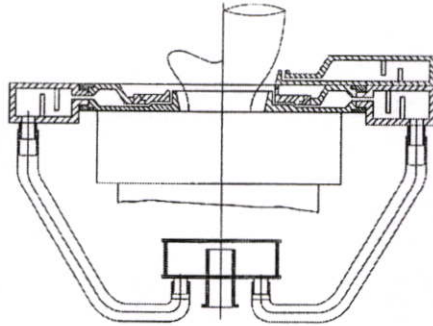
6. ควบคุมความหนาได้ง่าย

ข้อเสียของหัวไคแบบนี้ คือ

1. ต้องใช้ความดันส่งพลาสติกสูง
2. ไม่สามารถใช้กับพลาสติกที่มีความหนืดสูง เพราะจะทำให้มีปัญหาการอุดตันภายในหัวไดได้

2.5.3 แหวนหล่อเย็น (Cooling Ring)

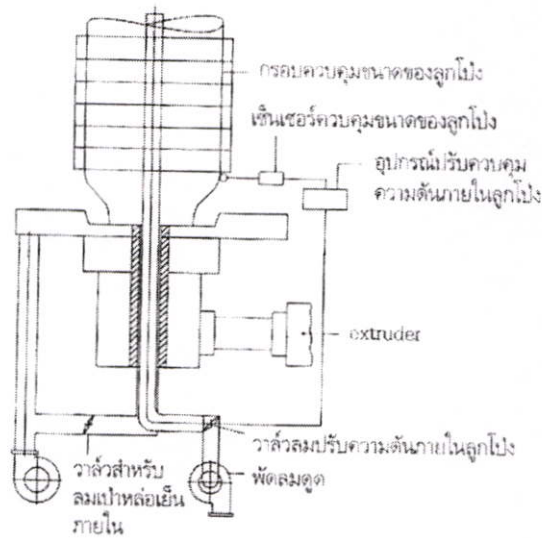
โดยปกติการหล่อเย็นฟิล์มจะใช้ลมเป่ารอบๆ ลูกโป่ง โดยใช้แหวนหล่อเย็นเป็นตัวกระจายลม ซึ่งต้องทำหน้าที่หลักๆ 3 ประการ คือ ต้องมีขีดความสามารถในการหล่อเย็นได้อย่างเพียงพอ ต้องประกอบลูกโป่งให้คงที่โดยไม่แกว่งหรือสั่น และส่งกระแสลมหล่อเย็นได้อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการออกแบบแหวนหล่อเย็นจะต้องพิจารณาความเหมาะสมตามหน้าที่หลักดังกล่าว โดยต้องพิจารณาปากของแหวนเป่าลม (Cooling-Ring Lips) มุมที่เป่าไปยังลูกโป่ง และความเร็วลมที่ใช้ รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของแหวนลมหล่อเย็นที่แบบเป่าลมปากเดียว และสองปาก



รูปที่ 2.19 แหวนหล่อเย็นแบบปากเดียว (ภาพตัดด้านซ้ายมือ) และสองปาก (ภาพตัดด้านขวามือ)
[25]

2.5.4 การหล่อเย็นภายในลูกโป่ง (Internal Bubble Cooling)

การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตฟิล์มพลาสติกแบบเป่าในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาระบบการหล่อเย็นฟิล์มพลาสติกให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยการส่งลมเข้าไปหล่อเย็นภายในลูกโป่ง แทนที่จะหล่อเย็นภายนอกอย่างเดียวดังรูปที่ 2.20 โดยหลักการแล้วการหล่อเย็นฟิล์มพลาสติกทั้งด้านในและด้านนอกจะทำให้สามารถเป่าลมหล่อเย็นภายนอกด้วยความเร็วสูงได้ เนื่องจากมีการควบคุมความดันภายในลูกโป่งได้คงที่ ทำให้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนสูงขึ้น และการแลกเปลี่ยนลมเป่าภายในลูกโป่งจะทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในลูกโป่งมีความร้อนมาก โดยหลักการนี้จะทำให้ผลผลิตสูงขึ้นกว่าการหล่อเย็นภายนอกอย่างเดียวประมาณ 30-50%



รูปที่ 2.20 การควบคุมความดันภายในลูกโป่งในการหล่อเย็น [25]

2.5.5 อุปกรณ์ดึง และม้วนฟิล์มพลาสติก

อุปกรณ์ดึงและม้วนฟิล์มพลาสติกประกอบด้วย กรอบบีบลูกโป่ง (Collapsing Frame) และลูกกลิ้งบีบ (Collapsing Rolls) หลังจากนั้นจึงจะส่งไปยังอุปกรณ์ม้วนฟิล์มพลาสติก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาและพัฒนาฟิล์มพลาสติกเพื่อการเกษตรมีดังนี้

พลวัฒน์ [12] พัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ป้องกันไฟฟ้าสถิต และป้องกันการเกิดฝ้า เพื่อใช้ในการเกษตร จากการศึกษพบว่าถ้าต้องการฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่มีสมบัติเหมาะสมกับงานด้านการเกษตร ต้องใส่สารเติมแต่งชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิต ชนิด Atmer 163 ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก สารป้องกันการเกิดฝ้า ชนิด Atmer 114 ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลต ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก

เสาวรภัย และคณะ [7] ศึกษาผลของสีของฟิล์มพลาสติกต่อการเจริญเติบโตของพืช และการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มพลาสติกชนิด PE จากการทดลองพบว่า โรงเรือนเพาะปลูกที่ใช้ฟิล์มพลาสติกสีแดงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี และฟิล์มพลาสติกสีเหลืองมีการเกิดเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลตมากกว่าสีอื่น

M. Scoponi และคณะ [27] ศึกษาการใช้ HALS กับ ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE โดยศึกษา HALS 2 ชนิด คือ Chimassorb 944 ที่มีสมบัติดูดกลืนพลังงานแสงในช่วง UV และ Tinuvin 622 ที่มีสมบัติดูดกลืนพลังงานแสงในช่วง IR ที่สภาวะอากาศธรรมชาติและสภาวะแบบเร่ง ผลการทดสอบการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลต พบว่าปริมาณ HALS ที่เหมาะสม คือ Chimassorb 944 ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และ Tinuvin 622 ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก

Markus C. [28] ศึกษาการใช้สารป้องกันไฟฟ้าสถิต ชนิด Irgastat P22 กับพลาสติกชนิด PP ที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป พบว่าพลาสติกชนิด PP ที่ผสมกับ Irgastat P22 มีค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว และค่าความต้านทานเชิงปริมาตรลดลง ถึง 1,000 เท่า เมื่อเทียบกับพลาสติกชนิด PP ที่ไม่เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิต

Noel B. [19] ศึกษาการใช้สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิด Diglyceral Monooleate กับ พลาสติกชนิด EVA โดยวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับฟิล์มพลาสติก พบว่า Diglyceral Monooleate ทำให้ฟิล์มพลาสติกมีค่ามุมสัมผัสลดลงจาก 90 องศา เหลือ 20 องศา แสดงว่าสารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดนี้ช่วยให้ฟิล์มพลาสติกสามารถดูดหรือจับความชื้นในอากาศ และทำให้บริเวณผิวของฟิล์มพลาสติกมีค่าแรงดึงผิวมากขึ้นจึงทำให้มุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าลดลง

P.K. Roy [29] ศึกษาการใช้ Benzil และ Cobalt Stearate กับ ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ผสมกับ Benzil เพียงอย่างเดียวไม่สามารถช่วยลดการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลตและความร้อน แต่ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ผสมกับ Benzil และ Cobalt Stearate สามารถลดการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลตและความร้อนได้ดี

Ahmed A. และคณะ [30] ศึกษาการใช้ HALS กับฟิล์มพลาสติกชนิด LLDPE และ LDPE พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิดที่มี HALS ผสมร้อยละ 0.08 โดยน้ำหนักเหมาะสมกับการใช้งานกลางแจ้ง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมา กับฟิล์มพลาสติก พบว่ารังสีแกมมาทำให้ฟิล์มพลาสติกมีสมบัติเชิงกลลดลง

A.Adam และคณะ [31] ศึกษาฟิล์มพลาสติกที่นำไปใช้งานเป็นโรงเรือนเพาะปลูก โดยใช้ฟิล์มพลาสติกแบบ 3 ชั้น คือ EVA แทรกอยู่ตรงกลาง ระหว่าง LDPE จำลองภาวะการทดสอบการใช้งานจำลองด้วยสภาวะอากาศแบบ Saharan คือมีลมพัดและมีทรายปน ผลการทดสอบพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิดนี้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะอากาศแบบ Saharan แต่จะมีสมบัติคือยอมรับการส่องผ่านของรังสีในช่วงอัลตราไวโอเลตถึงรังสีช่วงเห็นได้ด้วยตามีค่าลดลงเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE

Miguel R. และคณะ [5] เปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA และ LDPE โดยรังสีอัลตราไวโอเลต ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการตากรังสี 0 ถึง 200 ชั่วโมงด้วยเครื่อง FT-IR แสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของหมู่คาร์บอนิลที่เกิดขึ้น ด้วยค่า Carbonyl Index พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีค่า Carbonyl Index อยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.45 และฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE มีค่า Carbonyl Index อยู่ในช่วง 0.01 และ 0.38 แสดงว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีการเพิ่มขึ้นของหมู่คาร์บอนิลเร็วกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE เพราะฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีหมู่คาร์บอนิลเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งหมู่คาร์บอนิลจะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างฟิล์มพลาสติกกับออกซิเจนในอากาศได้เร็วขึ้น

Norman S. และคณะ [32] ศึกษาการเสื่อมสภาพโดยความร้อนของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ด้วยเครื่อง FT-IR เตรียมตัวอย่างโดยละลาย EVA ในโทลูอีน และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันใน โครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกโดยดูจากค่าการดูดกลืนรังสี พบว่าเมื่อ EVA ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 180 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของ หมู่ Ketone หมู่ α, β -unsaturated Carbonyl หมู่ Conjugated Dienes และหมู่ Lactones ใน โครงสร้างโมเลกุลของ EVA แสดงว่าโครงสร้างโมเลกุลส่วนที่เป็นหมู่คาร์บอนิลเริ่มทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศแล้วเกิดเป็นหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ดังกล่าว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พอลิเมอร์

3.1.1.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ของบริษัท ไทยพอลิเอทิลีน จำกัด

3.1.1.2 เอทิลีนไวนิลอะซิเตด (EVA) ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดต่างกัน 3 ชนิด คือ ร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ของบริษัท ทีพีไอโพลีน จำกัด (มหาชน)

3.1.2 สารเติมแต่ง

3.1.2.1 สารป้องกันไฟฟ้าสถิต ชนิด CESA-stat 3105 P ของบริษัท Clariant Masterbatches (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.2 สารป้องกันการเกิดฝ้า ชนิด CESA-nofog 2102 P ของบริษัท Clariant Masterbatches (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2.3 สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต ชนิด CESA-light AE FOP 177 G ของบริษัท Clariant Masterbatches (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.3 สารเคมี

3.1.3.1 น้ำ ชนิด Deionized

3.1.3.2 ก๊าซเซอร์กอล ของบริษัท BDH จำกัด ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร

3.1.3.3 เอทิลีนไกลคอล ของบริษัท Fisher จำกัด ความเข้มข้นร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร

3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานทดลอง

ชื่อเครื่องมือ	บริษัทผู้ผลิต	ชื่อรุ่น
เครื่องผสม Bar Blender Twin Screw	Intro Engineering Co., Ltd.	PL20
เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคนเดียว	Haake Co., Ltd.	PolyDrive
เครื่องเป่าฟิล์ม	Lab Tech Engineering Co., Ltd	-

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ	บริษัทผู้ผลิต	ชื่อรุ่น
ชุดเครื่องทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต - Resistivity Adapter - High Voltage Supply - Electrometer	Keithley Co., Ltd. Keithley Co., Ltd. Keithley Co., Ltd.	Model 6105 Model 247 Model 617
เครื่องทดสอบ Contact Angle	Krüss Co., Ltd.	G-23
เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ (Universal Testing Machine)	LLOYD Instrument Co., Ltd.	LR 30K
เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer	Jenway Co., Ltd.	6405
เครื่อง FT-IR Spectrophotometer	Perkin Elmer Co., Ltd.	Spectrum GX
เครื่องทดสอบ Water Vapor Permeation	Lyssy Co., Ltd.	L90-4000
เครื่องจำลองการใช้งานกลางแจ้งที่สภาวะรังสี อัลตราไวโอเลตแบบเร่ง (Accelerated Weathering Tester)	ภาควิชาวิศวกรรม เคมี สจล.	-
อุปกรณ์วัดความหนา	Thickness Gauge	-
เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์	Diethelm Co., Ltd	HR-200

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การผสมพอลิเมอร์ และสารเติมแต่ง

3.3.1.1 फिल्मพลาสติกที่ใช้ทดลองได้จากการผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และไวนิลอะซิเตต ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 फिल्मพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ปริมาณไวนิลอะซิเตต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
LDPE	0
EVA1	3
EVA2	18
EVA3	28

3.3.1.2 พิล์มพลาสติกที่ใช้ทดสอบผลของปริมาณสารเติมแต่งต่อสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต สมบัติป้องกันเกิดฝ้า และการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลต โดยใช้อัตราส่วนผสมตามตารางที่ 3.3 และใช้ EVA ที่มี ปริมาณไวนิลอะซิเตด ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก การผสมใช้ Bar Blender Twin Screw ที่ 100 °ซ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที

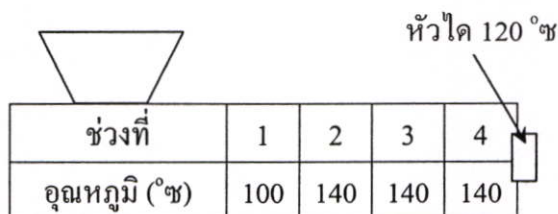
ตารางที่ 3.3 ส่วนผสมสารเติมแต่งที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	สารป้องกันไฟฟ้าสถิต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สารป้องกัน การเกิดฝ้า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สารเสถียรภาพทาง รังสีอัลตราไวโอเลต (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
EVAS05	0.5	-	-
EVAS1	1	-	-
EVAS2	2	-	-
EVAF2	-	2	-
EVAF4	-	4	-
EVAF6	-	6	-
EVAUV05	-	-	0.5
EVAUV1	-	-	1
EVAUV2	-	-	2

3.3.2 การเตรียมฟิล์มพลาสติก

การเตรียมฟิล์มพลาสติกมีขั้นตอนดังนี้

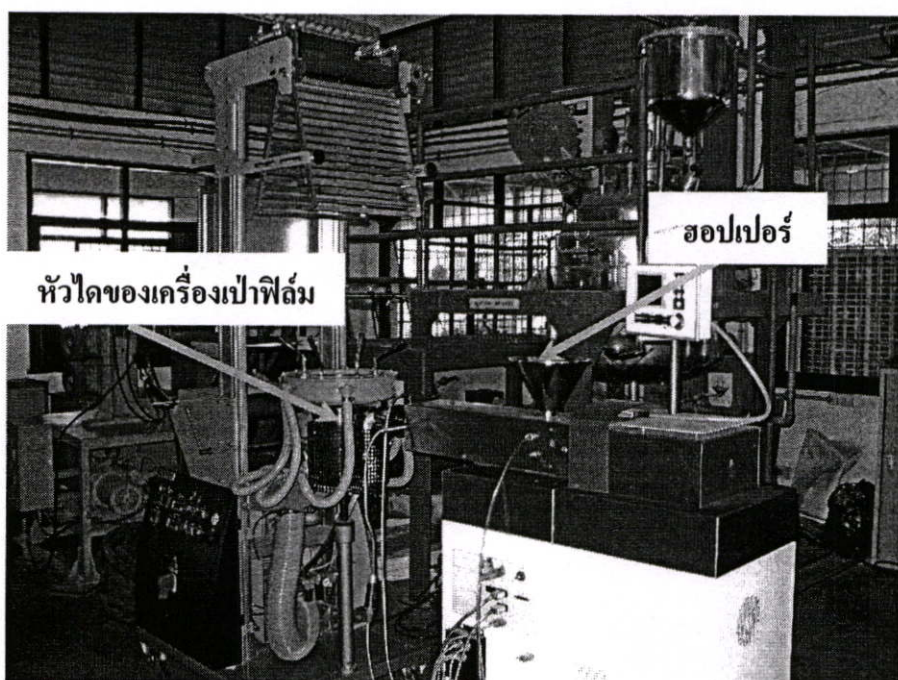
1. ตั้งอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดตามรูปที่ 3.1 เพื่อเตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด EVA และตั้งความเร็วรอบของสกรูที่ 40 รอบต่อนาที ขนาดของสกรูที่ใช้ คือ สัดส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 60



รูปที่ 3.1 อุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

ส่วนอุณหภูมิของเครื่องอัดรีดที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE คือ ในช่วงที่ 1 ถึง ช่วงที่ 4 จะใช้ที่อุณหภูมิ 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และที่ หัวใด 160 องศาเซลเซียส

2. อุณหภูมิเครื่องอัดรีดประมาณ 30 นาที ให้ได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้
3. เมื่อได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้ ชั่งเรซินพอลิเมอร์ประมาณ 3 กิโลกรัม ใส่ที่ฮอปเปอร์ ดังรูปที่ 3.2
4. สกรูจะขับพอลิเมอร์เหลวผ่านหัวใดออกมาเป็นเส้น และถูกดึงขึ้นในแนวตั้ง แล้วถูกเป่าให้พองเป็นลูกโป่ง (คล้ายหลอดคาแฟ) โดยปรับแรงลม และปรับความดันให้พอเหมาะ
5. หลังจากนั้นลูกโป่งจะถูกบีบ และดึงฟิล์มพลาสติกเข้าสู่ชุดม้วนเก็บฟิล์มพลาสติก



รูปที่ 3.2 เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก

3.3.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก

3.3.3.1 การทดสอบการส่องผ่านของรังสีช่วงอัลตราไวโอเล็ตและช่วงเห็นได้ด้วยตา ทดสอบร้อยละการส่องผ่านของรังสีในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ดังรูปที่ 3.3

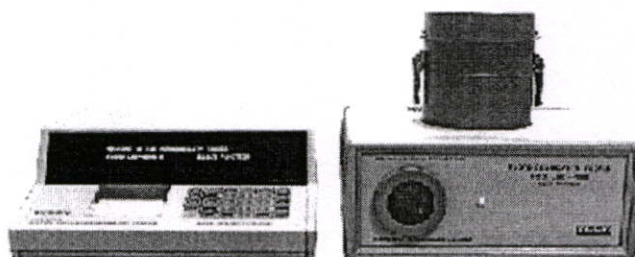


รูปที่ 3.3 เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างฟิล์มพลาสติกขนาด 1x3 เซนติเมตร
2. เปิดเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer อุ่นเครื่องประมาณ 20 นาที
3. เลือกการใช้งาน เป็นการตรวจสอบร้อยละการส่องผ่านของรังสี
4. ทำ Base Line โดยให้เครื่องวัดค่าร้อยละการส่องผ่านของรังสีแบบไม่ต้องใส่ฟิล์มพลาสติกลงในช่องตัวอย่าง
5. ทดสอบฟิล์มพลาสติกตัวอย่างละ 3 ครั้ง

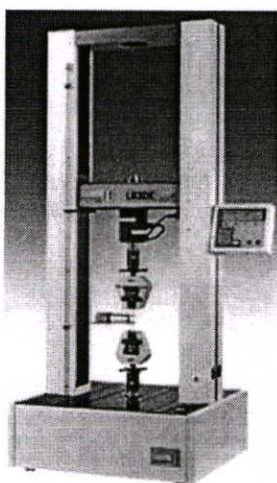
3.3.3.2 การทดสอบสมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติก ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 15106-1 ด้วยเครื่องทดสอบ Water Vapor Permeation Tester ดังรูปที่ 3.4 ที่ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90%



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบ Water Vapor Permeation [33]

3.3.3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล คือสมบัติความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength) และร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด (Elongation at Break) ทำการทดสอบทั้งแนวเป่าและแนวขวาง ตามมาตรฐาน ASTM D882 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ ดังรูปที่ 3.5

ตัวเครื่องประกอบด้วยส่วนจับตัวอย่างสองข้าง ข้างหนึ่งยึดกับที่ อีกข้างหนึ่งติดกับส่วนให้แรงที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นให้แรงดึง หรือเคลื่อนที่ลงให้แรงกดอัด ในอัตราเร็วที่สามารถควบคุมได้ โดยจะมีเครื่องวัดแรงต่ออยู่ทำหน้าที่วัดแรงที่ใช้ดึงหรือกดอัดตัวอย่าง ส่วนจับตัวอย่าง มีหลายชนิด จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง สามารถจับตัวอย่างได้ดีไม่เกิดการลื่นหลุด หรือทำให้ตัวอย่างบิดเบี้ยว โดยเฉพาะการทดสอบฟิล์มพลาสติกต้องใช้ตัวจับแบบที่ใช้หัวจับตัวอย่างที่ใช้ลมในการบีบจับ



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ [34]

ค่าที่ได้จากการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่

ก. ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด คำนวณได้จากแรงดึงที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัด ดังสมการที่ 3.1

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ σ คือ ความต้านทานแรงดึง (เมกะพาสคัล)
 F คือ แรงดึงภายนอกที่กระทำต่อวัสดุ (นิวตัน)
 A คือ พื้นที่หน้าตัด (มิลลิเมตร²)

ข. ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด คำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด (\% EB)} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ l_0 คือ ความยาวเดิม Gauge Length ของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

l คือ ความยาวที่ชิ้นงานสามารถยืดไปได้ ณ จุดขาด (มิลลิเมตร)

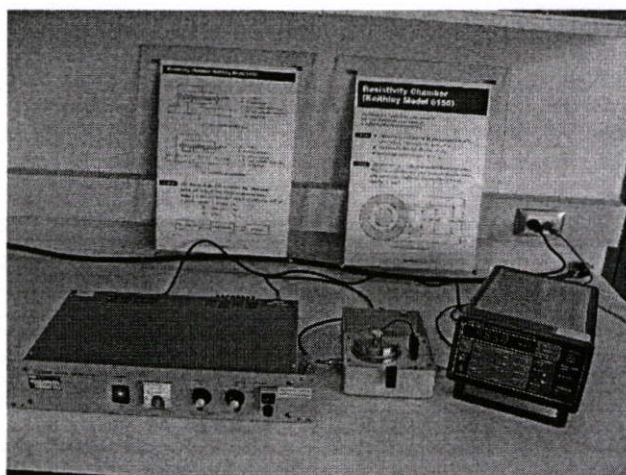
วิธีการทดสอบ

1. ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกตามแนวเป่าและแนวขวางเป็นรูปดัมเบล
 2. ตั้งโปรแกรมการทดสอบ คือ ความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที และอ่านค่าเมื่อดึงชิ้นงานขาด

3. จับยึดฟิล์มพลาสติกโดยใช้หัวจับตัวอย่างแบบลมให้แน่น

4. ทดสอบฟิล์มพลาสติกตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3.3.3.4 การทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตโดยวัดค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวด้วยเครื่องทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต ดังรูปที่ 3.6 ตามมาตรฐาน ASTM D247-92 ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ความต่างศักย์ในการทดสอบใช้ 500 โวลต์



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต

วิธีการทดสอบ

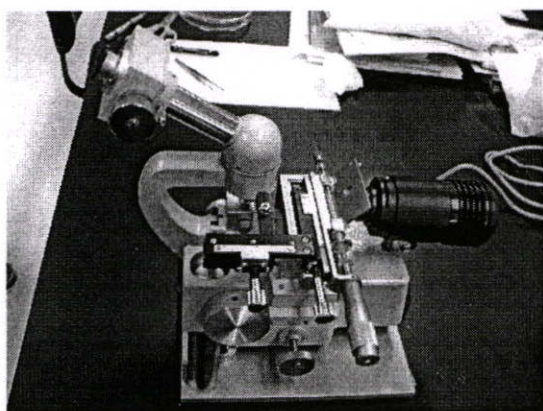
1. ตัดตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร และวางบนที่ใส่ตัวอย่าง
2. ปรับเลือกความต่างศักย์ที่ 500 โวลต์ และให้ความต่างศักย์ผ่านวัสดุตัวอย่างเป็นเวลา 60 วินาที และวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ผิววัสดุตัวอย่าง
3. นำค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้คำนวณค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว ดังสมการที่ 3.3

$$R = \frac{(53.4 \times V)}{I} \quad (3.3)$$

- เมื่อ R คือ ความต้านทานเชิงพื้นผิว (โอห์ม)
 V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับวัสดุ (โวลต์)
 I คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (แอมแปร์)

4. ทดสอบฟิล์มพลาสติกตัวอย่างละ 5 ครั้ง

3.3.3.5 การทดสอบสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้าบนฟิล์มพลาสติก วัดมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มพลาสติกกับหยดน้ำ โดยใช้เครื่องทดสอบ Contact Angle ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบ Contact Angle

วิธีการทดสอบ

1. ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกขนาด 1x1 นิ้ว
2. นำฟิล์มพลาสติกวางบนแผ่นกระจกสไลด์
3. นำแผ่นกระจกสไลด์วางบนเครื่องทดสอบ Contact Angle
4. หยดน้ำลงบนผิวฟิล์มพลาสติก

5. วัดค่ามุมสัมผัสนฟิล์มพลาสติกตัวอย่างละ 10 ครั้ง

3.3.3.6 การจำลองการใช้งานกลางแจ้งที่สภาวะรังสีอัลตราไวโอเลตแบบเร่ง (Accelerated Weathering Tester) สภาวะในการทดสอบคือความยาวคลื่นแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด A (Ultraviolet Type A: UVA) 340 นาโนเมตร ความเข้มในการแผ่รังสีอัลตราไวโอเลต 0.72 W/m^2 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D5208

วิธีการทดสอบ

1. ตัดตัวอย่างฟิล์มพลาสติกขนาด 6×6 นิ้ว
2. ตากตัวอย่างฟิล์มพลาสติกในเครื่องจำลองการใช้งานกลางแจ้งที่สภาวะรังสีอัลตราไวโอเลตแบบเร่ง เก็บตัวอย่างทุก 24, 48, 72, 108, 120, 132, 144, 168, 336 และ 504 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างไปทดสอบการเสื่อมสภาพของฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่อง FT-IR อุณหภูมิประมาณ 20 นาที ก่อนใช้งาน และทดสอบสมบัติเชิงกลตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3.3.3.7 การคำนวณค่า Carbonyl Index (CI) [5] นำตัวอย่างฟิล์มพลาสติก มาตรวจวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลโดยตรวจสอบสเปกตรัมโดยใช้เครื่อง FT-IR ในช่วง Wave Number $400\text{-}4,000 \text{ cm}^{-1}$ เพื่อนำค่าสเปกตรัมคำนวณค่า Carbonyl Index โดยคำนวณจากอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนรังสีของหมู่ Carbonyl ที่ Wave Number $1,738 \text{ cm}^{-1}$ กับค่าการดูดกลืนรังสีของหมู่ Methylene C-H Stretching ที่ Wave Number $2,850 \text{ cm}^{-1}$ เพราะ Methylene ทำให้เกิดหมู่ Carbonyl ในฟิล์มพลาสติก ซึ่งค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติก EVA คำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$CI = \frac{A_{1,738}}{A_{2,850}} \quad (3.4)$$

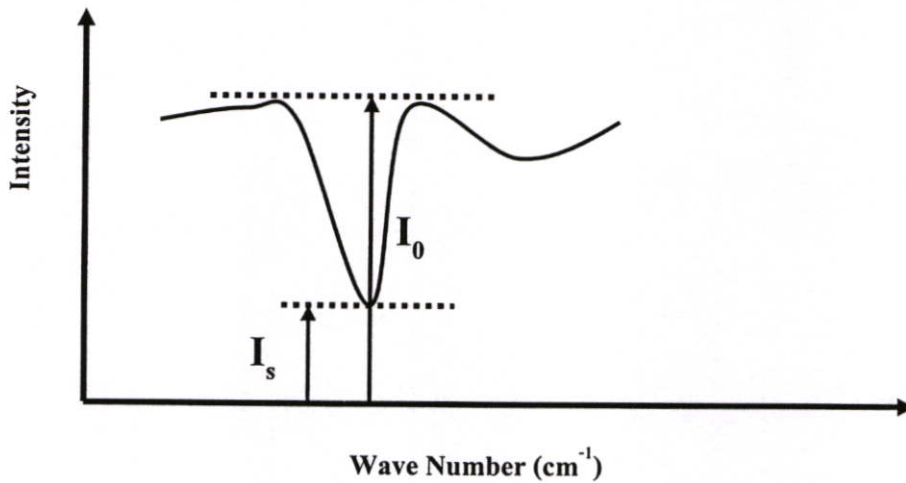
เมื่อ $A_{1,738}$ คือ ค่าการดูดกลืนรังสีของหมู่ Carbonyl ที่ Wave Number $1,738 \text{ cm}^{-1}$ (LDPE ต้องใช้ค่าการดูดกลืนรังสีที่ $1,710 \text{ cm}^{-1}$)

$A_{2,850}$ คือ ค่าการดูดกลืนรังสีของหมู่ Methylene C-H Stretching ที่ Wave Number $2,850 \text{ cm}^{-1}$

คำนวณค่าการดูดกลืนรังสีจากสมการที่ 3.5

$$\text{Absorbance } (A) = \log (I_0/I_s) \quad (3.5)$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบตัวอย่างฟิล์มพลาสติก
 I_s คือ ความเข้มของรังสีที่ผ่านตัวอย่างฟิล์มพลาสติก



รูปที่ 3.8 การหาค่า I_0 และ I_s ของสเปกตรัม [35]

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างฟิล์มพลาสติกขนาด 2x4 เซนติเมตร
2. เปิดเครื่อง FT-IR อุณหภูมิประมาณ 20 นาที
3. เลือกการทำงานเป็นการตรวจสอบร้อยละการส่องผ่านของรังสี
4. ทดสอบฟิล์มพลาสติกตัวอย่างละ 10 ครั้ง

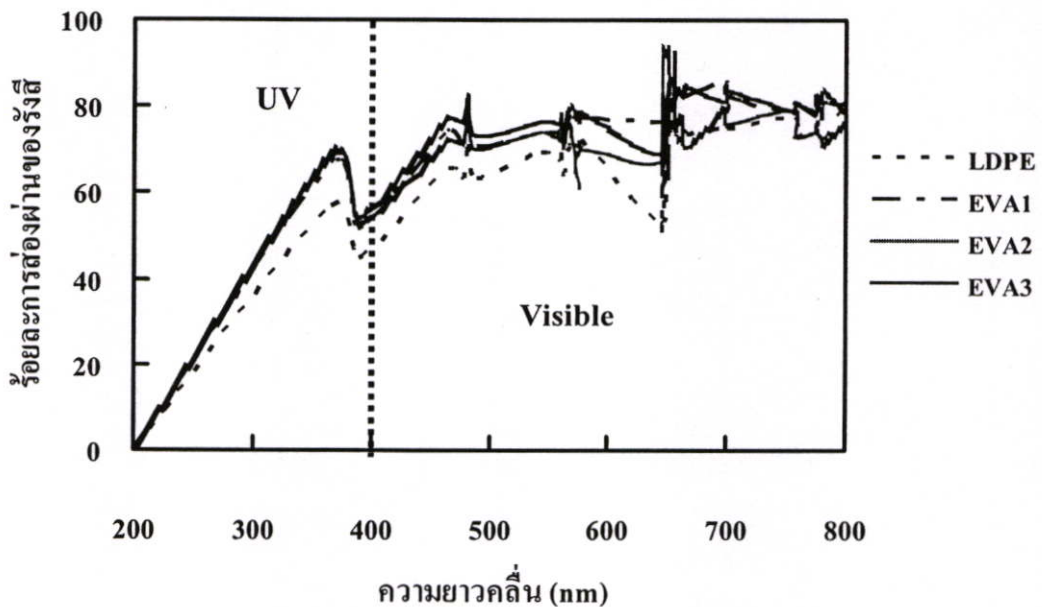
บทที่ 4

ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผล

4.1 ผลของปริมาณไวโตนอะซิเตตต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก

4.1.1 ผลการทดสอบการส่องผ่านของรังสีของฟิล์มพลาสติก

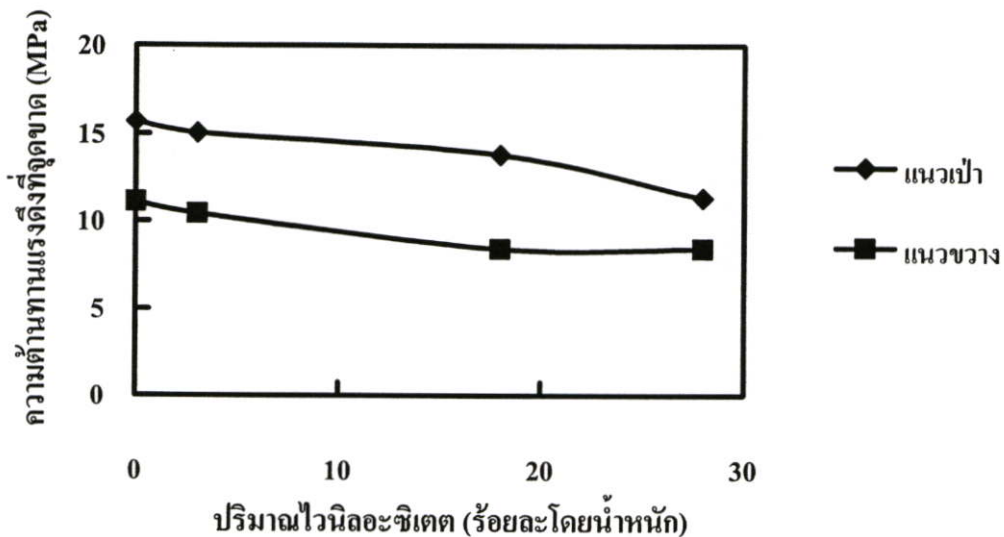
ผลการทดสอบการส่องผ่านของรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ต ถึงช่วงเห็นได้ด้วยตา (Visible Light, 400 ถึง 800 nm) ของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่มีปริมาณไวโตนอะซิเตตร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ความหนาของฟิล์มพลาสติก 80 ถึง 110 ไมครอน พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีร้อยละการส่องผ่านของรังสีที่ประมาณ 60 ถึง 80 และพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีร้อยละการส่องผ่านของรังสีมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ดังรูปที่ 4.1 เพราะฟิล์มพลาสติกชนิด EVA เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบอสัณฐานทำให้มีสมบัติในการส่องผ่านของรังสีได้ดี โดยเฉพาะช่วงรังสีเห็นได้ด้วยตา ซึ่งเป็นผลดีต่อพืชเพราะเป็นช่วงที่พืชใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงได้ จึงทำให้พืชมีการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น [9]



รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณไวโตนอะซิเตตต่อร้อยละการส่องผ่านของรังสีโดยทดสอบในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีช่วงเห็นได้ด้วยตา

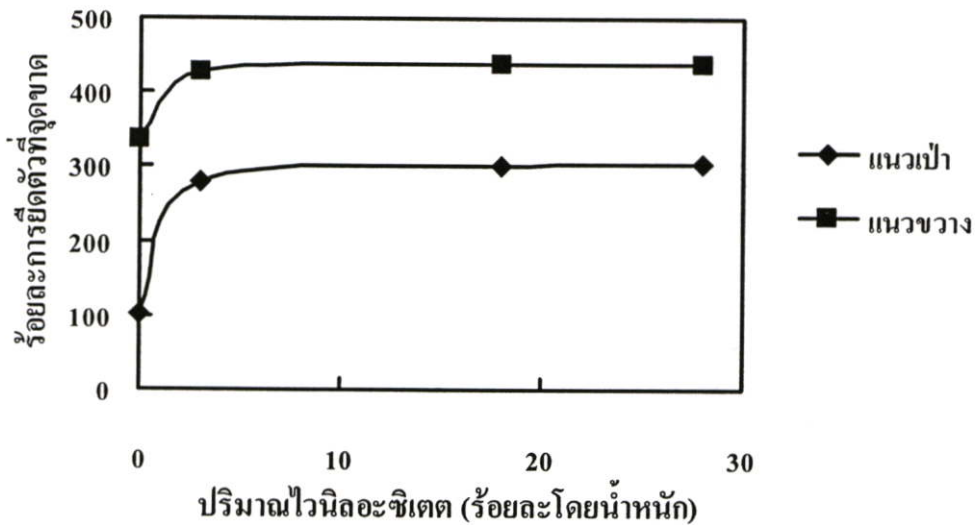
4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ความหนา 80 ถึง 110 ไมครอน แสดงในรูปที่ 4.2 โดยตัวอย่างของฟิล์มพลาสติกเป็นรูปคัมเบล 2 แนว คือ แนวเป่า (Machine Direct, MD) และในแนวขวาง (Transverse Direct, TD) ตามมาตรฐานการทดสอบฟิล์มพลาสติก ASTM D882 พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตด ร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ตามแนวเป่า มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดที่ 15 ถึง 11 MPa กล่าวได้ว่าปริมาณไวโนลอะซิเตดมากขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดลดลงเป็นเพราะฟิล์มพลาสติกที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตดมากจะมีโครงสร้างแบบอสัณฐาน ซึ่งพอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจึงทำให้ความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณไวโนลอะซิเตดเพิ่มขึ้น ส่วนฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตด ร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนักตามแนวขวาง มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดที่ 11 ถึง 8 MPa และพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวเป่ามีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวขวาง เพราะแรงดึงตามแนวเป่า ทำให้ฟิล์มพลาสติกมีการจัดเรียงตัวของผลึกเป็นระเบียบมากขึ้นจึงทำให้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวเป่ามีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวขวาง [36]



รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณไวโนลอะซิเตดต่อความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

ผลการทดสอบการยึดตัวที่จุดขาด ของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ความหนา 80 ถึง 110 ไมครอน แสดงดังรูปที่ 4.3 ตัวอย่างของฟิล์มพลาสติก จะต้องตัดเป็นรูปดัมเบล 2 แนว คือ แนวเป่า และแนวขวาง ตามมาตรฐานการทดสอบฟิล์มพลาสติก ASTM D882 พบว่าค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณไวโนลอะซิเตด และฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนักตามแนวเป่ามีค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาด 280 ถึง 300 ส่วนฟิล์มพลาสติก EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนักตามแนวขวาง มีค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาด 430 ถึง 440 การที่ร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดมีค่ามากขึ้นตามปริมาณไวโนลอะซิเตดเป็นเพราะฟิล์มพลาสติกที่มีไวโนลอะซิเตดมากจะมีโครงสร้างโมเลกุลแบบอสัณฐานจึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้นตามปริมาณไวโนลอะซิเตด และการที่ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวขวางมีค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวเป่าเป็นเพราะในแนวเป่าได้รับแรงดึงขณะการผลิตจึงทำให้โครงสร้างโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบขึ้นทำให้ฟิล์มพลาสติกมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นผลึกมากขึ้น ดังนั้นเมื่อนำตัวอย่างฟิล์มพลาสติกมาดึงทดสอบตามแนวเดียวกับแนวเป่าจะทำให้มีการยึดตัวได้น้อย

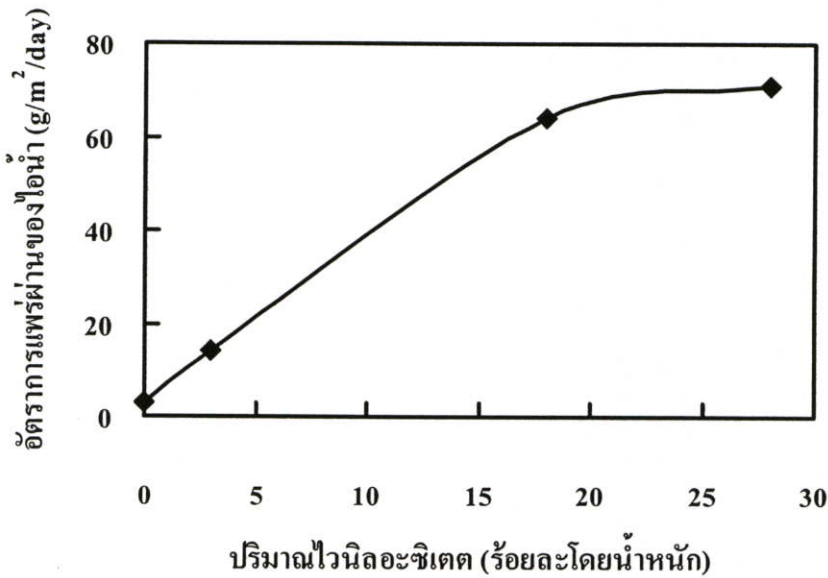


รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณไวโนลอะซิเตดต่อร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

โดยทั่วไปฟิล์มพลาสติกที่นำมาใช้งานที่สภาวะอากาศที่มีลมพัดตลอดเวลา เช่น พื้นที่บริเวณเชิงเขา พื้นที่ที่เป็นทะเลทราย ฟิล์มพลาสติกควรมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดประมาณ 20 MPa และค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาด 450 [37] ดังนั้นจึงสามารถนำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ไปประยุกต์ใช้ในสภาวะดังกล่าวได้

4.1.3 ผลการทดสอบการแพร่ผ่านของไอน้ำ

ผลการทดสอบการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ทดสอบที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% และความดันบรรยากาศ ความหนาของฟิล์มพลาสติกที่นำมาทดสอบ 80 ถึง 110 ไมครอน พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ 14 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน และพบว่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำจะเริ่มคงที่ที่ 65 ถึง 70 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อมีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 18 และ 28 โดยน้ำหนักตามลำดับดังรูปที่ 4.4



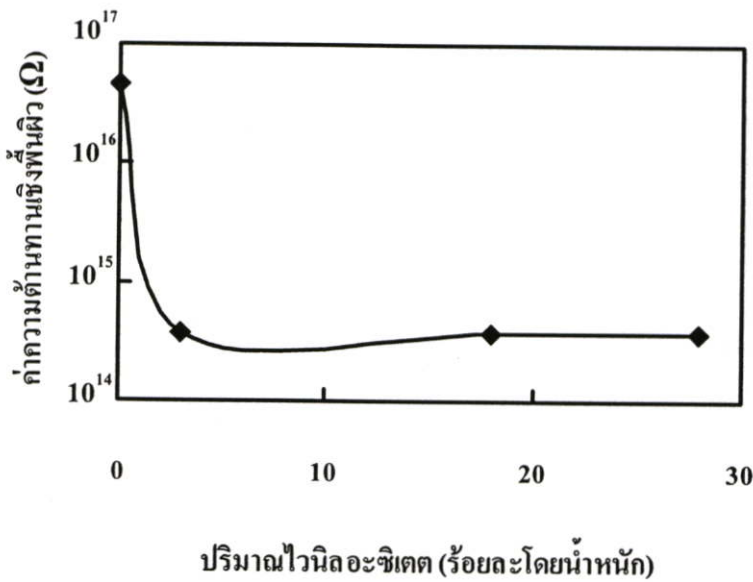
รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตดต่ออัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

เนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์ออสฐาน ในส่วนที่เป็นไวนิลอะซิเตด จึงทำให้ฟิล์มพลาสติกมีช่องว่างพอให้ไอน้ำผ่านได้ ซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบการหายใจของพืช เพราะถ้าโรงเรือนทำด้วยฟิล์มพลาสติกที่ยอมให้ไอน้ำผ่านได้จะทำให้ภายในโรงเรือนไม่เกิดการหนาแน่นของก๊าซหรือไอน้ำมากเกินไป และสมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำบรรจุภัณฑ์สำหรับพืชผัก ได้อีกด้วย

4.1.4 ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต

ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.5 ความหนาของฟิล์ม 80 ถึง 110 ไมครอน จากการทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตโดยวัดค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก

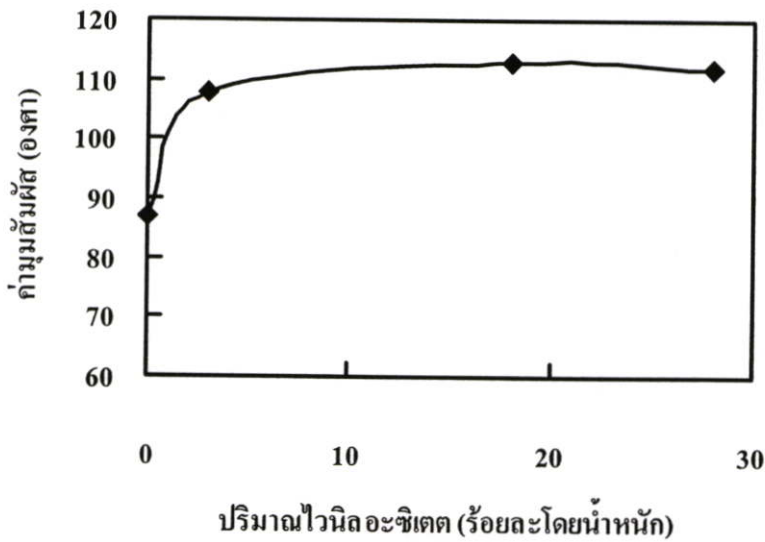
มีค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว 10^9-10^{14} โอห์ม ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ของวัสดุป้องกันไฟฟ้าสถิต [14] และพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวน้อยกว่า ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ถึง 100 เท่า ดังรูปเนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีหมู่ไวโนลอะซิเตตซึ่งมีความเป็นขั้ว สามารถจับความชื้นจากอากาศได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้ที่ผิวของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีความชื้น จึงมีสภาพการนำไฟฟ้า เมื่อนำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ไปทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต ค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวจะลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการทำโรงเรือนเพาะปลูกเพราะ บริเวณผิวฟิล์มจะไม่มีกระแสของประจุไฟฟ้า จึงลดการเกาะของฝุ่นบนฟิล์มพลาสติก



รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณไวโนลอะซิเตตต่อค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

4.1.5 ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้าบนผิวฟิล์มพลาสติก

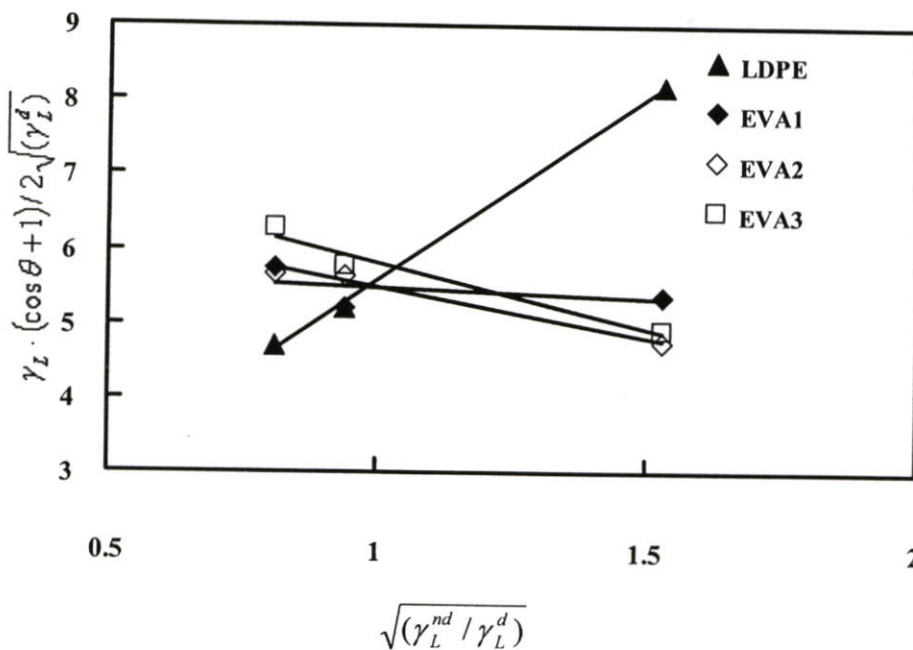
การทดสอบสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้าบนผิวฟิล์มพลาสติกโดยวัดมุมสัมผัสระหว่างผิวฟิล์มพลาสติกกับหยดน้ำ ใช้หยดน้ำปริมาตร 5 ไมโครลิตร และทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตตร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก มีค่ามุมสัมผัสประมาณ 110° ซึ่งมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่มีค่ามุมสัมผัสประมาณ 90° ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่ามัมสัมพัทธ์ของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

การที่ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีลักษณะหยดน้ำเป็นหยดอย่างชัดเจนหรือเกิดฝ้าได้น้อยกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE เพราะหมู่ไวนิลอะซิเตตซึ่งมีสมบัติความเป็นขั้ว สามารถจับความชื้นจากอากาศโดยรอบฟิล์มพลาสติกด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นผลให้ผิวของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีความชื้น ทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของหมู่ไวนิลอะซิเตตกับโมเลกุลของน้ำ ซึ่งทิศทางของแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเป็นทิศทางดึงดูดสู่ศูนย์กลาง จึงทำให้เกิดเป็นหยดน้ำอย่างชัดเจน ในงานวิจัยนี้จึงทดสอบเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของมัมสัมพัทธ์กับค่าแรงดึงผิว เพื่อทดสอบผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่าแรงดึงผิวของฟิล์มพลาสติก โดยทำการทดสอบแบบ Multiple Liquids Graphical Method คือ นำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ไปวัดค่ามัมสัมพัทธ์ระหว่างผิวฟิล์มพลาสติก กับของเหลว 3 ชนิด คือ น้ำ กลีเซอรอล และเอทิลีนไกลคอล จากนั้นนำค่ามัมสัมพัทธ์ มาคำนวณค่าแรงดึงผิวของฟิล์มพลาสติกโดยเขียนกราฟที่แกน Y คือ $\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1) / 2\sqrt{\gamma_L^d}$ และแกน X คือ $\sqrt{\gamma_L^{nd} / \gamma_L^d}$ ดังรูปที่ 4.7

จากกราฟเส้นตรงในรูปที่ 4.7 จะได้ค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^d}$ จากจุดตัดแกน Y และค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}}$ จากค่าความชัน (ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 สมการที่ 2.12) และนำมาคำนวณ ค่าแรงดึงผิวของฟิล์มพลาสติกตามสมการที่ 2.9 ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.1

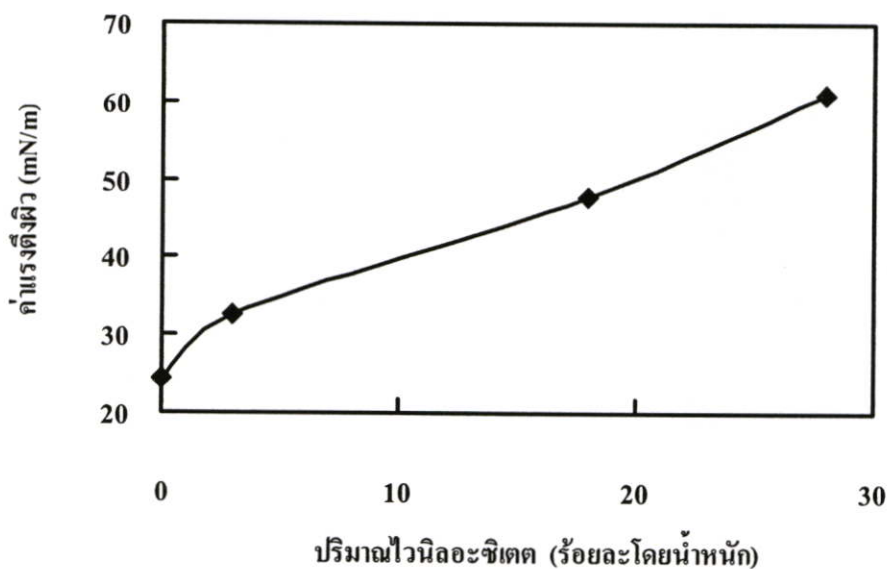


รูปที่ 4.7 การคำนวณค่าแรงตึงผิวด้วยวิธี Multiple Liquids Graphical Method

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตดต่อค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก (ทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

ชนิดฟิล์มพลาสติก	$\sqrt{\gamma_{SV}^d}$ (mN/m)	$\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}}$ (mN/m)	γ_{SV} (mN/m)
LDPE	4.9	0.6	24.4
EVA1	5.7	-0.3	32.6
EVA2	6.8	-1.3	47.9
EVA3	7.6	-1.8	61.0

พบว่าค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่คำนวณด้วยวิธี Multiple Liquids Graphical Method มีค่ามากกว่าค่าของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และพบว่าค่าแรงตึงผิวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไวนิลอะซิเตด ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีสมบัติความเป็นขั้วทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของหมู่ไวนิลอะซิเตดกับโมเลกุลของน้ำมากขึ้นตามปริมาณไวนิลอะซิเตด ทำให้เกิดเป็นหยดน้ำอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตตต่อค่าแรงดึงผิว

จากการทดลองในส่วนนี้ สรุปว่า EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตตร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีสมบัติทางกายภาพเพียงพอต่อการนำไปใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูก และยังมีราคาถูกกว่า EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตตมาก

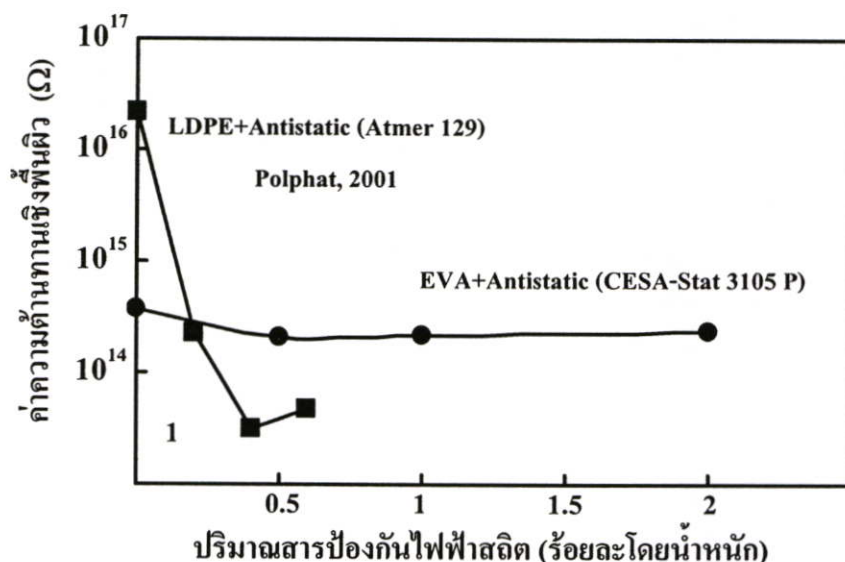
4.2 ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติก

4.2.1 ผลของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต

การทดสอบผลของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตใช้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตตร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และผสมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิด CESA-Stat 3105 P ปริมาณร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก เช่นเดียวกับที่บริษัท Clariant Masterbatches จำกัด [15] ใช้สารป้องกันไฟฟ้าสถิตชนิดนี้ ทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตกับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ความหนาของฟิล์มพลาสติกที่ใช้ทดสอบ 80 ถึง 110 ไมครอน ผลการทดสอบสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตโดยวัดค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว พบว่าสารป้องกันไฟฟ้าสถิตร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนักแทบไม่มีผลทำให้ค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกที่ไม่ผสมสารป้องกันไฟฟ้าสถิต ดังรูปที่ 4.9 เพราะว่าปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตที่เติมเข้าไปในนั้นมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับความมีขี้ของ EVA จะเห็นว่าค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของพลพัฒน์ [12] กับการทดสอบพลาสติกฟิล์มชนิด LDPE พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE จะต้องผสมสารป้องกันไฟฟ้าสถิต เพื่อให้มีสมบัติการป้องกัน

ไฟฟ้าสถิต จึงทำให้ฟิล์มพลาสติกชนิดนี้มีต้นทุนในการผลิตสูง และมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อน

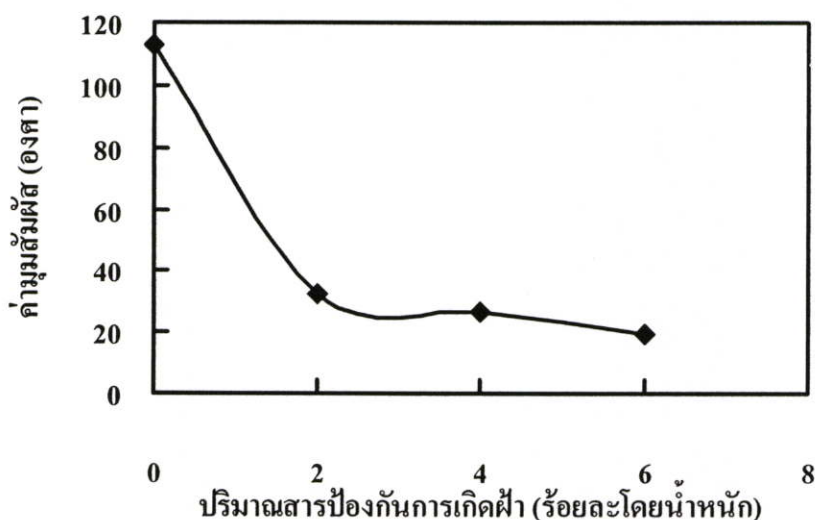
ขึ้น



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว

4.2.2 ผลของสารป้องกันการเกิดฝ้าต่อสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้าบนผิวฟิล์มพลาสติก

การทดสอบผลของสารป้องกันการเกิดฝ้าต่อค่ามุมสัมผัสโดยใช้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวนิลอะซิเตดร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และผสมของสารป้องกันการเกิดฝ้าชนิด CESA-Nofog 2102 P ปริมาณร้อยละ 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณเช่นเดียวกับที่บริษัท Clariant Masterbatches จำกัด [15] ใช้สารป้องกันการเกิดฝ้าชนิดเดียวกันนี้ทดสอบสมบัติการป้องกันการเกิดฝ้ากับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และใช้ปริมาตรหยดน้ำในการทดสอบ 5 ไมโครลิตร ที่อุณหภูมิบรรยากาศ พบว่าฟิล์มพลาสติกที่ผสมสารป้องกันการเกิดฝ้ามีผลทำให้มุมสัมผัสมีค่าลดลงจาก 113° (ไม่ผสมสารป้องกันการเกิดฝ้า) เหลือ 33° (ผสมสารป้องกันการเกิดฝ้าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก) และพบว่าฟิล์มพลาสติกที่มีปริมาณสารป้องกันการเกิดฝ้าร้อยละ 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนัก จะมีค่ามุมสัมผัสอยู่ระหว่าง 30° ถึง 20° ดังรูปที่ 4.10 การที่มุมสัมผัสลดลง เป็นเพราะสารป้องกันการเกิดฝ้าที่ผสมอยู่ในพอลิเมอร์แพร่จากด้านในของฟิล์มพลาสติกมาสู่ผิว ซึ่งสารป้องกันการเกิดฝ้าที่อยู่บริเวณผิวซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำสามารถดักจับความชื้นจากรอบ ๆ ทำให้ฟิล์มพลาสติกมีความชื้น ความตึงผิวของฟิล์มพลาสติกมีค่ามากขึ้น น้ำที่ควบแน่นเป็นหยดจึงกระจายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ



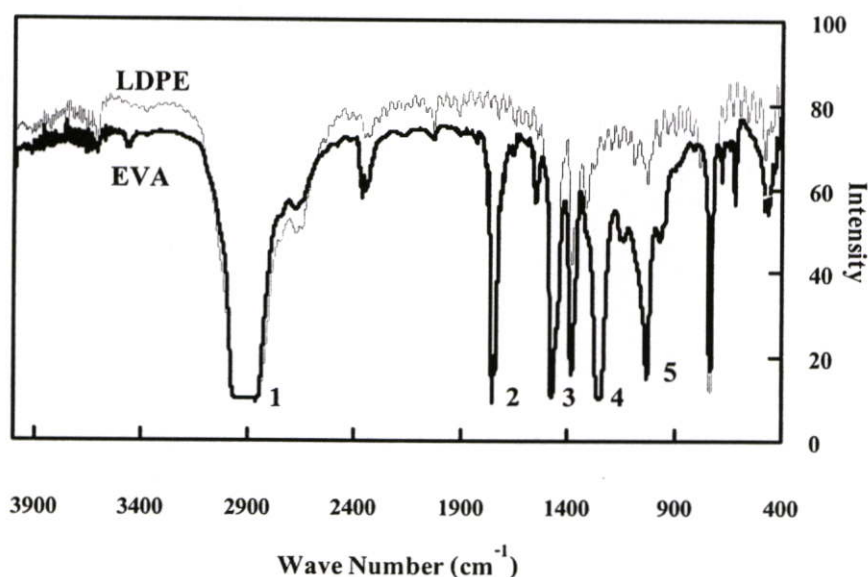
รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณสารป้องกันการเกิดไฟฟ้าต่อค่ามัมสัมพัทธ์

4.3 ผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติก

4.3.1 ผลของการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติก

จากผลการทดลองการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันภายใน โครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่ไม่ผ่านการดากรังสีอัลตราไวโอเล็ตโดยเครื่อง FT-IR พบว่า ลักษณะสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA แตกต่างกับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE หลายตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.11 โดยตำแหน่งของสเปกตรัมที่เห็นอย่างชัดเจน คือ ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งแสดงว่า โครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีหมู่คาร์บอนิล แต่ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ไม่มีพิกในตำแหน่งนี้

โดยทั่วไปในการทำการทดสอบการเสื่อมสภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะให้ความสำคัญในตำแหน่งพิกที่แสดงหมู่คาร์บอนิลเพราะฟิล์มพลาสติกส่วนใหญ่เมื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศแล้วจะเกิดหมู่คาร์บอนิล หรืออีกนัยหนึ่งฟิล์มพลาสติกประเภทที่มีหมู่คาร์บอนิลเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างโมเลกุล จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย เนื่องจากหมู่คาร์บอนิลจะเป็นตัวเร่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้านำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยเครื่อง FT-IR จะเห็นพิกมีค่าการดูดกลืนแสงมากในตำแหน่ง Wave Number ที่ $1,738 \text{ cm}^{-1}$ [5] ซึ่งทำให้ฟิล์มพลาสติกเสื่อมสภาพได้เร็วขึ้น และนอกจากพิกในตำแหน่งหมู่คาร์บอนิลแล้วจากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ยังมีพิกในตำแหน่งอื่นดังแสดงในตารางที่ 4.2

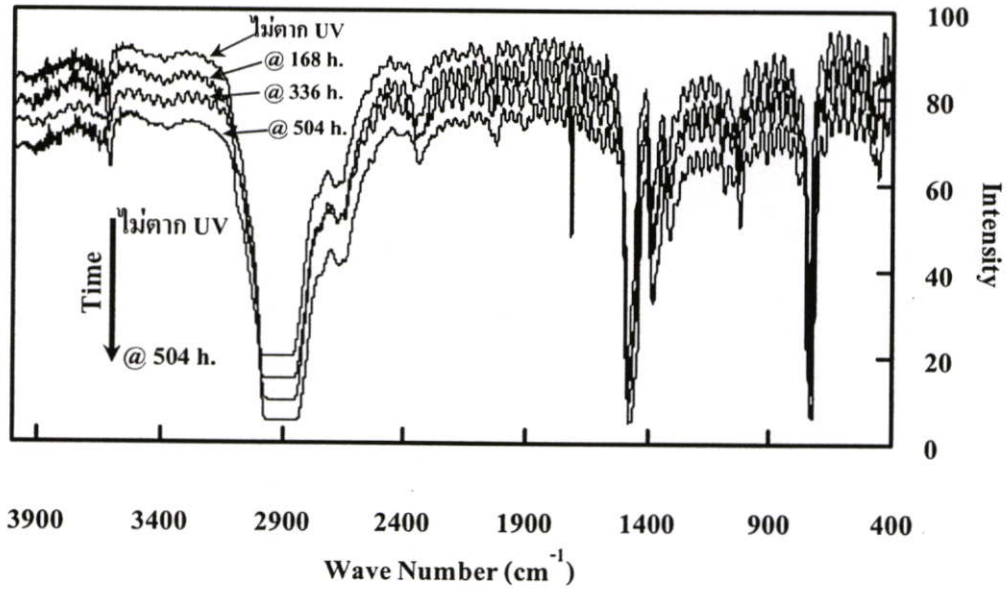


รูปที่ 4.11 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่ไม่ตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ตารางที่ 4.2 ชื่อเรียกหมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่ง Wave Number ต่าง ๆ ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA [32]

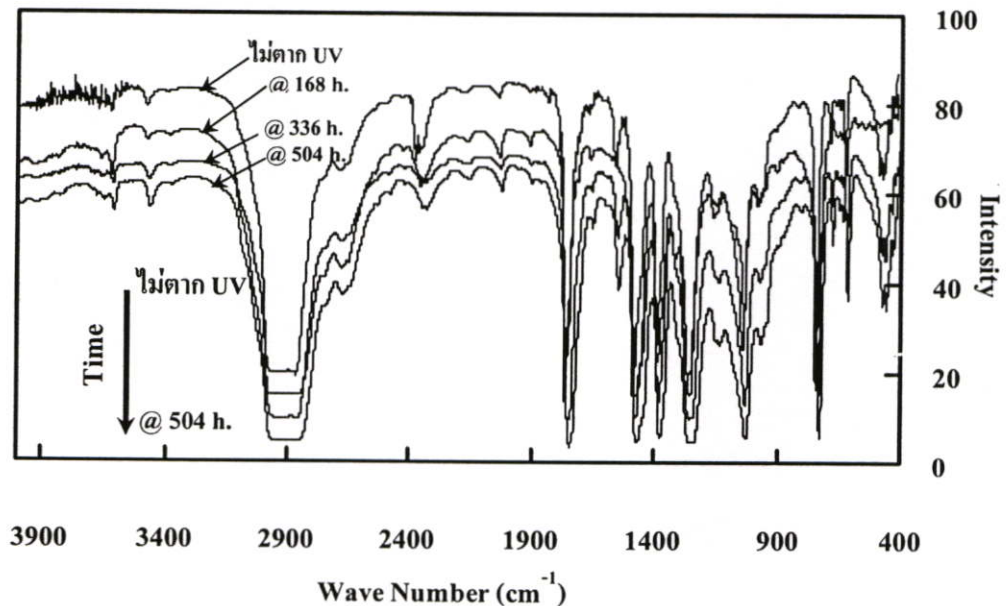
ตำแหน่งที่	หมู่ฟังก์ชัน	Wave Number (cm ⁻¹)
1	Methylene, C-H Stretching	2,900-2,850
2	Aliphatic Ester, C=O Stretching	1,738
3	CH ₂ CH ₃ Bending	1,465
4	Aliphatic Ester, C-O Stretching	1,230
5	C-O Stretching O-CH	1,020

การทดสอบการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA โดยนำไปตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด A ที่มีความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิบรรยากาศ เป็นเวลา 504 ชั่วโมง พบว่าสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ไม่ได้ตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต กับสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต เป็นเวลา 504 ชั่วโมง มีความเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังรูปที่ 4.12 เพราะโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ไม่มีส่วนประกอบของหมู่คาร์บอนิลหรือพันธะคู่ จึงมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยาก



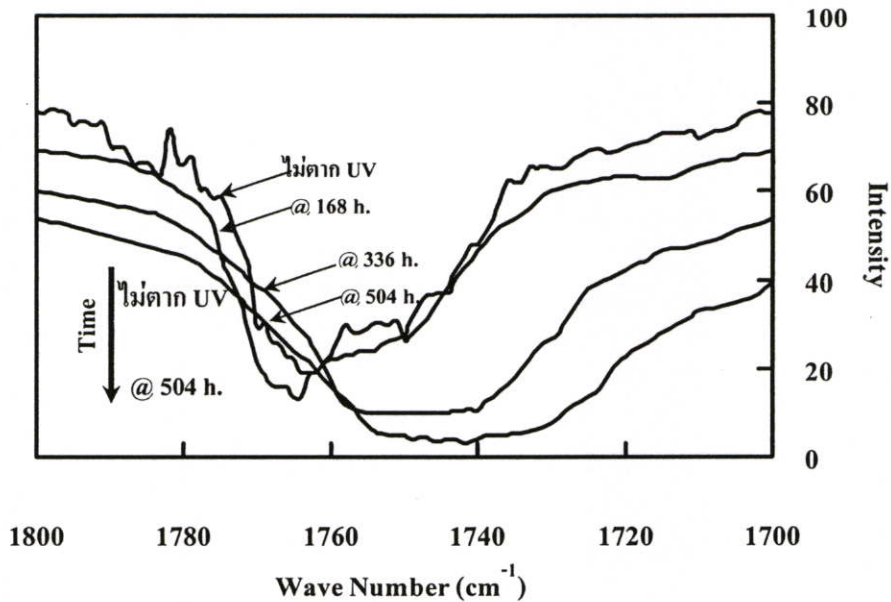
รูปที่ 4.12 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE

ส่วนการทดสอบการนำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ตากรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นเวลา 504 ชั่วโมง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัม ดังรูปที่ 4.13 โดยเฉพาะบริเวณตำแหน่ง Wave Number ที่ $1,738 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของหมู่คาร์บอนิลซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการพิจารณาเรื่องการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลต



รูปที่ 4.13 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

รูปที่ 4.14 จะแสดงสเปกตรัมในช่วง Wave Number ที่ 1,700 ถึง 1,800 cm^{-1} เห็นชัดเจนว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตเป็นเวลา 504 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้น เนื่องจากฟิล์มพลาสติกดูดกลืนพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพราะมีหมู่คาร์บอนิลในฟิล์มพลาสติกชนิด EVA เป็นตัวเร่งให้ฟิล์มพลาสติกเสื่อมสภาพและทำให้เกิดหมู่คาร์บอนิลมากขึ้น จึงทำให้มีพื้นที่ใต้กราฟในช่วง Wave Number ที่ 1,700 ถึง 1,800 cm^{-1} มากขึ้น



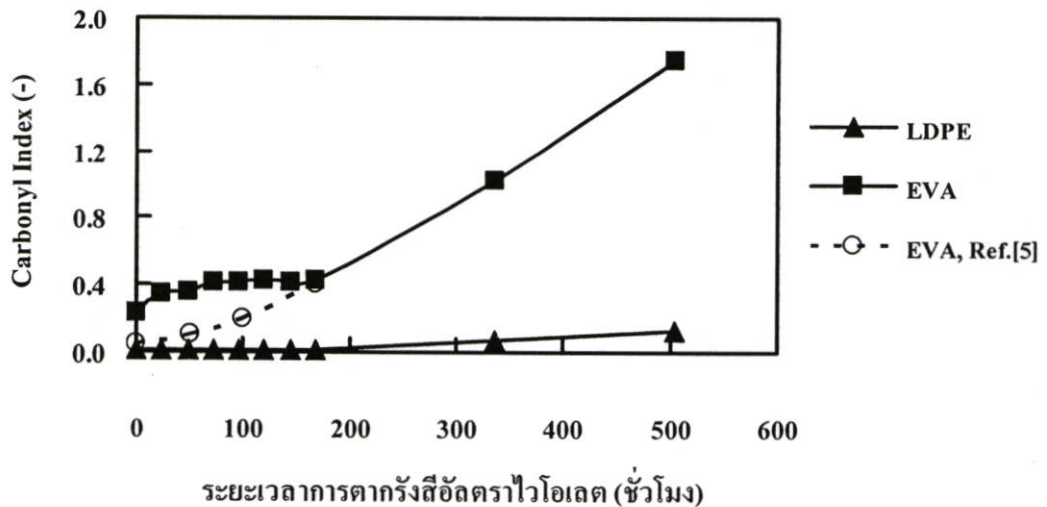
รูปที่ 4.14 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ในช่วง Wave Number ที่ 1,700 ถึง 1,800 cm^{-1}

ดังนั้นจากการทดสอบการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ตดังผลการทดลองข้างต้น เห็นว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีการเสื่อมสภาพทางแสงได้เร็ว และถ้าฟิล์มพลาสติกชนิดนี้ไปใช้ในงานกลางแจ้งจะทำให้อายุการใช้งานของฟิล์มพลาสติกสั้น

โดยทั่วไปการทดสอบการเสื่อมสภาพของฟิล์มพลาสติกโดยรังสีอัลตราไวโอเล็ต จะคำนวณค่า Carbonyl Index ที่เกิดขึ้นหลังจากการนำฟิล์มพลาสติก EVA ไปตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต [5] จากอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนรังสีของหมู่ Carbonyl ที่ Wave Number 1,738 cm^{-1} (LDPE ใช้ Wave Number 1,710 cm^{-1}) โดยเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ Methylene ที่ Wave Number 2,850 cm^{-1} ซึ่งค่า Carbonyl Index สามารถบอกถึงการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นในฟิล์มพลาสติกได้ ผลการทดสอบและการคำนวณแสดงในตารางที่ ค.1 และสเปกตรัมจากเครื่อง FT-IR แสดงดังรูปที่ ค.1 ถึง ค.50

จากการนำฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA มาตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตชนิด A ที่อุณหภูมิบรรยากาศ เป็นเวลา 504 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีค่า Carbonyl Index

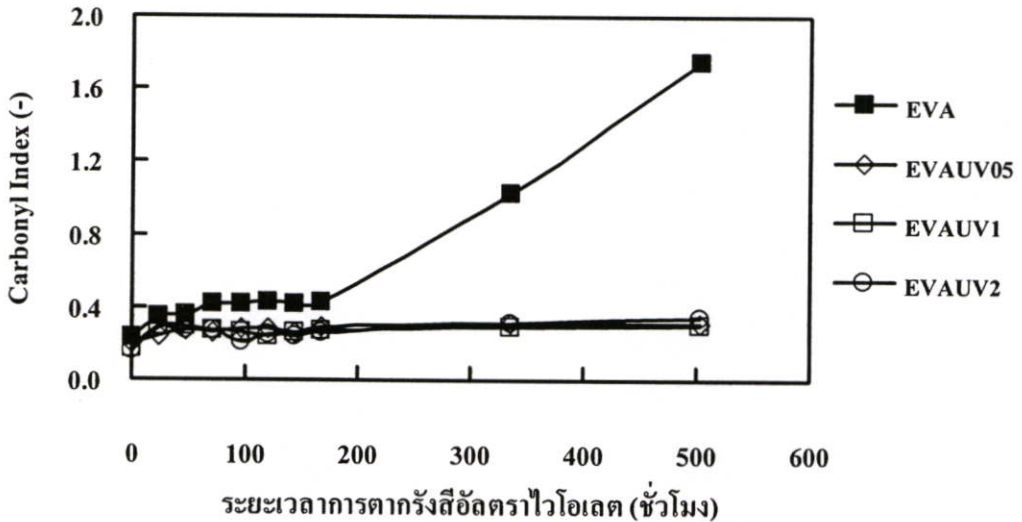
จากการนำฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA มาตากรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด A ที่อุณหภูมิบรรยากาศ เป็นเวลา 504 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีค่า Carbonyl Index เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว คือ เพิ่มขึ้นจาก 0.34 ถึง 1.74 ดังรูปที่ 4.15 สาเหตุที่ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ไม่ตากรังสีอัลตราไวโอเลต มีค่า Carbonyl Index 0.22 เกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของ EVA มีหมู่คาร์บอนิลอยู่และเมื่อฟิล์มพลาสติก EVA ได้รับพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเลต จะกระตุ้นทำให้ฟิล์มพลาสติกทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งมีผลให้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีปริมาณคาร์บอนิลเกิดมากขึ้นอย่างรวดเร็ว คือ มีค่า Carbonyl Index ถึง 1.74 ในส่วนฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE พบว่า ค่า Carbonyl Index มีค่าเพิ่มขึ้น น้อยมาก คือ มีค่า 0.006 ถึง 0.13 เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ไม่มี หมู่คาร์บอนิล ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างฟิล์มพลาสติกกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดขึ้นได้ช้า เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก EVA



รูปที่ 4.15 ผลของระยะเวลาในการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

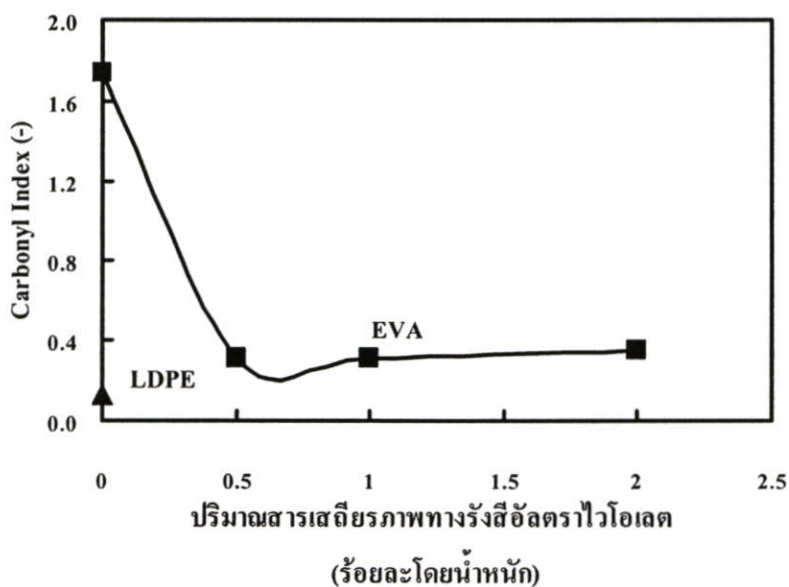
เนื่องจากค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติก EVA ที่ตากรังสีอัลตราไวโอเลตจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นถ้านำฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ไปใช้งานกลางแจ้ง จะทำให้มีอายุการใช้งานสั้น ดังนั้นควรผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตที่นำมาทดสอบเป็นประเภท Hindered Amine Light Stabilizers (HALS) ชนิด CESA-Light AE FOP 177 G ปริมาณร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณตามบริษัท Clariant Masterbatches จำกัด กับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE [15] แล้วตากรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด A ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร ที่อุณหภูมิบรรยากาศ ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง ได้ผลดังรูปที่ 4.16 พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตมีค่า Carbonyl Index ลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งชนิดนี้จะ

ดูดกลืนพลังงานจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้ และนอกจากนี้สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตยังช่วยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในฟิล์มพลาสติกด้วย ทำให้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสงได้ยากขึ้น ทำให้ฟิล์มพลาสติกมีความคงทน และมีอายุการใช้งานกลางถึงนานขึ้น



รูปที่ 4.16 ผลของการเติมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

ส่วนการทดสอบผลของปริมาณของสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง พบว่า การผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตปริมาณร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ค่า Carbonyl Index มีค่าใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.17 เนื่องจากสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ต HALS มีกลไกการทำงานแบบเป็นวงจร คือ เมื่อสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตกำจัดอนุมูลอิสระแล้ว จะทำให้ฟิล์มพลาสติกมีความเสถียร และยังสามารถได้อนุมูลประเภทไฮดรอกซิลามีนอีเทอร์ด้วย ซึ่งอนุมูลอิสระชนิดนี้มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่ได้ และกลไกการทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดไปจนกว่าสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะเสื่อมสภาพ ดังนั้นปริมาณการเติมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเล็ตจึงไม่มีผลต่อค่า Carbonyl Index

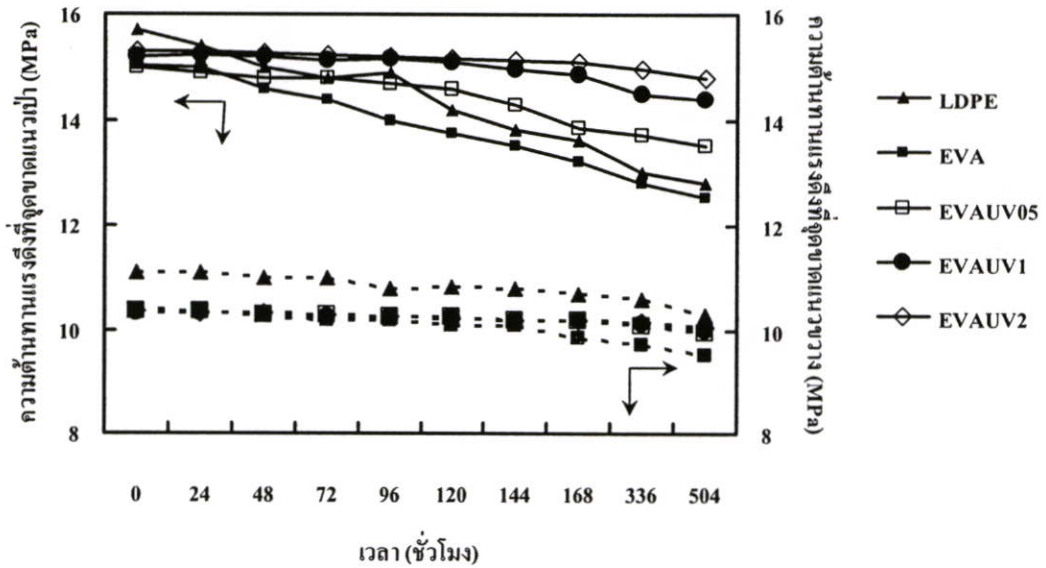


รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตต่อค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติกที่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต

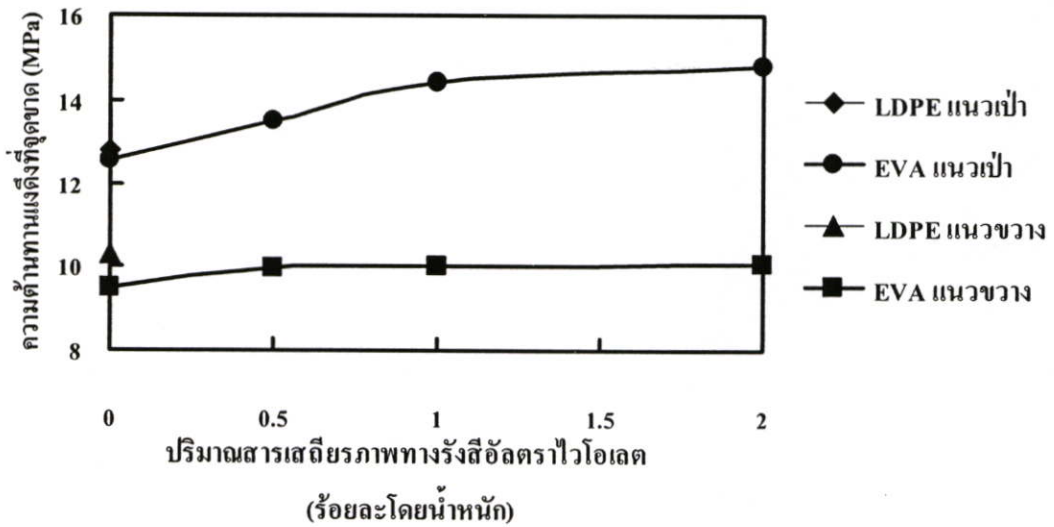
จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด A มีความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร เป็นระยะเวลา 504 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิบรรยากาศ พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE มีความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA และทั้งฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดลดลงตามระยะเวลาของการตากรังสีอัลตราไวโอเลตทั้งในแนวเป่าและแนวขวาง ดังรูปที่ 4.18 เนื่องจากฟิล์มพลาสติกเสื่อมสภาพจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยที่มีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวเป่า มีความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติก EVA ตามแนวขวาง เนื่องจากในการผลิตฟิล์มพลาสติกจะได้รับแรงดึงตามแนวเป่า และจะค่อยๆ เย็นตัวอย่างช้าๆ จึงทำให้โครงสร้าง โมเลกุลภายในฟิล์มพลาสติกมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ และพบว่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดในแนวเป่าของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA จะมีการเปลี่ยนแปลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติกตามแนวขวาง เพราะโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกในแนวเป่าจะมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบกว่าฟิล์มพลาสติกตามแนวขวาง



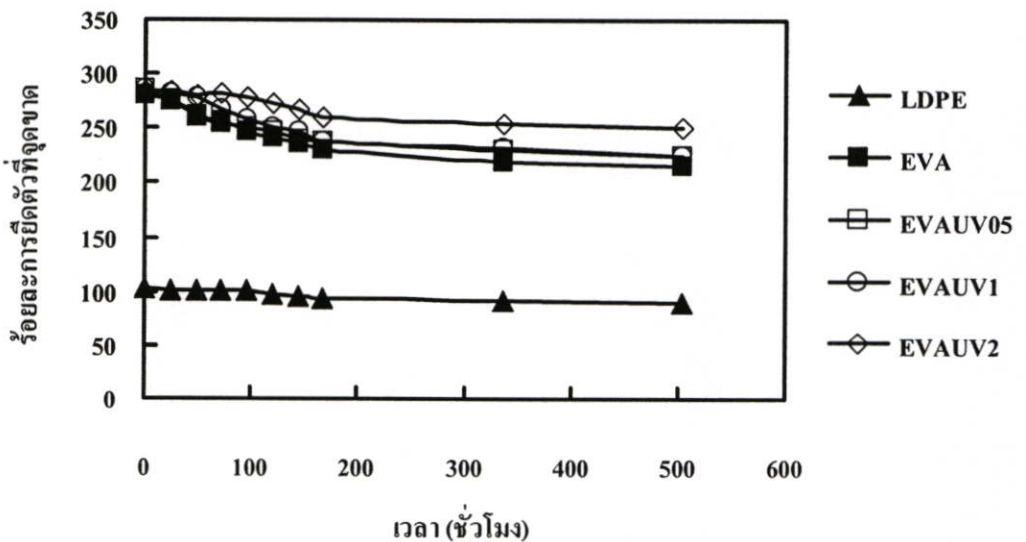
รูปที่ 4.18 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

การทดสอบผลของสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตที่ผสมในฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ปริมาณร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการทดสอบ 504 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวเป้า พบว่าสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตมีส่วนช่วยทำให้ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ไม่ได้ใส่สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลต ดังรูปที่ 4.19 เนื่องจากสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลต จะดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต และช่วยกำจัดอนุมูลอิสระภายในฟิล์มพลาสติกไว้ ทำให้ฟิล์มพลาสติกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ยากขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ตามแนวขวาง พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าค่อนข้างคงที่ เนื่องจากฟิล์มพลาสติกตามแนวขวางไม่ได้รับแรงดึงในกระบวนการผลิต ทำให้โครงสร้างโมเลกุลภายในฟิล์มพลาสติกไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก คือ ยังมีการจัดเรียงตัวแบบอสัณฐาน ดังนั้นเมื่อนำฟิล์มพลาสติกตามแนวขวางไปทดสอบความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

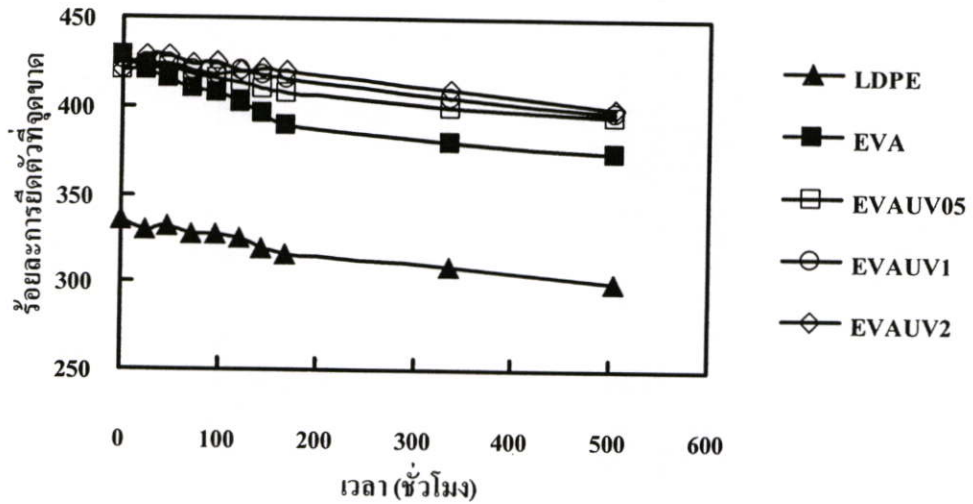


รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตต่อความต้านทานแรงดึงที่จุดขาด ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง

การวัดค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA ที่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นระยะเวลา 504 ชั่วโมง พบว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดมากกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ทั้งตามแนวเป่า ดังรูปที่ 4.20 และตามขวาง ดังรูปที่ 4.21 เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน จึงมีสมบัติการยืดตัวได้ดี แต่ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA จะมีแนวโน้มลดลง คือ 280 ถึง 215 (ตามแนวเป่า) และ 428 ถึง 375 (ตามแนวขวาง) เพราะฟิล์มพลาสติกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสงจึงเกิดการเสื่อมสภาพ

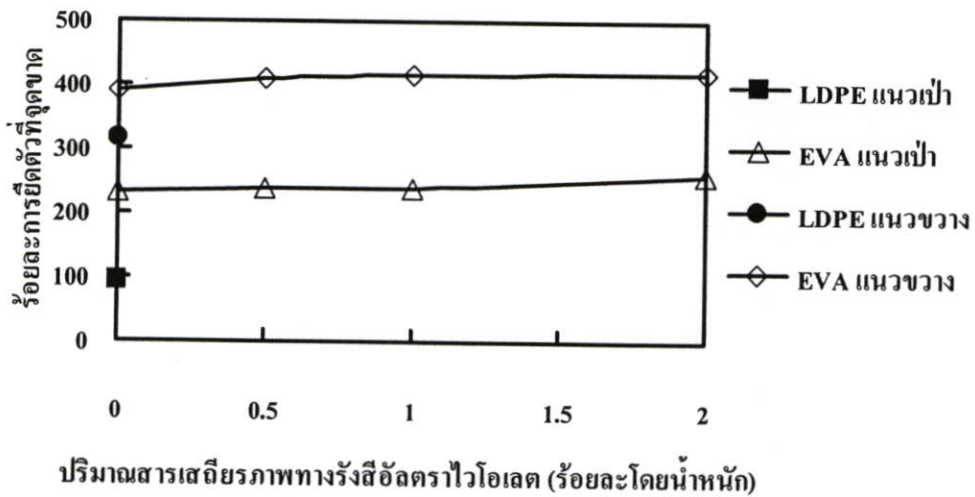


รูปที่ 4.20 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกตามแนวเป่า



รูปที่ 4.21 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกตามแนวขวาง

การเติมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดน้อยมาก คือ มีค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดในแนวเป่าและแนวขวางอยู่ในช่วง 250 และ 400 ตามลำดับดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตต่อร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตด ร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก เพื่อนำมาใช้คลุมโรงเรือนเพาะปลูกแทนฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่มีข้อจำกัดด้านสมบัติการส่องผ่านของรังสี สมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต และการป้องกันการเกิดฝ้า สรุปผลดังนี้

5.1.1 ผลของปริมาณไวโนลอะซิเตดต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก

ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตด ร้อยละ 3, 18 และ 28 โดยน้ำหนัก มีสมบัติการส่องผ่านของรังสี สมบัติการแพร่ผ่านของไอน้ำผ่านได้ดี ซึ่งเป็นผลดีต่อการสังเคราะห์แสง และระบบการแลกเปลี่ยนก๊าซของพืช และยังมีสมบัติเป็นฟิล์มพลาสติกชนิดป้องกันไฟฟ้าสถิต และป้องกันการเกิดฝ้า ซึ่งสมบัติทั้งสองประการนี้จะเป็นผลดีต่อพืชคือ ฟิล์มพลาสติกชนิดนี้จะมีฝุ่นมาเกาะน้อยเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ใช้กันอยู่มากในปัจจุบัน และเหมาะสมกับการปลูกพืชในพื้นที่ที่มีอากาศหนาว หรือพื้นที่ที่มีความชื้นมาก เพราะมักจะเกิดปัญหาเรื่องการเกิดฝ้าที่ผิวฟิล์ม ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA1 ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตด ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก มีสมบัติด้านต่างๆ ดังกล่าวที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเป็นฟิล์มพลาสติกคลุมโรงเรือนเพาะปลูก และมีความคงทน แข็งแรง และฟิล์มพลาสติกชนิด EVA1 มีราคาถูกกว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA2 และ EVA3 ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตดร้อยละ 18 และ 28 โดยน้ำหนักตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA เหมาะสมกับการนำไปใช้งานในสภาพอากาศหนาวหรือมีความชื้นสูง แต่การสร้างโรงเรือนจะต้องมีลักษณะเป็นหน้าจั่ว (เทลาด) เพื่อจะทำให้หยดน้ำที่เกิดขึ้นไหลลงตามแนวแรงโน้มถ่วงของโลก

5.1.2 ผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตและการป้องกันการเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติก

ในฟิล์มพลาสติกชนิด EVA1 การผสมสารป้องกันไฟฟ้าสถิต ชนิด CESA-Stat 3105 P ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก และสารป้องกันการเกิดฝ้าชนิด CESA-Nofog 2102 P ร้อยละ 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนัก พบว่าสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิตแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ไม่ได้เติมสารป้องกันไฟฟ้าสถิตเนื่องจากความเป็นขั้วของสารป้องกันไฟฟ้าสถิตมีค่าน้อยกว่าความเป็นขั้วของ EVA สำหรับการผสมสารป้องกันการเกิดฝ้า ปริมาณมากขึ้น พบว่าค่ามุมสัมผัสจะลดลง ซึ่งน้ำที่เคยควบแน่นเป็นหยดก็จะถูกกระจายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบอยู่บนผิวฟิล์มพลาสติก การผสมสารเติมแต่งทั้งสองชนิดจะทำให้

การควบคุมกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มพลาสติกยกขึ้นเพราะมีพอลิเมอร์บางส่วนไม่หลอมละลายหรือไม่เข้ากัน จึงไม่เหมาะสมกับลักษณะงานแบบที่จะขึ้นรูปอย่างมาต่อเนื่องเป็นเนวยาว และอาจทำให้เกิดความเสียหายของงานบางช่วง ซึ่งเมื่อนำไปใช้กับกระบวนการผลิตจริงจะต้องมีความยุ่งยากมาก และนอกจากนี้การที่เติมสารเติมแต่งจะต้องมีขั้นตอนในการผสม ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและเกิดต้นทุนในการผลิตฟิล์มพลาสติกเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองสรุปว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA1 มีสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตและป้องกันการเกิดฝ้าเพียงพอต่อการนำไปใช้งานคลุมโรงเรือนเพาะปลูกและมีราคาถูก แต่ฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ถ้านำไปใช้งานกลางแจ้งจะมีอายุการใช้งานที่สั้น เพราะโครงสร้างโมเลกุลของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มีหมู่คาร์บอนิลเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตได้รวดเร็ว ทำให้ฟิล์มพลาสติกเสื่อมสภาพ ดังนั้นผู้วิจัยนำเสนอการผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตในฟิล์มพลาสติกชนิด EVA เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน

5.1.3 ผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพโดยรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มพลาสติก

การผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตชนิด CESA-Light AE FOP 177 G ลงไปร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ในฟิล์มพลาสติกชนิด EVA1 และนำฟิล์มพลาสติกไปตากรังสีอัลตราไวโอเลต เป็นเวลา 504 ชั่วโมง พบว่า สารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตได้ เพราะสารเติมแต่งประเภทนี้จะดูดกลืนพลังงานแสง และสามารถกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในฟิล์มพลาสติกอีกด้วย จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ลดลง ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกเมื่อผสมสารเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตจะลดลง ส่วนค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดขาดของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA มากขึ้น และค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดมีค่าคงที่ ทำให้ฟิล์มพลาสติกใช้งานได้นานขึ้น

จากการทดลองสรุปว่าฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่มีปริมาณไวโนลอะซิเตด ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ที่ผสมสารเพิ่มเสถียรภาพทางรังสีอัลตราไวโอเลตปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก มีสมบัติเหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นฟิล์มพลาสติกสำหรับคลุมโรงเรือนเพาะปลูกได้และฟิล์มพลาสติกชนิดที่ได้มีความคงทนต่อการใช้งานกลางแจ้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรทำการศึกษาสารเติมแต่งประเภทสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน

5.2.2 ควรศึกษาผลการทดสอบการเสื่อมสภาพ โดยรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มพลาสติกประมาณ 1 ปี เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกลอย่างชัดเจน

5.2.3 ควรนำฟิล์มพลาสติกไปทดสอบในสภาวะจริง โดยเฉพาะสภาพภูมิอากาศหนาว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pere P. and Jondi B. **Plastics and Agriculture**. ExxonMobil Chemical. 2001.
- [2] Hydroponics Center, **พลาสติก**, ฉบับที่ 6, 2548. หน้า 9-10
- [3] American Society for Plastics. "Plasticulture come of age.", **Plastics Additives & Compounding**, Vol.1, 2005. pp. 16-19.
- [4] "Today Polymer Price." [Online]. Available: <http://www.tpipetro.net/Price/Price.php>.
March. 2006.
- [5] Miguel R. V., Chistopher M. L., Norman S. A., Michele E. and Eusebio F. "Degradation and stabilization of poly(ethylene-stat-vinyl acetate): 1- Spectroscopic and rheological examination of thermal and thermo-oxidative degradation mechanisms.", **Polymer Degradation and Stability**, Vol.91, 2006. pp. 154-164.
- [6] ปิยนุช เขี้ยวทัพ. "พลาสติกเพื่อการเกษตร." **พลาสติก**. ฉบับที่ 6, 2548. หน้า 11-14
- [7] เสาวรภย์ บัวเล็ก อนงค์นุช จันทรรัตน์เจริญ สืบศักดิ์ นวจินดา จิราภรณ์ ชัยอยู่ดี และณิศ กิรีติบุตร, การพัฒนาแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อใช้ประโยชน์ในการเกษตร:การศึกษาอิทธิพลของฟิล์มสีที่มีต่อพืช และแมลง, **เทคโนโลยีวัสดุ**, ฉบับที่ 22, 2544. หน้า 18-27
- [8] Vibagroup. "Masterbatches show way forward for agricultural films.", **Plastics Additives & Compounding**, July/August, 2002. pp. 20-22.
- [9] "High transparency displaying the best crop." [Online]. Available:
<http://www.pati.it/s/procotti/shede/patilux.pdf>. 2006.
- [10] "DuPont™ Elvex®." [Online]. Available: http://www2.dupont.com/Elvex/en_US/index.html. 2006.
- [11] Edenbaum J. **Plastic Additives and Modifiers Handbook**. London: Chapman & Hall. 1996.
- [12] พลพัฒน์ รวมเจริญ. "การศึกษาเพื่อพัฒนาพลาสติกฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้านไฟฟ้าสถิต และด้านการเกิดฝ้าเพื่อใช้ในการเกษตร." วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2544.
- [13] "Antistatic Agent (Mode of action)." [Online]. Available:
<http://www.specialchem4polymer.com/tc/Antistatic-Agents/index.aspx?id=2704>.
2006.
- [14] อสิรา เฟื่องฟูชาติ. "การคายประจุไฟฟ้าสถิต." **พลาสติก**. ฉบับที่ 5, 2544. หน้า 77-81

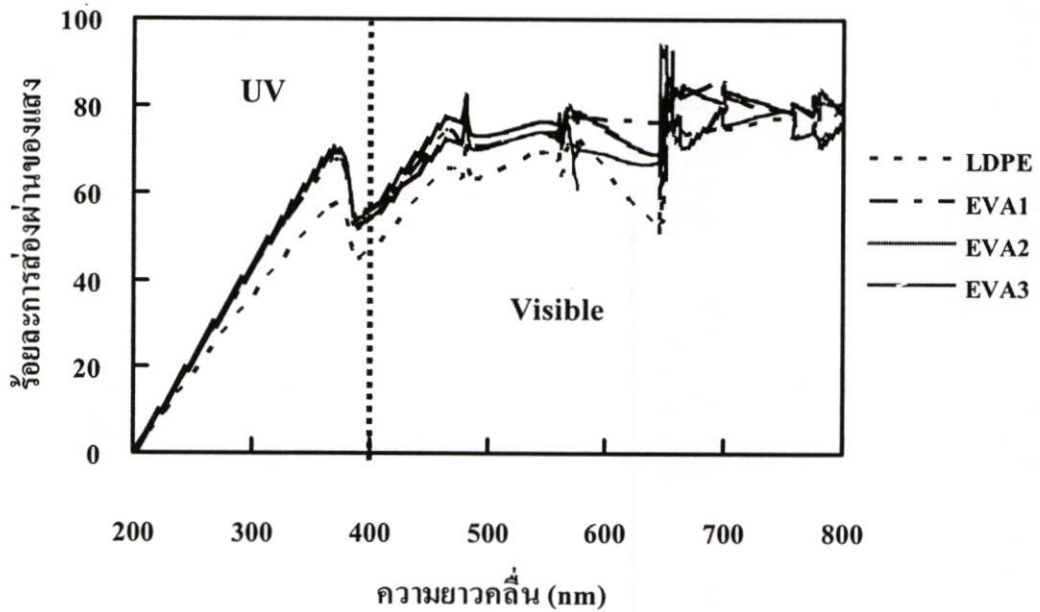
- [15] “**CESA®Product Line.**” [Online]. Available:
<http://www.clariant.co.th/852569CE004AEBD9/vwWebpagesByID/c1256D2E004FDC2585256DE40057ABA8>. 2006.
- [16] พลพัฒน์ รวมเจริญ. “สารป้องกันการเกิดฝ้า.” **พลาสติก**. ฉบับที่ 4, 2542. หน้า 53-57
- [17] “**Antifog Agent (Consequences of fog formation).**” [Online]. Available:
<http://www.specialchem4polymer.com/tc/Antifog-Agents/index.aspx?id=2504>. 2006.
- [18] “**Antifog Agent (Principle of action).**” [Online]. Available:
<http://www.specialchem4polymer.com/tc/Antifog-Agents/index.aspx?id=2505>. 2006.
- [19] Noel Boulos, “Polyglycerol esters demonstrate superior antifogging properties for films.”, **Plastic Additives & Compounding**, Vol.3, 2005. pp. 30-33.
- [20] สมศักดิ์ วรมงคลชัย, **สารปรับแต่งพอลิเมอร์**, สำนักพิมพ์บุ๊กเน็ต, 2547. หน้า 32-46
- [21] “**UV/Light Stabilizers.**” [Online]. Available:
<http://www.specialchem4polymers.com/tc/UV-light-Stabilizers/index.aspx?id=2266>.
 2006
- [22] “**Lowilite77 Hindered Amine Light Stabilizer.**”
<http://www.e1.greatlakes.com/pdf/datasheet/Lowilite%2077%20ds.PDF>. 2006
- [23] “**Surface and Interfacial Tension.**” [Online]. Available:
http://www.ksvinc.com/surface_tension1.htm. 2005.
- [24] Marie C. M., Joel H. and Benilde J.V., “On the Surface Free Energy of PVC/EVA Polymer Blends: Comparison of Different Calculation Methods.”, **Journal of Colloid and Interface Science**, Vol.208, 1998. pp. 319-328.
- [25] บรรเลง ศรีนิล, **เทคโนโลยีพลาสติก**, สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546. หน้า 117-121
- [26] “**Extrusion of thermoplastic.**” [Online]. Available: <http://in.geocities.com/bolurpc/figlinks/explantblofilm.jpg>. 2006.
- [27] M. Scoponi , S. Cimmino and M. Kaci, “Photo-stabilisation mechanism under natural weathering and accelerated photo-oxidative conditions of LDPE films for agricultural applications.”, **Polymer**, Vol.41, 2000. pp. 7969-7980.
- [28] Markus C., “Permanent antistatic additives: New developments.”, **Plastics Additives & Compounding**, Vol.7, 1999. pp. 20-26.
- [29] P.K. Roy, “Effect of benzyl and cobalt stearate on the aging of low-density polyethylene films.”, **Polymer Degradation and Stability**, Vol.90, 2005. pp. 577-585.

- [30] Ahmed A., K.M. Idriss Ali and S.M. Mofti, "UV stability and radiation-crosslinking of linear low density polyethylene and low density polyethylene for greenhouse applications.", **Polymer Degradation and Stability**, Vol.82, 2003. pp. 229-234.
- [31] A. Adam, S.A. Kouider , B. Youssef , A. Hamou and J.M. Saiter, "Studies of polyethylene multi layer films used as greenhouse covers under Saharan climatic conditions.", **Polymer Testing**, Vol.21, 2005. pp. 834-838.
- [32] Norman S., Michele E., Miguel R., Cristopher M. and Eusebio F., "Aspect of the thermal oxidation, yellowing and stabilization of ethylene vinyl acetate copolymer.", **Polymer Degradation and Stability**, Vol.71, 2001. pp. 1-14.
- [33] "Overview of Lyssy Instruments." [Online]. Available: <http://www.lyssy.com/instruments.htm>. 2006.
- [34] "LR30KPlus." [Online]. Available: http://www.lloyd-instruments.co.uk/products/SKU_Id=2938&Style=1. 2006.
- [35] แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ, โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2539. หน้า 184
- [36] Morton J. **Polymer Processing**. Chapman & Hall. 1993. pp. 117-118.
- [37] "Rainbow Horticultural & Agricultural Films." [Online]. Available: <http://www.indevcogroup.com/media-center/brochures/RAINBOW-English.pdf>. 2006.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบผลของปริมาณไวตามินซี
ต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพลาสติก



รูปที่ ก.1 ผลการทดสอบการส่องผ่านรังสีช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต ถึงช่วงรังสีเห็นได้
ด้วยตาของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE และ EVA

ตารางที่ ก.1 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตดต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	80	17.26	10.80	98.9	344
LDPE	2	78	82	15.22	8.24	103	295
LDPE	3	80	80	14.67	14.27	106.6	369
ค่าเฉลี่ย				15.70	11.10	102.73	336
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				1.36	3.03	3.85	37.64
EVA1	1	100	102	17.55	12.23	293	432
EVA1	2	100	100	14.70	11.30	273	367
EVA1	3	100	104	12.86	7.78	300	486
ค่าเฉลี่ย				15.04	10.44	280	428
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				2.36	2.35	14.01	59.58
EVA2	1	102	98	15.54	6.77	309	390
EVA2	2	102	100	14.59	10.49	300	460
EVA2	3	102	100	11.28	8.00	293	420

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
ค่าเฉลี่ย				13.80	8.42	300	437
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				2.24	1.90	8.02	35.12
EVA3	1	98	100	9.85	6.67	263	430
EVA3	2	100	100	13.21	8.74	332	520
EVA3	3	102	102	10.74	9.80	318	365
ค่าเฉลี่ย				11.30	8.40	304	439
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				1.74	1.59	36.47	77.84

ตารางที่ ก.2 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตดต่ออัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มพลาสติก
(ที่สภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90% และความ
ดันบรรยากาศ)

ชนิดฟิล์มพลาสติก	ปริมาณไวนิลอะซิเตด (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ความหนา (ไมครอน)	อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน)
LDPE	0	80	3.02
EVA1	3	38	14.25
EVA2	18	68	64.05
EVA3	28	64	71.03

ตารางที่ ก.3 ผลของปริมาณไวนิลอะซิเตดต่อค่าความต้านทานเชิงพื้นผิวของฟิล์มพลาสติก

ทดสอบครั้งที่	ค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว (Ω)			
	LDPE	EVA1	EVA2	EVA3
1	4.75×10^{16}	3.80×10^{14}	3.60×10^{14}	3.40×10^{14}
2	4.56×10^{16}	3.70×10^{14}	3.85×10^{14}	3.60×10^{14}
3	4.30×10^{16}	3.75×10^{14}	3.70×10^{14}	3.70×10^{14}
4	4.60×10^{16}	3.85×10^{14}	3.45×10^{14}	3.85×10^{14}
5	4.50×10^{16}	3.70×10^{14}	3.85×10^{14}	3.85×10^{14}
ค่าเฉลี่ย	4.54×10^{16}	3.76×10^{14}	3.70×10^{14}	3.68×10^{14}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.64×10^{15}	6.52×10^{12}	1.71×10^{13}	1.89×10^{13}

ตารางที่ ก.4 ผลของปริมาณไวโนลอะซิเตตต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพลาสติก

ทดสอบครั้งที่	ค่ามุมสัมผัส			
	LDPE	EVA1	EVA2	EVA3
1	88	108	115	110
2	87	106	113	112
3	87	110	114	110
4	87.5	108	114	112
5	85	108	112	112
6	88	106	113	114
7	87	107	112	110
8	87	108	113	112
9	87.5	106	114	114
10	87	108	112	110
ค่าเฉลี่ย	87	108	113	112
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.52	1.00	0.84	1.28

การคำนวณค่าแรงตึงผิวด้วยวิธี **Multiple Liquids Graphical Method** มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดสอบวัดค่ามุมสัมผัสระหว่าง น้ำ เอทิลีนไกลคอล และกลีเซอรอล กับฟิล์มพลาสติก
2. เขียนกราฟ แกน Y คือ $\gamma_L \cdot (\cos\theta + 1) / 2 \cdot \sqrt{\gamma_L^d}$ และ แกน X คือ $\sqrt{(\gamma_L^{nd} / \gamma_L^d)}$
3. จุดตัดแกน Y คือ ค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^d}$ และความชัน คือ $\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}}$
4. นำค่า $\sqrt{\gamma_{SV}^d}$ รวมกับ $\sqrt{\gamma_{SV}^{nd}}$ จะได้ค่า γ_{SV} (ค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก)

ตารางที่ ก.5 ผลของชนิดสารละลายต่อค่ามัมสัมพัทธ์

ชนิดของสารละลาย	ทดสอบครั้งที่	ค่ามัมสัมพัทธ์			
		LDPE	EVA1	EVA2	EVA3
น้ำ	1	88	108	115	110
	2	87	106	113	112
	3	87	110	114	110
	4	87.5	108	114	112
	5	85	108	112	112
	6	88	106	113	114
	7	87	107	112	110
	8	87	108	113	112
	9	87.5	106	114	114
	10	87	108	112	110
	ค่าเฉลี่ย	87	108	113	112
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.52	1.00	0.84	1.28
	เอทิลีนไกลคอล	1	87	73	74
2		88	73	73	66
3		88	73	76	66
4		87	73	73	68
5		87	72	74	68
6		86	72	74	66
7		88	74	74	66
8		87	74.5	74	67
9		87	73	73	65
10		86	73	74	66
ค่าเฉลี่ย		87	73	74	66
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.76	0.76	0.88	0.99

ตารางที่ ก.5 (ต่อ)

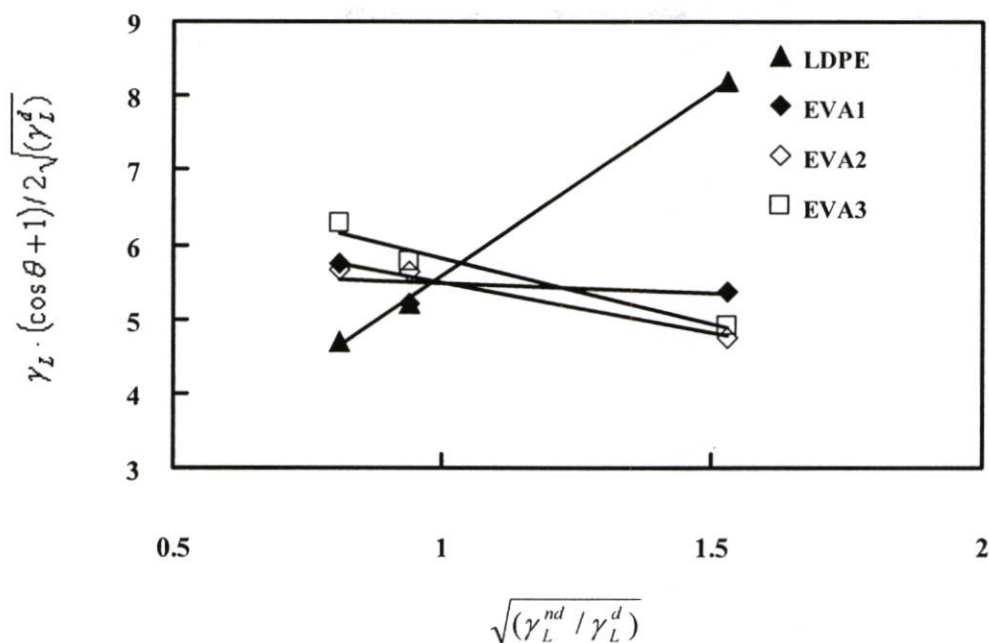
ชนิดสารละลาย	ทดสอบครั้งที่	ค่ามุมสัมผัส			
		LDPE	EVA1	EVA2	EVA3
กลีเซอรอล	1	93	93	89	85
	2	94	93	88	89
	3	95	93	88	87
	4	94	93	88	86
	5	95	94	88	85
	6	93	94	88	86
	7	92	94	86	86
	8	93	92	88	88
	9	93	93	89	88
	10	91	93	88	89
	ค่าเฉลี่ย	93	93	88	84
	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.82	0.44	0.46	1.30

ตารางที่ ก.6 ค่าแรงดึงผิวของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง [23]

ชนิดของของเหลว	γ_L (mN/m)	γ_L^d (mN/m)	γ_L^{nd} (mN/m)
น้ำ	72.8	21.8	51.0
เอทิลีนไกลคอล	48.0	29.0	19.0
กลีเซอรอล	64.0	34.0	30.0

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณค่า $\sqrt{(\gamma_L^{nd} / \gamma_L^d)}$ และ $\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1) / 2\sqrt{\gamma_L^d}$ ของฟิล์มพลาสติก

ชนิดของของเหลว	$\sqrt{(\gamma_L^{nd} / \gamma_L^d)}$	$\gamma_L \cdot (\cos \theta + 1) / 2\sqrt{\gamma_L^d}$			
		LDPE	EVA1	EVA2	EVA3
น้ำ	1.53	8.20	5.38	4.76	4.91
เอทิลีนไกลคอล	0.81	4.69	5.75	5.66	6.28
กลีเซอรอล	0.94	5.21	5.21	5.65	5.76



รูปที่ ก.2 การคำนวณค่าแรงตึงผิวด้วยวิธี Multiple Liquids Graphical Method

ตารางที่ ก.8 ผลของปริมาณ ไวนิลอะซิเตตต่อค่าแรงตึงผิวของฟิล์มพลาสติก (ทดสอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	$\sqrt{\gamma_L^d}$ (mN/m)	$\sqrt{\gamma_L^{nd}}$ (mN/m)	γ_{SV} (mN/m)
LDPE	4.9	0.6	24.4
EVA1	5.7	-0.3	32.6
EVA2	6.8	-1.3	47.9
EVA3	7.6	-1.8	61.0

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบผลของสารเติมแต่งต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิต
และการป้องกันการเกิดฝ้าของฟิล์มพลาสติก

ตารางที่ ข.1 ผลของปริมาณสารป้องกันไฟฟ้าสถิตต่อสมบัติการป้องกันไฟฟ้าสถิตของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

ทดสอบครั้งที่	ค่าความต้านทานเชิงพื้นผิว (Ω)			
	EVA1	EVAS05	EVAS1	EVAS2
1	3.80×10^{14}	1.45×10^{14}	2.10×10^{14}	2.36×10^{14}
2	3.70×10^{14}	1.56×10^{14}	2.07×10^{14}	2.41×10^{14}
3	3.75×10^{14}	2.08×10^{14}	2.27×10^{14}	2.17×10^{14}
4	3.85×10^{14}	2.34×10^{14}	2.22×10^{14}	2.48×10^{14}
5	3.70×10^{14}	2.85×10^{14}	2.11×10^{14}	2.38×10^{14}
ค่าเฉลี่ย	3.76×10^{14}	2.06×10^{14}	2.15×10^{14}	2.36×10^{14}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	6.52×10^{12}	5.76×10^{13}	8.73×10^{12}	1.17×10^{13}

ตารางที่ ข.2 ผลของปริมาณสารป้องกันกาเกิดฝ้าต่อค่ามุมสัมผัสของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA

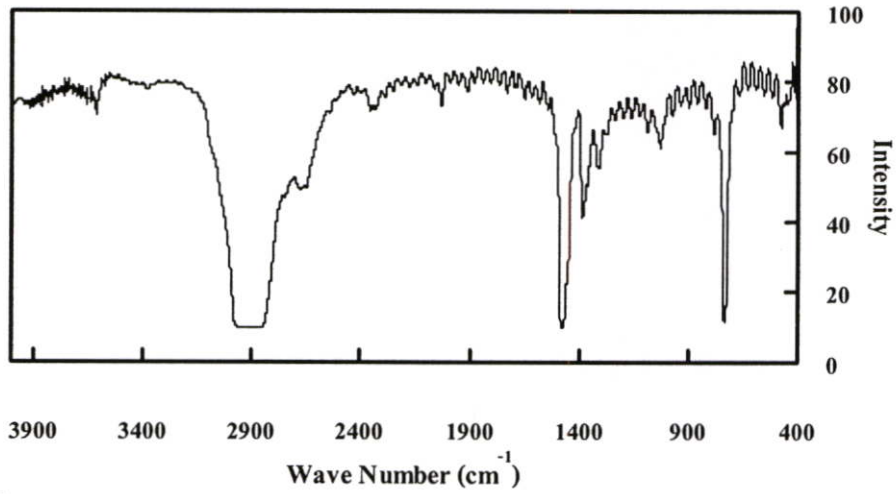
ทดสอบครั้งที่	ค่ามุมสัมผัส		
	EVAF2	EVAF4	EVAF6
1	35	28	18
2	36	28	20
3	33	27	20
4	32	29	20
5	33	27	22
6	33	27	18
7	33	28	20
8	32	27	20
9	33	26	22
10	32	27	20
ค่าเฉลี่ย	33	27	20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.92	0.68	0.80

ภาคผนวก ค.

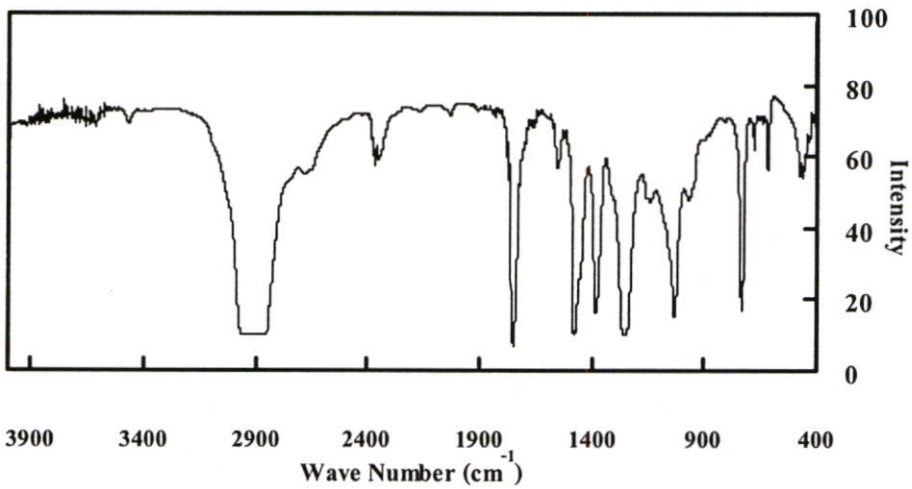
ผลการทดสอบผลของสารเติมแต่งต่อการเสื่อมสภาพ

โดยรังสีอัลตราไวโอเลตของฟิล์มพลาสติก

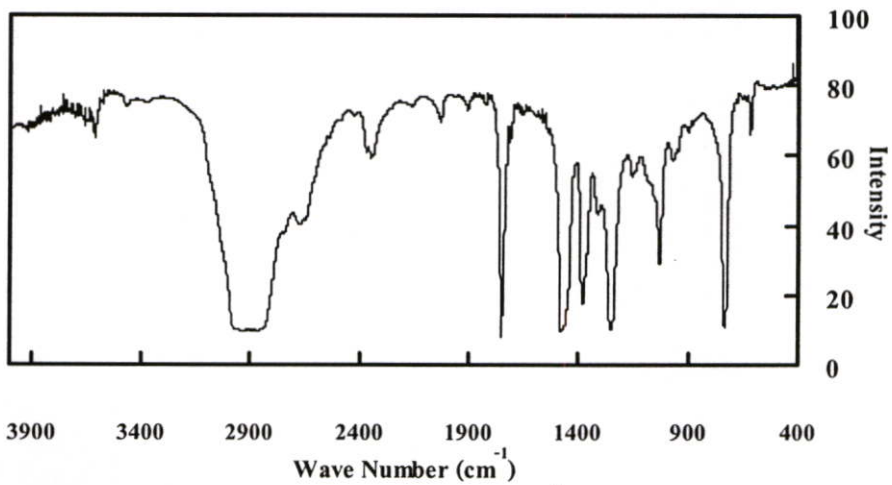
ค.1 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก
ที่ทดสอบโดยเครื่อง FT-IR



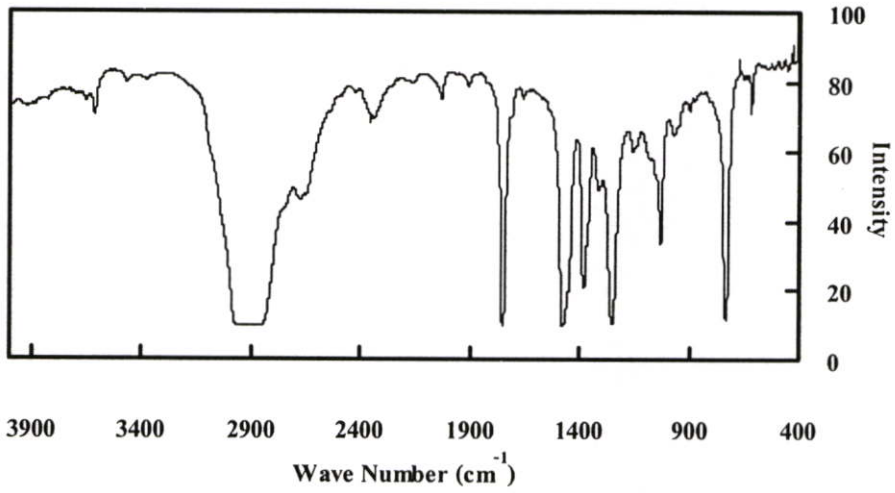
รูปที่ ค.1 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต



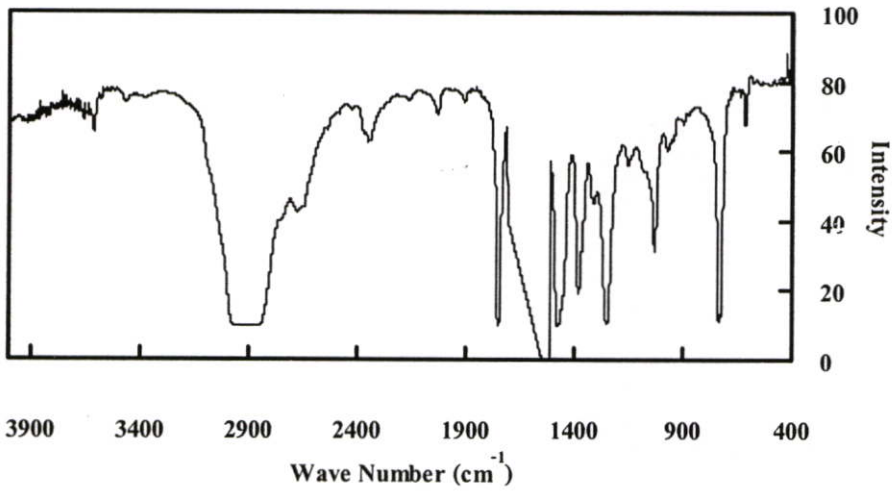
รูปที่ ค.2 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต



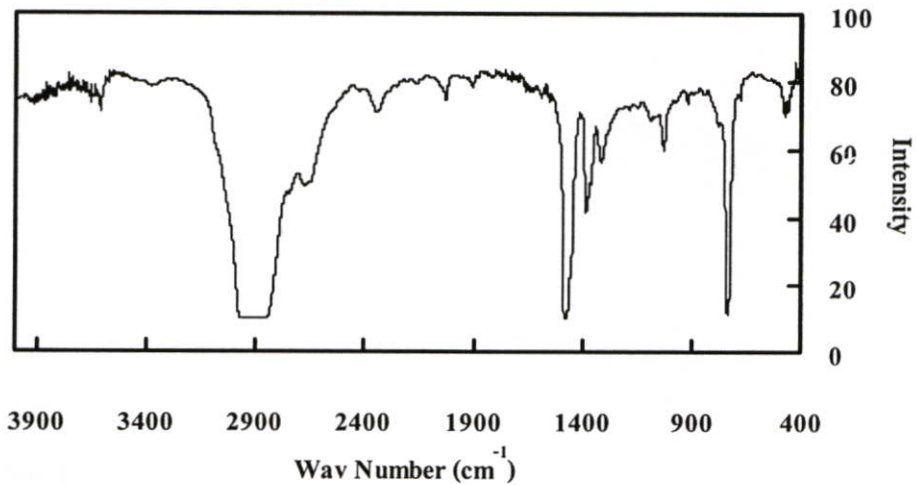
รูปที่ ค.3 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต



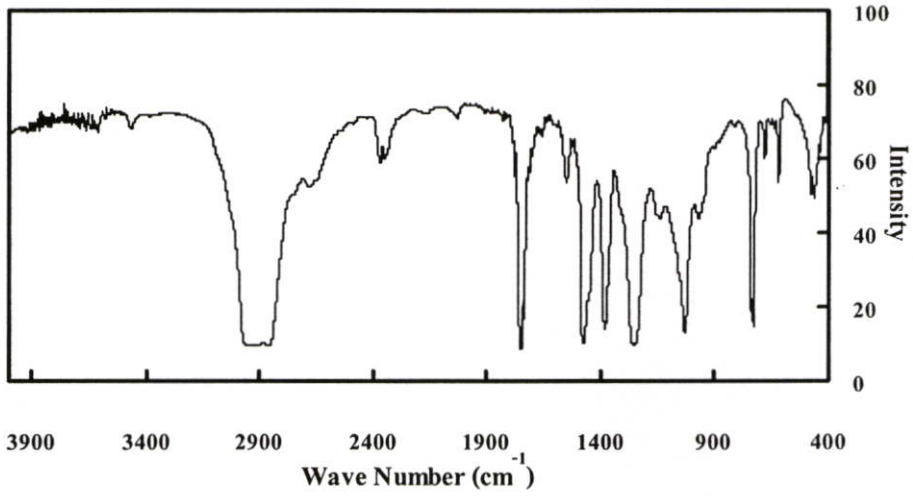
รูปที่ ค.4 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต



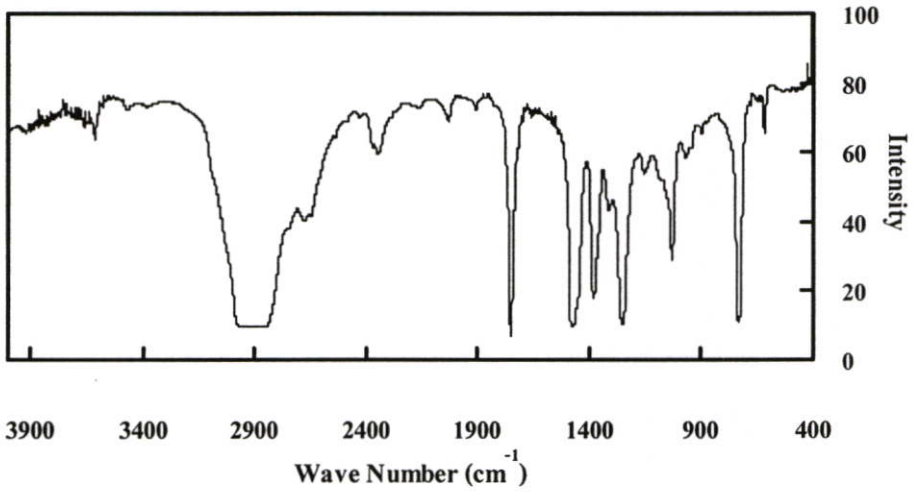
รูปที่ ค.5 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ไม่ผ่านการตากรังสีอัลตราไวโอเลต



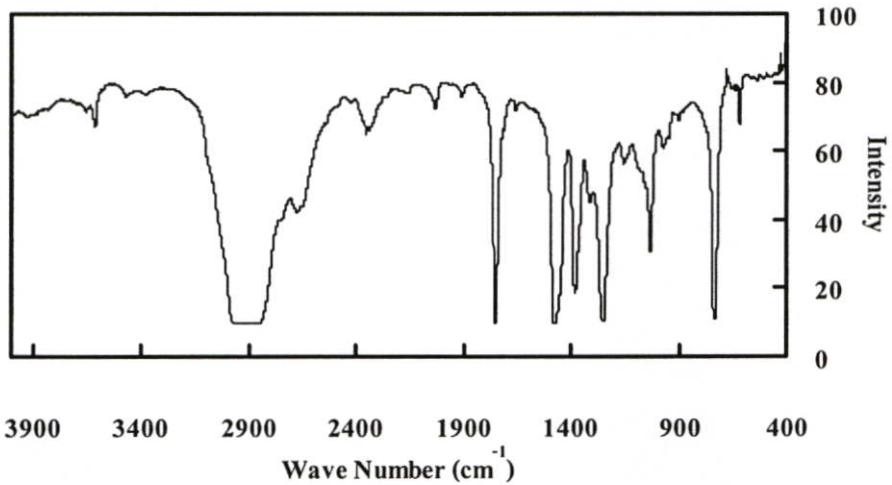
รูปที่ ค.6 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง



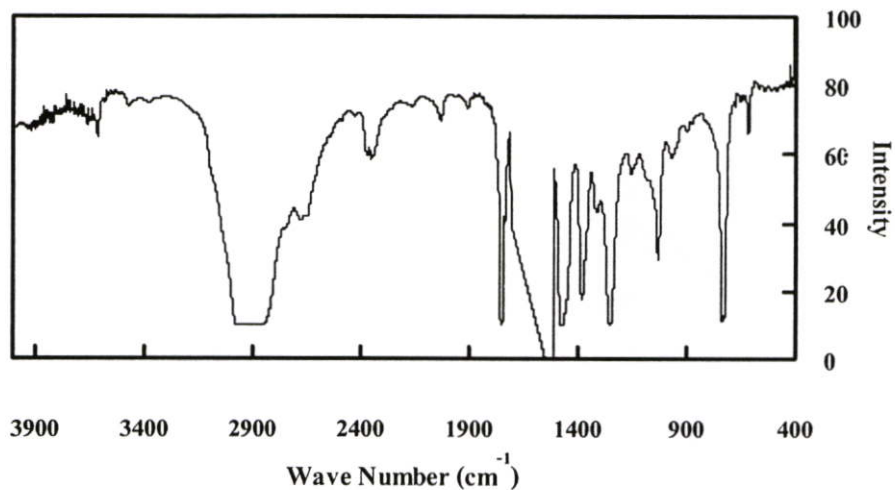
รูปที่ ค.7 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 24 ชั่วโมง



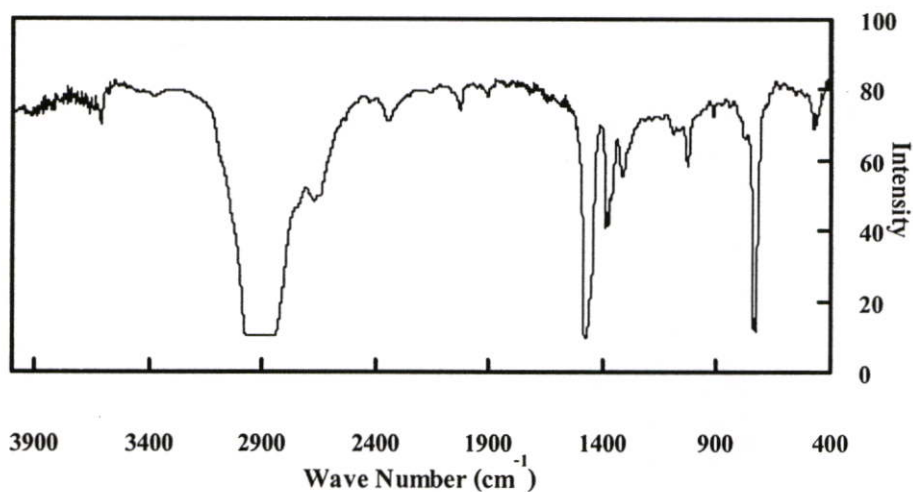
รูปที่ ค.8 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 24 ชั่วโมง



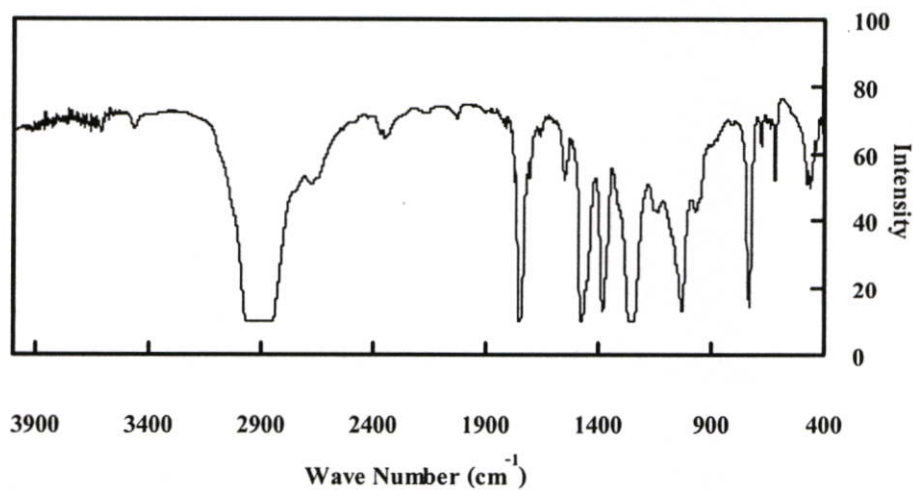
รูปที่ ค.9 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 24 ชั่วโมง



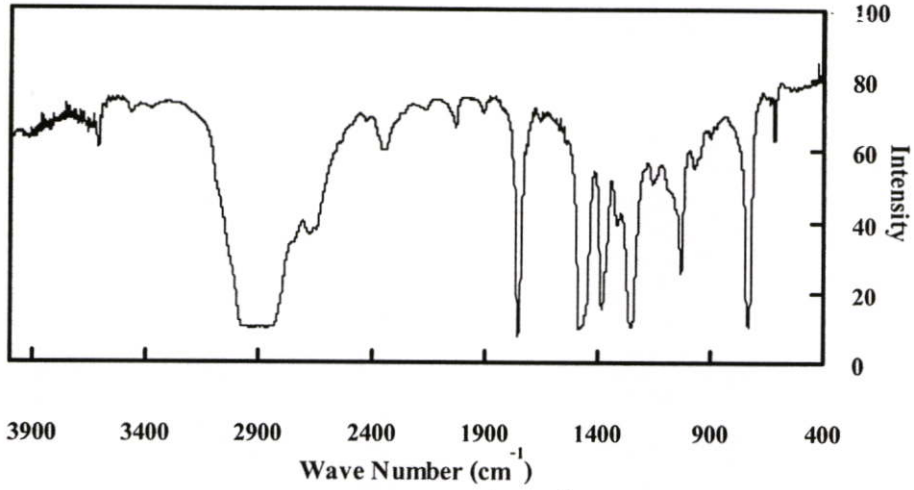
รูปที่ ค.10 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 24 ชั่วโมง



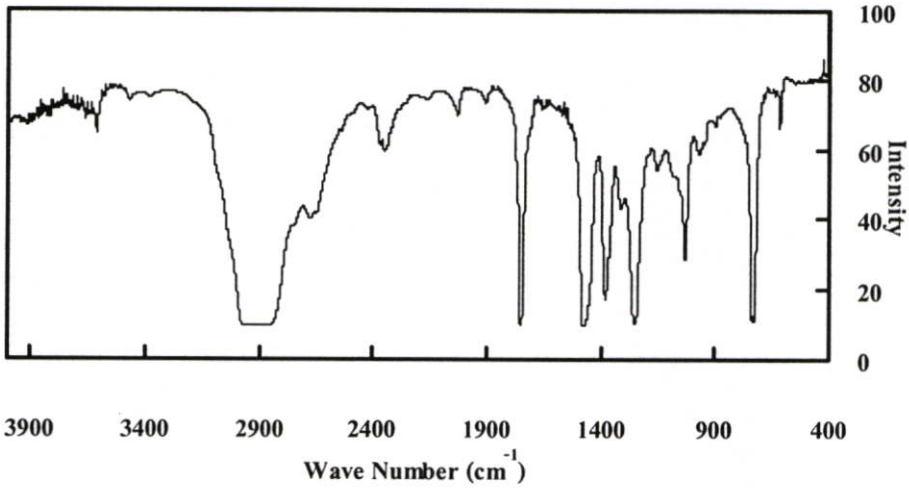
รูปที่ ค.11 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 48 ชั่วโมง



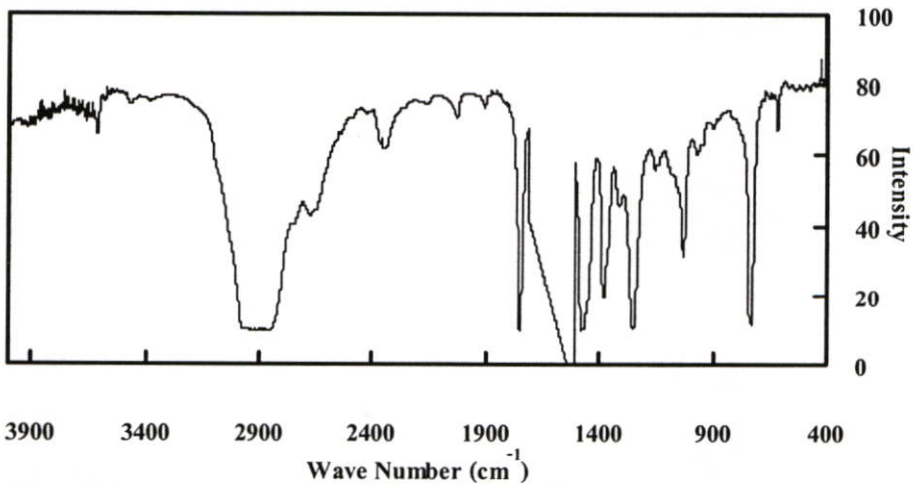
รูปที่ ค.12 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 48 ชั่วโมง



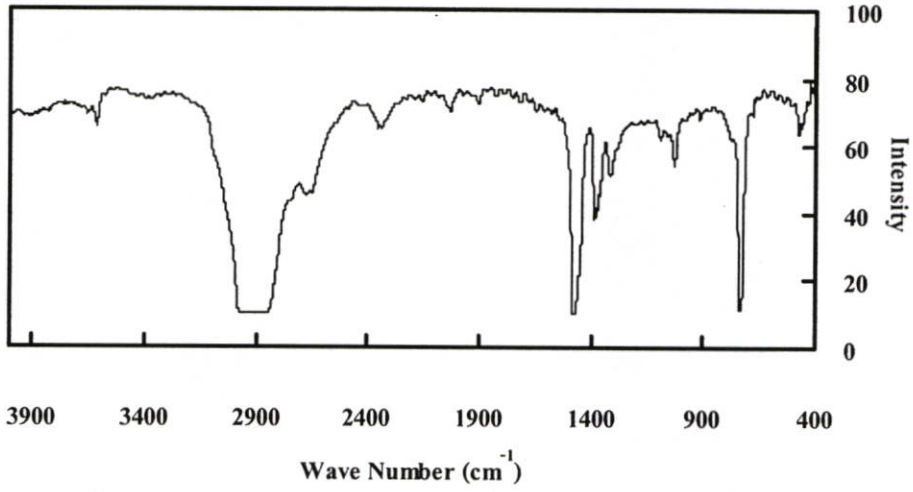
รูปที่ ค.13 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง



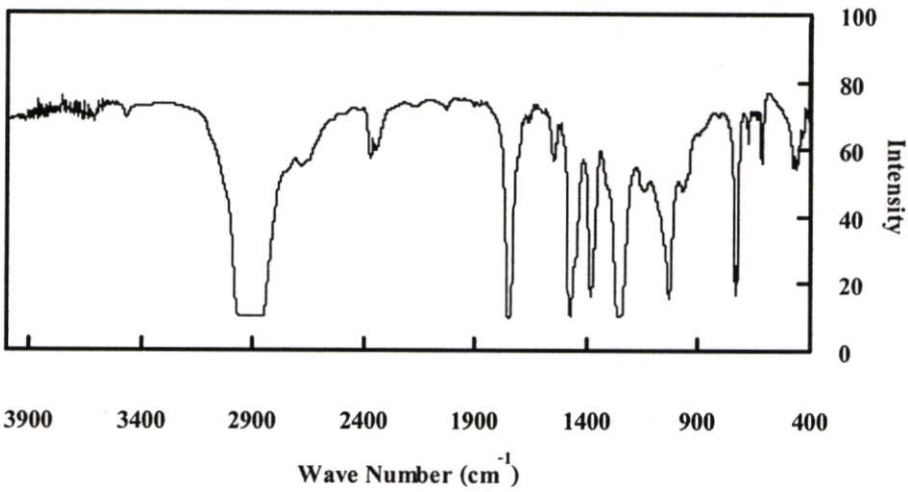
รูปที่ ค.14 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง



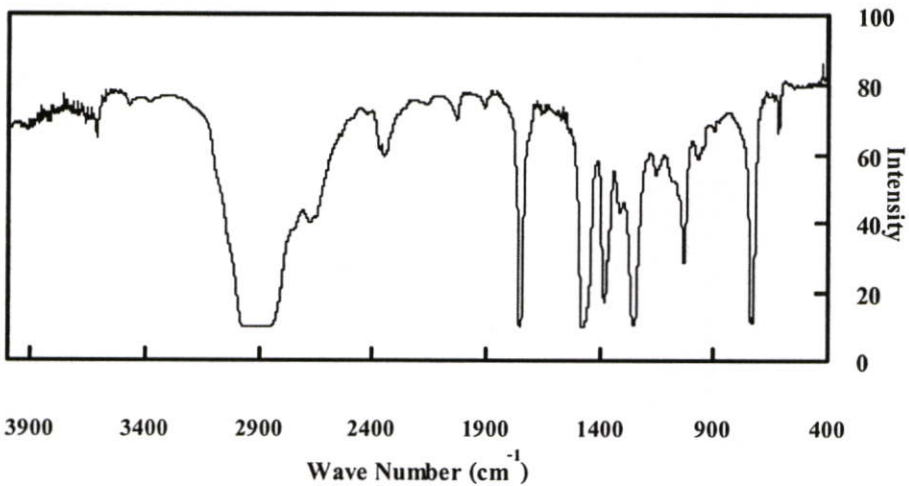
รูปที่ ค.15 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง



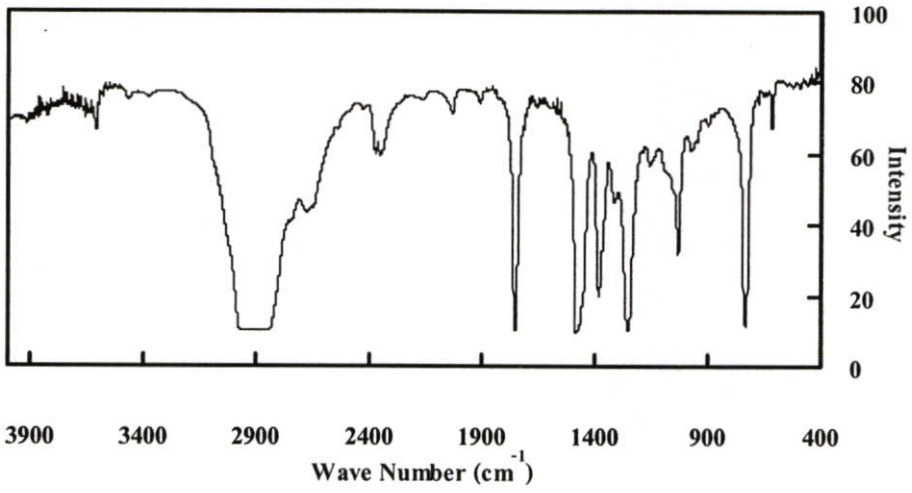
รูปที่ ค.16 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง



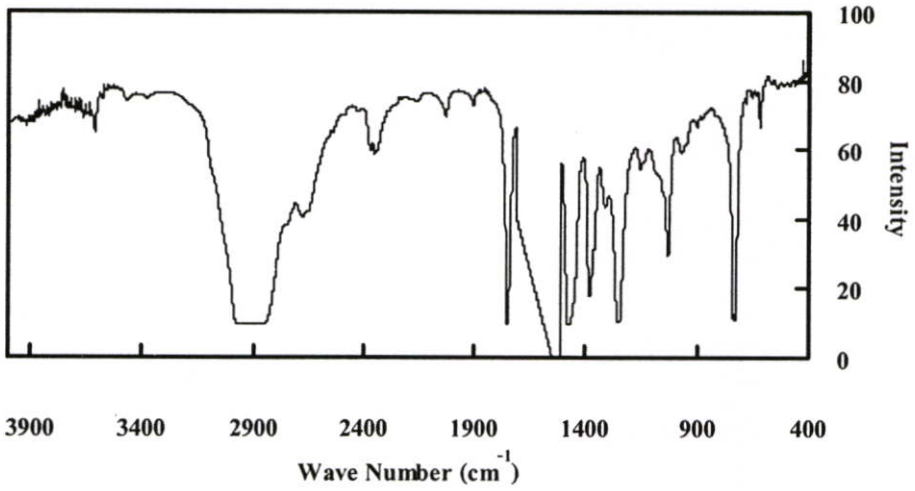
รูปที่ ค.17 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติก ชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง



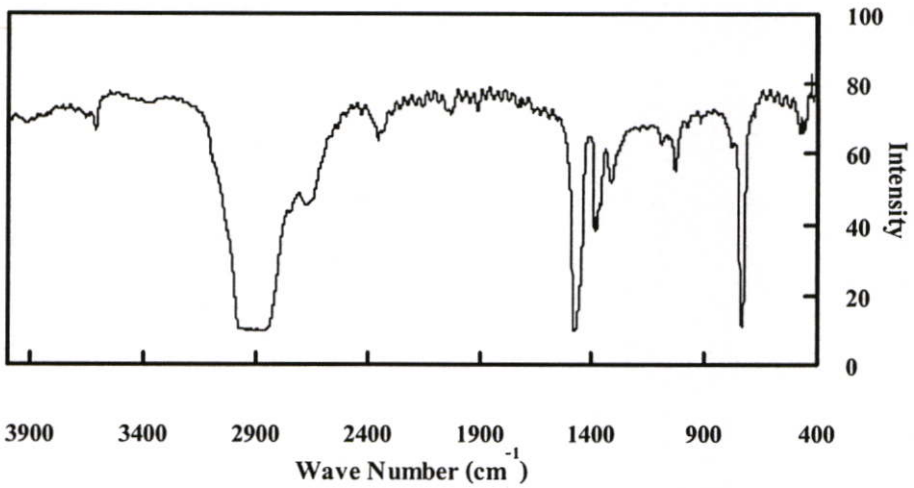
รูปที่ ค.18 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 72 ชั่วโมง



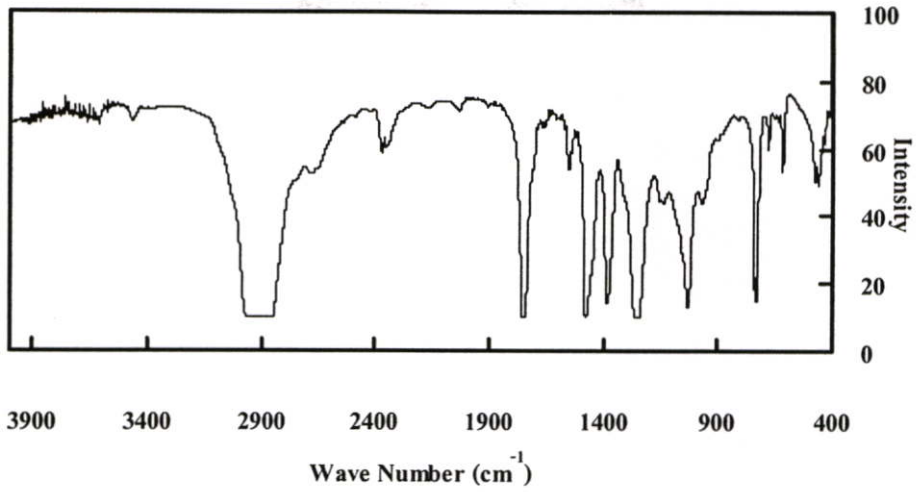
รูปที่ ค.19 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 72 ชั่วโมง



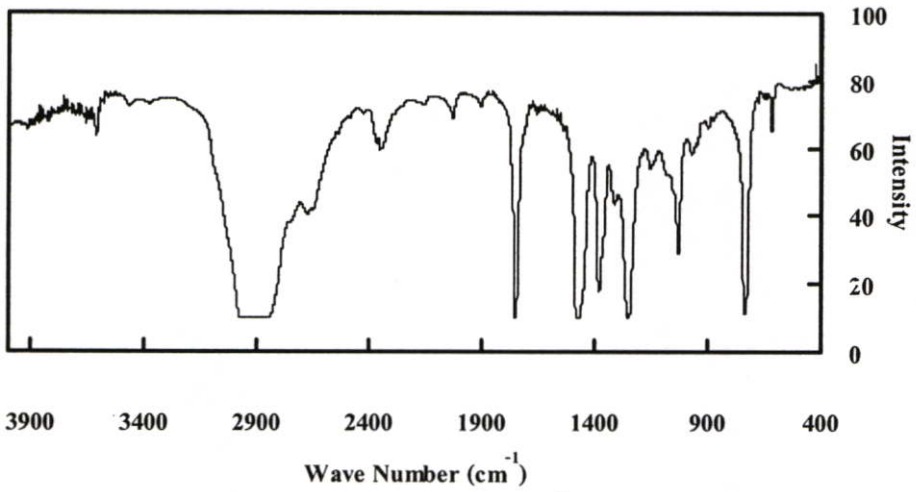
รูปที่ ค.20 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 72 ชั่วโมง



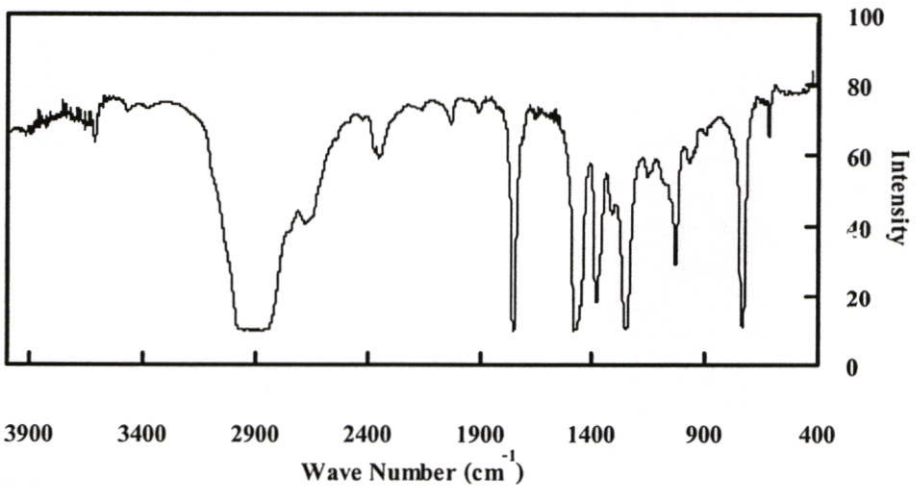
รูปที่ ค.21 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 96 ชั่วโมง



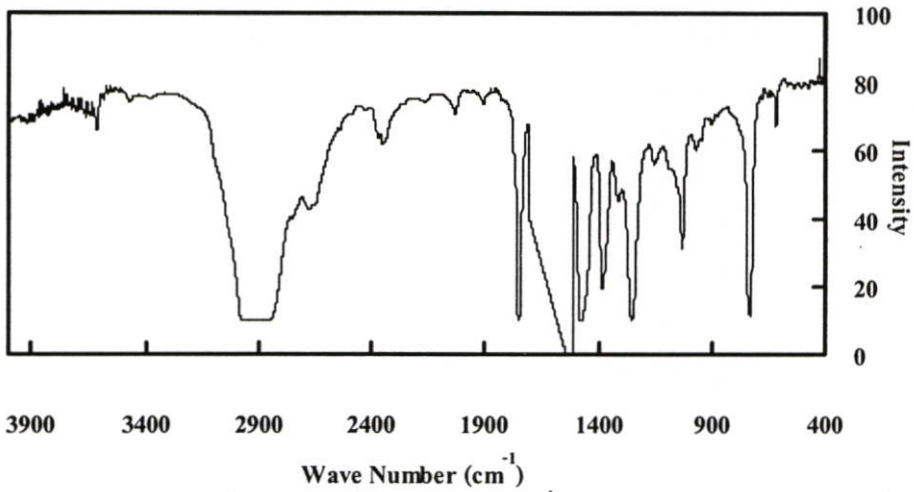
รูปที่ ค.22 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง



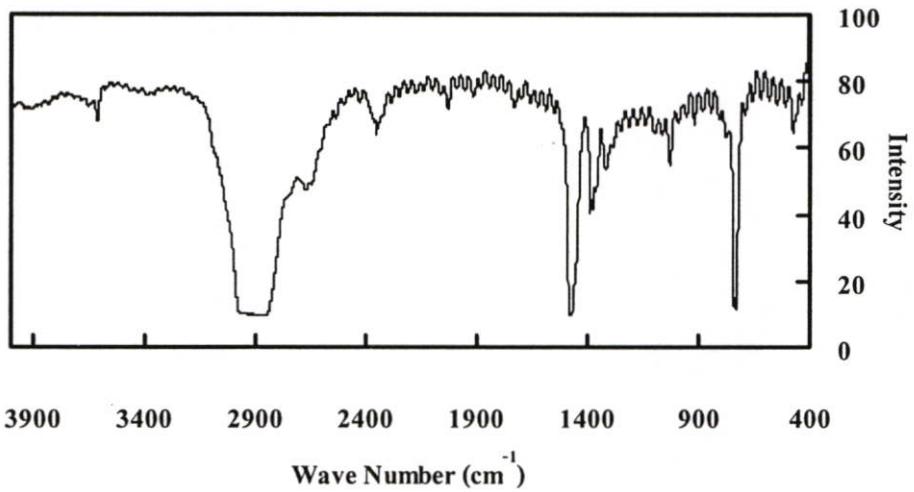
รูปที่ ค.23 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง



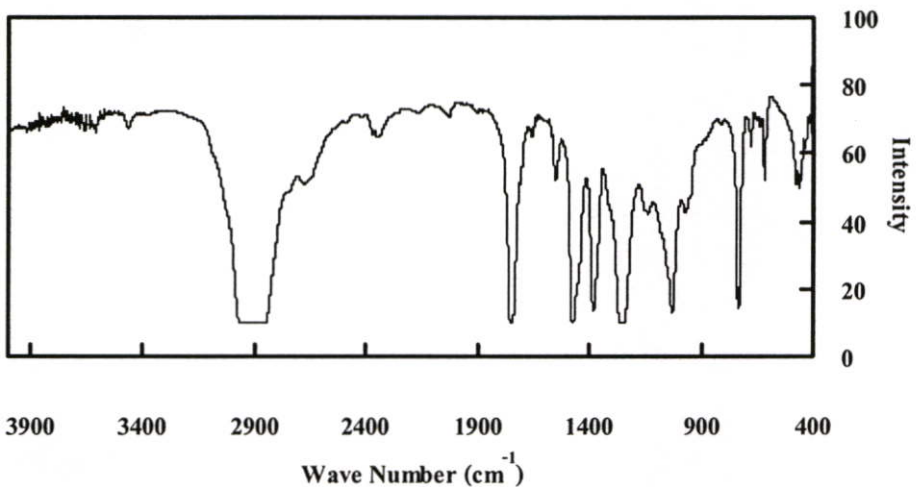
รูปที่ ค.24 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง



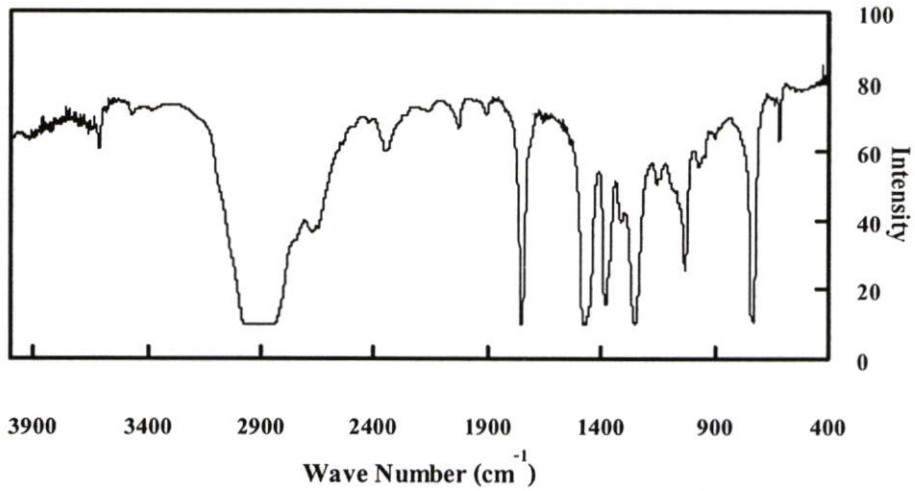
รูปที่ ค.25 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง



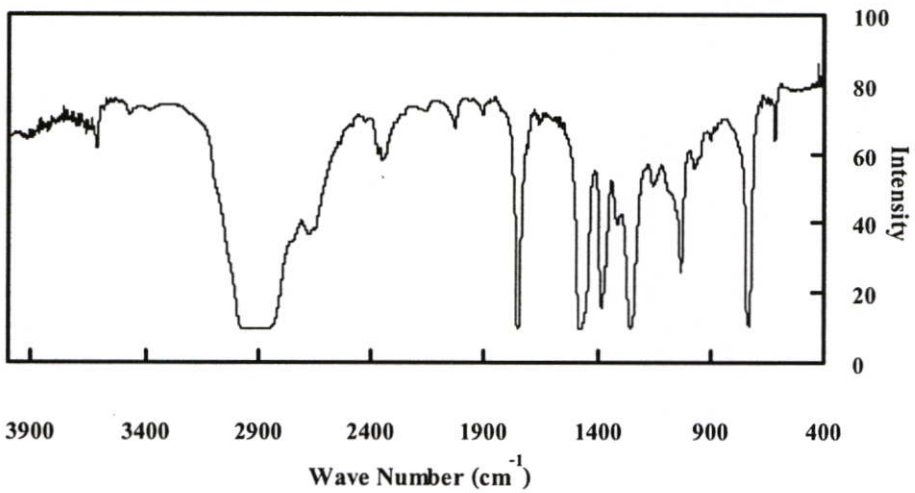
รูปที่ ค.26 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง



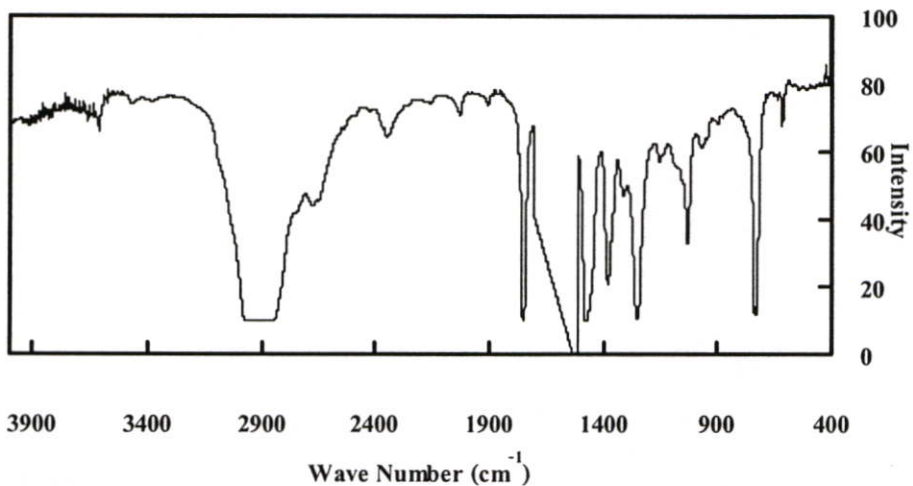
รูปที่ ค.27 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง



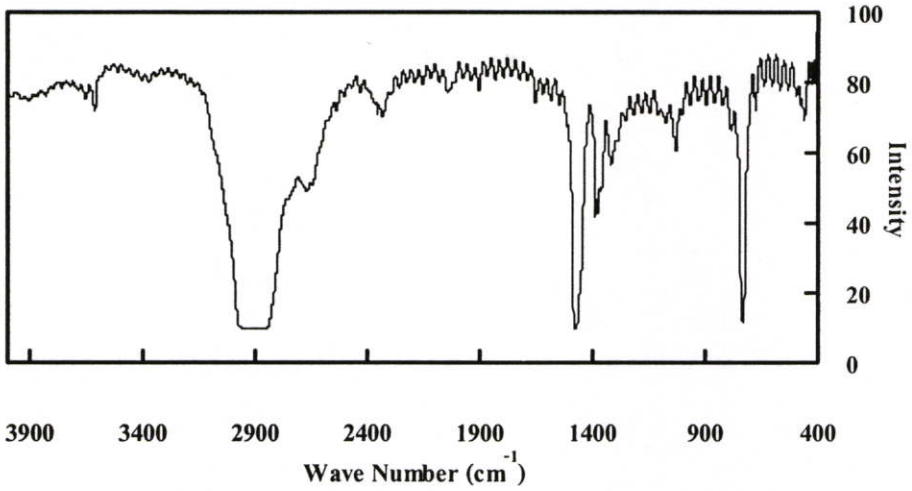
รูปที่ ค.28 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง



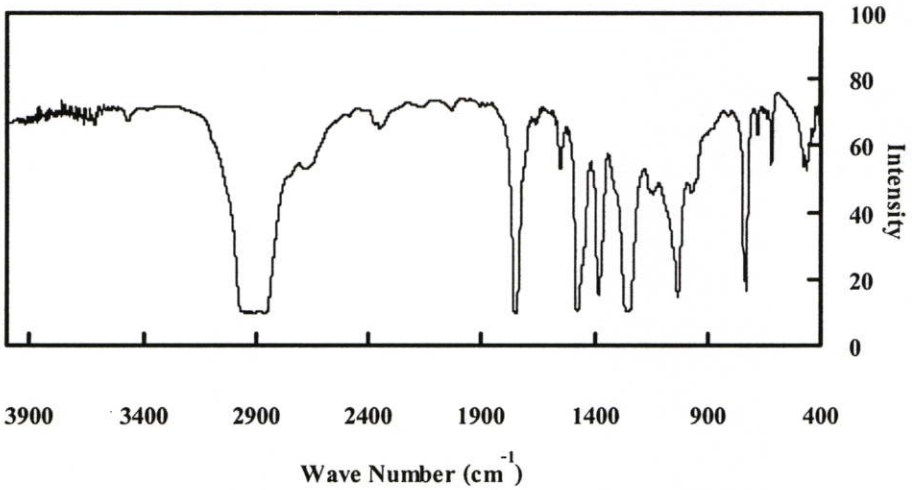
รูปที่ ค.29 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง



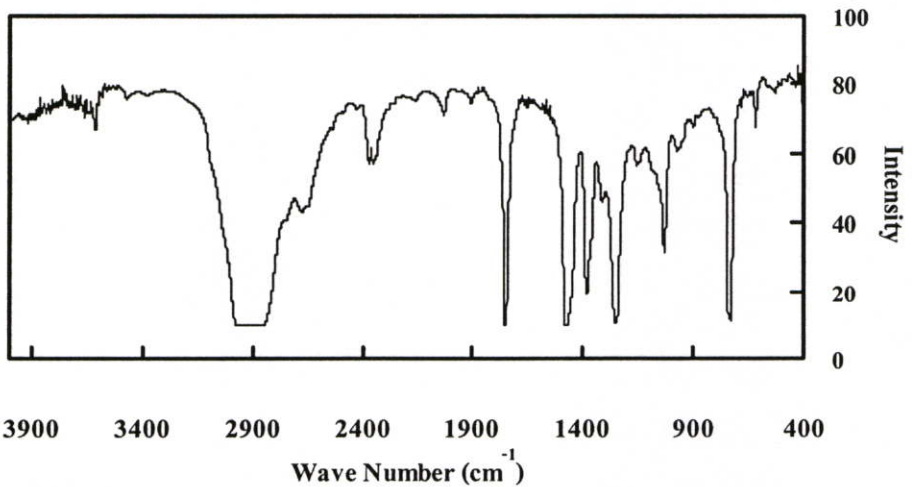
รูปที่ ค.30 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 120 ชั่วโมง



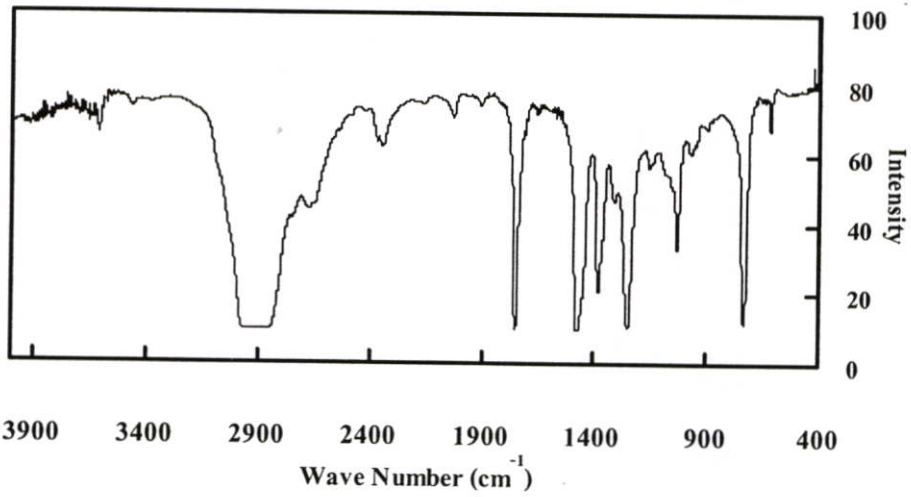
รูปที่ ค.31 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง



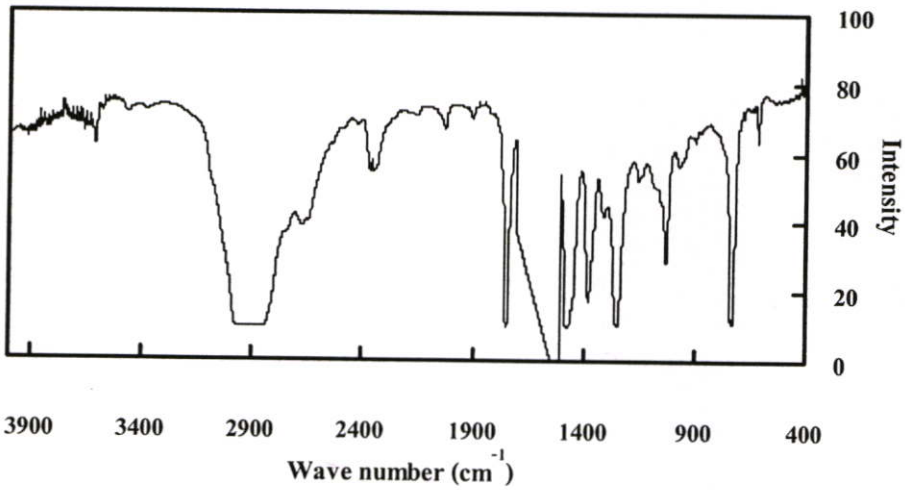
รูปที่ ค.32 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง



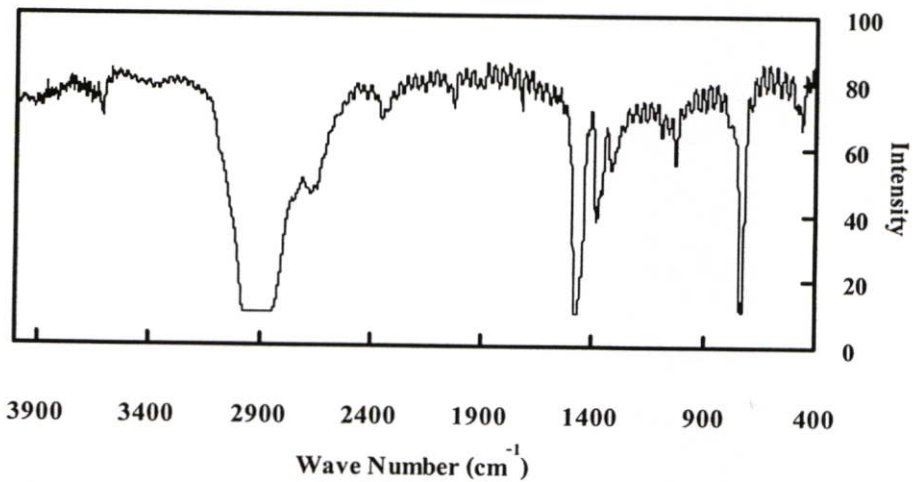
รูปที่ ค.33 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 144 ชั่วโมง



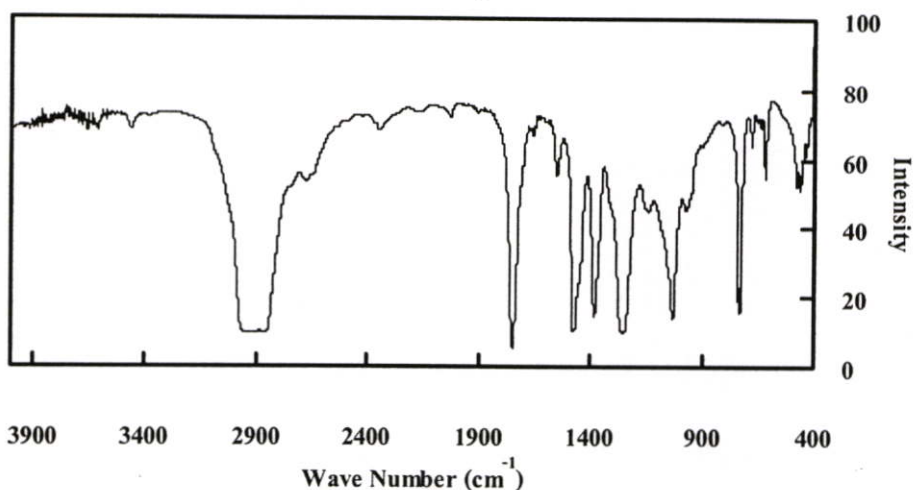
รูปที่ ค.34 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 144 ชั่วโมง



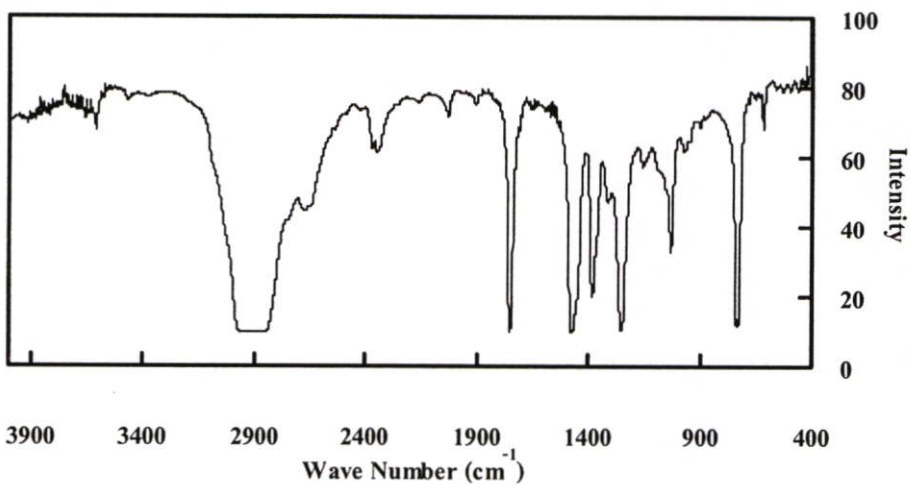
รูปที่ ค.35 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 144 ชั่วโมง



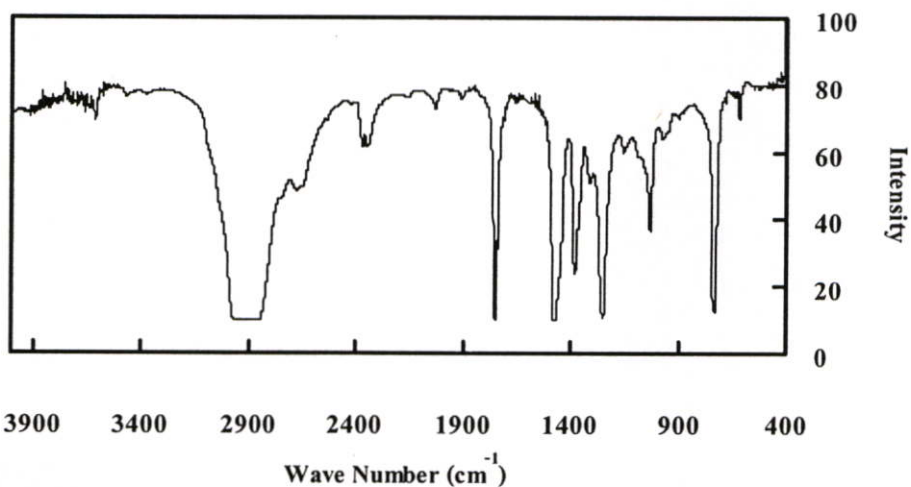
รูปที่ ค.36 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง



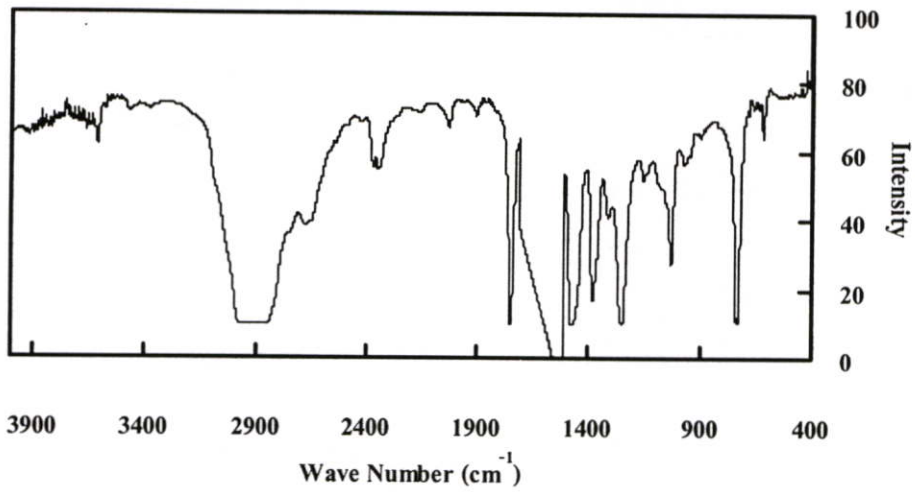
รูปที่ ค.37 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง



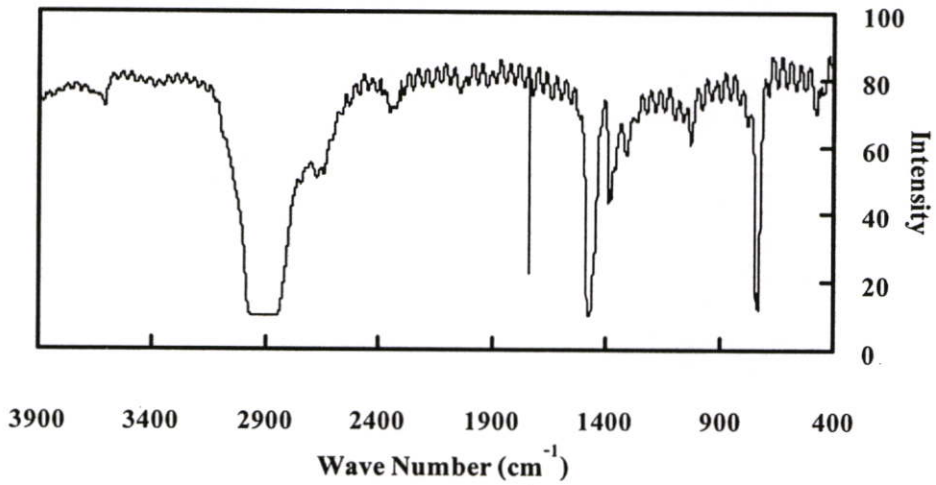
รูปที่ ค.38 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง



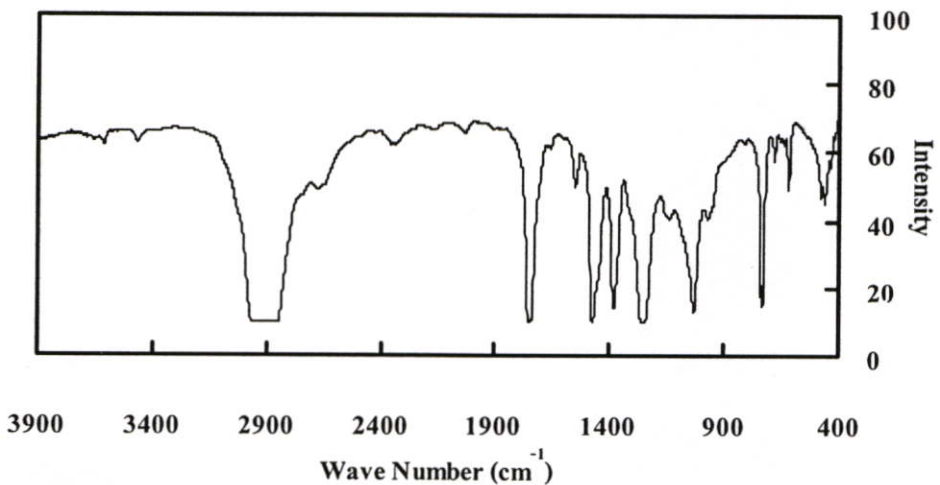
รูปที่ ค.39 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง



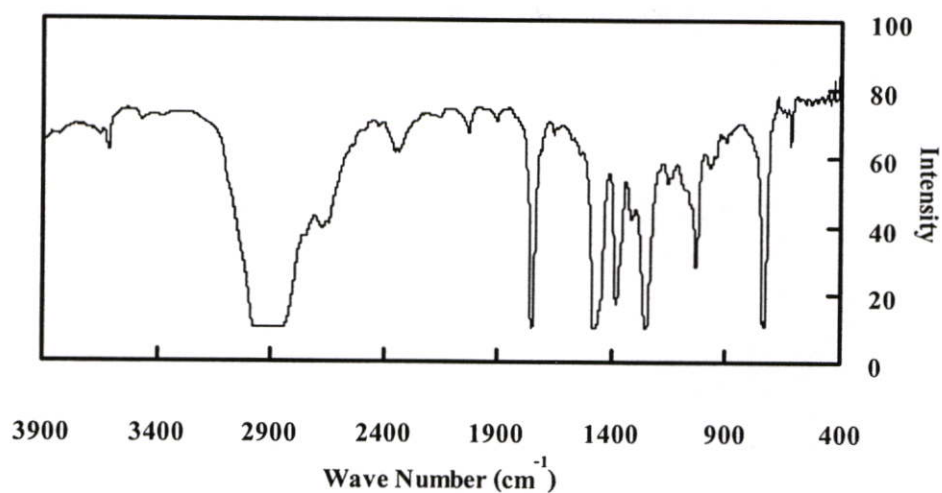
รูปที่ ค.40 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง



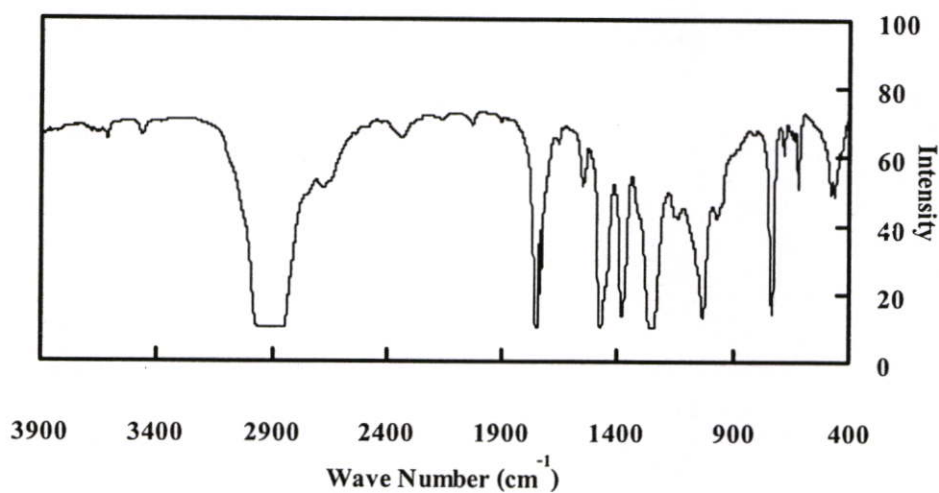
รูปที่ ค.41 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง



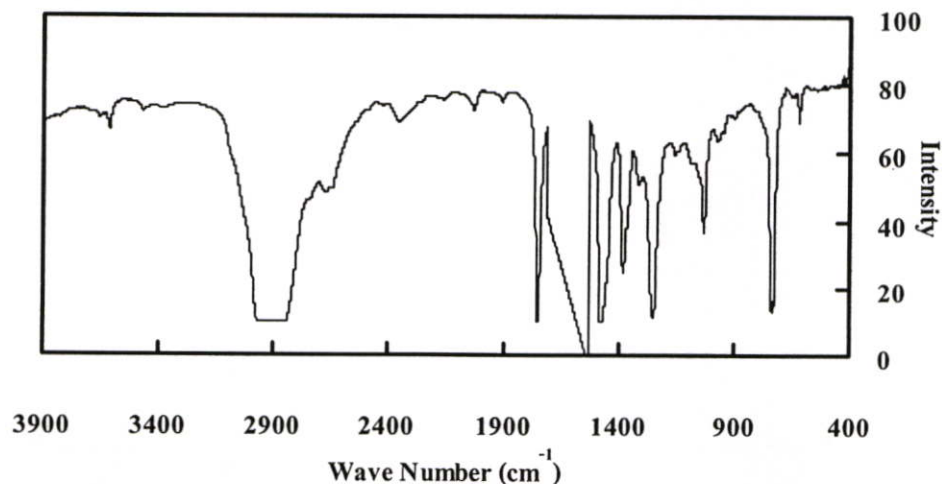
รูปที่ ค.42 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง



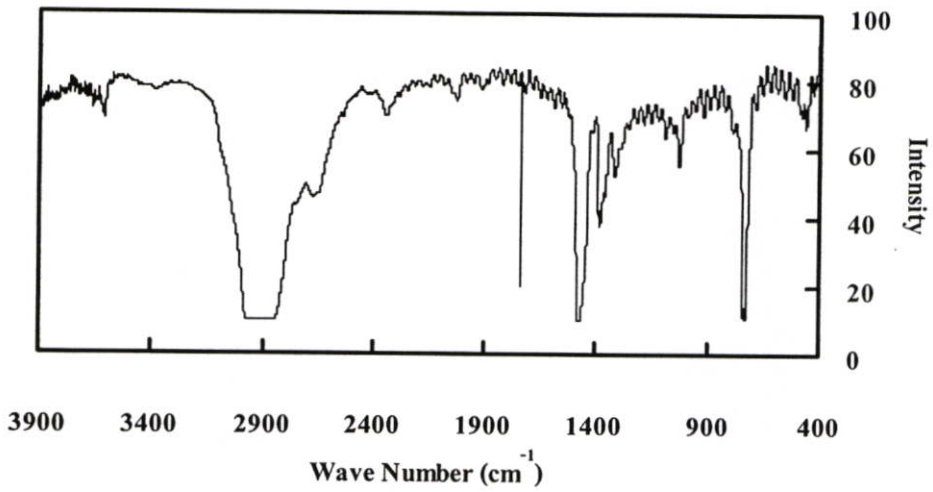
รูปที่ ค.43 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 336 ชั่วโมง



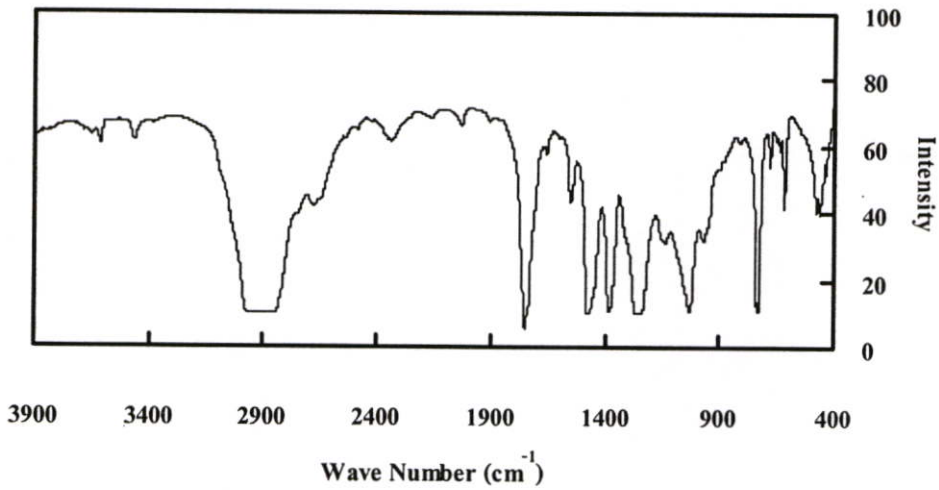
รูปที่ ค.44 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 336 ชั่วโมง



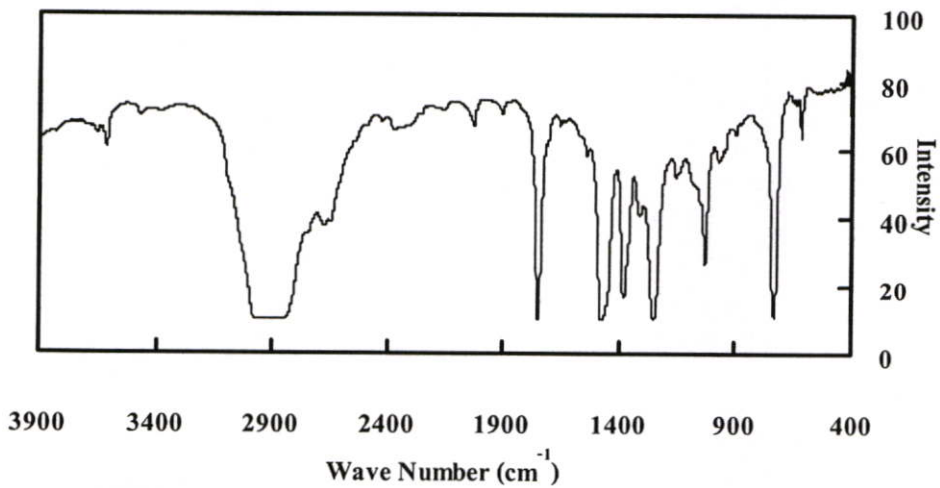
รูปที่ ค.45 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 336 ชั่วโมง



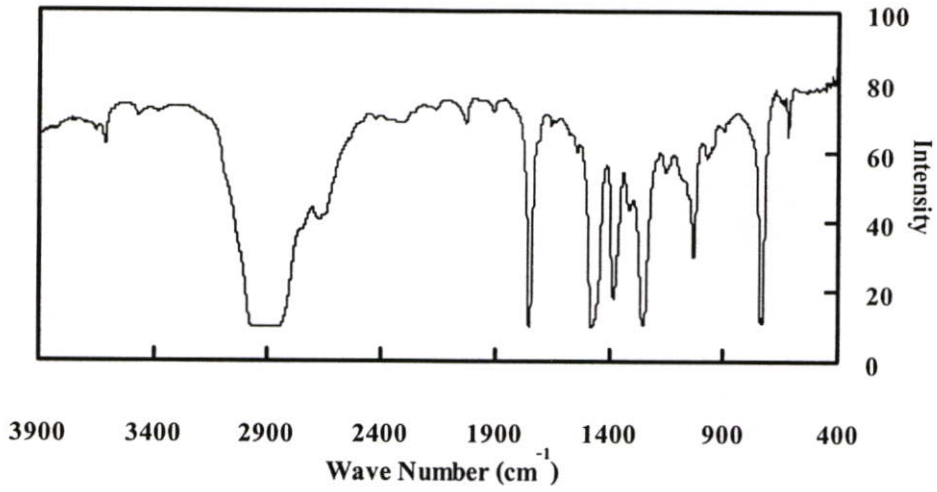
รูปที่ ค.46 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง



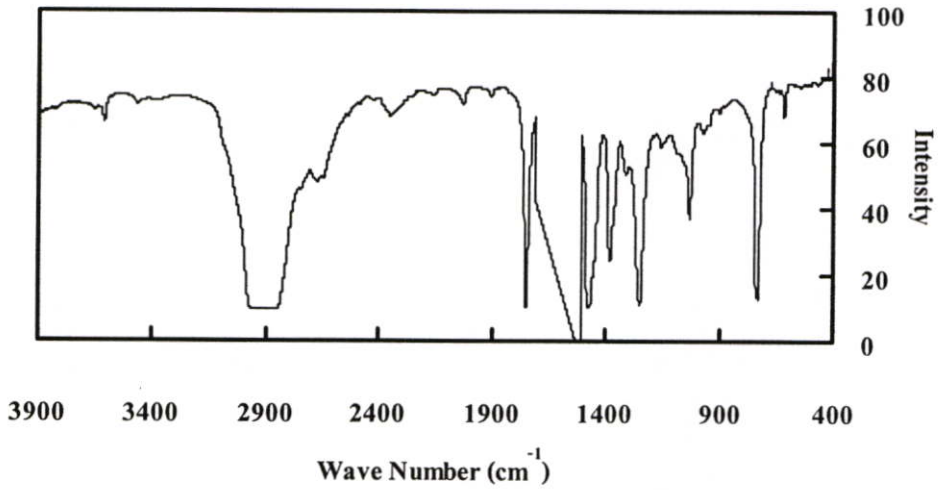
รูปที่ ค.47 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVA ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง



รูปที่ ค.48 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV05 ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 504 ชั่วโมง



รูปที่ ค.49 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV1 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง



รูปที่ ค.50 สเปกตรัมของฟิล์มพลาสติกชนิด EVAUV2 ที่ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง

ก.2 ผลการคำนวณค่า Carbonyl Index ของฟิล์มพลาสติกชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ ก.1 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อค่า Carbonyl Index

ของฟิล์มพลาสติก

เวลา (ชั่วโมง)	ชนิดฟิล์มพลาสติก	ความหนา (ไมครอน)	$A_{1,738}$	$A_{2,850}$	Carbonyl Index ($A_{1,738}/A_{2,850}$)
0	LDPE*	90	0.0107	1.7125	0.0062
0	EVA	80	0.7605	3.3686	0.2257
0	EVAUV05	110	0.3362	1.6954	0.1983
0	EVAUV1	120	0.2980	1.7452	0.1707
0	EVAUV2	110	0.2721	1.7052	0.1595
24	LDPE*	89	0.0146	1.7519	0.0084
24	EVA	85	0.7070	2.0586	0.3434
24	EVAUV05	108	0.3980	1.6892	0.2356
24	EVAUV1	120	0.4992	1.7137	0.2913
24	EVAUV2	110	0.4887	1.7094	0.2858
48	LDPE*	90	0.0161	1.7412	0.0092
48	EVA	80	0.7881	2.1246	0.3521
48	EVAUV05	108	0.4487	1.6604	0.2702
48	EVAUV1	108	0.4949	1.6970	0.2916
48	EVAUV2	120	0.4667	1.7136	0.2723
72	LDPE*	88	0.0180	1.7062	0.0105
72	EVA	100	0.7484	1.7933	0.4173
72	EVAUV05	108	0.4122	1.5683	0.2628
72	EVAUV1	108	0.4688	1.7165	0.2731
72	EVAUV2	110	0.4533	1.6961	0.2673
96	LDPE*	90	0.0231	1.8069	0.0128
96	EVA	80	0.7480	1.7847	0.4191
96	EVAUV05	110	0.4716	1.6892	0.2792
96	EVAUV1	118	0.4476	1.6893	0.2649
96	EVAUV2	110	0.3630	1.7136	0.2118

*ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ใช้ค่าการดูดกลืนรังสีที่ Wave Number $1,710\text{ cm}^{-1}$ ในการคำนวณ

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	ชนิดฟิล์มพลาสติก	ความหนา (ไมครอน)	A _{1,738}	A _{2,850}	Carbonyl Index (A _{1,738} /A _{2,850})
120	LDPE*	90	0.0246	1.7261	0.0143
120	EVA	80	0.7464	1.7566	0.4249
120	EVAUV05	108	0.5017	1.7938	0.2797
120	EVAUV1	108	0.4390	1.8056	0.2431
120	EVAUV2	120	0.4494	1.8125	0.2479
144	LDPE*	90	0.0312	1.8391	0.0170
144	EVA	80	0.7428	1.7845	0.4162
144	EVAUV05	108	0.4596	1.7237	0.2666
144	EVAUV1	108	0.4444	1.7142	0.2593
144	EVAUV2	120	0.4095	1.6770	0.2442
168	LDPE*	90	0.0270	1.7212	0.0157
168	EVA	82	0.7039	1.6462	0.4276
168	EVAUV05	110	0.4963	1.7202	0.2885
168	EVAUV1	108	0.4525	1.6707	0.2709
168	EVAUV2	120	0.4346	1.6747	0.2595
336	LDPE*	88	0.1143	1.7230	0.0663
336	EVA	80	1.7322	1.6842	1.0285
336	EVAUV05	110	0.5293	1.6756	0.3160
336	EVAUV1	108	0.4920	1.7066	0.2883
336	EVAUV2	118	0.5323	1.7136	0.3106
504	LDPE*	88	0.2277	1.7265	0.1319
504	EVA	82	2.8957	1.6604	1.7439
504	EVAUV05	110	0.5143	1.6593	0.3099
504	EVAUV1	110	0.5154	1.6753	0.3077
504	EVAUV2	120	0.5969	1.7174	0.3475

*ฟิล์มพลาสติกชนิด LDPE ใช้ค่าการดูดกลืนรังสีที่ Wave Number 1,710 cm⁻¹ ในการคำนวณ

ตารางที่ ก.2 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ไม่ตากรังสีอัลตราไวโอเลต)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	82	17.26	10.80	103	340
LDPE	2	82	80	15.22	8.24	105	335
LDPE	3	80	80	14.67	14.27	100	333
ค่าเฉลี่ย				15.72	11.10	103	336
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				1.11	2.47	2.05	2.94
EVA	1	98	100	17.55	12.23	285	427
EVA	2	97	98	14.70	11.30	280	424
EVA	3	100	102	12.86	7.78	275	432
ค่าเฉลี่ย				15.04	10.44	280	428
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				1.93	1.92	4.08	3.30
EVAUV05	1	105	105	14.80	10.38	277	423
EVAUV05	2	108	110	15.00	10.31	285	430
EVAUV05	3	106	106	15.21	10.35	292	406
ค่าเฉลี่ย				15.00	10.35	285	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.17	0.03	6.13	10.08
EVAUV1	1	106	110	15.25	10.36	286	430
EVAUV1	2	108	112	15.24	10.40	293	428
EVAUV1	3	110	108	15.10	10.20	280	420
ค่าเฉลี่ย		108	110	15.20	10.32	286	426
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.07	0.09	5.31	4.32
EVAUV2	1	110	108	16.10	10.15	287	425
EVAUV2	2	114	110	15.28	10.71	282	422
EVAUV2	3	112	110	14.51	10.19	282	414
ค่าเฉลี่ย				15.30	10.35	284	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.65	0.26	2.36	4.64

ตารางที่ ก. 3 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 24 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	82	80	15.60	10.80	102	332
LDPE	2	82	83	15.25	11.30	101	333
LDPE	3	82	84	15.35	11.14	100	325
ค่าเฉลี่ย				15.40	11.08	101	330
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.15	0.21	0.82	3.56
EVA	1	98	100	14.75	10.34	280	425
EVA	2	96	98	15.30	10.45	275	422
EVA	3	98	102	14.94	10.24	272	413
ค่าเฉลี่ย				15.00	10.34	276	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.23	0.08	3.30	5.10
EVAUV05	1	104	108	14.88	10.40	280	415
EVAUV05	2	106	110	14.61	10.27	270	423
EVAUV05	3	106	106	15.2	10.35	275	427
ค่าเฉลี่ย				14.90	10.34	275	422
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.24	0.05	4.08	4.99
EVAUV1	1	112	108	15.31	10.39	282	422
EVAUV1	2	110	110	15.12	10.24	283	420
EVAUV1	3	110	114	15.22	10.30	280	430
ค่าเฉลี่ย				15.22	10.00	282	424
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.08	0.06	1.25	432
EVAUV2	1	110	110	15.25	10.46	283	430
EVAUV2	2	108	108	15.43	10.25	288	425
EVAUV2	3	116	112	15.21	10.27	280	428
ค่าเฉลี่ย				15.30	10.33	284	428
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.10	0.09	3.30	2.05

ตารางที่ ค.4 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 48 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	80	14.60	10.80	102	350
LDPE	2	82	80	15.38	10.28	104	330
LDPE	3	82	82	15.01	11.91	100	315
ค่าเฉลี่ย				15.00	11.00	102	332
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.32	0.68	1.63	14.34
EVA	1	106	102	14.80	10.05	254	417
EVA	2	104	104	13.90	10.31	268	410
EVA	3	104	104	15.10	10.35	262	420
ค่าเฉลี่ย				14.60	10.24	261	416
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.51	0.13	5.73	4.19
EVAUV05	1	110	110	14.82	10.34	255	430
EVAUV05	2	108	110	14.42	10.33	265	395
EVAUV05	3	108	112	15.17	10.25	260	438
ค่าเฉลี่ย				14.80	10.31	260	421
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.31	0.04	4.08	18.67
EVAUV1	1	114	116	15.18	10.26	280	420
EVAUV1	2	114	112	15.10	10.41	282	428
EVAUV1	3	116	118	15.37	10.20	272	424
ค่าเฉลี่ย				15.22	10.29	278	424
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.11	0.09	4.32	3.27
EVAUV2	1	116	116	15.13	10.31	275	440
EVAUV2	2	114	116	15.43	10.39	286	430
EVAUV2	3	114	118	15.19	10.29	280	414
ค่าเฉลี่ย				15.25	10.33	280	428
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.13	0.05	4.50	10.71

ตารางที่ ก.5 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 72 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	84	14.90	10.90	106	330
LDPE	2	82	82	14.50	11.01	100	340
LDPE	3	82	80	15.01	11.09	100	315
ค่าเฉลี่ย				14.80	11.00	102	328
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.22	0.08	2.83	10.27
EVA	1	104	106	14.82	10.16	252	420
EVA	2	106	108	14.33	10.23	252	410
EVA	3	106	106	14.05	10.24	265	400
ค่าเฉลี่ย				14.40	10.21	256	410
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.32	0.04	6.13	8.16
EVAUV05	1	110	114	14.77	10.13	250	420
EVAUV05	2	112	114	14.82	10.37	243	425
EVAUV05	3	112	112	14.82	10.35	270	410
ค่าเฉลี่ย				14.80	10.28	254	418
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.02	0.11	11.44	6.24
EVAUV1	1	114	116	15.16	10.81	275	405
EVAUV1	2	116	114	15.10	10.11	260	425
EVAUV1	3	116	118	15.17	9.88	269	430
ค่าเฉลี่ย				15.14	10.27	268	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.03	0.40	6.16	10.80
EVAUV2	1	118	118	15.23	10.61	285	430
EVAUV2	2	118	116	15.13	10.19	280	420
EVAUV2	3	116	114	15.30	10.09	280	423
ค่าเฉลี่ย				15.22	10.30	282	424
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.07	0.22	2.36	4.19

ตารางที่ ก.6 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเลต 96 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	82	82	14.97	10.94	100	342
LDPE	2	80	80	14.56	10.51	100	320
LDPE	3	80	82	15.21	10.99	102	323
ค่าเฉลี่ย				14.91	10.81	101	328
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.27	0.21	0.94	9.74
EVA	1	102	104	14.12	10.16	240	410
EVA	2	102	104	13.93	10.23	246	402
EVA	3	104	106	14.05	10.14	253	412
ค่าเฉลี่ย				14.03	10.18	246	408
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.08	0.04	5.31	4.32
EVAUV05	1	108	106	14.67	10.28	256	420
EVAUV05	2	110	104	14.82	10.24	255	416
EVAUV05	3	110	106	14.62	10.25	240	412
ค่าเฉลี่ย				14.70	10.26	250	416
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.08	0.02	7.32	3.27
EVAUV1	1	110	114	15.35	10.11	260	420
EVAUV1	2	112	114	15.00	10.41	245	416
EVAUV1	3	112	116	15.12	10.27	270	418
ค่าเฉลี่ย				15.16	10.26	258	418
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.14	0.12	10.27	1.63
EVAUV2	1	116	116	15.25	10.21	280	430
EVAUV2	2	116	114	15.03	10.19	280	420
EVAUV2	3	112	114	15.29	10.39	273	425
ค่าเฉลี่ย				15.19	10.26	278	425
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.11	0.09	3.30	4.08

ตารางที่ ค.7 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 120 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	82	14.30	10.90	102	327
LDPE	2	82	82	14.30	10.67	97	330
LDPE	3	82	84	14.01	10.89	96	322
ค่าเฉลี่ย				14.20	10.82	98	326
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.14	0.11	2.62	3.30
EVA	1	104	106	13.82	10.16	235	403
EVA	2	104	106	13.83	10.03	245	400
EVA	3	106	104	13.61	10.14	246	402
ค่าเฉลี่ย				13.75	10.11	242	402
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.10	0.05	4.97	1.25
EVAUV05	1	108	108	14.68	10.04	244	420
EVAUV05	2	106	106	14.60	10.38	248	413
EVAUV05	3	106	106	14.52	10.32	246	410
ค่าเฉลี่ย				14.60	10.25	246	414
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.06	0.15	1.63	4.19
EVAUV1	1	114	118	15.18	10.11	270	430
EVAUV1	2	114	116	15.20	10.41	260	420
EVAUV1	3	118	116	14.97	10.21	220	409
ค่าเฉลี่ย				15.12	10.24	250	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.11	0.12	21.60	8.58
EVAUV2	1	118	116	15.13	9.87	278	430
EVAUV2	2	114	114	15.18	10.21	274	410
EVAUV2	3	114	114	15.16	10.59	265	420
ค่าเฉลี่ย				15.16	10.22	272	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.02	0.29	5.44	8.16

ตารางที่ ค.8 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 144 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	82	80	13.75	10.94	100	150
LDPE	2	80	82	13.82	10.51	89	140
LDPE	3	82	82	13.95	10.89	98	142
ค่าเฉลี่ย				13.84	10.78	96	144
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.08	0.19	4.78	4.32
EVA	1	104	106	13.62	9.96	250	320
EVA	2	106	104	13.83	10.09	228	330
EVA	3	106	106	13.05	10.23	230	310
ค่าเฉลี่ย				13.50	10.09	236	320
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.33	0.11	9.93	8.16
EVAUV05	1	110	112	14.57	10.04	246	400
EVAUV05	2	112	114	14.12	10.21	240	398
EVAUV05	3	112	114	14.22	10.35	235	396
ค่าเฉลี่ย				14.30	10.20	240	398
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.19	0.13	4.50	1.63
EVAUV1	1	114	116	15.20	10.10	254	412
EVAUV1	2	114	118	15.12	10.23	240	422
EVAUV1	3	116	118	14.53	10.28	244	420
ค่าเฉลี่ย				14.95	10.20	246	418
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.30	0.08	5.89	4.32
EVAUV2	1	116	114	15.03	9.91	270	412
EVAUV2	2	116	116	15.13	10.19	272	440
EVAUV2	3	118	116	15.26	10.44	262	414
ค่าเฉลี่ย				15.14	10.18	268	422
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.09	0.22	4.32	12.75

ตารางที่ ค.9 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 168 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	82	13.53	10.74	98	324
LDPE	2	82	80	13.46	10.41	93	310
LDPE	3	82	82	13.82	10.89	92.5	315
ค่าเฉลี่ย				13.60	10.68	94.5	316
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.16	0.20	2.48	5.79
EVA	1	104	106	13.42	9.56	240	385
EVA	2	104	106	13.13	9.93	230	395
EVA	3	106	104	13.05	10.04	220	390
ค่าเฉลี่ย				13.20	9.84	230	390
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.16	0.21	8.16	4.08
EVAUV05	1	108	114	13.67	10.04	246	405
EVAUV05	2	110	114	14.12	10.25	235	420
EVAUV05	3	110	116	13.72	10.25	230	400
ค่าเฉลี่ย				13.84	10.18	237	408
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.20	0.10	6.68	8.50
EVAUV1	1	118	118	14.93	10.11	240	420
EVAUV1	2	118	118	14.92	10.24	245	412
EVAUV1	3	116	114	14.77	10.18	230	416
ค่าเฉลี่ย				14.87	10.18	238	416
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.08	0.05	6.24	3.27
EVAUV2	1	116	118	15.12	10.11	280	430
EVAUV2	2	116	114	15.23	10.09	220	420
EVAUV2	3	118	116	14.95	10.40	280	410
ค่าเฉลี่ย				15.10	10.20	260	420
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.12	0.14	28.28	8.16

ตารางที่ ค.10 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 336 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	80	13.05	10.80	94	300
LDPE	2	82	82	13.15	11.00	90	330
LDPE	3	82	80	12.85	10.00	92	300
ค่าเฉลี่ย				13.02	10.60	92	310
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.12	0.43	1.63	14.14
EVA	1	102	100	13.12	9.80	230	380
EVA	2	100	102	12.85	9.70	220	400
EVA	3	100	100	12.51	9.65	209	360
ค่าเฉลี่ย				12.83	9.72	220	380
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.25	0.06	8.58	16.33
EVAUV05	1	104	100	13.8	10.25	410	240
EVAUV05	2	100	102	13.12	10.00	400	220
EVAUV05	3	102	100	13.89	10.00	390	230
ค่าเฉลี่ย				13.60	10.08	400	230
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.34	0.12	8.16	8.16
EVAUV1	1	102	100	15.00	10.20	240	410
EVAUV1	2	102	100	14.50	10.20	220	400
EVAUV1	3	100	104	14.00	10.00	230	408
ค่าเฉลี่ย				14.50	10.13	230	406
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.41	0.09	8.16	4.32
EVAUV2	1	100	102	14.90	10.20	260	395
EVAUV2	2	104	100	15.00	10.30	250	400
EVAUV2	3	100	100	14.95	10.05	240	405
ค่าเฉลี่ย				14.95	10.18	250	400
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.05	0.12	10.00	5.00

ตารางที่ ค.11 ผลของระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติก
(ระยะเวลาการตากรังสีอัลตราไวโอเล็ต 504 ชั่วโมง)

ชนิดของฟิล์มพลาสติก	ทดสอบ ครั้งที่	ความหนา (ไมครอน)		Tensile Strength (MPa)		% Elongation	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
LDPE	1	80	82	12.70	10.50	95	330
LDPE	2	82	80	13.00	10.20	90	290
LDPE	3	80	82	12.75	10.20	84	280
ค่าเฉลี่ย				12.82	10.30	90	300
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.13	0.14	4.49	21.6
EVA	1	104	100	12.60	10.00	220	370
EVA	2	100	102	12.50	9.34	210	400
EVA	3	102	100	12.40	9.50	215	340
ค่าเฉลี่ย				12.50	9.613	215	370
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.08	0.28	4.08	24.49
EVAUV05	1	105	110	13.80	10.00	220	400
EVAUV05	2	105	110	13.26	9.50	240	395
EVAUV05	3	106	112	13.12	10.36	200	390
ค่าเฉลี่ย				13.93	9.95	220	395
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.29	0.35	16.33	4.08
EVAUV1	1	112	108	14.60	11.80	225	410
EVAUV1	2	112	110	14.40	9.22	220	390
EVAUV1	3	110	112	14.20	9.05	230	385
ค่าเฉลี่ย				14.40	10.02	225	395
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.16	1.26	4.08	10.80
EVAUV2	1	108	110	15.00	10.10	240	430
EVAUV2	2	110	108	14.80	10.40	255	400
EVAUV2	3	114	108	14.60	11.00	240	380
ค่าเฉลี่ย				14.80	10.50	245	403
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.20	0.46	8.66	25.17

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	ชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว
วัน เดือน ปี เกิด	วันที่ 18 ธันวาคม 2521
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2542

ประสบการณ์การทำงาน

1. นักศึกษาฝึกงาน ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต บริษัท แปซิฟิค อินซูเลติง แมททีเรียล (ประเทศไทย) จำกัด พฤศจิกายน 2542 - มกราคม 2543.
2. ผู้ช่วยนักวิจัย กรมพัฒนาที่ดิน เมษายน 2546 - กันยายน 2546.
3. ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัท เอส. ซี. ฟู้ดแวร์ แมททีเรียล จำกัด กรกฎาคม 2547 - ธันวาคม 2548.

ผลงานทางวิชาการ

1. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ และชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว “การดูดซับไอออนเหล็ก ตะกั่ว และแคดเมียม จากสารละลายด้วยตัวดูดซับประเภทเส้นผม” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ฉบับที่ 9, เล่มที่ 1, มกราคม-มีนาคม 2545. หน้า 95-98
2. ชาญณรงค์ ยิ้มแก้ว และสุรัตน์ อารีรัตน์ “การพัฒนาฟิล์มพลาสติกชนิดเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต ป้องกันไฟฟ้าสถิต และป้องกันการเกิดฝ้า สำหรับงานด้านการเกษตรกรรม.” “การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมี และเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15”. ชลบุรี: 27-28 ตุลาคม 2548. หน้า 85