

วัสดุเชิงประกอบที่ทำจากผงใบสับปะรดและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



นางสาวอรชา โนนตา

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4153-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPOSITE MATERIALS PREPARED FROM PINEAPPLE LEAF POWDER AND
POLYVINYL ALCOHOL SOLUTION



MissOrracha Nonta

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

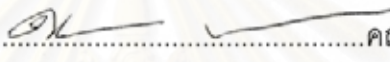
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

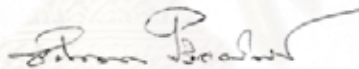
SIBN 974-17-4153-7

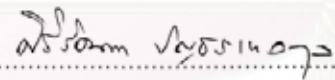
หัวข้อวิทยานิพนธ์ วัสดุเชิงประกอบที่ทำจากผงใบสับประรดและสารละลายพอลิไวเนิล
แอลกอฮอล์
โดย นางสาวอรุษา โนนตา
สาขาวิชา นิเวศเคี๋ยร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล

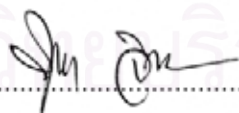
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณยศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทรโยธา)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

อรรถา โนนตา : วัสดุเชิงประกอบที่ทำจากผงใบสับประรดและสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์. (COMPOSITE MATERIALS PREPARED FROM PINEAPPLE LEAF POWDER AND POLYVINYL ALCOHOL SOLUTION) อ.ที่ปรึกษา รศ. ศิริวัฒนา บัญชาพรเทวกุล 94 หน้า ISBN 974-17-4153-7

การวิจัยนี้เป็นการทดลองผลิตวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-ผงใบสับประรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) ที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์และศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุดังกล่าว ได้แก่ คุณสมบัติเชิงกล คือ ความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว โมดูลัสแรงดึง และความทนแรงฉีก คุณสมบัติเชิงเคมี ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์การบวมในตัวทำละลาย กรด และต่าง เปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลที่ปริมาณรังสี 25-75 กิโลเกรย์ คุณสมบัติเชิงความร้อน คือหาจุดหลอมเหลว รวมทั้งศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ

ผลการวิจัย พบว่าการฉายรังสีแกมมาแก่วัสดุเชิงประกอบทำให้คุณสมบัติเชิงกล คือ ความทนแรงดึง โมดูลัสแรงดึง ความทนแรงฉีก มีค่าสูงขึ้น วัสดุเชิงประกอบทนต่อน้ำและสารเคมีได้ดี โดยปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ เป็นปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการปรับปรุงวัสดุเชิงประกอบ และวัสดุเชิงประกอบที่ใช้ผงใบสับประรดผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก 5 เปอร์เซ็นต์มีค่าความทนแรงฉีกดี และทนความร้อนสูง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....นิเวศวิทยเทคโนโลยี.....

สาขาวิชา.....นิเวศวิทยเทคโนโลยี.....

ปีการศึกษา.... 2548.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4570638521 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : POLYVINYL ALCOHOL, PINEAPPLE LEAF POWDER, COMPOSITES

ORRACHA NONTA : COMPOSITE MATERIALS PREPARED FROM PINEAPPLE
LEAF POWDER AND POLYVINYL ALCOHOL SOLUTION

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SIRIWATTANA BUNCHORNDHEVAKUL, 94
pp ISBN 974-17-4153-7

A study was carried out to prepare a composite material from polyvinyl alcohol and pineapple leaf powder (PVA-PALP). PALP was used after surface modification by stearic acid and maleic anhydride polypropylene (MAH-PP). Gamma irradiation from 0-75 kGy of the composites were put to mechanical, chemical and thermal properties tests including tensile strength, tensile modulus, elongation at break and tear resistance, water absorption, solvent swelling, melting temperature and photomicrographs.

The results showed that gamma radiation played an important role for improving the mechanical and chemical properties of PVA-PALP in this study. The tensile strength, tensile modulus and tear properties of PVA-PALP matrix resin were markedly improved with increasing radiation dose up to 25 kGy. PVA-PALP composites improved with 5 percent stearic acid gave good tear strength and high heat resistance.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Nuclear Technology.....

Field of study.....Nuclear Technology.....

Academic year...2005.....

Student's signature.....

Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

หน้านี้หายไป ไม่มีในต้นฉบับที่นำมาสแกน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 สถานที่ทำการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2. ทฤษฎี.....	8
2.1 วัสดุเชิงประกอบ.....	9
2.2 สารเติมแต่งในพลาสติก.....	9
2.2.1 ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือสารทำให้แข็งตัว.....	10
2.2.2 สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา.....	10
2.2.3 พลาสติกไซเซออร์.....	10
2.2.4 ฟิลเลอร์.....	10
2.3 ปฏิกริยาระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติม.....	10
2.4 ฟิลเลอร์.....	11
2.4.1 ผลของฟิลเลอร์ต่อสมบัติของพอลิเมอร์.....	11
2.4.2 สมบัติของฟิลเลอร์.....	12
2.4.3 การเลือกใช้ฟิลเลอร์.....	14
2.5 สารประสาน.....	14

2.5.1	กลไกการปรับปรุงการยึดระหว่างฟิลเลอร์และเส้นใยเสริมแรง กับพอลิเมอร์โดยการใช้สารประสาน.....	15
2.5.2	มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์.....	16
2.6	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	17
2.7	ไบสปีปะรดและองค์ประกอบของไบสปีปะรด.....	19
2.7.1	เซลลูโลส.....	19
2.7.2	เฮมิเซลลูโลส.....	19
2.7.3	ลิกนิน.....	19
2.8	คุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....	20
2.8.1	คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ.....	20
2.8.2	คุณสมบัติเชิงคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ.....	24
2.8.3	คุณสมบัติเชิงเคมีของวัสดุเชิงประกอบ.....	24
2.9	เคมีรังสีของพอลิเมอร์.....	25
2.9.1	การเกิดครอสลิงค์และการเกิดเสื่อมสลายของพอลิเมอร์โดยรังสี.....	25
2.9.2	ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี.....	27
2.9.3	การหาปริมาณการเกิดครอสลิงค์ของพอลิเมอร์โดยการหา เปอร์เซ็นต์เจล.....	27
3.	สารเคมี เครื่องมือ และวิธีดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1	การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP และวิธีการขึ้นรูป.....	28
3.1.1	วัสดุและสารเคมี.....	28
3.1.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	31
3.1.3	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง.....	34
3.2	การฉายรังสีแกมมาวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	39
3.2.1	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.2.2	การทำ Mapping ก่อนการฉายรังสี.....	40
3.2.3	ขั้นตอนการฉายรังสีวัสดุเชิงประกอบ.....	42
3.3	การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	42
3.3.1	ความทนแรงดึง.....	42
3.3.2	ความทนต่อแรงฉีก.....	45

บทที่	หน้า
3.3.3 การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ.....	48
3.3.4 เปอร์เซ็นต์เจล.....	49
3.3.5 ความทนต่อสารเคมี.....	50
3.3.6 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ.....	51
3.3.7 สมบัติเชิงอุณหภูมิตั้งแต่.....	51
4. ผลการทดลอง.....	52
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	52
4.1.1 ความทนแรงดึง (Tensile strength).....	52
4.1.2 เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation).....	59
4.1.3 โมดูลัสแรงดึง (Modulus of Elasticity).....	64
4.1.4 ความทนแรงฉีก (Tear resistance).....	69
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเคมีของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	74
4.2.1 การดูดซึมน้ำ (%water absorption) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	74
4.2.2 การบวมในตัวทำละลาย กรด และด่าง.....	76
4.3 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP....	78
4.4 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ.....	79
4.5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนโดยการหาอุณหภูมิการหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	82
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	83
5.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	83
5.2 สมบัติเชิงเคมีของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	87
5.3 ผลของเปอร์เซ็นต์เจลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP.....	88
5.4 สมบัติเชิงอุณหภูมิตั้งแต่.....	88
รายการอ้างอิง.....	90
บรรณานุกรม.....	93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	94

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1	26
ตารางที่ 3.1	28
ตารางที่ 3.2	29
ตารางที่ 3.3	30
ตารางที่ 3.4	37
ตารางที่ 3.5	38
ตารางที่ 3.6	39
ตารางที่ 3.7	41
ตารางที่ 3.8	42
ตารางที่ 4.1	53
ตารางที่ 4.2	54
ตารางที่ 4.3	56
ตารางที่ 4.4	57
ตารางที่ 4.5	60
ตารางที่ 4.6	61
ตารางที่ 4.7	62
ตารางที่ 4.8	64
ตารางที่ 4.9	66

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่ผ่านการฉายรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	67
ตารางที่ 4.11 ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ปริมาณรังสี 0 -75 กิโลเกรย์.	70
ตารางที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0 -75 กิโลเกรย์.....	74



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังวัสดุเชิงประกอบประเภทต่างๆ.....	8
รูปที่ 2.2 การยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์หรือเส้นใยเสริมแรงโดยการใช้สารประสาน...	15
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ MAH-PP.....	16
รูปที่ 2.4 ปฏิกริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและ MAH-PP.....	17
รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....	18
รูปที่ 2.6 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกริยาแอลกอฮอล์ลิซิส.....	18
รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....	19
รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	20
รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของลิกนิน.....	20
รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของพอลิเมอร์.....	26
รูปที่ 2.11 กลไกการเสื่อมสลายเนื่องจากออกซิเจนในขณะฉายรังสี.....	27
รูปที่ 3.1 ไบสับปะรด.....	29
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์.....	31
รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งสารทศนิยม 5 ตำแหน่ง.....	31
รูปที่ 3.4 ตู้อบ (oven).....	32
รูปที่ 3.5 โถแก้วดูดความชื้น.....	32
รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้ว.....	32
รูปที่ 3.7 ตะแกรงร่อนผงไบสับปะรด.....	33
รูปที่ 3.8 แผนกระดาษสำหรับเตรียมตัวอย่าง.....	33
รูปที่ 3.9 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย.....	34
รูปที่ 3.10 เครื่องฉายรังสีแกมมา.....	39
รูปที่ 3.11 Red Harwell 4043 PMMA dosimeter.....	40
รูปที่ 3.12 แผนภาพการทำ Mapping ก่อนฉายรังสีด้วยเครื่อง gamma cell 220.....	40
รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีต่อเวลา.....	41
รูปที่ 3.14 เครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้กำลังลม.....	42
รูปที่ 3.15 ลักษณะหัวตัดรูปดัมเบล.....	43
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างสำหรับทดสอบการดึง.....	43

รูป	หน้า
รูปที่ 3.17 เครื่องวัดความหนา.....	43
รูปที่ 3.18 อุปกรณ์กำหนด gauge length	44
รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบการดึง (tensile tester)	44
รูปที่ 3.20 เครื่องทดสอบการฉีกขาด (tear tester)	45
รูปที่ 3.21 เครื่องวัดความหนา (micrometer)	46
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างสำหรับทดสอบความทนแรงฉีก.....	46
รูปที่ 3.23 ลักษณะการดึงตัวอย่างสำหรับทดสอบการทนต่อแรงฉีกขาด.....	47
รูปที่ 4.1 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	53
รูปที่ 4.2 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	55
รูปที่ 4.3 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สตีริก ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	56
รูปที่ 4.4 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP- MAH-PP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	58
รูปที่ 4.5 แผนภูมิค่าความทนแรงดึงที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	59
รูปที่ 4.6 ค่า %Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	60
รูปที่ 4.7 ค่า %Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP -สตีริก ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	61
รูปที่ 4.8 ค่า % Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP -MAH-PPที่เติมสารตัวเติม 0-20เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	62
รูปที่ 4.9 ค่า % Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALPแต่ละชนิดที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	63
รูปที่ 4.10 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALPที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	65
รูปที่ 4.11 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP -สตีริก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	66

รูป	หน้า
รูปที่ 4.12 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP -MAH-PP ที่ปริมาณ รังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	67
รูปที่ 4.13 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ทุกชนิด ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	68
รูปที่ 4.14 ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ฝังใบบัปประรด ไม่ผ่านการปรับปรุง ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	70
รูปที่ 4.15 ค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สเดียริกที่ปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์.....	71
รูปที่ 4.16 ค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่ปริมาณ รังสี 0-75 กิโลเกรย์	72
รูปที่ 4.17 กราฟความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิด ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	73
รูปที่ 4.18 กราฟการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	75
รูปที่ 4.19 กราฟ %swellability ของวัสดุเชิงประกอบใน xylene ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	76
รูปที่ 4.20 กราฟ %swellability ของวัสดุเชิงประกอบใน toluene ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	76
รูปที่ 4.21 กราฟ %swellability ของวัสดุเชิงประกอบใน methanol ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	77
รูปที่ 4.22 กราฟ %swellability ของวัสดุเชิงประกอบใน chloroform ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	77
รูปที่ 4.23 กราฟ %swellability ของวัสดุเชิงประกอบใน acetic acid ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	78
รูปที่ 4.24 ค่าความเป็นเจลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 25-75 กิโลเกรย์.....	79
รูปที่ 4.25 ลักษณะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี.....	80
รูปที่ 4.26 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบฝังใบบัปประรด-ที่ 5 เปอร์เซนต์สารตัวเติม ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์.....	80

รูป	หน้า
รูปที่ 4.27 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบผงใบสับประด-สเดียริก ที่ 5 เปอร์เซนต์สาร ตัวเติมผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์.....	81
รูปที่ 4.28 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบผงใบสับประด-MAH-PP ที่ 5 เปอร์เซนต์สาร ตัวเติมผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์.....	81
รูปที่ 5.1 แผนภูมิค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	84
รูปที่ 5.2 แผนภูมิค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	84
รูปที่ 5.3 แผนภูมิค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	85
รูปที่ 5.4 แผนภูมิค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์.....	85

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

สับปะรด (*Ananas comosus* L.) ถือเป็นพืชสารพัดประโยชน์ เนื่องจากทุกส่วนของสับปะรดนั้นนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น เช่นส่วนที่เป็นผลมีรสชาติดี นำมาเป็นอาหาร และยาบางประเภทได้ ส่วนที่เป็นเปลือกสามารถนำมาทำปุ๋ยพืชสด ส่วนที่เป็นใบนอกจากการไถกลบเป็นปุ๋ยแล้ว เส้นใยภายในใบสับปะรดยังสามารถนำมาผลิตเครื่องนุ่งห่ม กระดาษ และเป็นสารตัวเติมในพลาสติกได้ การนำใบสับปะรดเหล่านี้มาแปรสภาพเพื่อมาใช้ในรูปแบบของสารตัวเติมสำหรับเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบพลาสติก นับว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจ มีความเป็นไปได้ เนื่องจากใบสับปะรดนั้นหาง่าย ราคาถูก และยังเป็นกรเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ดังกล่าวได้อีกด้วย งานวิจัยนี้เลือกใช้พลาสติกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เนื่องจากเป็นพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เร็ว เนื่องจากมีสมบัติละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงมีการแปรสภาพใบสับปะรดให้มีลักษณะและขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นสารตัวเติมก่อน จากการศึกษาโดย O.A., Battista (1950) พบว่าวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง ทำให้ใบสับปะรดเปลี่ยนสภาพจากลักษณะเส้นใยกลายเป็นผงได้ดี

ผงใบสับปะรดที่เตรียมได้มีลักษณะของความชอบน้ำ (hydrophilic) และมีขั้ว (polar) เนื่องจากใบสับปะรดมีองค์ประกอบหลักประเภทเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งมีสมบัติคล้ายกับโครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของน้ำได้เช่นกัน แต่มีลักษณะตรงข้ามกับผงใบสับปะรดคือ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่มีขั้ว (non-polar) จากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดปัญหาการกระจายตัวและยึดติดระหว่างผงใบสับปะรดและเนื้อพลาสติกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากสมบัติความชอบน้ำของผงใบสับปะรดและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำดี มีความทนทานต่อสิ่งแวดล้อมและอายุการใช้งานลดลง จึงต้องมีการปรับปรุงผงใบสับปะรดให้มีลักษณะชอบน้ำและความมีขั้วลดลง เพื่อให้สามารถเข้ากันได้ดีกับเนื้อพลาสติก ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบที่ได้จึงเหมาะที่จะนำมาทำเป็นวัสดุบรรจุหีบห่อที่สามารถสลายตัวได้ง่าย

การฉายรังสีมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ การครอสลิงค์ (cross-linking) และการเสื่อมสลาย (degradation) ในสายโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Benlian Wang และคณะ, 2000) ขึ้นกับโครงสร้างภายในของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีสูตร

โครงสร้างที่สอดคล้องต่อการเกิดการครอสลิงค์ได้ ($-\text{CH}_2\text{CHR}-$) ดังนั้นจากเหตุผลข้างต้น การฉายรังสีจึงน่าจะทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ผลิตจากไวนิล พอลิเมอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น รวมทั้งการดูดซึมน้ำและความชื้นลดลง

วิทยานิพนธ์เรื่องนี้ได้ทำการปรับปรุงสารตัวเติมผงใบสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเซลลูโลสชนิดหนึ่ง โดยใช้สารเคมี 2 ชนิดคือ กรดสเตียริก (stearic acid) และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) กับผงใบสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ซึ่งจากการค้นคว้าพบว่ากรดสเตียริก (R.G. Raj และ B.V. Kokta, 1989) และ MAH-PP (J.M.Felix และ P. Gatenholm, 1991) สารทั้งสองนี้เป็นสารที่นิยมใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยเซลลูโลส และพลาสติก หลังจากทำการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยสารเคมีดังกล่าวแล้ว จึงนำผงใบสับปะรดที่ได้มาผสมเป็นวัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรด-พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol-Pineapple leaf powder composites (PVA-PALP Composites)) ตามกระบวนการที่เหมาะสม นำไปผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ทดสอบและวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ คือ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การดูดซึมน้ำและการบวมในตัวทำละลายชนิดต่างๆ เปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลหลังผ่านการฉายรังสีปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ และโครงสร้างภายในของวัสดุเชิงประกอบด้วย SEM เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสิ่งของเหลือใช้จากการเกษตร โดยการแปรสภาพสิ่งของเหลือใช้นั้นให้มีรูปแบบและการใช้งานที่ต่างไป หรือดัดแปลงให้สามารถใช้งานทดแทนวัสดุอื่นที่มีราคาแพงกว่าได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสิ่งของที่เหลือใช้แล้ว และคาดว่าจะได้วัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผลิตด้วยผงใบสับปะรดที่มีสมบัติดี และสามารถใช้งานได้จริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทดลองผลิตและศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิล แอลกอฮอล์-ผงใบสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) ที่ฉายรังสีแกมมา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ทดลองผลิตวัสดุเชิงประกอบ Polyvinyl alcohol–Pineapple Leaf Powder (PVA-PALP Composite) โดยใช้สารตัวเติมที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรดสเตียริก (stearic acid) และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP Copolymer)
- 1.3.2 ทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุเชิงประกอบที่ทดลองผลิตได้ จากข้อ 1 หลังการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ปรับปรุงผงตัวเติมใบสับปะรด ด้วยกรดสเตียริก หรือมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์
- 1.4.3 ทดลองผลิตวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ด้วยผงใบสับปะรดที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกหรือมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์
- 1.4.4 ฉายรังสีแกมมาวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์
- 1.4.5 ทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ ได้แก่ คุณสมบัติเชิงกล คือค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ค่าความทนแรงฉีกขาด (tear strength) โมดูลัสของแรงดึง (tensile modulus) และเปอร์เซ็นต์การยืด (%Elongation) สมบัติการดูดซึมน้ำ การบวมในตัวทำละลาย ได้แก่ Toluene Methanol Acetic acid Chloroform และ Xylene เปอร์เซ็นต์ความเป็นเจล รวมทั้ง ศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบและสมบัติทางความร้อน
- 1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูล และเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

- 1.5.1 ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : จัดเตรียมแผ่นวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-ผงไบสับปะรด
- 1.5.2 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ (ปพ.) : ฉายรังสีแกมมาแผ่นวัสดุเชิงประกอบ
- 1.5.3 สถาบันวิจัยยาง ส่วนอุตสาหกรรม กรมวิชาการเกษตร : ทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุเชิงประกอบ
- 1.5.4 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)
- 1.5.5 วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : หาอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature) ของวัสดุเชิงประกอบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุเชิงประกอบจากผงไบสับปะรดและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

1.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ก. **ดวงดาว อัจจงค์ (2545)** ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การปรับปรุงผิวของผงฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพทางเคมีของเศษผ้าฝ้ายเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน" โดยการนำเศษผ้าฝ้ายมาแปรสภาพเป็นผงฝ้ายด้วยวิธีไฮโดรไลซิส เพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในพลาสติกพอลิโพรพิลีน และทำการปรับปรุงพื้นผิวผงฝ้ายด้วยกรดสเตียริก และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ เพื่อให้ผงฝ้ายสามารถจับกับพลาสติกได้ดี และมีความชอบน้ำลดลง จากนั้นผลิตวัสดุเชิงประกอบผงฝ้ายที่มีผงตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน การดูดซึมน้ำ และลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบผงฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์มีสมบัติความทนแรงดึงและความทนแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก และสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผงฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วย SEM

ข. **สุพรรณิ พงศ์กิจจิตร (2537)** ได้ทำการศึกษาผลของเกลือโลหะที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มพีวีเอ โดยการเตรียมฟิล์มพีวีเอ และฟิล์มพีวีเอผสมเกลือโลหะคลอไรด์ต่าง ๆ ชนิด ในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นนำฟิล์มที่อบแห้งแล้วไปทำการตรวจสอบผลของเกลือที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์มด้วยเทคนิคต่างๆ กัน ได้แก่ UV-VIS spectroscopy, IR

spectroscopy, ATR-FTIR spectroscopy, FTIR spectroscopy, Raman spectroscopy, DMTA, Tensile testing, Water absorption, Organic solvent absorption และ Optical microscopy พบว่าอันตรกิริยาระหว่างอิออน ของโลหะกับหมู่ไฮดรอกซิลหรือหมู่อะซีเตตที่หลงเหลือในสายโซ่ของพีวีเอฟิล์ม โดยปริมาณการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของฟิล์มพีวีเอแปรเปลี่ยนตามชนิดเกลือที่มีอยู่ในฟิล์ม

ค. Arib R.M.N., Sapuan S.M., Ahmad M., Paridah M.T., และ Khairul Zaman (2004) ได้ทำวิจัยเรื่อง "Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites" ได้ทำการผลิตวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนโดยใช้เส้นใยสับปะรดเป็นตัวเสริมแรง เนื่องจากเส้นใยสับปะรดมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ รวมทั้งหาได้ง่ายและมีราคาถูก นำวัสดุเชิงประกอบไปวิเคราะห์ พบว่าค่า โมดูลัสแรงดึงและความทนต่อแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย โดยสมบัติเชิงกลมีค่าที่ดีที่สุดที่ปริมาณเส้นใย 10.8 % ดังนี้ โมดูลัสแรงดึงและความทนต่อแรงดึงมีค่าเท่ากับ 687.02 และ 37.28 MPa ตามลำดับ และค่า flexural modulus และ flexural strength มีค่าสูงมากและสูงกว่าพอลิโพรพิลีนเปล่า ที่ปริมาณเส้นใย 2.7% และ 5.4% ตามลำดับ ผลจากการวิเคราะห์โดย SEM มีความสอดคล้องกับสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

ง. Chiellini E., Cinelli P., and, Imam S.H. (2001) ได้ทำวิจัยเรื่อง "Composite films based on biorelated agro-industrial waste and poly (vinyl alcohol). Preparation and mechanical properties characterization" ได้ทดลองผลิตวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับวัสดุทางธรรมชาติ โดยเส้นใยธรรมชาติที่นำมาปรับปรุงทำเป็นสารตัวเติม (filler) สกัดจาก อ้อย (sugar cane) แอปเปิ้ล (apple) และส้ม (orange) ทำการขึ้นรูปในรูปของสารละลายเป็นแผ่นบาง และหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบที่ได้แต่ละชนิด โดยเติม glycerol และ urea เพื่อเป็น plasticizing agent และหาประสิทธิภาพความยืดหยุ่นของแผ่นฟิล์ม แผ่นฟิล์มที่ได้วัดต่อความชื้นและน้ำ ดังนั้นจึงเติม hexamethoxymethylmelamine (HMMM) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงภายใน เพื่อลดการดูดซึมน้ำ ทำการทดสอบการดูดซึมน้ำและสมบัติเชิงกล ได้แก่ elongation at break , tensile strength และ young 's modulus พบว่ามีคุณสมบัติแตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณสารตัวเติมและชนิดของสารตัวเติม

จ. Felix J. M. และ Gatenholm P. (1991) ได้กล่าวถึงการปรับปรุงผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลสโดยใช้สารมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) ซึ่งเติมลงไปปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย และในงานวิจัยนี้ได้ใช้กระดาษกรองเป็นตัวแทนของเส้นใยเซลลูโลสเนื่องจากประกอบด้วยเซลลูโลสมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ในการศึกษาสมบัติของ

ผิวหน้าเซลลูโลส และใช้เยื่อไม้เป็นเส้นใยเซลลูโลสในการเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบ โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยคือปรับปรุงเส้นใยเซลลูโลสให้สามารถยึดติดกับพลาสติกพอลิโพรพิลีนได้ดี เพื่อคุณภาพที่ดีของวัสดุเชิงประกอบ พบว่า การเติมเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงในพลาสติกพอลิโพรพิลีนสามารถเพิ่มความทนแรงดึงได้มากกว่าการเติมเส้นใยเซลลูโลสที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และนอกจากนี้เมื่อตรวจสอบผิวหน้าเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope พบว่า ผิวหน้ามีลักษณะขรุขระคล้ายมีสารเคลือบอยู่บนผิวเส้นใยเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงซึ่งจะมีผิวหน้าเรียบ

จ. Follain N., Joly C., Dole P., and Bliard C. (2005) ได้ทำวิจัยเรื่อง "Properties of starch based blends. Part 2. Influence of polyvinyl alcohol addition and photocrosslinking on starch based materials mechanical properties" ได้ทำการศึกษาการเพิ่มโซ่กิ่งแก่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของของผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และแป้ง (ปริมาณ PVA 5 %) โดยการครอสลิงค์และปราศจากการครอสลิงค์ และพบว่าค่า Elongation เพิ่มขึ้นโดยไม่ทำให้ความแข็งแรงลดลง (strength) ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมตัวอย่างแบบ casting หรือ extrusion ก็ตาม ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และการครอสลิงค์โดยแสงเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเข้ากันระหว่างสารทั้งสองชนิด โดยเติม glycerol เพื่อเป็น plasticizer จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่าค่า elongation at break มีค่าสูงขึ้น

ข. Ozaki, S.K., Monteiro, M.B.B., Yano, H., Imamura, Y., และ Souza, M.K. (2005) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "Biodegradable composites from waste wood and poly (vinyl alcohol)" ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและน้ำหนักที่หายไปของวัสดุเชิงประกอบจากผงไม้ที่เหลือใช้กับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ร่วมกับ phthalic anhydride (PA) วัสดุเชิงประกอบดังกล่าวผ่านการอัดที่ 50 MPa ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ทดลองใส่ PA ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าให้ค่า modulus of elasticity (MOE) ประมาณ 13 GPa และค่า modulus of rupture (MOR) ประมาณ 90 MPa ศึกษาการสลายตัวทางชีวภาพด้วยวิธีการฝังดิน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่อง infrared spectroscopy , SEM และหาค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ลดลงหลังจากการฝังดิน

ข. Qi Wang, Lingyun He และ Jingui Huang. (1996) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "Supramolecular Structure and Mechanical Properties of P(AN-AM-AA) / PVA Intermacromolecular Complex Forms Through Hydrogen Bonding" ได้ทำการศึกษาโครงสร้างโมเลกุลและคุณสมบัติเชิงกลของ poly(acrylonitrile-acrylamide-acrylic acid)/PVA โดยศึกษาจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลด้วย SEM TEM และคุณสมบัติเชิงกล จากการ

ทดลองพบว่าเป็นลักษณะเส้นใยและร่างแหระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้คุณสมบัติเชิงกลได้แก่ tensile strength ของ P(AN-AM-AA) / PVA มีค่าเพิ่มขึ้นจาก PVA ถึง 3 เท่า ส่วนค่า young's modulus เพิ่มขึ้นถึง 6 เท่า

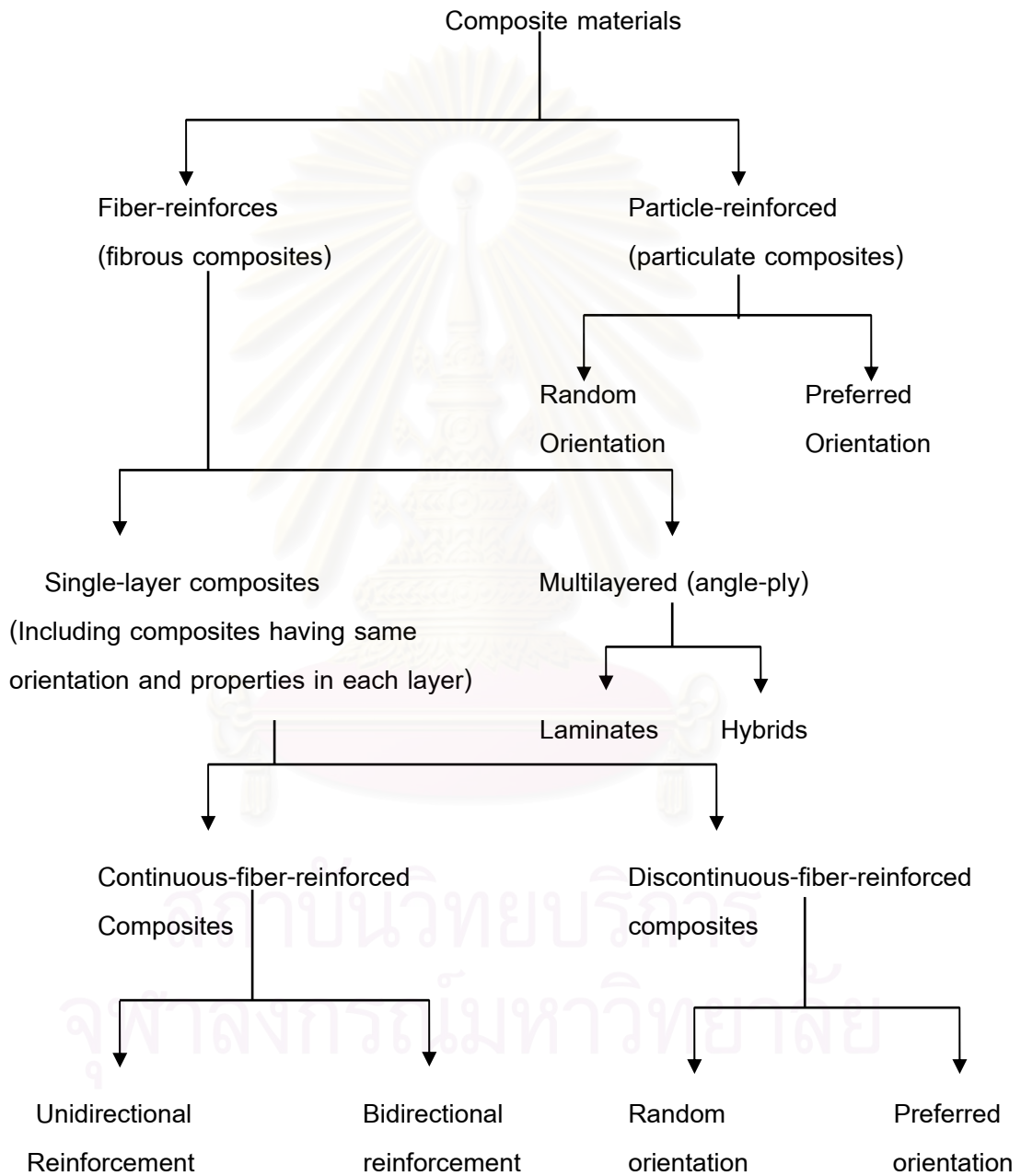
ญ. Raj R.G. และ Kokta B.V. (1989) ได้ศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงเส้นใยจากเยื่อไม้ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสด้วยกรดสเตียริก เพื่อให้สามารถผสมและกระจายตัวได้ดีในพลาสติกพอลิโพรพิลีน โดยเปรียบเทียบวิธีการปรับปรุงที่แตกต่างกัน คือ การปรับปรุงด้วยไอของกรด และการปรับปรุงด้วยสารละลายของกรด หลังจากการผสมเส้นใยกับพลาสติกพอลิโพรพิลีนและขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Optical Microscope พบว่า การปรับปรุงด้วยสารละลายจะสามารถทำให้เส้นใยกระจายตัวในเนื้อพลาสติกได้ดีกว่าและปริมาณของกรดสเตียริกที่น้อยที่สุดซึ่งส่งผลให้เส้นใยกระจายตัวได้ดีในพอลิโพรพิลีน คือ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใย

ฎ. Sandeep Kuar Jha, Stanislaus F. Souza, D. (2004) ได้ทำการศึกษาเรื่อง "Preparation of polyvinyl alcohol-polyacrylamide composite polymer membrane by gamma-irradiation for entrapment of urease" ได้ผลิตวัสดุเชิงประกอบ polyvinyl alcohol-acrylamide โดยใช้รังสีแกมมาเป็นตัวชักนำให้เกิดเรดิคัลอิสระในขบวนการพอลิเมอไรเซชัน เอนไซม์ urease เป็นตัวยึดจับในขณะที่เกิดขบวนการพอลิเมอไรเซชัน ใช้ glutaraldehyde เป็นสารเชื่อมโยงภายในเมทริกซ์

บทที่ 2

ทฤษฎี

ประเภทวัสดุเชิงประกอบ



รูปที่ 2.1 แผนผังวัสดุเชิงประกอบประเภทต่าง ๆ

(สุนิสสา และ จิราพร, 2543)

คำและความหมายที่เราควรทราบเกี่ยวกับการผลิตวัสดุเชิงประกอบ มีดังนี้

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (polymer composites) (สุณิสา และ จิราพร, 2543)

เป็นวัสดุที่ได้จากการนำวัสดุพอลิเมอร์บางชนิดมาใช้ร่วมกับวัสดุอื่นที่ไม่ใช่พอลิเมอร์หรือใช้พอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปแบบหนึ่งร่วมกับพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปแบบอื่นๆ

ลักษณะเฉพาะของ composites ประกอบด้วย วัสดุภาคที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งฝังตัวอยู่ในวัสดุภาคต่อเนื่อง โดยมักเรียก วัสดุภาคที่ไม่ต่อเนื่องว่า วัสดุเสริมแรง และเรียกวัสดุภาคต่อเนื่องว่า matrix

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นกับสมบัติของแต่ละวัสดุภาค ความเข้มข้นของแต่ละวัสดุภาค การกระจายตัวของสารตัวเติม การจัดเรียงตัวของสารตัวเติม รูปร่างของสารตัวเติม และปฏิกิริยาของวัสดุภาคทั้ง 2

พอลิเมอร์คอมโพสิตที่สำคัญ ได้แก่

- ยางรถยนต์ ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นเส้นใย นอกจากนี้ยังมีส่วนที่เป็น carbon-black และเส้นลวดเหล็กกล้าจะช่วยเสริมแรงให้กับปีกยางรถยนต์
- ผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส ประกอบด้วยเส้นใยแก้วซึ่งถูกเคลือบทับด้วยพอลิเมอร์เรซินแบบร่างแห
- สี ประกอบด้วย พอลิเมอร์ที่เป็น binder, filler, pigment และ พอลิเมอร์ซึ่งใช้เป็นสารดัดแปรความหนืด
- ไม้อัด ทำจากไม้ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ โดยทำเป็นชั้นบางๆ สลับกับพอลิเมอร์ที่ใช้ทำเป็นกาว
- โฟม จะมีฟองอากาศกระจายอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์

สำหรับวัสดุภาคที่ต่อเนื่อง (matrix) ในการวิจัยนี้ คือ พลาสติกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จึงขอกล่าวถึงความรู้เกี่ยวกับพลาสติกและสารที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก ดังนี้

2.2 สารที่เติมลงในพลาสติก

เรซิน เป็นสารอินทรีย์พื้นฐานที่ใช้ทำพลาสติก ตัวอย่างของเรซิน เช่น ยางไม้ ยางสน ลักษณะของเรซินเป็นยางเหนียวใส อาจเป็นผงหรือเป็นเม็ดแข็ง การแข็งตัวของเรซินขึ้นกับตัวเร่งปฏิกิริยา ถ้าผสมตัวเร่งปฏิกิริยามากจะแข็งตัวเร็วถ้าผสมตัวเร่งปฏิกิริยาน้อยจะแข็งตัวช้า

สารที่เติมลงในพลาสติก ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา พลาสติกไซเซออร์ และฟิลเลอร์

2.2.1 **ตัวเร่งปฏิกิริยาหรือสารทำให้แข็งตัว (catalyst หรือ hardener)** เป็นสารที่เติมลงไปในเรซินเพื่อทำให้การเกิดโพลีเมอร์เร็วขึ้นหรือเร็วยิ่งขึ้น เช่น เบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ เมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์ คิวมีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์

2.2.2 **สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator หรือ promoter)** บางครั้งตัวเร่งปฏิกิริยาไม่สามารถทำให้เรซินเกิดโพลีเมอร์เร็วขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องเติมสารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป เพื่อทำให้เกิดโพลีเมอร์เร็วขึ้น เช่น ไดเอทิลอนิปีน โคบอลต์แนฟทีเนต ไดเมทิลนิบีน เป็นต้น

ขั้นตอนการทำให้พลาสติกแข็งตัว ควรใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาก่อน ถ้าโพลีเมอร์เร็วขึ้นช้า ควรใส่สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปอีก นำมาตัวเร่งปฏิกิริยาใส่รวมกับสารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยาโดยตรง เพราะจะทำให้เกิดปฏิกิริยารุนแรง จนทำให้ระเบิดได้

2.2.3 **พลาสติกไซเซอร์** หมายถึง สารที่เติมลงในโพลีเมอร์เพื่อทำให้โพลีเมอร์หลอมตัวง่าย ลดการเปราะหรือแตกหัก มีความยืดหยุ่นและโค้งงอ ทนต่อแรงอัดและแรงดึง ตัวอย่างของพลาสติกไซเซอร์ เช่น ไดนิวติวพราเลท

2.2.4 **ฟิลเลอร์** หมายถึง สารที่เป็นของแข็ง มีลักษณะเป็นผง เป็นสารที่เติมในโพลีเมอร์หรือเรซิน เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต ทั้งนี้เพราะฟิลเลอร์มีราคาถูก และทำให้โพลีเมอร์มีสมบัติแตกต่างกันออกไป

2.3 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์และสารตัวเติม (Polymer-filler interaction) มี 4 แบบ คือ

- 1) อนุภาคเดี่ยวเฉพาะกลุ่มของตัวเติม ซึ่งจะอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์โดยไม่เกิดปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน ลักษณะแบบนี้ตัวเติมจะทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ลดลง
- 2) อนุภาคของตัวเติมกระจายอยู่ในเนื้อของพอลิเมอร์โดยพอลิเมอร์จะเคลือบที่ผิวของตัวเติม ลักษณะแบบนี้จะทำให้ค่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและการยืดตัวลดลง ซึ่งเป็นลักษณะการผสมตัวเติมเพื่อลดต้นทุนการผลิต
- 3) มีการยึดเกาะระหว่าง พอลิเมอร์ และผิวของอนุภาคตัวเติม ด้วยแรงอ่อนๆ โดยทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการเสริมแรง
- 4) เกิดพันธะทางเคมีเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์และผิวของอนุภาคตัวเติม โดยทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการเสริมแรง

ในการวิจัยนี้สารเติมแต่งที่ใช้เติมลงในพลาสติกพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ ผงใบสับปะรดซึ่งอยู่ในรูปของฟิลเลอร์ (Filler)

2.4 ฟิลเลอร์ (Filler) (อรอุษา, 2546)

ฟิลเลอร์ได้แก่ สารเติมแต่งซึ่งเป็นของแข็งที่ใช้ในพอลิเมอร์ เพื่อลดต้นทุนการผลิตหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ ฟิลเลอร์ที่ใช้กันทั่วไป มีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่แล้วมักเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งจะใช้ส่วนใหญ่กับเทอร์โมพลาสติกในขณะที่ฟิลเลอร์อินทรีย์ เช่น ผงไม้ (wood flour) จะใช้ในพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต

สำหรับฟิลเลอร์ที่ใช้เพื่อเพิ่มเนื้อผลิตภัณฑ์และลดต้นทุนการผลิตเป็นหลัก อาจเรียกชื่อได้อีกอย่างหนึ่งว่า เอกซ์เทนเดอร์ (extenders) หรือ inert fillers การใส่ฟิลเลอร์ประเภทนี้ช่วยปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ด้วย ตัวอย่างของฟิลเลอร์ประเภทนี้ ได้แก่ หินปูน ซึ่งก็คือ CaCO_3 ที่ได้จากธรรมชาติ ทัลค์ เคาลิน ผงไม้ เป็นต้น

ส่วนฟิลเลอร์ซึ่งใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลหรือสมบัติอื่น ๆ เช่น การนำไฟฟ้า การนำความร้อน เรียกว่า ฟังก์ชันแนลฟิลเลอร์ (functional fillers) หรือ (active fillers) และมักจะเรียกฟิลเลอร์ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความทนแรงดึง) กับพอลิเมอร์ว่า ฟิลเลอร์เสริมแรง (reinforcing fillers or reinforcements)

2.4.1 ผลของฟิลเลอร์ต่อสมบัติของพอลิเมอร์

การใช้เอกซ์เทนเดอร์ฟิลเลอร์และฟิลเลอร์เสริมแรงจะมีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ได้แตกต่างกัน กล่าวคือ ถึงแม้ว่าฟิลเลอร์ทั้ง 2 ประเภทจะทำให้พอลิเมอร์มีอิลาสติกมอดุลัส (elastic modulus or modulus of elasticity) เพิ่มขึ้นก็ตาม การใช้เอกซ์เทนเดอร์ฟิลเลอร์ไม่ได้ทำให้ความทนแรงดึง (tensile strength) ของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งต่างไปจากฟิลเลอร์เสริมแรงที่เป็นเส้นใย (fiber reinforcement) ที่ช่วยเพิ่มสมบัตินี้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้เอกซ์เทนเดอร์ฟิลเลอร์ที่มีรูปร่างของอนุภาคแบบเม็ดกลม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต จะทำให้ HDT (deflection or heat deflection or heat distortion temperature) ของพลาสติกสูงขึ้นได้ไม่มากเท่ากับการใช้เส้นใยเสริมแรงด้วย

การใช้เอกซ์เทนเดอร์ฟิลเลอร์ จะทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติกเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ

1. ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
2. อิลาสติกมอดุลัสเพิ่มขึ้น
3. ความทนแรงอัด (compressive strength) เพิ่มขึ้น
4. ความทนแรงดัดโค้ง (flexural strength) เพิ่มขึ้น
5. การหดตัว (shrinkage) ลดลง
6. ความแข็ง (hardness) เพิ่มขึ้น และคุณภาพพื้นผิว (surface quality) ดีขึ้น
7. HDT สูงขึ้น

8. สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพขึ้นกับอุณหภูมิน้อยลง

ส่วนการใช้ฟิลเลอร์เสริมแรงจะช่วยปรับปรุงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกดังต่อไปนี้

1. ความทนแรงดึง ความทนแรงอัด ความทนแรงดัดโค้ง และความทนแรงเฉือน (shear strength) เพิ่มขึ้น
2. อีลาสติกมอดุลัส และความแข็งดึง (stiffness) เพิ่มขึ้น
3. HDT สูงขึ้น และสมบัติเชิงกลขึ้นกับอุณหภูมิน้อยลง
4. การหดตัวลดลง
5. ความทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้นบางส่วน

2.4.2 สมบัติของฟิลเลอร์

ฟิลเลอร์ที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

1. สะอาด ปราศจากสารเจือปนและความชื้น และไม่เป็นพิษ
2. ฉ่ำ ไม่ละลาย และมีเสถียรภาพทางความร้อน
3. ดูดซับความชื้นและสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ต่ำ
4. ทำให้กระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ง่าย
5. ทั้งโครงสร้างและสมบัติไม่เปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป
6. มีการกระจายของขนาดของอนุภาคที่สม่ำเสมอ
7. ไม่ขัดสีเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูป
8. ไม่ทำให้สีและผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เสียไป

ฟิลเลอร์แต่ละชนิด จะมีด้วยกันหลายเกรดขึ้นกับสมบัติดังต่อไปนี้

- ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยและการกระจายขนาดของอนุภาค (average particle size and size distribution)
- รูปร่างของอนุภาคและความพรุน (particle shape and porosity)
- ธรรมชาติทางเคมีที่พื้นผิว (chemical nature of the surface)
- สารเจือปน (impurities)

2.4.2.1 ขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ย การกระจายขนาดของอนุภาค

ฟิลเลอร์แต่ละชนิด แต่ละเกรด จะมีขนาดของอนุภาคที่ไม่เท่ากันขึ้นกับแหล่งที่ได้มา ซึ่งฟิลเลอร์ที่จะนำมาใช้งานได้ดีควรมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่า 40 ไมโครเมตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการปรับปรุงสมบัติเชิงกล ฟิลเลอร์จะต้องมีอนุภาคที่ละเอียดมาก คือมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร โดยทั่วแล้ว ฟิลเลอร์ยังมีอนุภาคที่ละเอียด ก็ยังทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม การมีอนุภาคที่ละเอียดจะทำให้ความหนืดของระบบสูงขึ้นและการขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น ส่วนฟิลเลอร์ที่มีอนุภาคหยาบมักทำให้ความแข็งแรงของพลาสติกลดลงกว่ากรณีที่ไม่ได้ใส่ฟิลเลอร์

นอกจากนี้การกระจายขนาดของอนุภาคฟิลเลอร์ก็มีผลต่อสมบัติของพลาสติก โดยการใช้ฟิลเลอร์ที่มีการกระจายขนาดของอนุภาคที่แคบ จะทำให้พลาสติกมีสมบัติดีกว่าฟิลเลอร์ที่มีการกระจายขนาดของอนุภาคกว้าง ซึ่งพบว่า ฟิลเลอร์ที่ได้จากธรรมชาติแม้มีราคาสูงกว่า แต่จะมีการกระจายขนาดของอนุภาคกว้างกว่าฟิลเลอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์

2.4.2.2 รูปร่างของอนุภาคและความพรุน

ฟิลเลอร์มีรูปร่างต่าง ๆ กันดังแสดงในรูป ได้แก่ กลม สี่เหลี่ยมลูกบาศก์ บล็อก แผ่นหรือเกล็ด และเป็นแท่งหรือเส้นใย

รูปร่างของอนุภาคของฟิลเลอร์มีผลอย่างมากต่อสมบัติต่างๆ ของพลาสติก ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติที่ผิว และสภาพให้ซึมได้ (permeability)

2.4.2.3 ธรรมชาติทางเคมีที่พื้นผิว

ธรรมชาติทางเคมีที่พื้นผิวของฟิลเลอร์มีผลต่อการนำไปใช้งานมาก มินเนอรัลฟิลเลอร์ส่วนใหญ่มีหมู่ที่มีขั้ว (หมู่ไฮดรอกซิล) บนพื้นผิวทำให้เปียกน้ำได้ง่าย แต่ไม่เปียกหรือเกาะกับพอลิเมอร์ ดังนั้นเพื่อให้ฟิลเลอร์เกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี จึงมักปรับแต่งพื้นผิวของฟิลเลอร์ ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต อาจถูกปรับแต่งหรือเคลือบพื้นผิวด้วยกรดสเตียริก ซึ่งเมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ หมู่กรดจะยึดเกาะกับอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี สำหรับฟิลเลอร์ชนิดอื่นๆ อาจใช้สารปรับแต่งพื้นผิวที่ต่างไปจากนี้

นอกจากการมีหมู่ที่มีขั้วที่พื้นผิวจะมีผลต่อการกระจายของฟิลเลอร์ในพอลิเมอร์เมทริกซ์แล้ว หมู่ที่มีขั้วเหล่านี้อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารเติมแต่งอื่น ๆ เช่น สารกันออกซิเดชัน สารเชื่อมขวาง ทำให้สารเติมแต่งเหล่านี้ไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งการปรับแต่งพื้นผิวฟิลเลอร์จะช่วยลดปัญหานี้

การปรับปรุงการยึดระหว่างฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์ นอกจากการใช้สารปรับแต่งพื้นผิวแล้วยังอาจใช้สารเติมแต่งอีกประเภทหนึ่งคือ สารประสาน (coupling agents) ซึ่งสารประสานจะช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างพอลิเมอร์กับฟิลเลอร์ โดยการสร้างพันธะกับเฟสทั้งสอง

2.4.2.4 สารเชื่อมประสาน

สารเชื่อมประสานทำให้เกิดผลเสียสมบัติของพอลิเมอร์อย่างยิ่ง เพราะจะทำให้เกิดจุดอ่อนในเนื้อพอลิเมอร์ ดังนั้น เมื่อได้รับความเค้น พอลิเมอร์จะแตกหักได้ง่าย

2.4.3 การเลือกใช้ฟิลเลอร์

การเลือกใช้ฟิลเลอร์ นอกจากขึ้นกับราคาและสมบัติของฟิลเลอร์แล้ว ยังขึ้นกับสมบัติที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ด้วย เช่น

2.4.3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนแรงดึงสูง ควรใช้ฟิลเลอร์ที่

- มีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมทริกซ์
- มี aspect ratio สูง
- มีการกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ดี

2.4.3.2 ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความใส

- ฟิลเลอร์จะต้องมีดัชนีหักเหที่เหมาะสม

2.4.3.3 ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพที่ผิวดี

- ฟิลเลอร์จะต้องมีอนุภาคขนาดเล็กและกลม หรือมีรูปร่างของอนุภาคแบน

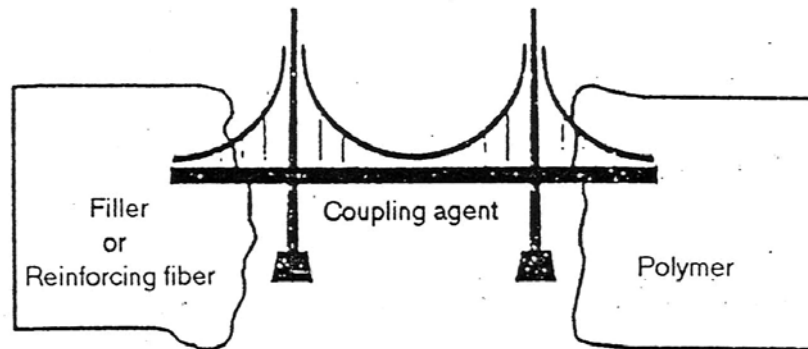
2.4.3.4 ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการดูดซึมความชื้นต่ำ

- จะต้องใช้ฟิลเลอร์ที่ดูดซึมความชื้นได้ต่ำ และมีแรงยึดเกาะกับพอลิเมอร์

2.5 สารประสาน (Coupling Agents)

ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการใส่ฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรงนั้น คอมโพสิตที่ได้จะมีสมบัติดี ถ้าฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรงมีการกระจายตัวหรือการยึดเกาะกับพอลิเมอร์ดี วิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้คือ การเคลือบหรือปรับแต่งพื้นผิวของฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรงด้วยสารที่สามารถเข้ากันได้ดีกับทั้งพอลิเมอร์และฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกเคลือบด้วยกรดสเตียริกเมื่อนำไปผสมกับพอลิเมอร์ ส่งผลให้แคลเซียมคาร์บอเนตกระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี

การปรับปรุงการยึดระหว่างฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรงกับพอลิเมอร์ นอกจากการใช้สารปรับแต่งพื้นผิวแล้ว ยังอาจใช้สารเติมแต่งอีกประเภทหนึ่งคือ สารประสานหรือสารช่วยยึด (coupling agents or adhesion promoters) สารเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรง โดยการสร้างพันธะที่แข็งแรงกับเฟสทั้งสอง ทำให้มีการยึดเกาะระหว่างเฟสดีขึ้น



รูปที่ 2.2 การยึดเกาะระหว่างพอลิเมอร์หรือเส้นใยเสริมแรงโดยใช้สารประสาน

2.5.1 กลไกการปรับปรุงการยึดระหว่างฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรงกับพอลิเมอร์โดยใช้สารประสาน

สารประสานมีสูตรทั่วไปคือ $(R'O)_x - M - (R-X)_y$

โดย M คือ โลหะ

X เป็นหมู่ฟังก์ชันที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับพอลิเมอร์ เช่น หมู่ไวนิล หมู่อะมิโน เป็นต้น

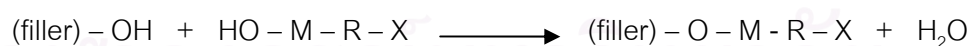
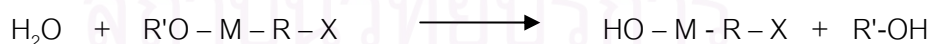
R เป็นหมู่อินทรีย์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างหมู่ X กับโลหะ M

R'O เป็นหมู่ที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรง

การยึดระหว่างสารประสานและฟิลเลอร์อาจเกิดจากปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างหมู่ OR' ของสารประสานกับหมู่ OH ที่พื้นผิวฟิลเลอร์ดังนี้



หรืออาจเกิดจากการที่หมู่ OR' ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยความชื้นที่พื้นผิวฟิลเลอร์ได้เป็นหมู่ OH ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปกับฟิลเลอร์ดังนี้



สำหรับการยึดระหว่างสารประสานและพอลิเมอร์เกิดจากหมู่ X ของสารประสานเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ โดยหมู่ X มีแตกต่างกันหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมในการทำงานกับพอลิเมอร์ ชนิดต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น

สารประสานที่หมู่ X คือหมู่ไวนิลหรือหมู่อะคริลิล (acrylyl) ก็จะถูกนำไปใช้กับพอลิเอสเตอร์ ชนิดไม่อิ่มตัวหรือพอลิโอเลฟินส์ชนิดเชื่อมขวาง (crosslinked polyolefins) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารประสานกับพอลิเมอร์เป็นแบบฟรีแรดิคัล

หรือถ้าหมู่ X คือหมู่อะมิโน ก็จะนำสารประสานชนิดนี้ไปใช้กับอีพอกซีเรซิน หรือพอลิเอไมด์ เป็นต้น

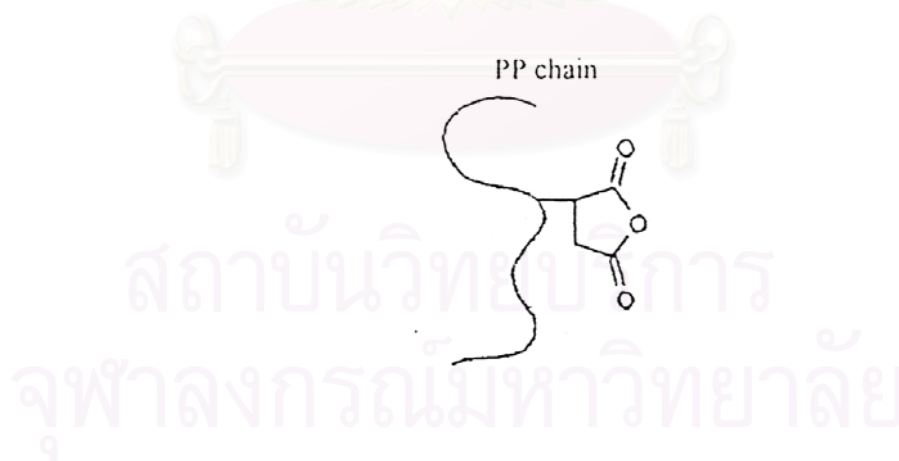
การใช้สารประสานมี 2 วิธี

1. นำไปเคลือบหรือปรับแต่งที่พื้นผิวของฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรงแล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์
2. ผสมกับพอลิเมอร์โดยตรงระหว่างกระบวนการคอมพาวด์ดิ้ง

2.5.2 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน (Maleic Anhydride Grafted polypropylene, MAH-PP)

ปรับปรุงการยึดระหว่างใยแก้วหรือฟิลเลอร์กับเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่มีขั้ว สามารถทำได้โดยการใช้อะมิโนซิลเลน เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันในพอลิเอไมด์สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของซิลเลนเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ระหว่างพอลิเอไมด์กับซิลเลน ในกรณีของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีขั้ว เช่น PE, PP พบว่าการใช้สารประสานที่ได้จากมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิโพรพิลีน (MAH-PP) จะทำให้ฟิลเลอร์หรือใยแก้วยึดเกาะกับพอลิเมอร์เหล่านี้ได้ดี

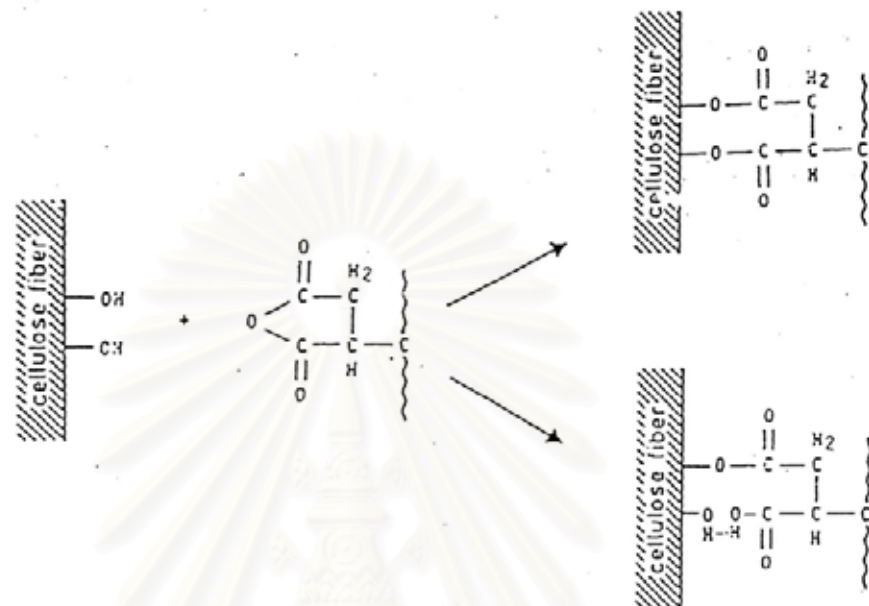
MAH-PP สังเคราะห์ได้จากการนำมาเลอิกแอนไฮไดรด์ไปกราฟต์บนสายโซ่ PP โดยการทำให้เกิดฟรีเรดิคัลบนสายโซ่ PP



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของ MAH-PP

MAH-PP นอกจากจะใช้เป็นสารประสานระหว่างพอลิโอฟีนส์และใยแก้วหรือฟิลเลอร์อินทรีย์แล้ว ยังนิยมใช้เป็นสารประสานระหว่างพอลิโอฟีนส์และเส้นใยเซลลูโลสหรือฟิลเลอร์อินทรีย์ (เช่น แป้ง ผงไม้) อีกด้วย ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและ MAH-PP

แสดงในรูป นอกจากนี้ ยังใช้ MAH-PP เป็นสารช่วยผสม (compatibility) ในการทำพอลิเมอร์ผสม (polymer blend or polyblend or polymer alloy) ระหว่างพอลิโอฟีนส์และพอลิเอไมด์หรือพอลิเมอร์ที่มีขั้วชนิดอื่นๆ ด้วย



รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเซลลูโลสและ MAH-PP

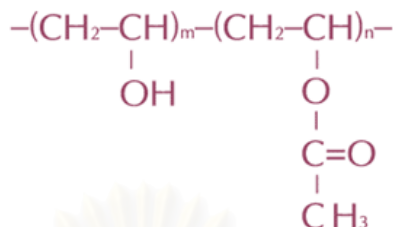
(J.M.Felix และ PIGatenholm, J.Appl.Polym.Sci., 42,619 (1991))

การผลิตวัสดุเชิงประกอบเราควรทราบถึงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดที่จะนำมาผลิต เพื่อให้เกิดความเข้าใจ และสามารถอธิบายถึงผลที่เกิดขึ้นได้ วัสดุเชิงประกอบในการวิจัยนี้ผลิตจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และผงไบสปีประรด

2.6 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (พิชิต, 2537)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ Polyvinyl alcohol (PVOH, PVA or PVAL) เป็นเรซิน ผลิตจากการไฮโดรไลต์พอลิไวนิลอะซีเตต แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ fully hydrolysis และ partially hydrolyzed grades เป็นพอลิเมอร์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติทนต่อสารเคมี เหนียวทนทานและอ่อนตัวจึงใช้ทำท่อวาง ขึ้นส่วนในรถยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้า และเนื่องจากละลายน้ำได้จึงนิยมทำเป็นวัตถุเคลือบผิว ใช้เคลือบกระดาษบรรจุสุญญ่ ผงซักฟอก สีย้อมผ้า ใช้เป็นน้ำยาถอดแบบในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส และผลิตภัณฑ์พลาสติกหล่อ, สารเชื่อมเซรามิก (ceramic binder) , synthetic fiber vinylon, Poval film, ส่วนประกอบใน

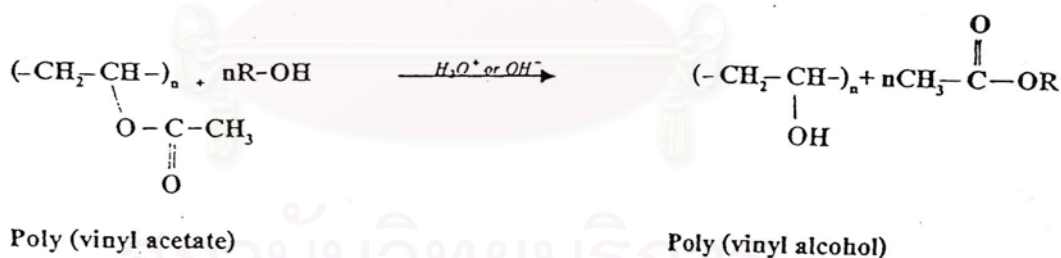
เครื่องสำอาง, emulsion stabilizer, งานเกี่ยวกับวิศวกรรมโยธา, ด้านงานก่อสร้าง (construction), ด้านเภสัชศาสตร์ (pharmacy) และ ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (electronic industries)



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol) PVA

(<http://www.dcchem.co.kr>, 2005)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นพอลิเมอร์ซึ่งเตรียมจากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิสของพอลิไวนิลอะซีเตต เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดนี้ไม่สามารถเตรียมโดยตรงจากโมโนเมอร์ของมันคือไวนิลแอลกอฮอล์ เพราะเป็นสารที่ไม่เสถียร ซึ่งการเตรียมพอลิเมอร์ในลักษณะนี้เรียกว่าพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution Polymerization) โดยมีโมโนเมอร์หรือคูโมโนเมอร์และตัวริเริ่มละลายในตัวทำละลาย (Solvent) ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเตรียมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จากปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ลิซิส

(พิชิต, 2537)

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถละลายน้ำได้ โดยละลายอย่างช้าๆ ในน้ำเย็น แต่การละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และสามารถละลายได้หมดที่อุณหภูมิ 90° C

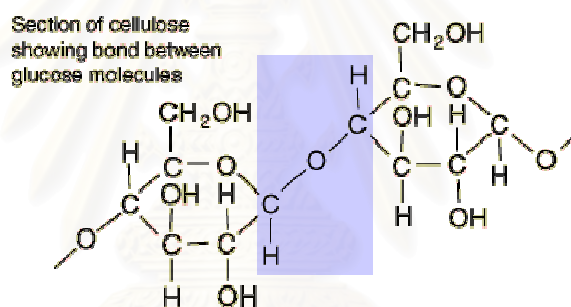
(http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol)

2.7 คุณสมบัติของผนังตัวเต็มใบสับประรด (วีรศักดิ์, 2543)

ใบสับประรดมีองค์ประกอบ ดังนี้

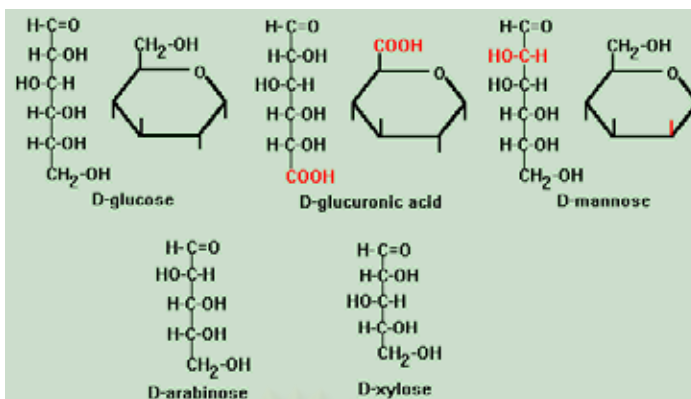
- เซลลูโลส (cellulose)
- เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)
- ลิกนิน (lignin)

2.7.1 **เซลลูโลส** เป็น polysaccharide ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของ β -D- glucopyranose ต่อกันเป็นพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรง จึงมีความแข็งแรงมาก มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายสารอินทรีย์ทั่วไปและสารละลายต่าง สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) กับกรดได้ และที่สำคัญคือ โครงสร้างเป็นได้ทั้งเรียงตัวเป็นระเบียบ (crystalline) ไม่เป็นระเบียบ (amorphous) รวมกันในสัดส่วนต่างๆ กัน นอกจากนี้ยังสามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้เนื่องจากเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรต



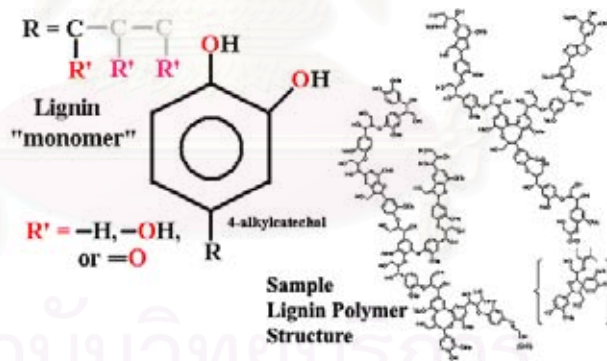
รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

2.7.2 **เฮมิเซลลูโลส** (Hemicellulose) เป็นอินทรีย์สารที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส มีลักษณะเป็นเฮเทอร์โรจีเนียส โดยประกอบด้วยโพลีแซ็กคาไรด์หลายชนิดมารวมกัน มีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งแตกต่างจากเซลลูโลสที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงอย่างมีระเบียบ น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30-50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือไซแลน นอกจากนี้ยังมีกลูแคน (glucan) แมนแนน และกาแลคแตน เฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อยสลายจะได้เป็นน้ำตาลเพนโตส และ เฮกโซส (hexose) ได้แก่ ไซโลส (xylose) แมนโนส (mannose) กาแลคโตส (galactose) และอะราบิโนส (arabinose)



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

2.7.3 **ลิกนิน** เป็นสารประกอบประเภทอะโรมาติก (aromatic) และมีกลุ่มฟังก์ชันต่างๆ รวมอยู่ด้วย เช่น methoxyl aliphatic และ phenolic hydroxyl เป็นต้น ทำหน้าที่เป็นสารยึดติดให้เส้นใยในเนื้อไม้เกาะติดกัน มีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำหรือสารละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่ละลายได้บางส่วนในสารละลายต่างหรือ oxidizing agent สามารถเกิดปฏิกิริยา condensation ได้ ในขั้นตอนการสกัดเยื่อจากใบสับปะรด ลิกนินส่วนใหญ่จะถูกละลายออกไปโดยสารละลายต่าง หรือ อาจตกค้างอยู่ปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของลิกนิน

2.8 **สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ** (<http://www.sut.sc.th/engineering>, 2548)

2.8.1 **คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ** เป็นสิ่งที่จะบอกว่าวัสดุเชิงประกอบนั้นๆ สามารถที่จะรับหรือทนทานแรง หรือพลังงานเชิงกลภายนอกที่มากกระทำได้ดีมากน้อยเพียงใด

2.8.1.1 **ความเค้น (stress)** คือ แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัด

หาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ด้วย เหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1N/m²) หรือ kgf/mm²
หรือ psi (lbf/in²)

P = แรงภายนอกที่มากกระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ : m² หรือ mm² หรือ in²

ความเค้นแบ่งเป็น 3 ชนิด ตามลักษณะแรงที่มากกระทำ

(1) ความเค้นแรงดึง (tensile stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน

(2) ความเค้นแรงอัด (compressive stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง

(3) ความเค้นแรงเฉือน (shear stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (shear force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดจะมีทั้ง 3 แบบพร้อมๆ กัน

2.8.1.2 ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation)

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. การเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่นหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวยังคงผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวงยางยืด, สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2. การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากกระทำ หรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด

หากไม่เกินขีดจำกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าขีดจำกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบในวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งยืดหยุ่นจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจากแรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ

$$e = \Delta L / L_0$$

เมื่อ e = ความเครียดเชิงเส้น

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป ($L - L_0$)

L_0 = ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length

2.8.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship)

ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในที่นี้เราจะใช้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็นหลัก โดยจะพลอตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน การทดสอบแรงดึงนอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้งอาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้อีกด้วย

2.8.1.4 ความเค้นแรงดึง (Tensile Strength)

เป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกได้มาก ๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุ คำว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือ กำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไป จะหมายถึง ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้เอง เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนี้ นอกจากจะใช้บอกค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ความเค้นสูงสุดและความเค้นประลัยแล้ว ยังจะใช้บอกค่าต่าง ๆ ได้อีก คือ

1. **ความเหนียว (Ductility)** ค่าที่ใช้วัดจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ การยืดตัว (Percentage Elongation) และการลดพื้นที่ภาคตัดขวาง (Reduction of Area) โดยที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว 100%

$$(%EI) = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100\%$$

เมื่อ L_f = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด

L_o = ความยาวของเกจเริ่มต้น

ในทางปฏิบัติเรานิยมใช้ค่า %EI เพราะสะดวกในการวัด ความเหนียวของวัสดุนี้จะเป็นตัวบอกความสามารถในการขึ้นรูปของมัน คือถ้าวัสดุมีความเหนียวดี (%EI สูง) ก็สามารถนำไปขึ้นรูป เช่น รีด ตีขึ้นรูป ดึงเป็นลวด ฯลฯ ได้ง่าย แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ (เปราะ , Brittle) ก็จะนำไปขึ้นรูปยาก หรือทำไม่ได้ เป็นต้น

2. Modulus of Elasticity or Stiffness

ภายใต้พิภักัดสัดส่วนซึ่งวัสดุมีพฤติกรรมเป็นอีลาสติก อัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดจะเท่ากับค่าคงที่ ค่าคงที่นี้เรียกว่า Modulus of elasticity (E) หรือ Young's Modulus หรือ Stiffness

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{PL}{A\Delta L}$$

มักมีหน่วยเป็น ksi (1 ksi=1000 psi) หรือ kgf/mm² หรือ GPa

ค่า E ของวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่าเฉลี่ยคงที่ และเป็นตัวบอกความสามารถคงรูป (Stiffness, Rigidity) ของวัสดุ นั่นคือ ถ้า E มีค่าสูง วัสดุจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างอีลาสติกได้น้อย แต่ถ้า E ต่ำ มันก็จะเปลี่ยนรูปร่างอย่างอีลาสติกได้มาก ค่า E นี้มีประโยชน์มากสำหรับงานออกแบบวัสดุที่ต้องรับแรงต่าง ๆ

2.8.1.5 ความทนต่อแรงฉีก (Tear strength)

คือ ค่าแรงดึงสูงสุดที่วัสดุสามารถทนได้ก่อนการฉีกขาด ในหน่วย N/mm

2.8.2 คุณสมบัติเชิงอุณหภูมิตั้ง (Thermal Properties)

ในการใช้งานวัสดุ มักจะมีพลังงานความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องกับเสมอ พลังงานความร้อนนี้อาจจะมาจากสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบๆ หรืออาจเกิดจากการทำงานของมันเองก็ได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้งานวัสดุที่ต้องใช้ความร้อนมาเกี่ยวข้องด้วย เช่น ลูกบิดที่ใช้ในการรีดเหล็ก, เครื่องยนต์ต่าง ๆ ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูง ฯลฯ พลังงานความร้อนนี้จะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเปลี่ยนไป ดังนั้นเราจำเป็นจะต้องรู้จักคุณสมบัติด้านความร้อนของวัสดุไว้บ้าง เพื่อช่วยให้การเลือกใช้วัสดุได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2.8.2.1 ความทนความร้อน (Heat Resistance)

หมายถึง ความสามารถของวัสดุที่จะคงสภาพและคุณสมบัติเดิมไว้ เมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเราเรียกว่า Transition หรือ Transformation Temperature (Point) ในพวกโลหะอุณหภูมิหรือจุดเหล่านี้มีความสำคัญมากเพราะเป็นจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของมัน เช่น ความแข็ง สภาพการเป็นแม่เหล็ก ฯลฯ ซึ่งจะอธิบายให้ชัดเจนยิ่งขึ้นในบทต่อไปเรื่อง แผนภูมิสมดุล (Phase Equilibrium Diagram) สิ่งที่สำคัญสำหรับการนำวัสดุมาใช้งานคือ อุณหภูมิที่จะใช้งานต้องต่ำกว่าจุดหลอมเหลวหรือจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของมัน สำหรับการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) ของวัสดุเชิงประกอบ เพื่อได้ทราบถึงอุณหภูมิในช่วงที่ใช้งานได้

2.8.3 คุณสมบัติเชิงเคมี (Chemical Properties)

2.8.3.1 Water absorption

การดูดซึมน้ำเป็นคุณสมบัติเกี่ยวข้องโดยตรงกับพอลิเมอร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะดูดซึมน้ำได้ โดยมีผลทำให้ปริมาณและน้ำหนักเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้พอลิเมอร์เกิดการโก่งงอ บวมและสูญเสียคุณสมบัติทางกลและไฟฟ้าไป การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบสามารถพิจารณาจากสมการ ดังนี้

$$\% \text{ water absorption} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

W_0 = น้ำหนักของพอลิเมอร์ก่อนแช่น้ำ (g)

W_1 = น้ำหนักของพอลิเมอร์หลังแช่น้ำ (g)

2.8.3.2 Solvent resistance

การทดสอบความสามารถในการทนต่อสารเคมีของพอลิเมอร์ เป็นแนวทางในการใช้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง และยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ได้ พลาสติกส่วนมากสามารถทนกรด เบสอ่อนและความชื้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ ได้แก่ ชนิดของพันธะ ความยาวพันธะ และพลังงาน เช่น พันธะระหว่าง C-C และ C-F เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงเป็นผลให้เกิดความเหนียว ทำปฏิกิริยาได้ยาก ทนต่อสารเคมีได้ดี ส่วนหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ไวต่อการทำปฏิกิริยาต่อน้ำและสารเคมี ซึ่งพบภายในโครงสร้างของเซลลูโลส และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

2.9 เคมีรังสีของพอลิเมอร์

ปกติเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสีโดยสสารทั่วไปจะเกิดอันตรกิริยาทั้งในนิวเคลียสและอิเล็กตรอนในวงโคจร แต่ถ้าพลังงานรังสีนั้นมีค่าต่ำกว่า 10 MeV แล้วอันตรกิริยาจะเกิดน้อยมากและอาจไม่เกิดขึ้นโดยเฉพาะกับโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยธาตุที่มีอะตอมขนาดเล็ก เช่น H,C,N,O,S เป็นต้น เมื่อได้รับรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์จะเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนและมีกระบวนการ 3 รูปแบบเกิดขึ้น คือ โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton scattering) และการเกิดคู่ของอิเล็กตรอนบวกและลบ (Pair production) การจะเกิดรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีและเลขอะตอมของตัวกลางนั้นๆ อิเล็กตรอนทุติยภูมิที่ได้จะมีพลังงานมากพอที่จะก่อให้เกิดโมเลกุลข้างเคียงเกิดเป็นไอออน อิเล็กตรอนและโมเลกุลในภาวะถูกกระตุ้น (excited molecule) ต่อไปได้

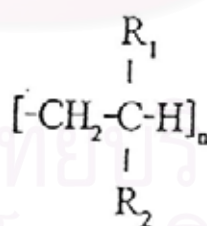
2.9.1 การเกิดครอสลิงค์และการเกิดเสื่อมสลายของพอลิเมอร์โดยรังสี (Benlian และคณะ, 2000)

พอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ถูกฉายรังสีมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การครอสลิงค์ (cross-linking) และการเสื่อมสลาย (degradation) ของสายโมเลกุลพอลิเมอร์ ทั้งนี้การเกิดครอสลิงค์โดยทั่วไปจะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์แข็งแรงมากยิ่งขึ้น เช่น มีความแข็งเพิ่มขึ้น ความต้านแรงดึง โมดูลัสสูงขึ้น ทนทานต่อความร้อน เปลวไฟ ตัวทำลายมากยิ่งขึ้น ในทางกลับกัน การเกิดเสื่อมสลายของพอลิเมอร์ จะมีผลในทางตรงข้าม

สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เมื่อได้รับรังสีมีผลทำให้เกิดการครอสลิงค์ (cross-linking) ของสายโมเลกุลพอลิเมอร์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของสายพอลิเมอร์แต่ละชนิด เนื่องจากได้รับรังสี แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Cross-linking polymers และ Degrading polymers

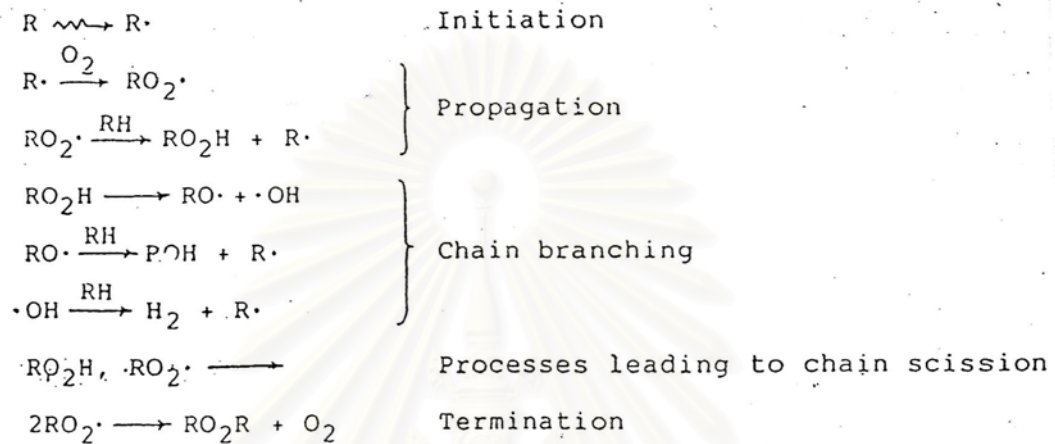
polymer	R1	R2	Radiation Induced Change
Polyethylene	H	H	Cross-linking
Polypropylene	CH ₃	H	Cross-linking
Poly(vinyl chloride)	Cl	H	Cross-linking
Poly(vinyl alcohol)	OH	H	Cross-linking
Polyacrylonitrile	CN	H	Cross-linking
Polyacrylates	CO ₂ R	H	Cross-linking
Polystyrene	C ₆ H ₅	H	Cross-linking
Poly(vinylidene chloride)	Cl	Cl	Degradation
Polyisobutylene	CH ₃	CH ₃	Degradation
Polymethylstyrene	C ₆ H ₅	CH ₃	Degradation
Poly(methyl methacrylate)	CO ₂ CH ₃	CH ₃	Degradation
Polytetrafluoroethylene			Degradation
Natural rubber			Cross-linking
Cellulose and derivatives			Degradation



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทั่วไปของพอลิเมอร์

2.9.2 ผลของออกซิเจนขณะฉายรังสี

การฉายรังสีพอลิเมอร์ในอากาศจะทำให้การเสื่อมสลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุมูลอิสระของพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศกลายเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์และเกิดการเสื่อมสลายแม้ในพอลิเมอร์ชนิดที่เกิดการเชื่อมโยง เนื่องจากเมื่อพอลิเมอร์ได้รับรังสี จะเกิด oxidative degradation ในสายโซ่หลักของพอลิเมอร์ ดังนี้



รูปที่ 2.11 กลไกการเสื่อมสลายเนื่องจากออกซิเจนในขณะฉายรังสี

ในสภาวะอื่นๆ อาจจะมีผลต่อพอลิเมอร์ เมื่อฉายรังสี เช่น อุณหภูมิ สารไวปฏิกิริยา (sensitizer) สารคงความเสถียร (stabilizer) และ dose rate ดังนั้นจึงควรพิจารณาเป็นรายชนิดของพอลิเมอร์

2.9.3 การหาปริมาณการเกิดครอสลิงค์ของพอลิเมอร์โดยการหาเปอร์เซ็นต์เจล

ดังสมการ

$$\% \text{gel} = \frac{W_g \times 100}{W_o}$$

W_g = น้ำหนักตัวอย่างภายหลังการสกัดด้วยตัวทำละลาย

W_o = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

บทที่ 3

สารเคมี เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP และวิธีการขึ้นรูป

การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ (1) การแปรสภาพไบสับปะรดเป็นเยื่อไบสับปะรด จากนั้นเตรียมสารตัวเติมผงไบสับปะรดด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (2) ปรับปรุงสารตัวเติมผงไบสับปะรดด้วยสารกรดสเตียริกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โพลีโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (3) การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ใช้ปริมาณสารตัวเติม 5-20 เปอร์เซ็นต์

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) (Analytical Grade) เป็นผลิตภัณฑ์ของ Riedel-de Haen AG-D-3016 ความหนืด 4 % PVA ในน้ำที่ 20 องศาเซลเซียส ,มีค่าเท่ากับ 4-6 mPas ผลิตจากประเทศเยอรมัน

ตารางที่ 3.1 สมบัติทั่วไปของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (<http://www.dcchem.co.kr>, 2005)

ลักษณะ	เป็นเม็ดหรือผงสีขาว
Specific Gravity	1.25 ~ 1.32
Bulk density	0.4 ~ 0.7
pH	5 ~ 7
Glass transition temperature (Tg)	58°C(P Grade) ~ 85°C (F Grade)
จุดหลอมเหลว (Tm)	150~190°C(PGrade),210~230°C(FGrade)
Thermal stability	เกิดการเปลี่ยนสีเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 100°C
Oil resistance	ไม่ละลายในน้ำมัน
Storage stability	เก็บให้ห่างจากความชื้น
Solvent resistance	ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์
Acid & alkali resistance	ละลายได้เล็กน้อย

3.1.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด Analytical Grade

3.1.1.3 น้ำกลั่น 2 ครั้ง (doubly distilled water)

3.1.1.4 กรดสเตียริก (stearic acid)

3.1.1.5 มาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ DuPont[™] Fusabond[®] EMB226DE Inc. รายละเอียดคุณสมบัติต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ DuPont[™] Fusabond[®] EMB226DE

Typical data	Nominal values	Test method
Property		
Percent grafted with MA	0.9 %	DuPont Canada
Density	0.93 g/cm ³	ASTM D1505
Melt flow rate (190°C/2.16kg)	1.5 g/10 min	ASTM D1238
Melting point	120°C (248°F)	ASTM D3418
Vicat softening point	95°C (203°F)	ASTM D1525
Freezing point	102°C (216°F)	ASTM D 3418
Durometer hardness (D)	60	ASTM D 2240

3.1.1.6 ใบสับปะรด (pineapple leaf) จากไร่สับปะรด อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี



รูปที่ 3.1 ใบสับปะรด

ตารางที่ 3.3 องค์ประกอบของใบสับปะรด

(<http://unit.aist.go.jp/biomatech/database/pineapple-l.htm>)

Name	Pineapple leaf
Chemical composition (wt% dry) ¹	
Ash	6.04
SiO ₂	1.26
Extractive	6.55
Holocellulose	63.2
Lignin	18.68
Cellulose	32.16
Elemental composition (wt% dry) ²	
Carbon	48.8
Hydrogen	6.2
Nitrogen	1.1
Oxygen	37.9
Calorific value ³ , kJ/g-dry	19.4

1, TAPPI test method

2, Elemental analyzer; Perkin Elmer, CHN 2400 or AMCO, NA 1500

3, Calorie meter; Shimadzu, CA-4P

3.1.1.7 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)

3.1.1.8 แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (NH₄OH)

3.1.1.9 โทลูอีน (toluene)

3.1.1.10 กรดไฮโดรคลอริก (HCL)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 ชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์



รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์

3.1.2.2 เครื่องชั่งสารทศนิยม 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งสารทศนิยม 5 ตำแหน่ง

3.1.2.3 ตู้อบ

ตู้อบยี่ห้อ Heraeus รุ่น VT 5042 EK (220 V. 1~50/60 Hz 1, 6 A 1, 35 kW) สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงสุด 250 องศาเซลเซียส สำหรับไล่ความชื้นจากผงใบสับปะรด และการเตรียมวัสดุเชิงประกอบใช้เวลาอบให้แห้งประมาณ 2 วัน ที่อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 ตู้อบ (Oven)

3.1.2.4 โถแก้วดูดความชื้น

โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator) ประกอบด้วย DOR-2247669 Duran, Desiccator mobile type ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบและผงตัวเติมใบสับประรดเพื่อกำจัดความชื้น



รูปที่ 3.5 โถแก้วดูดความชื้น (Desiccator)

3.1.2.5 ชุดเครื่องแก้ว

สำหรับการเตรียมตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบจากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์เครื่องแก้ว

3.1.2.6 Test sieve

iso 3310-1 รุ่น 316 L Mesh S – steel/RF ความกว้าง 8 in x 2 in ขนาด 150 ไมโครเมตร ผลิตจากประเทศเยอรมัน ใช้สำหรับร่อนอนุภาคของผงใบสับปะรดให้มีขนาดสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.7 ตะแกรงร่อนผงใบสับปะรด

3.1.2.7 แผ่นกระจกขึ้นรูป

เป็นแผ่นกระจกเรียบสี่เหลี่ยมด้านเท่ามีขอบยกสูง 5 มิลลิเมตรจากพื้นกระจก มีขนาด 18x18 ตารางเซนติเมตร (ใช้ผลิตวัสดุเชิงประกอบเพื่อนำไปทดสอบสมบัติทางฟิสิกส์)

โดยแผ่นกระจกที่ใช้ขึ้นรูป ควรมีความเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น ไม่มีรอยขีด หรือรอยแตก และมีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 3.8 แผ่นกระจกสำหรับเตรียมตัวอย่าง

3.1.2.8 ตู้จัดไอกรดชนิดเคลื่อนย้ายได้

ตู้จัดไอกรดชนิดเคลื่อนย้ายได้ รุ่น BS : 7258 : 1990 AIRONE

3.1.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

วิธีและขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสามารถสรุปได้ดังแผนภาพดังนี้



รูปที่ 3.9 แผนภาพขั้นตอนการวิจัย

3.1.3.1 การแปรสภาพใบสับปะรดเป็นเยื่อใบสับปะรดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีขั้นตอนดังนี้

- (1) คัดใบสับปะรดที่ไม่อ่อนหรือแก่จนเกินไป ล้างให้สะอาด สับเป็นชิ้นเล็กๆ
- (2) นำไปต้มกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในอัตราส่วนใบสับปะรดต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็น 14 : 1 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากน้ำเดือด
- (3) ล้างทำความสะอาดเยื่อด้วยน้ำสะอาด หลายๆ ครั้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสจนแห้ง เก็บในโถแก้วดูความชื้น

3.1.3.2 การแปรสภาพเยื่อใบสับปะรดโดยวิธีทางเคมีด้วยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดเจือจาง

- (1) หลังจากได้เยื่อใบสับปะรดที่แห้งแล้ว นำเยื่อใบสับปะรดแห้ง น้ำหนักประมาณ 40 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วกลม และเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2.5 N ปริมาตร 400 ml ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จะทำให้เยื่อใบสับปะรดเปลี่ยนสภาพเป็นผงใบสับปะรดโดยสมบูรณ์
- (2) หลังจากนั้นกรองผงใบสับปะรดที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในข้อ (1) และนำไปล้างด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) ความเข้มข้น 5% เพื่อให้ผงใบสับปะรดเป็นกลาง
- (3) กรองเยื่อที่ได้และนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นร้อนประมาณ 5 ครั้ง
- (4) นำสารตัวเติมผงใบสับปะรดที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.1.3.3 ปรับปรุงสารตัวเติมผงใบสับปะรดด้วยสารเคมี

3.1.3.3.1 ปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยกรดสเตียริก (stearic acid)

- (1) เตรียมสารละลายกรดสเตียริก โดยชั่งกรดสเตียริก 10% ของน้ำหนักสารตัวเติมผงใบสับปะรดละลายในตัวทำละลายเอทิล แอลกอฮอล์ให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง
- (2) เติมสารละลายดังกล่าวลงในสารตัวเติมผงใบสับปะรดที่ผ่านการไฮโดรไลซิส

ทีละน้อย พร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวนแบบใบพัด ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที โดยปริมาตรของสารละลาย 250 มิลลิลิตรต่อน้ำหนักผงใบสับปะรด 100 กรัม

- (3) กรองแยกผงใบสับปะรดออกจากสารละลาย จากนั้นล้างด้วยอะซีโตนเพื่อเป็นการกำจัดกรดสเตียริกในส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวของสารตัวเติมผงใบสับปะรดออกไป
- (4) นำสารตัวเติมผงใบสับปะรดที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาข้ามคืน หรือจนกระทั่งสารตัวเติมผงใบสับปะรดมีน้ำหนักคงที่
- (5) นำสารตัวเติมผงใบสับปะรดที่ปรับปรุงด้วยกรดไปผ่านตะแกรงร่อน (test sieve) ซึ่งมีช่องตะแกรงขนาด 150 ไมครอน เพื่อความสม่ำเสมอของอนุภาคสารตัวเติม

3.1.3.3.2 ปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP)

- (1) เตรียมสารละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ โดยชั่งสารมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ 8 % โดยน้ำหนักของสารตัวเติมผงใบสับปะรด แล้วนำมาละลายในตัวทำละลายโทลูอีน ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน
- (2) เติมผงใบสับปะรดลงในสารละลายมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ ที่คงอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องกวน (stirring machine) เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้ปริมาตรสารละลาย 250 มิลลิเมตรต่อน้ำหนักผงใบสับปะรด 100 กรัม
- (3) กรองแยกสารตัวเติมผงใบสับปะรดออกจากสารละลาย แล้วจึงนำสารตัวเติมที่ได้แช่ลงในโทลูอีนร้อน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดโคพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีกับผิวของสารตัวเติมผงใบสับปะรดออกไป
- (4) นำสารตัวเติมผงใบสับปะรดไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาข้ามคืน หรือจนกระทั่งสารตัวเติมผงใบสับปะรดมีน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปผ่านตะแกรงร่อน ซึ่งมีช่องตะแกรงขนาด 150 ไมครอน เพื่อความสม่ำเสมอของขนาดสารตัวเติม

3.1.3.4 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบ

สำหรับการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และสารตัวเติมผงใบสับปะรดนั้น แบ่งขั้นตอนการเตรียมวัสดุเชิงประกอบเป็นดังนี้ ได้แก่

- (1) ผสมผงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อน้ำกลั่นเป็น 1: 4 โดยน้ำหนัก ค่อยๆ ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแบบใบพัดในอุณหภูมิห้อง 15 นาที จากนั้นกวนอย่างต่อเนื่องโดยเพิ่มความร้อนเป็น 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 45 นาทีหรือจนกระทั่งผงพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายเข้ากับน้ำกลั่นจนหมด
- (2) เตรียมผงตัวเติมใบสับปะรดเป็นส่วนร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนี้

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่อผงตัวเติมใบสับปะรด

No.	Polyvinyl alcohol (g)	สารตัวเติมผงใบสับปะรด (g)	% สารตัวเติมในพอลิเมอร์
1	60	0	0
2	57	3	5
3	54	6	10
4	51	9	15
5	48	12	20

- (3) รอจนสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เย็นตัว จากนั้นเติมสารตัวเติมผงใบสับปะรดลงในสารละลายพร้อมทั้งกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที ปล่อยให้เย็นตัว
- (4) สังเกตจำนวนฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากการกวนสารละลาย ถ้าเกิดเพียงเล็กน้อยให้ปล่อยให้ทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมงถ้าเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากให้ปล่อยให้ทิ้งไว้ 1 คืน
- (5) เตรียมขึ้นรูปเป็นแผ่น ปรับความสม่ำเสมอของแผ่นโดยเครื่องวัดระดับน้ำ จากนั้นเทสารละลายลงในแผ่นกระจกสำหรับขึ้นรูปขนาด 18 x 18 ตารางเซนติเมตร
- (6) นำไปอบในตู้อบ อุณหภูมิไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วันจนกระทั่งแห้ง แต่ไม่ควรปล่อยให้แห้งมากหรืออุณหภูมิขณะอบสูงเกินไป เพราะอาจทำให้ลอกออกจากแผ่นกระจกได้ยาก และทำให้คุณสมบัติเชิงกลบางอย่างเสียไป

ตารางที่ 3.5 เงื่อนไขในการผลิตวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-ผงใบ
สับปะรด

No.	เงื่อนไขของวัสดุเชิงประกอบ	รหัส
1	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)	P
2	PVA+PALP 5 %	N5
3	PVA+PALP 10 %	N10
4	PVA+PALP 15 %	N15
5	PVA+PALP 20 %	N20
6	PVA+PALP (stearic acid) 5 %	A5
7	PVA+PALP (stearic acid) 10 %	A10
8	PVA+PALP (stearic acid) 15 %	A15
9	PVA+PALP (stearic acid) 20 %	A20
10	PVA+PALP (MAH-PP) 5 %	M5
11	PVA+PALP (MAH-PP) 10 %	M10
12	PVA+PALP (MAH-PP) 15 %	M15
13	PVA+PALP (MAH-PP) 20 %	M20

หมายเหตุ

- a. PVA+PALP = วัสดุเชิงประกอบที่มีสารตัวเติมผงใบสับปะรดที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง
- b. PVA+PALP(stearic acid) = วัสดุเชิงประกอบที่มีสารตัวเติมใบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก
- c. PVA+PALP (MAH-PP) = วัสดุเชิงประกอบที่มีสารตัวเติมใบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์

3.2 การฉายรังสีแกมมาวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 เครื่องฉายรังสีแกมมา gamma cell 220



รูปที่ 3.10 เครื่องฉายรังสีแกมมา (gamma cell 220)

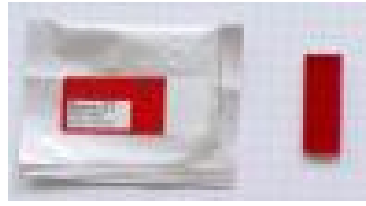
3.2.1.2 Dosimeter

- gamma dosimeter ชนิด red 4034 perspex ผลิตจากประเทศอังกฤษ

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของ Red 4034 Harwell dosimeter

(www.sckcen.be/people/affernandez/rd_irrad.html, 2004)

Properties	the Red 4034 Harwell dosimeter
Color change	Red to dark red
Nominal thickness	3 ± 0.55 mm.
Size	30 x 11 mm
Measuring wavelength	640 nm.
Dose range	5 -50 kGy
Measurement reproducibility	2 %
Shelf life	10 years
Packaging composition	Polyester/aluminium foil/polyester/polyethylene laminate



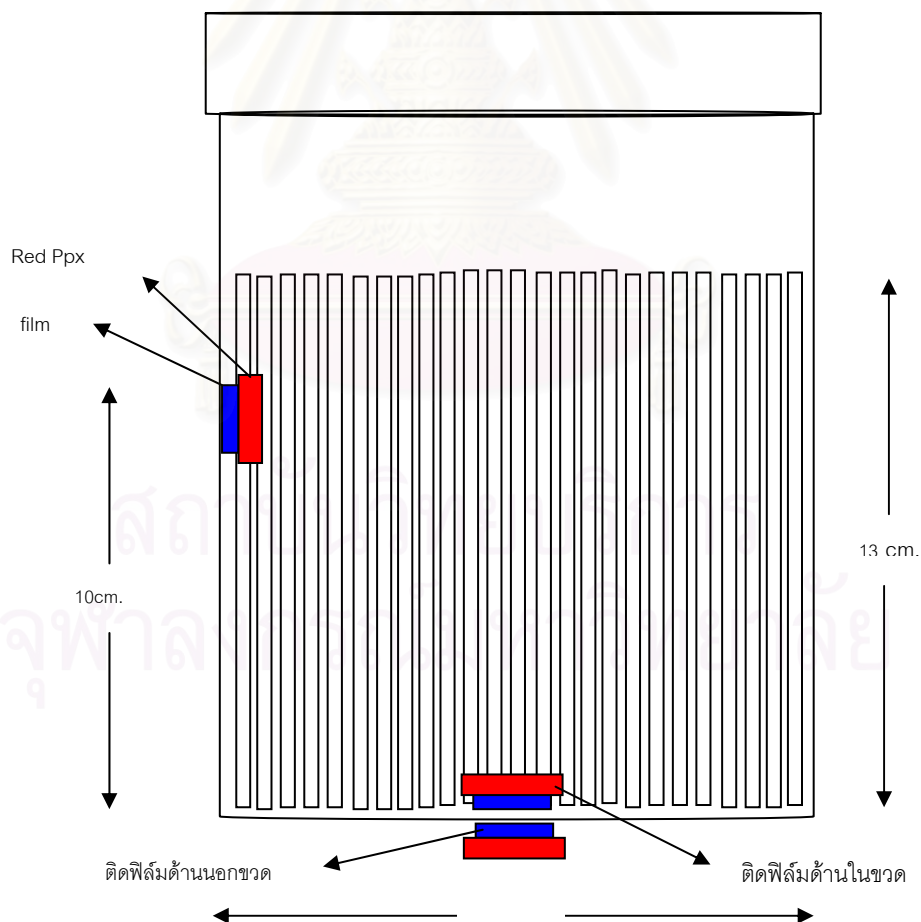
รูปที่ 3.11 Red Harwell 4034 PMMA dosimeter

3.2.2 การทำ Mapping ก่อนการฉายรังสี

การทำ Mapping เพื่อตรวจวัดปริมาณรังสีมีรายละเอียด ดังนี้

วันที่ฉายรังสี 18 กุมภาพันธ์ 2548

เครื่องฉายรังสี Gammacell 220 Excell ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี Radiochromic Film , Red Perspex ผลิตภัณฑ์คือ วัสดุเชิงประกอบ PVA-ผงไบสปีประรด ลักษณะผลิตภัณฑ์ เป็นแผ่นบาง รูปแบบต่างๆ กัน ตามการทดสอบ ใช้ภาชนะบรรจุ เป็นขวด แก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 cm. สูง 18 cm.(ถึงฝา) ใส่วัสดุสูง 13 cm. ดังรูป



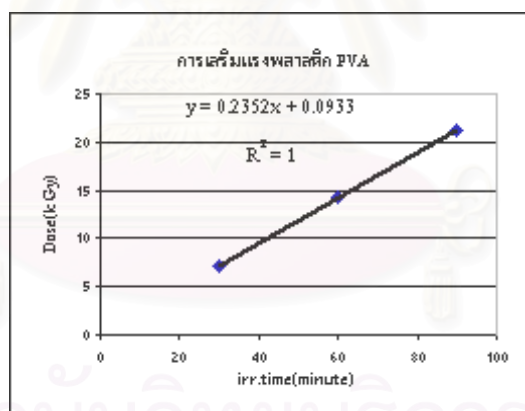
รูปที่ 3.12 แผนภาพการทำ Mapping ก่อนการฉายรังสีด้วยเครื่อง gamma cell 220

ทำการฉายรังสีที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที ติด Dosimeter ลักษณะเดียวกัน เป่าลมเย็นเข้าไปในช่องฉายรังสี เพื่อระบายความร้อน อ่านค่าปริมาณรังสีดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ผลการวัดปริมาณรังสี

No.	Dose (kGy)	Time (min)	Dose rate (kGy/min)	Average Dose (kGy/min)
1	30	7.14	0.238	0.237
2	60	14.22	0.237	
3	90	21.25	0.236	

จากตารางที่ 3.7 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีต่อเวลาได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีต่อเวลา

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการฉายรังสี (min) กับปริมาณรังสี (kGy) ได้สมการ ดังนี้

$$y = 0.2352x + 0.0933$$

3.2.3 ขั้นตอนการฉายรังสีวัสดุเชิงประกอบ

3.2.3.1 เตรียมภาชนะสำหรับฉายรังสี โดยมีขนาดและปริมาตรเท่ากับขั้นตอนการทำ Mapping

3.2.3.2 ใส่ตัวอย่าง และดูอากาศออกจากภาชนะ และปิดฝาให้สนิท

3.2.3.3 ฉายรังสี และตั้งเวลาเพื่อให้ได้ปริมาณรังสีตามต้องการ คือ 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์

ตารางที่ 3.8 เวลาฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์

ครั้งที่	Dose (kGy)	Time (min)	Time (Hr.)
1	25	106	1.46
2	50	212	3.32
3	75	318	5.18

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

3.3.1 การทดสอบความทนแรงดึง (tensile strength)

3.3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

(1) เครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้กำลังลม (compress air sample cutter)



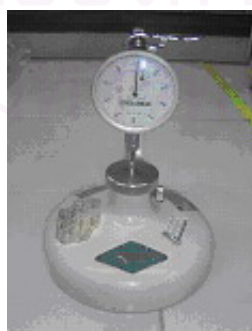
รูปที่ 3.14 เครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้กำลังลม

(2) หัวตัดรูปดัมเบล

รูปที่ 3.15 ลักษณะหัวตัดรูปดัมเบล

(3) ตัวอย่างรูปดัมเบล

รูปที่ 3.16 ตัวอย่างสำหรับทดสอบการดึง

(4) เครื่องวัดความหนาตัวอย่าง

รูปที่ 3.17 เครื่องวัดความหนา (thickness tester)

(5) อุปกรณ์กำหนด gauge length

รูปที่ 3.18 อุปกรณ์กำหนด gauge length

(6) เครื่องทดสอบการดึง (tensile tester)

- เครื่อง Universal testing machine รุ่น LLOYD LR5K จากบริษัท LLOYD INSTRUMENTS ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ
- Test speed 50 mm./min
- Load cell 500 N.
- Gage length 25 mm.
- Extensometer grade C
- Extensometer range 500 mm.
- ตัวอย่างทดสอบรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D 638



รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบการดึง (tensile tester)

3.3.1.2 ขั้นตอนการทดสอบความทนแรงดึง

- (1) เลือกชิ้นงานที่มีคุณภาพดี คือไม่มีฟองอากาศในบริเวณที่ทำการทดสอบ
- (2) ตัดชิ้นงานเป็นรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D638 (tensile properties of plastic) ด้วยเครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้กำลังลมดังรูปที่ 3.14
- (3) ทดสอบหาค่าความทนแรงดึง (tensile strength) % การยืดตัว (% Elongation) และโมดูลัสของแรงดึง (tensile modulus) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ โดยใช้แรงในการดึง (load cell) 500 N และความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตร/นาที

3.3.2 การทดสอบความทนแรงฉีกขาด (Tear resistance)

3.3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- (1) เครื่องทดสอบความทนแรงฉีก (Tear tester)



รูปที่ 3.20 เครื่องทดสอบการฉีกขาด (tear tester)

- เครื่องจากบริษัท LLOYD INSTRUMENTS
- Test speed 500 mm./min
- Load cell 500 N.
- Gage length 25 mm.

- Extensometer grade C
- Extensometer range 500 mm.
- ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1004 (Tear Resistance for film and Sheeting)
 - (2) เครื่องตัดตัวอย่างสำหรับทดสอบความทนแรงฉีก ดังรูปที่ 3.14
 - (3) เครื่องวัดความหนา (thickness tester) ดังรูปที่



รูปที่ 3.21 เครื่องวัดความหนา (micrometer)

3.3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบความทนแรงฉีก

- (1) เลือกชิ้นงานที่มีคุณภาพดี คือไม่มีฟองอากาศในบริเวณที่ทำการทดสอบ
- (2) ตัดชิ้นงานดังรูปที่ 3.22 ตามมาตรฐาน ASTM D1004 (Tear Resistance for film and Sheeting) ด้วยเครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้กำลังลมดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างทดสอบความทนแรงฉีก

(3) ทดสอบหาค่าความทนแรงฉีก (tear strength) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ โดยใช้แรงในการดึง (load cell) 500 N และความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 3.23 ลักษณะการดึงตัวอย่างสำหรับทดสอบความทนแรงฉีก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 การหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ (%water absorption)

3.3.3.1 วัสดุและอุปกรณ์

- (1) เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง
- (2) น้ำกลั่น 2 ครั้ง (doubly distilled water)
- (3) ตู้อบ

3.3.3.2 ขั้นตอนการทดสอบหา %water absorption

การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570-95 (standard test method for water absorption of plastics)

- (1) หาน้ำหนักแห้งของชิ้นงาน โดยทำการอบชิ้นงาน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น แล้วจึงชั่งน้ำหนักแห้งของชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง
- (2) นำชิ้นทดสอบแช่น้ำ โดยให้ชิ้นงานจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- (3) วัดน้ำหนักเปียกของชิ้นงาน โดยนำชิ้นงานขึ้นมาจากน้ำ แล้วเช็ดน้ำที่เกาะรอบชิ้นงานออกด้วยผ้าฝ้ายสะอาด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเปียกทันที

- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงาน ได้ดังสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

3.3.4 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เจล

3.3.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

- (1) น้ำกลั่น 2 ครั้ง (doubly distilled water)
- (2) ชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์
- (3) ตะแกรงรูปลูกบาศก์

3.3.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์เจลของวัสดุเชิงประกอบ

- (1) พับตะแกรงเป็นรูปลูกบาศก์และชั่งน้ำหนักใช้สำหรับใส่ตัวอย่าง
- (2) เตรียมชุดอุปกรณ์การรีฟลักซ์ โดยใช้ น้ำกลั่น 2 ครั้งเป็นตัวทำละลาย
- (3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแต่ละชิ้นด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง และบรรจุตัวอย่างลงในตะแกรงลูกบาศก์
- (4) ทำการรีฟลักซ์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
- (5) เมื่อครบตามเวลา นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นเก็บตัวอย่างในโถแก้วดูความชื้น
- (6) นำไปชั่งน้ำหนักหลังการรีฟลักซ์ บันทึกผลการทดลอง

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เจล (gel fraction) จากสมการ

$$\% \text{gel} = \frac{W_g}{W_o} \times 100$$

W_g = น้ำหนักตัวอย่างหลังการรีฟลักซ์

W_o = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการรีฟลักซ์

3.3.5 ความทนต่อตัวทำละลาย กรดและด่างของวัสดุเชิงประกอบ

โดยหาค่าเปอร์เซ็นต์การบวม (% swellability) ของวัสดุเชิงประกอบในตัวทำละลาย

3.3.5.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- (1) Chloroform
- (2) methanol
- (3) acetic acid
- (4) toluene
- (5) xylene
- (6) ตู้อบ
- (7) โถแก้วดูดความชื้น (desiccator)
- (8) เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง
- (9) ตะแกรงสำหรับใส่ตัวอย่าง

3.3.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) ตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 1 x 1 นิ้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- (2) เก็บตัวอย่างในโถแก้วดูดความชื้นจนเย็น
- (3) นำตัวอย่างไปชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง บันทึกค่าที่ได้
- (4) นำตัวอย่างใส่ตะแกรงที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วแช่ในตัวทำละลายแต่ละชนิด โดยใส่สารละลายให้ท่วมตัวอย่าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- (5) นำตัวอย่างออก ชับด้วยกระดาษ ชั่งน้ำหนักทันทีด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง บันทึกค่าที่ได้
- (6) นำค่าที่ได้ไปคำนวณ หา % swellability จากสมการดังนี้

$$\% \text{ swellability} = \frac{(W_1 - W_0)}{W_0} \times 100$$

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างหลังการแช่ในตัวทำละลาย (กรัม)

W_0 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนการแช่ในตัวทำละลาย (กรัม)

3.3.6 ลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ

ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope รุ่น JSM-5410LV ของบริษัท JEOL โดยเตรียมตัวอย่างทดสอบด้วยการตัดวัสดุเชิงประกอบในไนโตรเจนเหลว และนำส่วนของพื้นผิวที่แตกหักติดบนแท่นทดสอบแล้วทำการเคลือบด้วยทอง ใช้ลำอิเล็กตรอนพลังงาน 15 kV และกำลังขยายในช่วง 300-2,500 เท่า ในการตรวจสอบ

3.3.7 สมบัติเชิงอุณหภูมิจุพาลงกรรม

วิเคราะห์หาอุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature, T_m) ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนำนักตัวอย่างที่ทำการทดสอบ คือ 8.520 มิลลิกรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50-400 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10.00 องศาเซลเซียสต่อนาที

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

วัสดุเชิงประกอบที่ทำการวิเคราะห์สมบัติเชิงกล มีดังนี้

1. วัสดุเชิงประกอบผงใบสับประรด คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีผงใบสับประรดที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเป็นสารตัวเติม
2. วัสดุเชิงประกอบผงใบสับประรด-สเตียริก คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งมีผงใบสับประรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกเป็นสารตัวเติม
3. วัสดุเชิงประกอบผงใบสับประรด-MAH-PP คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP เป็นสารตัวเติม

4.1.1 ความทนแรงดึง (Tensile Strength)

ความทนแรงดึง (Tensile strength) คือ ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของวัสดุ ซึ่งได้ทำการทดสอบความทนแรงดึงก่อนและหลังการฉายรังสี วัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์-ผงใบสับประรดทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ผลการทดสอบเป็นดังนี้

4.1.1.1 ผลของปริมาณผงใบสับประรดต่อความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี

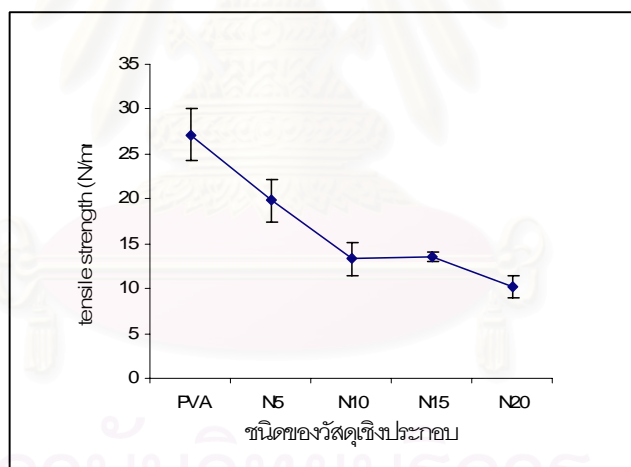
ได้นำผงใบสับประรดที่ได้จากการไฮโดรไลซิสด้วยกรดมาเติมในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อเตรียมเป็นวัสดุเชิงประกอบในปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณผงใบสับประรดมีผลต่อสมบัติความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ดังตารางที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความทนแรงดึงของ PVA-PALP composites ที่เติมผงไบสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีและรังสี

หมายเลข	รหัสตัวอย่าง	อัตราส่วน PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	ค่าความทนแรงดึง (N/mm ²)
1	PVA	60/0	0	27.17 ± 2.86
2	N5	57/3	5	19.82 ± 2.39
3	N10	54/6	10	13.29 ± 1.81
4	N15	51/9	15	13.57 ± 0.57
5	N20	48/12	20	10.21 ± 1.22

จากตารางที่ 4.1 สามารถสร้างกราฟระหว่างปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดกับค่าความทนแรงดึงได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 ความทนแรงดึง (tensile strength) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เติมสารตัวเติมผงไบสับปะรด 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดไม่ทำให้ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณสารตัวเติม 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ค่าความทนแรงดึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากเพิ่มปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าความทนแรงดึงเริ่มมีค่าคงที่ จากนั้นจึงเริ่มมีแนวโน้มลดลงเมื่อสารตัวเติมผงไบสับปะรดมีค่าเข้าใกล้ 20 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสารตัวเติมผงไบสับปะรดมีเซลลูโลสเป็น

องค์ประกอบ ซึ่งมีคุณสมบัติชอบน้ำเช่นเดียวกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (hydrophilic) ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงผงไบสัปประรดด้วยกรดสเตียริก และมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ เพื่อให้มีคุณสมบัติในการชอบน้ำลดลง (ดวงดาว, 2545)

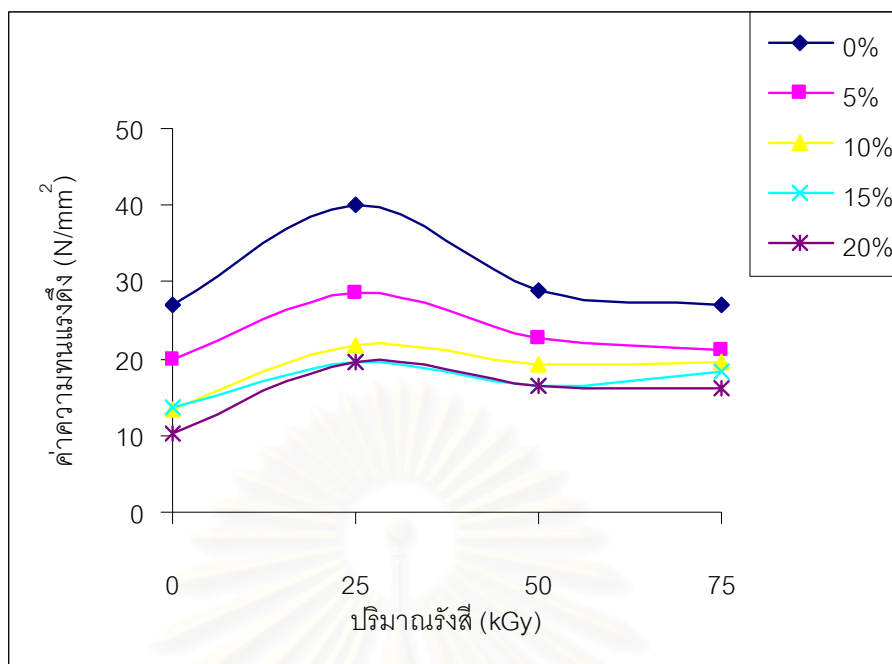
4.1.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ฉายรังสีแกมมา

จากการทดลองฉายรังสีวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0, 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์ ซึ่งมีปริมาณผงไบสัปประรด 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่ารังสีมีผลต่อค่าความทนแรงดึง ผลที่ได้จากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสัปประรด โดยผงไบสัปประรดไม่ผ่านการปรับปรุง ที่ปริมาณรังสีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

No	% สารตัวเติม	Tensile strength (Max.Stress (N/mm ²))			
		0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
PVA	0	27.170	39.930	29.010	27.134
N5	5	19.820	28.440	22.713	21.194
N10	10	13.290	21.840	19.330	19.464
N15	15	13.570	19.510	16.448	18.304
N20	20	10.210	19.560	16.535	16.044

นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์และมีสารตัวเติมผงไบสัปประรด 0-20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

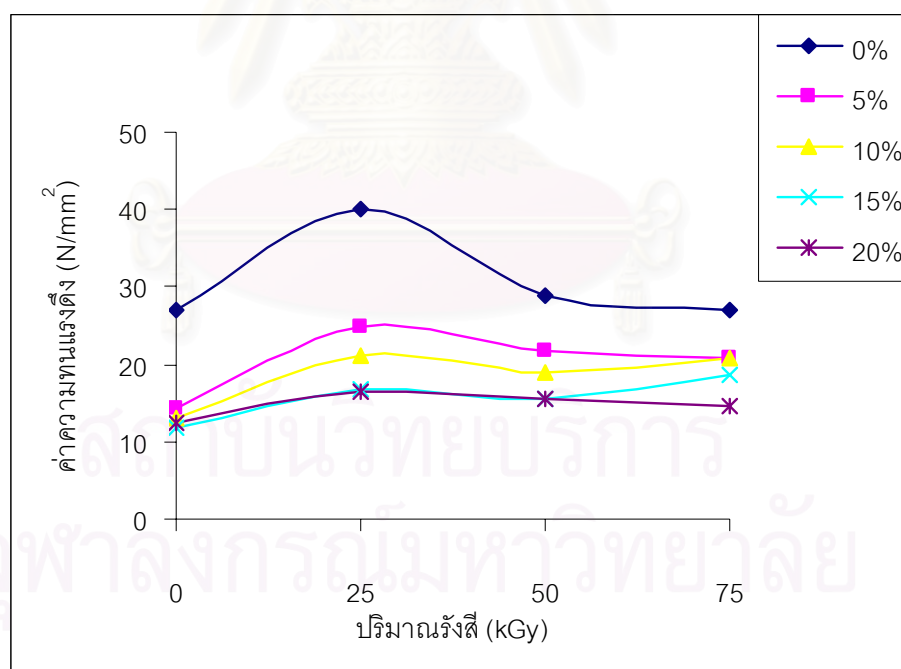
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสปีปะรดที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์ พบว่าการฉายรังสีทำให้วัสดุเชิงประกอบผงไบสปีปะรดมีค่าความทนแรงดึงสูงขึ้นและที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ ค่าความทนแรงดึงมีค่าสูงสุด เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นมากกว่า 25 กิโลเกรย์ ค่าความทนแรงดึงเริ่มลดลงคือที่ปริมาณรังสี 50 กิโลเกรย์ จนกระทั่งที่ปริมาณรังสี 75 กิโลเกรย์ ค่าความทนแรงดึงเริ่มมีแนวโน้มคงที่ โดยค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสปีปะรดเมื่อได้รับรังสีมีค่าสูงขึ้นทุกเงื่อนไข ของเปอร์เซ็นต์สารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ผลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสปีปะรด โดยผงไบสปีปะรด ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP สเตียริกที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

No	% สารตัวเติม	Tensile strength (Max.Stress (N/mm ²))			
		0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
PVA	0	27.170	39.930	29.010	27.134
A5	5	14.400	24.750	21.603	20.894
A10	10	13.090	21.110	18.790	20.854
A15	15	11.660	16.810	15.460	18.644
A20	20	12.300	16.313	15.440	14.484

นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์และมีสารตัวเติมผงไบสับปะรด 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สเตียริกที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

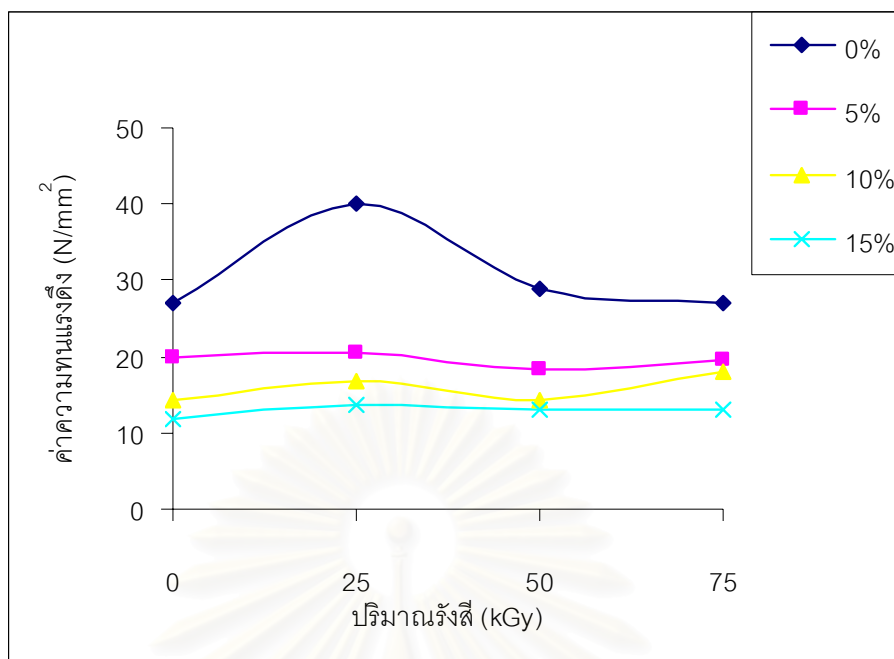
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดที่มีผงไบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยกรดเตียริกและฉายรังสีที่ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์พบว่าที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุด และเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 50 กิโลเกรย์ทำให้ค่าความทนแรงดึงลดลง จนกระทั่งที่ปริมาณรังสี 75 กิโลเกรย์ค่าความทนแรงดึงเริ่มมีแนวโน้มคงที่ โดยจากรูปที่ 4.3 แนวโน้มของค่าความทนแรงดึงเมื่อใส่ผงตัวเติมตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์ มีความคล้ายคลึงกันและมีแนวโน้มเช่นเดียวกับวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

ผลจากการทดสอบความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด โดยผงไบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (MAH-PP) ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP MAH-PP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

No	% สารตัวเติม	Tensile strength Max.Stress (N/mm ²)			
		0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
PVA	0	27.170	39.930	29.010	27.134
M5	5	19.750	20.538	18.320	19.534
M10	10	14.400	16.830	14.310	17.964
M15	15	11.880	13.700	12.960	12.984

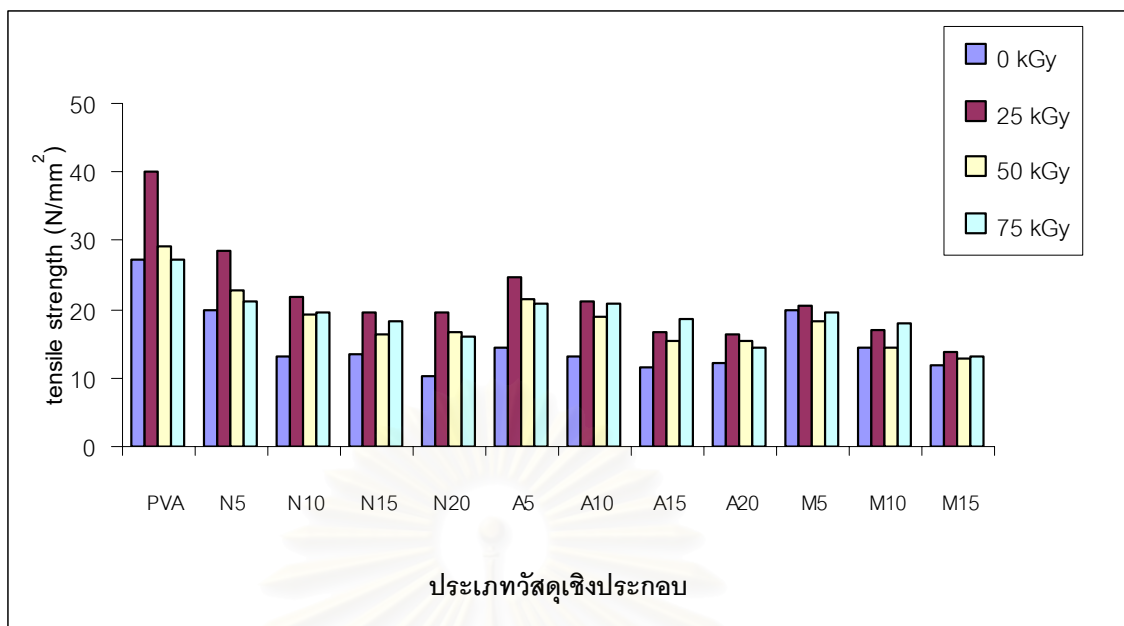
นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความทนแรงดึงที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์ที่เติมสารตัวเติมผงไบสับปะรด 0-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP- MAH-PP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงโพลีเอทิลีนที่ผงโพลีเอทิลีนผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์ พบว่าที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ ให้ค่าความทนแรงดึงสูงกว่าที่ปริมาณรังสี 50 และ 75 กิโลเกรย์ เล็กน้อย และเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึงเริ่มมีแนวโน้มคงที่ และการใส่ปริมาณผงตัวเติมเพิ่มขึ้น ไม่ทำให้ค่าความทนแรงดึงเพิ่มขึ้น

จากการปรับปรุงสารตัวเติมผงโพลีเอทิลีนด้วยกรดสเตียริกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ นำมาผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบผงโพลีเอทิลีนและทำการเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงระหว่างวัสดุเชิงประกอบที่ผงโพลีเอทิลีนผ่านการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงดังกล่าว ทั้ง 3 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แผนภูมิค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ทุกเงื่อนไขที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

การฉายรังสีวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด (N5-N20) วัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด-สแตียริก (A5-A20) และวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด-MAH-PP (M5-M15) ที่ปริมาณรังสี 25-75 กิโลเกรย์และนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ผ่านการฉายรังสี พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์ มีค่าความทนแรงดึงสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ผ่านการฉายรังสี โดยมีค่าสูงสุดที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้นการฉายรังสีแก่วัสดุเชิงประกอบที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ ซึ่งเป็นปริมาณรังสีต่ำสุด มีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการทนแรงดึงได้ดีกว่าการใช้ปริมาณรังสีสูง การที่วัสดุเชิงประกอบมีค่าความทนแรงดึงสูงขึ้นหลังจากฉายรังสี เนื่องจากพอลิเมอร์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีหมู่ฟังก์ชันที่มีโอกาสเกิดการเชื่อมโยงได้ดีเมื่อได้รับรังสีในปริมาณที่เหมาะสม (Benlian และคณะ, 2000) ซึ่งจากการทดลองคือ 25 กิโลเกรย์ เป็นค่าที่ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุด

4.1.2 เพลอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation)

เพลอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) เป็นค่าที่ใช้วัดความเหนียวของวัสดุเชิงประกอบซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบ โดยวัสดุที่มีเพลอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงย่อมมีความสามารถในการขึ้นรูปต่ำกว่าวัสดุที่มีเพลอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำกว่า

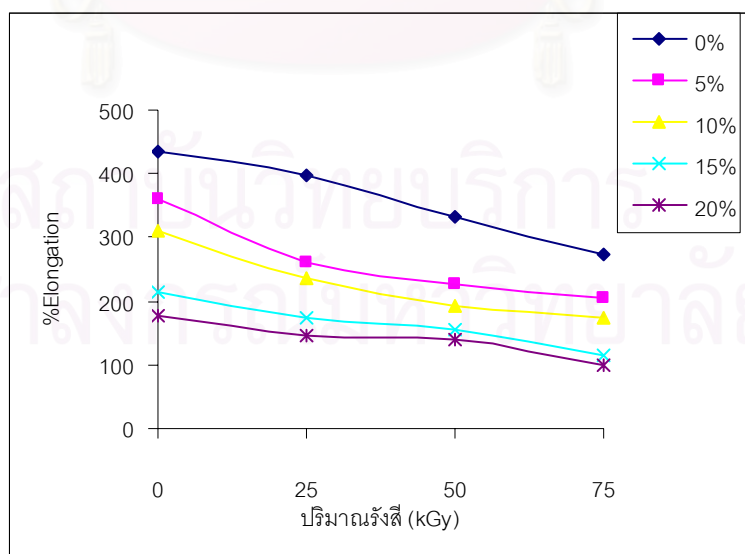
ได้ทำการศึกษาผลของรังสีต่อเพลอร์เซ็นต์การยืดตัว โดยนำตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดที่ผงไบสับปะรดผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีไปผ่านการฉายรังสีแกมมาที่

ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์มาทดสอบตั้งด้วยเครื่อง Universal testing machine LLOYD รุ่น LR 5 K ได้ค่าความสัมพันธ์ของความยาวของวัสดุตัวอย่างก่อนและหลังทดสอบความทนแรงดึงนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังตารางที่ 4.5 ถึงตารางที่ 4.7 ได้เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังนี้

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

รหัส	PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	%Elongation			
			0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
pure PVA	60/0	0	435.70	396.90	330.90	272.30
N5	57/3	5	360.70	261.50	227.70	203.70
N10	54/6	10	309.90	236.90	193.20	173.20
N15	51/9	15	212.80	172.70	156.70	114.70
N20	48/12	20	177.80	145.90	141.20	100.00

จากตารางนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรด ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์โดยปริมาณสารตัวเติมผงใบสับปะรดที่เติมในวัสดุเชิงประกอบ คือ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบ ดังรูปที่ 4.6



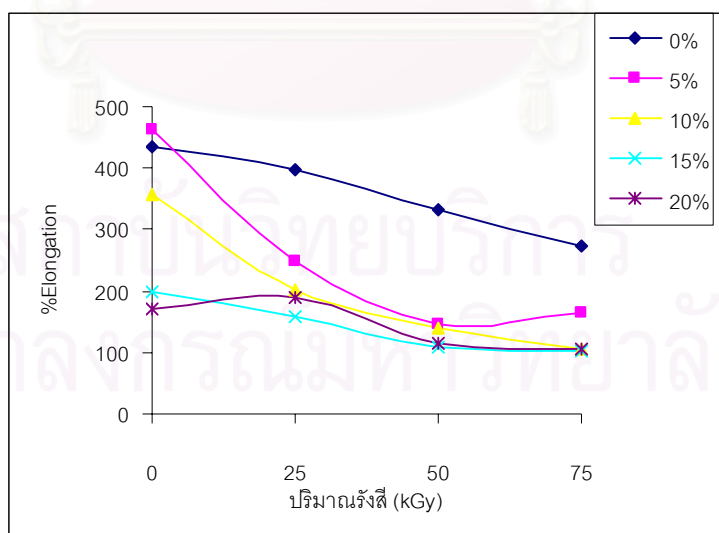
รูปที่ 4.6 % Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบผงไบสัปอะรด ที่ได้รับรังสีแกมมาปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบผงไบสัปอะรดมีค่าลดลงและการเติมผงไบสัปอะรดในปริมาณมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลงเช่นกัน

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สตีเรียก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

รหัส	PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	%Elongation			
			0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
pure PVA	60/0	0	435.70	396.90	330.90	272.30
A5	57/3	5	462.70	249.10	146.00	163.30
A10	54/6	10	356.40	202.30	138.80	105.30
A15	51/9	15	197.45	157.10	107.70	103.70
A20	48/12	20	169.95	188.00	115.70	104.30

จากตารางสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบผงไบสัปอะรด-สตีเรียกและปริมาณรังสี ดังรูปที่ 4.7



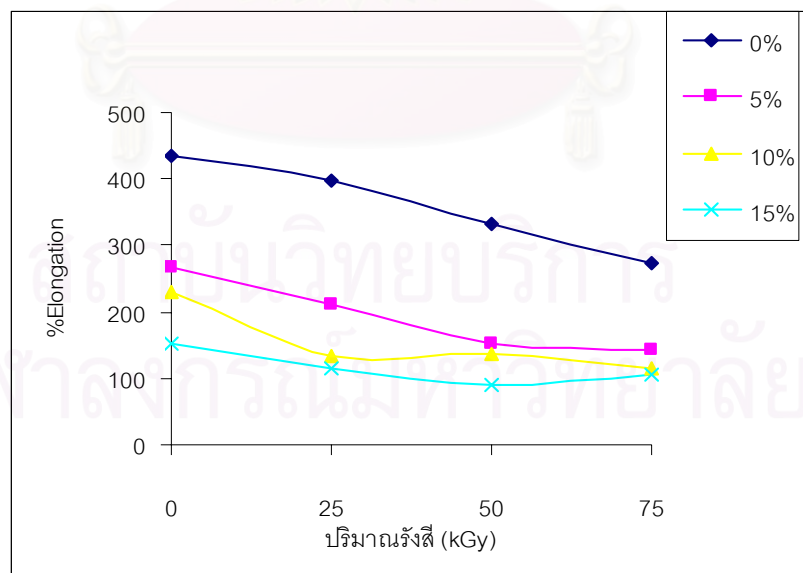
รูปที่ 4.7 %Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สตีเรียกที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบผงใบสับประด-สเดี้ยริก ที่ได้รับรังสีแกมมาปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบผงใบสับประด-สเดี้ยริก มีค่าลดลงและการเติมผงใบสับประดในปริมาณมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลงเช่นกัน

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

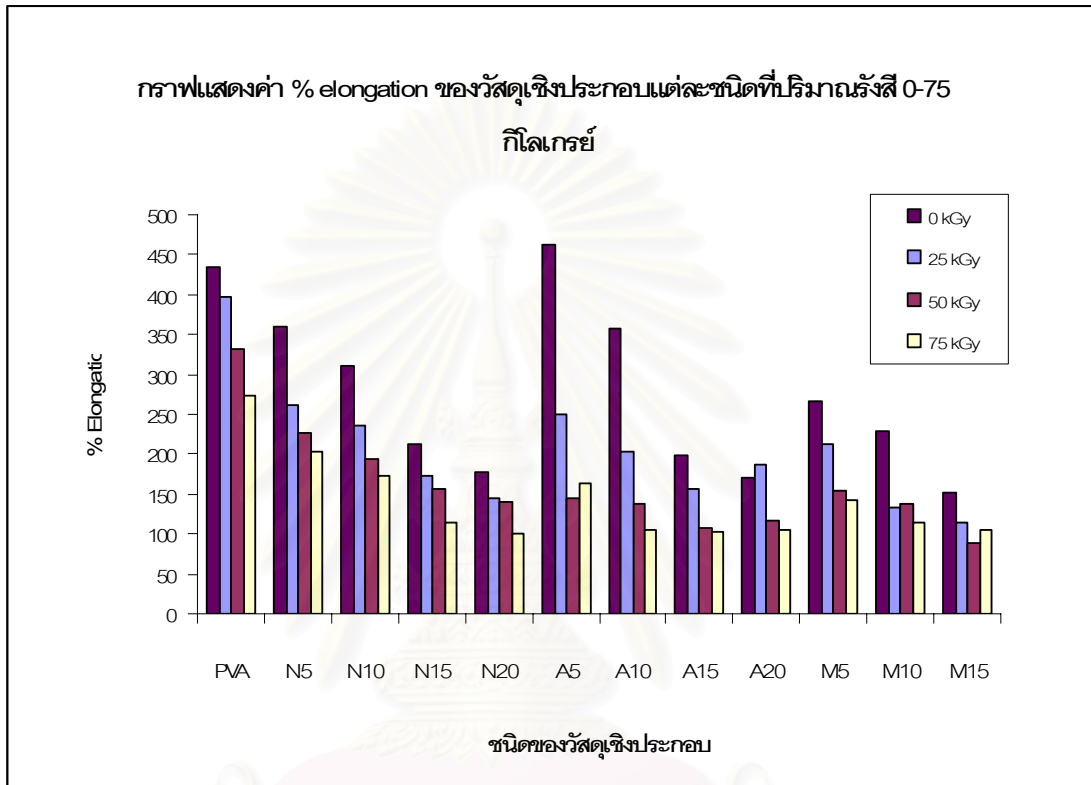
รหัส	PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	%Elongation			
			0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
pure PVA	60/0	0	435.70	396.90	330.90	272.30
M5	57/3	5	266.60	212.30	153.40	141.40
M10	54/6	10	229.60	132.10	136.90	115.60
M15	51/9	15	152.60	115.20	89.30	104.30

จากตารางสามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดและปริมาณรังสีโดยใช้สารตัวเติมตั้งแต่ 0-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 % Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่เติมสารตัวเติม 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบผงไบสลับประรด-MAH-PP ที่ได้รับรังสีแกมมาปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลงและการเติมผงไบสลับประรดในปริมาณมากขึ้นทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลงเช่นกัน



รูปที่ 4.9 % Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิด ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุเชิงประกอบทั้ง 3 ชนิด พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจาก 0, 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุเชิงประกอบทุกชนิดลดลงตามลำดับ และเมื่อเพิ่มปริมาณผงไบสลับประรดไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการฉายรังสีแก่วัสดุเชิงประกอบมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น เนื่องจากมีความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้การเติมผงไบสลับประรดไม่ทำให้ความแข็งและความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุเชิงประกอบด้อยลง

4.1.3 โมดูลัสของแรงดึง (tensile modulus) หรือ Modulus of Elasticity (MOE)

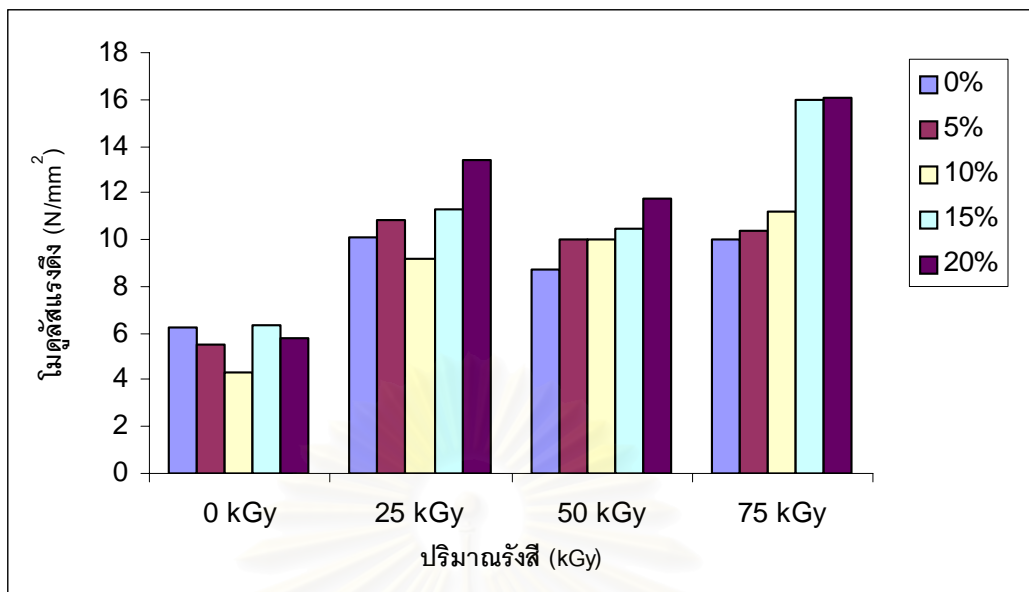
โมดูลัสของแรงดึง (tensile modulus) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการคงรูปของวัสดุเชิงประกอบมีประโยชน์สำหรับงานออกแบบวัสดุที่ต้องรับแรงกระทำ โดยวัสดุที่มีค่าโมดูลัสแรงดึงสูงย่อมมีความแข็งและความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี แต่ถ้ามีค่าโมดูลัสสูงมาก อาจทำให้วัสดุมีความเปราะและแตกหักได้ง่าย ดังนั้นวัสดุแต่ละชนิดจึงมีค่าโมดูลัสที่เหมาะสมแตกต่างกัน จึงทำการคำนวณหาค่าโมดูลัสจากการทดสอบความทนแรงดึงด้วยเครื่อง universal testing machine LLOYD ของวัสดุเชิงประกอบทั้งที่ไม่ปรับปรุง และผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีและรังสี

ผลจากการทดสอบแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสปีปะรด ที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ ได้ค่าโมดูลัสแรงดึงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแรงดึง (MOE) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

รหัส	PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	MOE (N/mm ²)			
			0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
pure PVA	60/0	0	6.236	10.060	8.767	9.965
N5	57/3	5	5.495	10.876	9.975	10.405
N10	54/6	10	4.288	9.219	10.005	11.238
N15	51/9	15	6.374	11.297	10.496	15.959
N20	48/12	20	5.742	13.406	11.710	16.044

สามารถสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสแรงดึงและปริมาณรังสีที่เติมสารตัวเติมตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยนำหน้าวัสดุเชิงประกอบ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ใส่สารตัวเติมผงไบสับปะรดตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับปริมาณรังสีสูงขึ้นทำให้ค่าโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยสูงสุดที่ปริมาณรังสี 75 กิโลเกรย์ และการใส่สารตัวเติมผงไบสับปะรด มีผลทำให้ค่าโมดูลัสมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเมื่อใส่สารตัวเติมในปริมาณเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแปรตามปริมาณสารตัวเติมที่ใส่ลงในวัสดุเชิงประกอบ

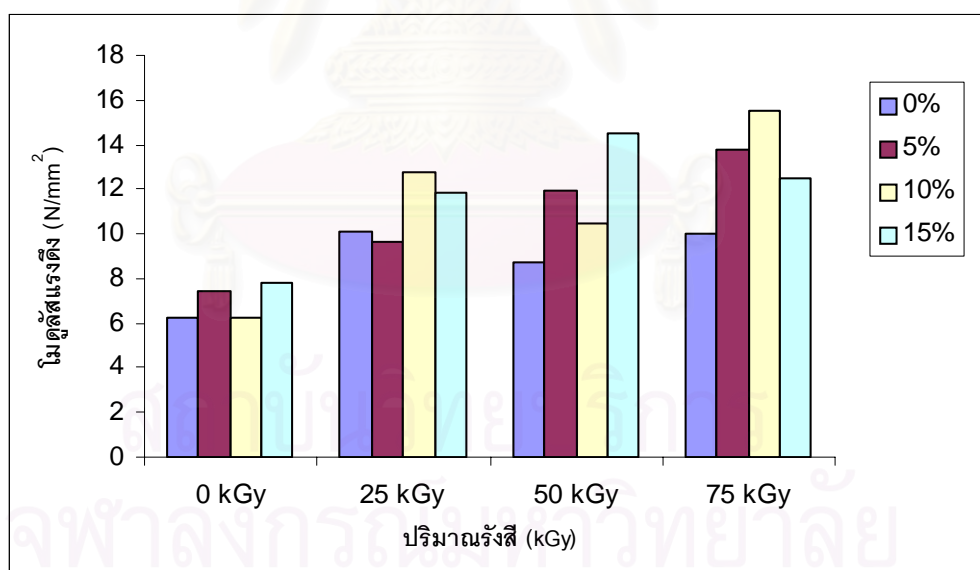
ผลจากการทดสอบแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด-สเดียริก ที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ ได้ค่าโมดูลัสแรงดึงดังตารางที่ 4.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแรงดึง (MOE) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สเต็มยริก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

รหัส	PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	MOE (N/mm ²)			
			0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
pure PVA	60/0	0	6.236	10.060	8.767	9.965
A5	57/3	5	3.112	9.936	14.797	12.795
A10	54/6	10	3.673	10.435	13.537	19.805
A15	51/9	15	5.905	10.700	14.355	17.979
A20	48/12	20	7.237	8.677	13.345	13.887

สามารถสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสแรงดึงและปริมาณรังสีที่เติมสารตัวเติมตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักวัสดุเชิงประกอบ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สเต็มยริกที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

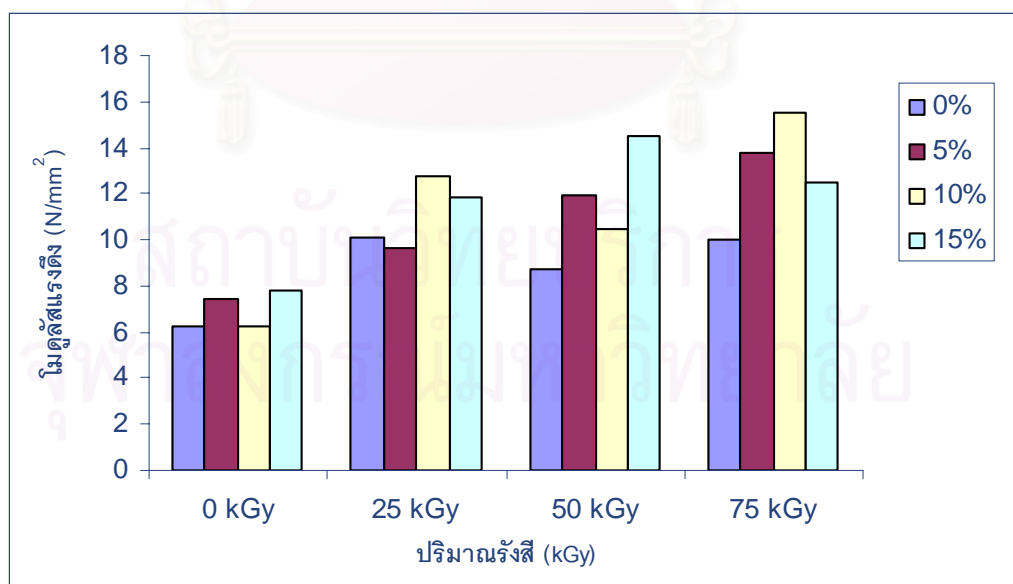
จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสัปปะรด-สเต็มยริก ที่ใส่สารตัวเติมผงไบสัปปะรดตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักโดยผงไบ

สับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตรียริก พบว่าเมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับปริมาณรังสีสูงขึ้นทำให้ค่าโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยสูงสุดที่ปริมาณรังสี 75 กิโลเกรย์ และการใส่สารตัวเติมผงไบสับปะรด มีผลทำให้ค่าโมดูลัสมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเมื่อใส่สารตัวเติมในปริมาณเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแปรตามปริมาณสารตัวเติมที่ใส่ลงในวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแรงดึง (MOE) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

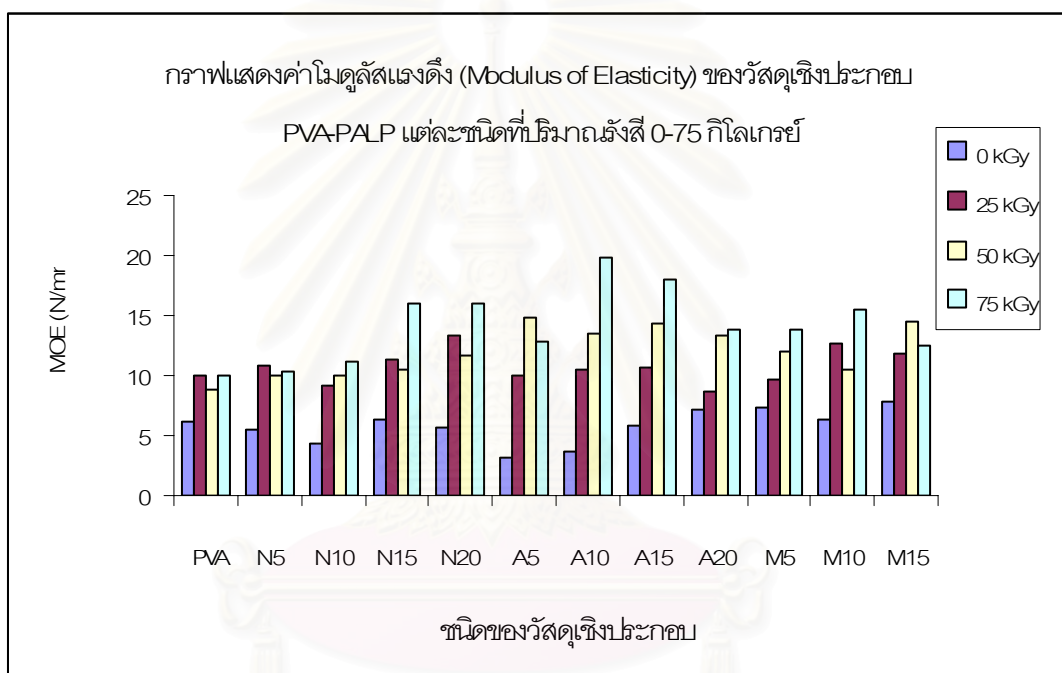
รหัส	PVA / PALP (g.)	% สารตัวเติม	MOE (N/mm ²)			
			0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
pure PVA	60/0	0	6.236	10.060	8.767	9.965
M5	57/3	5	7.408	9.674	11.943	13.815
M10	54/6	10	6.272	12.740	10.453	15.540
M15	51/9	15	7.785	11.892	14.513	12.449

สามารถสร้างแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสแรงดึงและปริมาณรังสีที่เติมสารตัวเติมตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยนำหน้าวัสดุเชิงประกอบ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด-MAH-PP ที่ใส่สารตัวเติมผงไบสับปะรดตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งผงไบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับปริมาณรังสีสูงขึ้นทำให้ค่าโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยสูงสุดที่ปริมาณรังสี 75 กิโลเกรย์ และการใส่สารตัวเติมผงไบสับปะรด มีผลทำให้ค่าโมดูลัสมีค่าสูงขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเมื่อใส่สารตัวเติมในปริมาณเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้นแปรตามปริมาณสารตัวเติมที่ใส่ลงในวัสดุเชิงประกอบ



รูปที่ 4.13 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ทุกเงื่อนไข ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดทุกๆ เงื่อนไข พบว่ารังสีมีผลต่อค่าโมดูลัสแรงดึง โดยเมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้นจาก 0-75 กิโลเกรย์ วัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงส่วนใหญ่มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ อาจเนื่องมาจากรังสีทำให้ปริมาณความชื้นภายในวัสดุเชิงประกอบน้อยลง และทำให้โมเลกุลเกิดการเชื่อมโยงเป็นผลให้ภายในวัสดุเชิงประกอบมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น เมื่อได้รับปริมาณรังสีที่เหมาะสม

ปริมาณผงใบสับปะรดที่ใช้ในการทดลองคือ 0-20 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าโมดูลัสแรงดึงมีค่าสูงขึ้น เพราะเมื่อปริมาณผงใบสับปะรดเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลของวัสดุเชิงประกอบมีความหนาแน่น และเมื่อปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลงความยืดหยุ่นย่อมลดลงสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การยืดและการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยกรดสเตียริก มีผลทำให้ค่าโมดูลัสของวัสดุเชิงประกอบมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่มีผงใบสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP ดังนั้นการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยกรดสเตียริกซึ่งเป็นสารปรับแต่งพื้นผิวทำให้ผงใบสับปะรดสามารถผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดีมากขึ้น

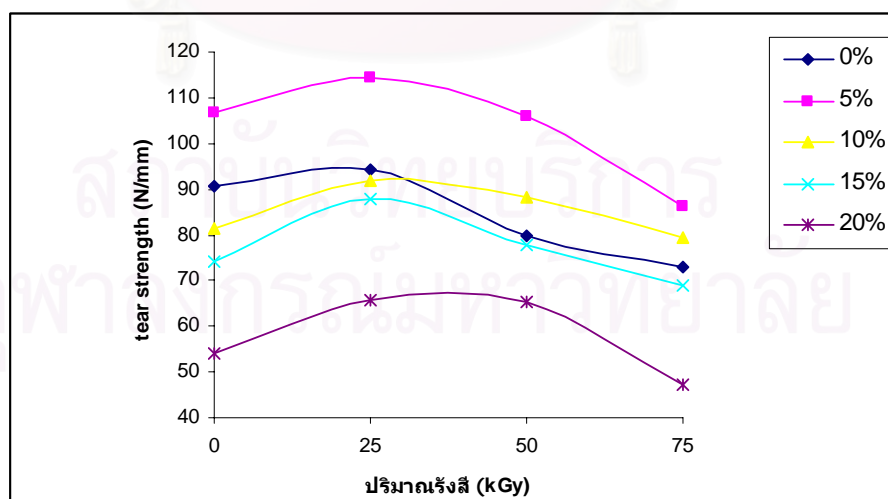
4.1.4 ความทนแรงฉีกขาด (Tear Strength)

ความทนแรงฉีกขาด (Tear strength) คือค่าแรงดึงสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนการฉีกขาด เป็นตัวบอกความสามารถในการทนต่อการฉีกขาดจากกันของวัสดุเชิงประกอบ ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรดประเภทใดที่มีค่าความทนแรงฉีกสูง ย่อมสามารถทนการฉีกขาดได้ดีหรือขาดจากกันได้ยากกว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีค่าความทนแรงฉีกต่ำกว่า จากการทดลองนำตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบทั้งที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมี และรังสี ไปทดสอบความสามารถในการทนแรงฉีกด้วยเครื่อง universal testing machine แสดงค่าความทนแรงฉีก (tear testing) ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิด ที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

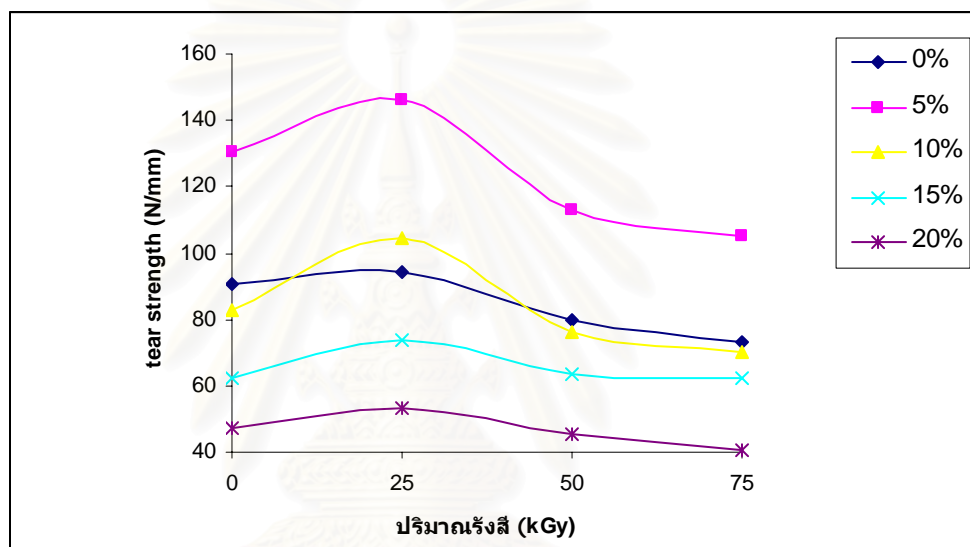
No.	condition	Tear strength (N/mm)			
		0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
1	Pure PVA	90.80	94.22	79.73	73.10
2	N5	106.90	114.30	105.90	86.27
3	N10	81.35	91.74	88.36	79.49
4	N15	74.24	88.00	77.71	69.11
5	N20	54.20	65.61	65.38	47.38
6	A5	130.30	146.00	113.20	105.00
7	A10	82.63	104.70	75.93	70.40
8	A15	62.59	73.91	63.74	62.24
9	A20	47.46	53.33	45.62	40.49
10	M5	90.81	94.80	88.18	82.77
11	M10	89.81	100.40	90.26	81.66
12	M15	75.85	86.19	85.00	72.53
13	M20	66.56	81.13	67.78	61.13

จากข้อมูลข้างต้นนำมาสร้างกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์ของวัสดุเชิงประกอบแต่ละประเภทดังรูปต่อไปนี้



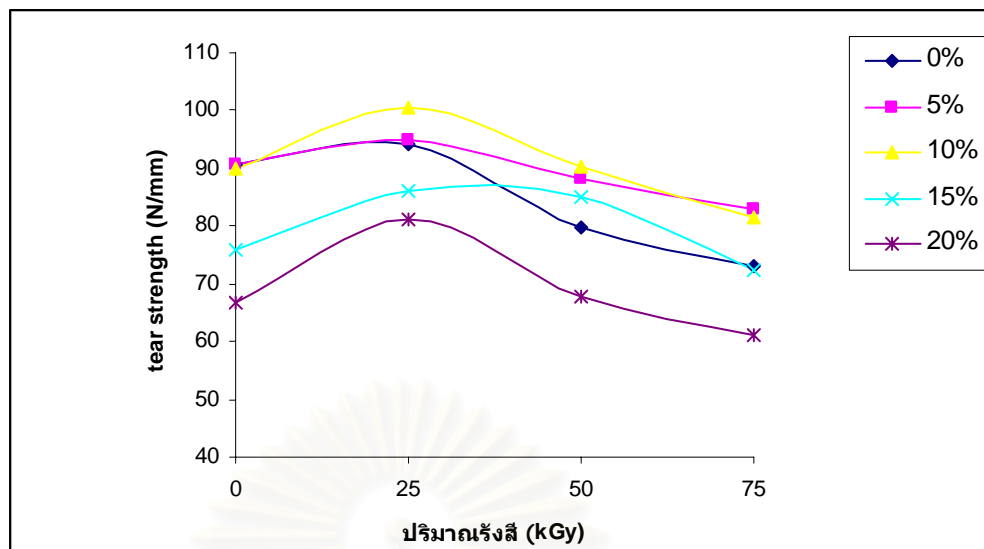
รูปที่ 4.14 ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ผงใบสับปะรดไม่ผ่านการปรับปรุง ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดที่ใส่ผงไบสับปะรดตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักวัสดุเชิงประกอบ และผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ พบว่ารังสีมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ มีค่าความทนแรงฉีกสูงสุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้นที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงวัสดุเชิงประกอบให้มีความสามารถในการทนแรงฉีกได้ดีที่สุด นอกจากนี้ปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดยังมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยพบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมผงไบสับปะรดที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความทนแรงฉีกมีค่าดีที่สุด



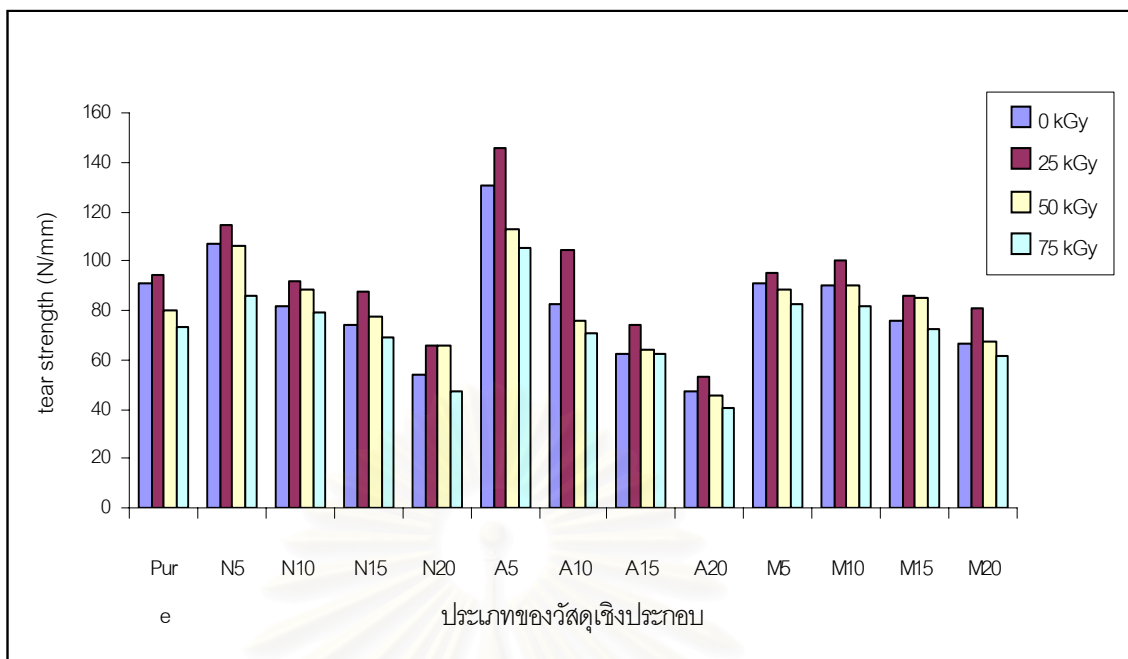
รูปที่ 4.15 ค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-สเดยริก ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.15 แสดงค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด-สเดยริก ที่ใส่ผงไบสับปะรดตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักวัสดุเชิงประกอบ และผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ พบว่ารังสีมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ มีค่าความทนแรงฉีกสูงสุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้นที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงวัสดุเชิงประกอบให้มีความสามารถในการทนแรงฉีกได้ดีที่สุด นอกจากนี้ปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดยังมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยพบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมผงไบสับปะรดที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความทนแรงฉีกมีค่าดีที่สุดเช่นเดียววัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดเปล่า



รูปที่ 4.16 ค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP-MAH-PP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.16 แสดงค่าความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดที่ใส่ผงไบสับปะรดตั้งแต่ 0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักวัสดุเชิงประกอบ และผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ พบว่ารังสีมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น และที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ มีค่าความทนแรงฉีกสูงสุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้นที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการปรับปรุงวัสดุเชิงประกอบให้มีความสามารถในการทนแรงฉีกได้ดีที่สุด นอกจากนี้ปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดยังมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยพบว่าเมื่อเติมสารตัวเติมผงไบสับปะรดที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ค่าความทนแรงฉีกมีค่าดีที่สุด



รูปที่ 4.17 ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.13-4.17 แสดงผลการทดสอบความทนแรงฉีกขาด (tear strength) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ พบว่าการฉายรังสี ปริมาณ 25 กิโลเกรย์ ทำให้ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุมีค่าสูง และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาการเติมสารตัวเติมผงไบสับปะรดที่ปริมาณ 0-20 % ทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงเป็นดังนี้

ผงไบสับปะรดไม่ผ่านการปรับปรุง เมื่อปริมาณสารตัวเติมผงไบสับปะรดที่เติมลงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 5 % และผ่านการฉายรังสีที่ 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์ ทำให้ค่าความทนแรงฉีกขาดมีค่าสูงขึ้นมากกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปล่าคิดเป็น 21.31%, 32.82% และ 18.01%ตามลำดับ เมื่อปริมาณสารตัวเติมมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเป็น 10,15 และ 20 % ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดมีค่าลดลงตามลำดับ

ผงไบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยกรดเตียริก ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบที่เติมผงไบสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดเตียริก เมื่อเติมผงไบสับปะรด 5 % และผ่านการฉายรังสี 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์ เป็นดังนี้ ค่าความทนแรงฉีกขาดมีค่าสูงขึ้นมากกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปล่าคิดเป็น 54.96%, 41.94% และ 43.64% เมื่อปริมาณสารตัวเติมมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเป็น 10, 15 และ 20 % ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดมีค่าลดลงตามลำดับ

ผงไบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยMAH-PP ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบที่เติมผงไบสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ เมื่อเติมผงไบสับปะรด ทำให้ค่าความทนแรงฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อผ่านการฉายรังสีที่ ปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ ปริมาณผงไบสับปะรด 5 % ที่เติมลงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำให้ค่าความทนแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งผงไบสับปะรดที่ไม่ปรับปรุงและผงไบสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ โดยค่าความทนแรงฉีกขาดมีค่าสูงสุดที่วัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดสเตียริก 5 % (A5) คือ 146 N/mm

4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติเชิงเคมี (Chemical properties) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

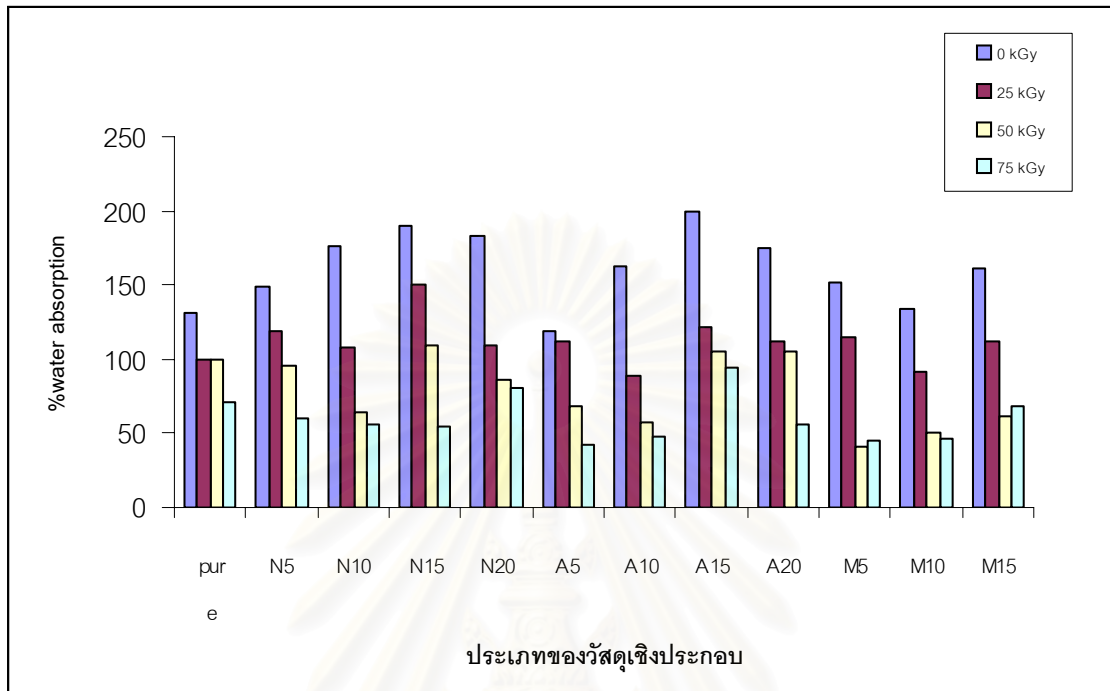
4.2.1 การดูดซึมน้ำ (% water absorption) ของวัสดุเชิงประกอบ

ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดแต่ละชนิด ทั้งก่อนและหลังการฉายรังสี ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

No.	condition (PVA:PALP(g))	% water absorption			
		0 kGy	25 kGy	50 kGy	75 kGy
1	pure PVA	131.743	99.540	99.489	71.539
2	N5	149.262	118.689	95.393	60.475
3	N10	175.586	108.243	64.586	55.428
4	N15	190.287	149.955	109.143	54.153
5	N20	182.436	109.494	86.285	80.338
6	A5	119.149	112.659	68.188	42.960
7	A10	162.252	88.221	56.937	47.288
8	A15	198.830	120.931	104.742	93.639
9	A20	174.412	111.986	105.170	56.286
10	M5	151.466	114.260	41.611	45.591
11	M10	133.262	91.755	51.043	46.949
12	M15	160.999	112.011	61.392	68.664

นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบแต่ละชนิดกับปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์ ดังรูปที่ 4.18

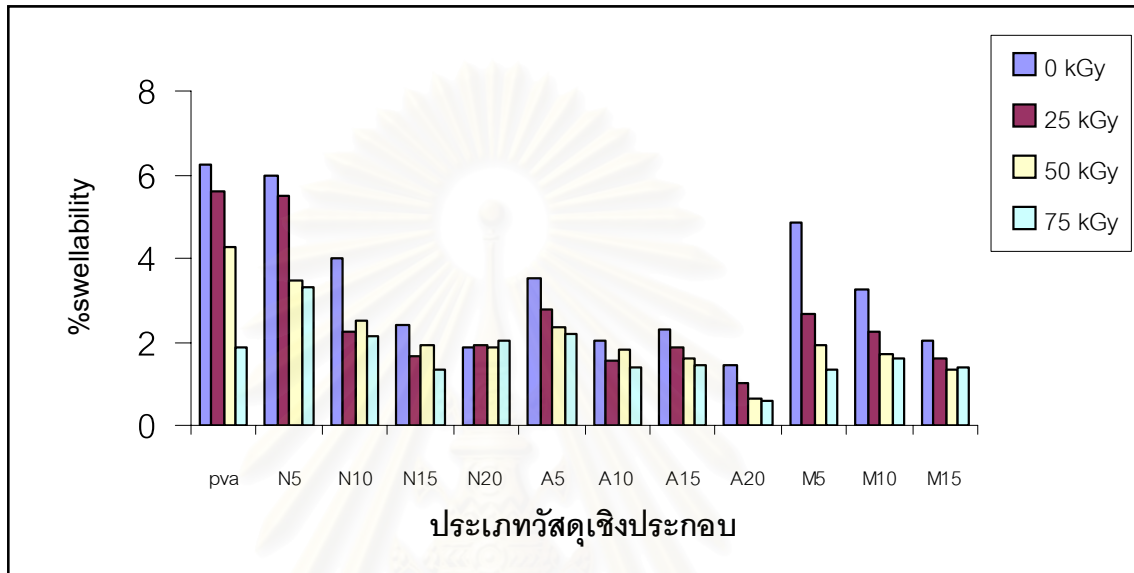


รูปที่ 4.18 กราฟการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

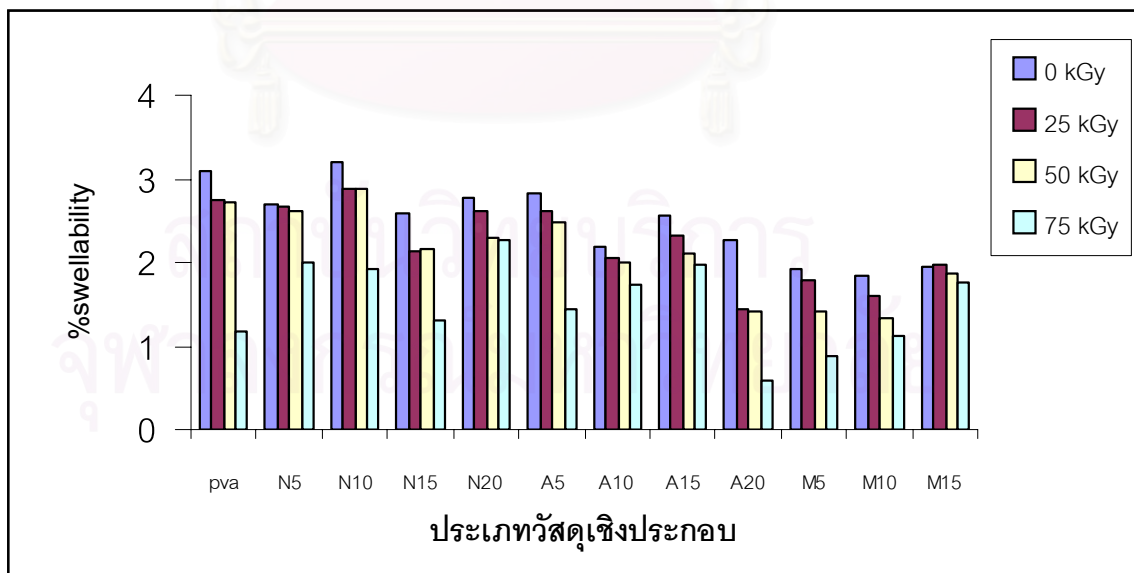
จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.18 แสดงการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าการฉายรังสีมีผลต่อการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ โดยเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น % water absorption มีค่าลดลงจาก 0-75 กิโลเกรย์ตามลำดับ และแนวโน้มการลดลงของการดูดซึมน้ำมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างวัสดุเชิงประกอบแต่ละประเภท ดังนั้นรังสีมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบดูดซึมน้ำได้น้อยลง และสามารถยืดอายุการใช้งานและทำให้ผลิตภัณฑ์ทนน้ำได้นานขึ้น

4.2.2 การบวมในตัวทำละลาย กรด และด่าง (%Swellability) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

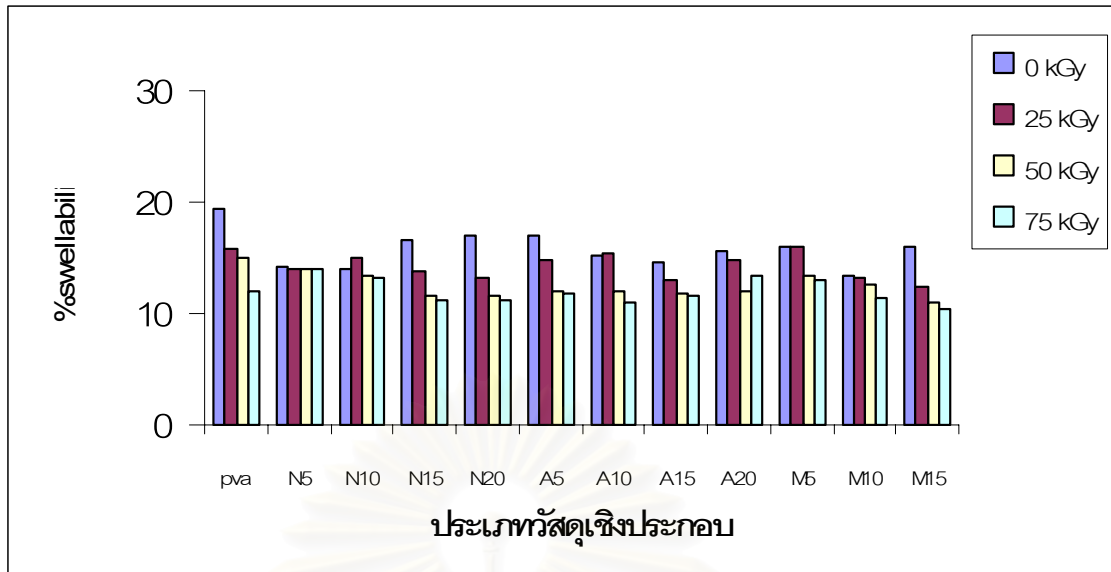
จากการวิเคราะห์ความสามารถในการบวมในตัวทำละลาย กรด และด่าง ซึ่งได้แก่ xylene , toluene, methyl alcohol, chroloform และ acetic acid ของวัสดุเชิงประกอบแต่ละชนิด แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.19-4.23



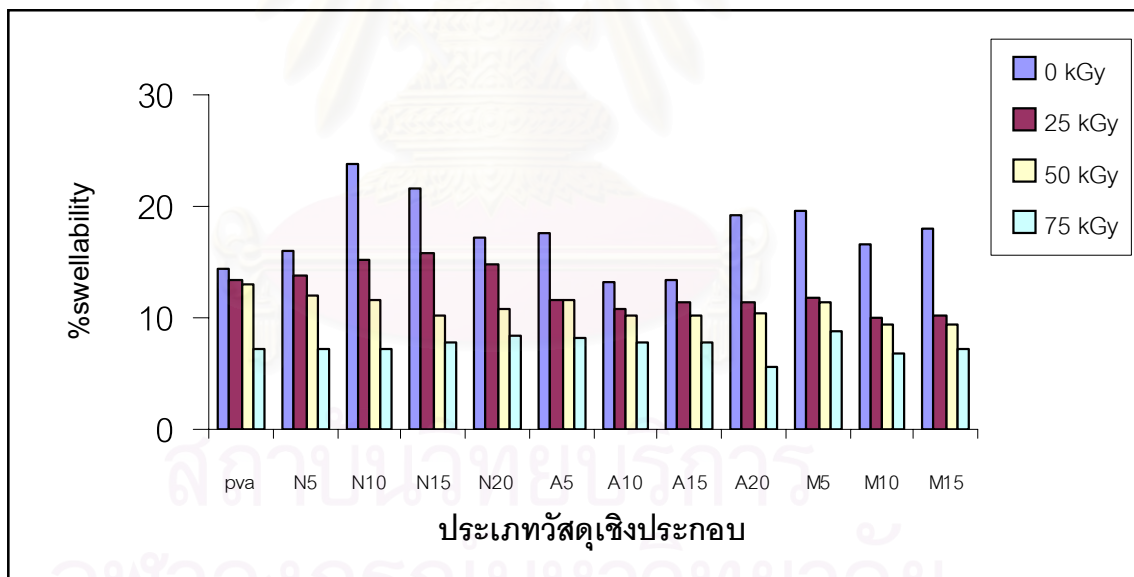
รูปที่ 4.19 % swellability ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ใน Xylene ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



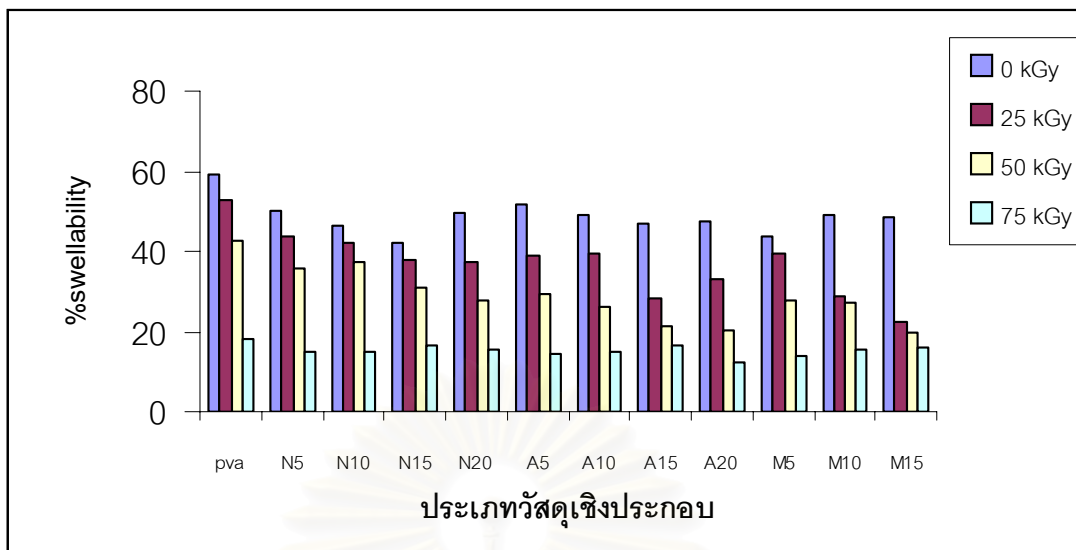
รูปที่ 4.20 % swellability ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ใน Toluene ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.21 % swellability ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ใน Methanol ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.22 % swellability ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ใน Chloroform ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



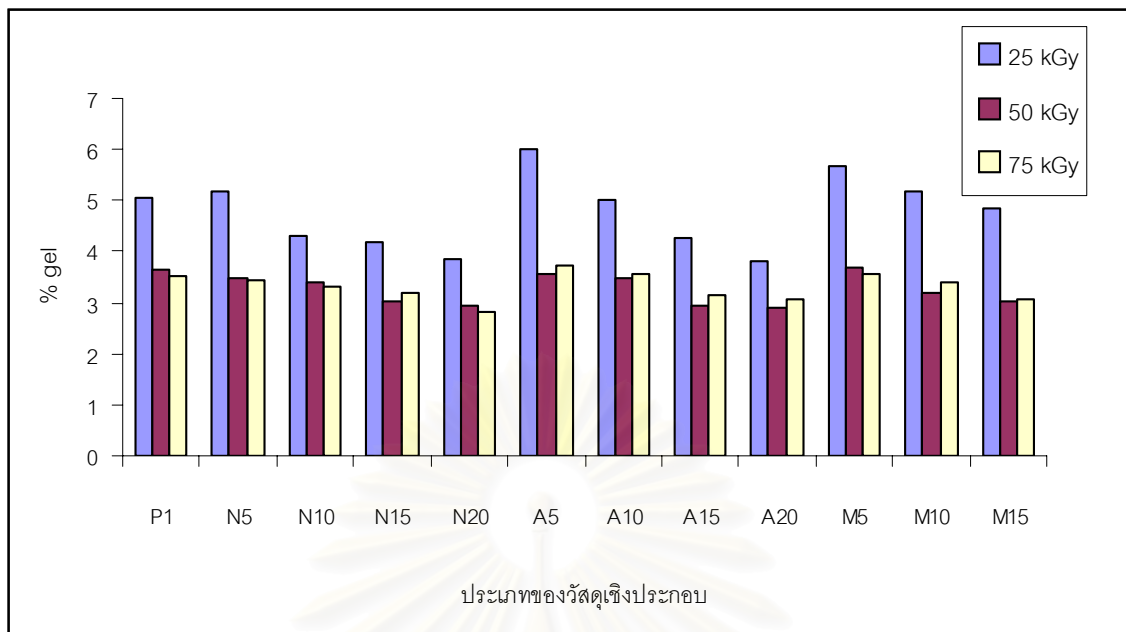
รูปที่ 4.23 %swellability ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ใน Acetic acid ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.19-4.23 เมื่อวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ได้รับรังสีแกมมา ทำให้การดูดซึมตัวทำละลาย xylene toluene methanol chloroform และ acetic acid มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปล่า และเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นจาก 0, 25, 50 และ 75 กิโลเกรย์ พบว่าการดูดซึมตัวทำละลายของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP มีค่าลดลงตามลำดับ

ดังนั้นรังสีมีความสามารถในการปรับปรุงความแข็งแรงและความทนต่อสารเคมี กรด ต่าง และตัวทำละลายของวัสดุเชิงประกอบได้ดี โดยทำให้วัสดุเชิงประกอบดูดซึมกรด ต่าง และตัวทำละลายได้น้อยลง วัสดุเชิงประกอบจึงสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กับสารเคมีได้

4.3 ผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์เจล (%gel) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์เจลของวัสดุเชิงประกอบผงใบสับประรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีและรังสีปริมาณ 25-75 กิโลเกรย์ แสดงดังรูปที่ 4.24

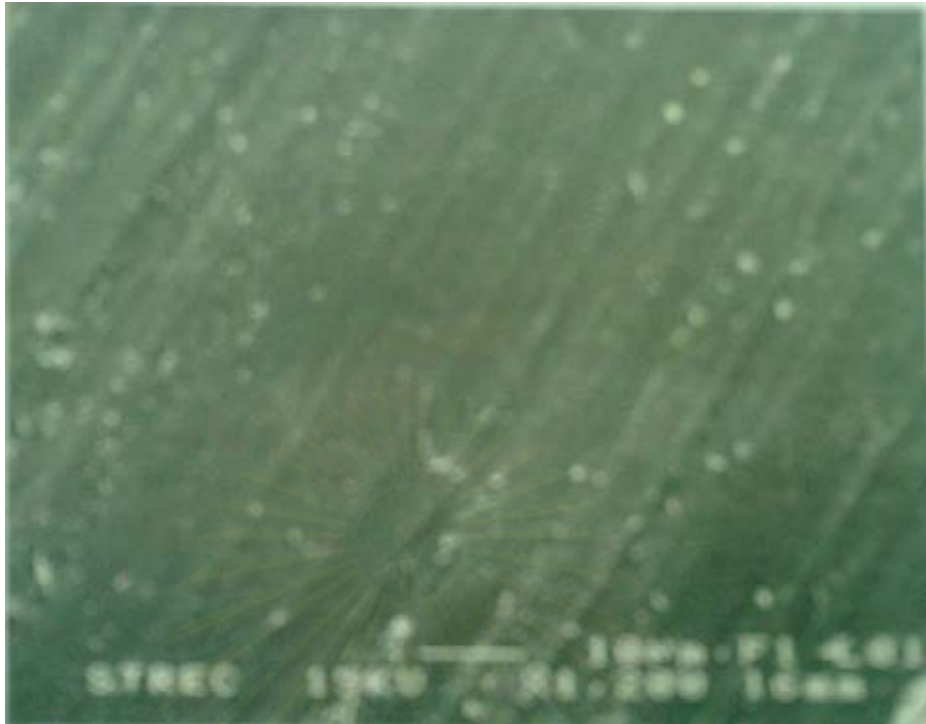


รูปที่ 4.24 ค่าความเป็นเจล (%gel) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ปริมาณรังสี 25-75 กิโลเกรย์

จากรูปที่ 4.24 พบว่าปริมาณรังสีมีผลทำให้เกิดความเชื่อมโยงภายในวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดเนื่องจากเมื่อได้รับรังสี ค่าความเป็นเจลมีค่าเพิ่มขึ้น โดยปริมาณรังสีที่ให้ค่าความเป็นเจลสูงสุดคือ ที่ 25 กิโลเกรย์ และค่าความเป็นเจลมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ซึ่งยังไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายผลดังกล่าวได้ ดังนั้นปริมาณรังสีที่เหมาะสมในการปรับปรุงความแข็งแรง โดยการทำให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ ที่ 25 กิโลเกรย์ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติเชิงเคมีของวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากให้ค่าความทนแรงดึง ค่าความทนแรงฉีกสูงขึ้น นอกจากนี้ที่ปริมาณรังสีดังกล่าว ยังทำให้วัสดุเชิงประกอบทนต่อน้ำและความชื้นได้ดี โดยพิจารณาจากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

4.4 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำ และสัดส่วนความเป็นเจล พบว่าที่ปริมาณผงตัวเติม 5 % ของวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการฉายรังสีที่ 25 กิโลเกรย์ มีคุณสมบัติดีจึงเลือกทำการศึกษาดูอย่างดังกล่าวเปรียบเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ดังรูปที่ 4.25-4.28



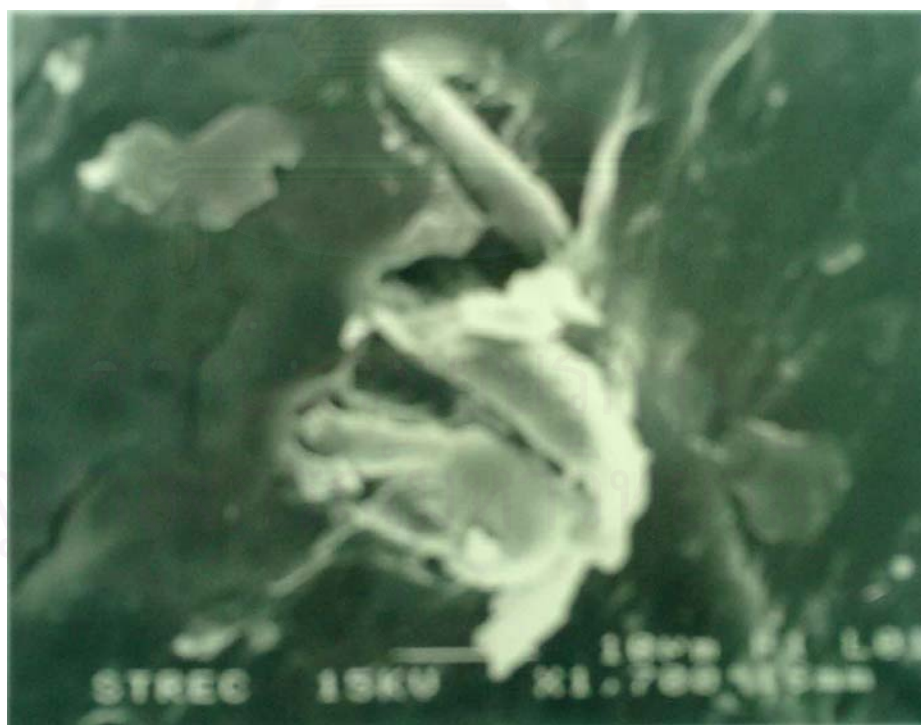
รูปที่ 4.25 ลักษณะของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ผ่านการฉายรังสี



รูปที่ 4.26 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบผงไบสปีปเปอร์ดที่ 5 เปอร์เซ็นต์สารตัวเติม ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.27 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบผงโพลีบิวทีเรต-สตีเรอิก ที่ 5 เปอร์เซ็นต์สารตัวเติม ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์



รูปที่ 4.28 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบผงโพลีบิวทีเรต-MAH-PP ที่ 5 เปอร์เซ็นต์สารตัวเติม ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์

จากรูป พบส่วนที่เป็นเม็ดสีขาวซึ่งได้แก่กรดสเตียริกเกาะอยู่บริเวณรอยเชื่อมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และผงไบสับปะรด โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.27 ซึ่งมีความสอดคล้องกับคุณสมบัติเชิงกล คือความทนต่อแรงฉีก มีค่าสูงเมื่อทำการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก ดังนั้นการปรับปรุงผงไบสับปะรดด้วยกรดสเตียริกทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองชนิดคือผงไบสับปะรดและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถประสานกันได้ดีขึ้น

จากรูปที่ 4.28 แสดงลักษณะของวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการปรับปรุงด้วย MAH-PP พบเม็ดสีขาวเคลือบอยู่บริเวณผงไบสับปะรด และเม็ดสีขาวที่เห็นจากภาพคือ MAH-PP ซึ่งเป็นตัวประสานให้ผงไบสับปะรดเข้ากับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น

4.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนโดยการหาอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

เนื่องจากผลการทดสอบสมบัติเชิงกล ความสามารถในการดูดซึมน้ำและเปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลของวัสดุเชิงประกอบ ทำให้พบว่าวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรด-กรดสเตียริก 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25 กิโลเกรย์ มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริงมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกทำการวิเคราะห์เฉพาะวัสดุเชิงประกอบผงไบสับปะรดดังกล่าว

โดยอุณหภูมิที่ทำการศึกษาอยู่ในช่วง 50-400 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่วัสดุเชิงประกอบทนได้ (melting temperature) คือ 327.177 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

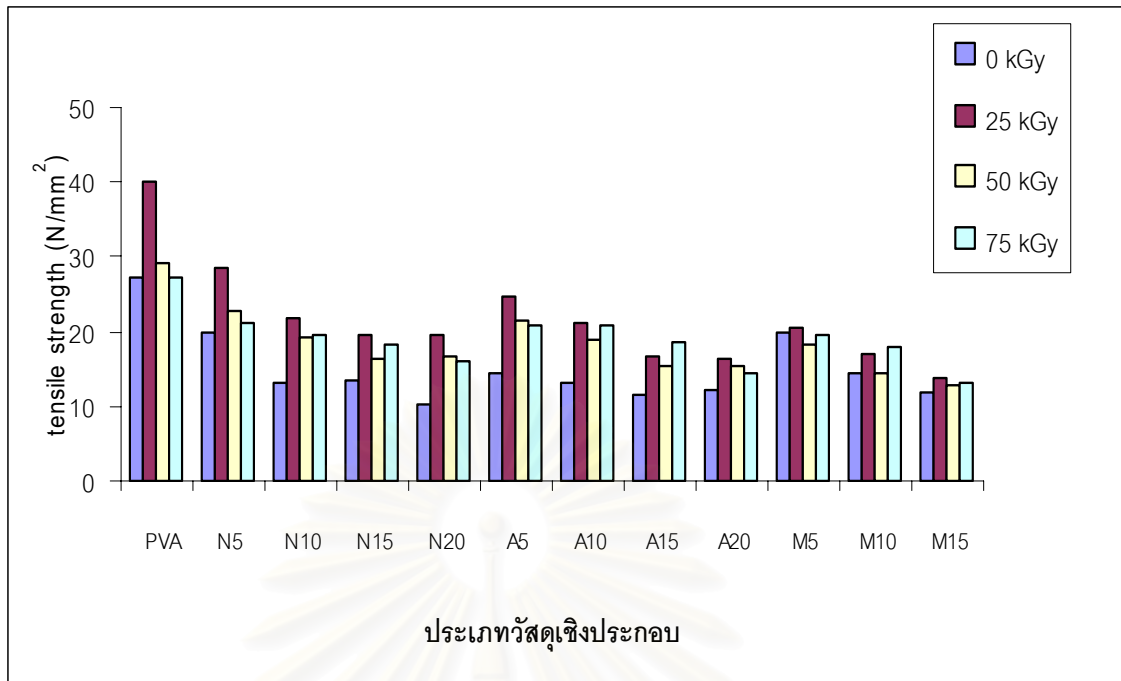
การแปรสภาพไบโสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อเป็นสารตัวเติมผงไบโสับปะรด ทำได้โดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง ทำให้ได้ผงไบโสับปะรดที่มีลักษณะเป็นผง ร่อนด้วยตะแกรงเพื่อให้มีขนาดเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในวัสดุเชิงประกอบ ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีขนาดสม่ำเสมอ ปรับปรุงความเข้ากันของสารตัวเติมกับ polymer matrix โดยปรับปรุงสารตัวเติมผงไบโสับปะรดด้วยกรดสเตียริกและมาเลอิก แอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ เพื่อให้สามารถจับกับพอลิเมอร์ได้ดี นอกจากนี้ได้ทำการฉายรังสีแกมมาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงเนื่องจากการเชื่อมโยง (crosslinking) และปรับปรุงสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่เตรียมได้

จากการศึกษาผลของปริมาณรังสี ผลของการปรับปรุงสารตัวเติมผงไบโสับปะรดและผลของปริมาณสารตัวเติมต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงเคมี สมบัติเชิงอุณหภูมิลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว รวมทั้งเปอร์เซ็นต์เจลหลังผ่านการอบรังสีของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ได้ผลดังนี้

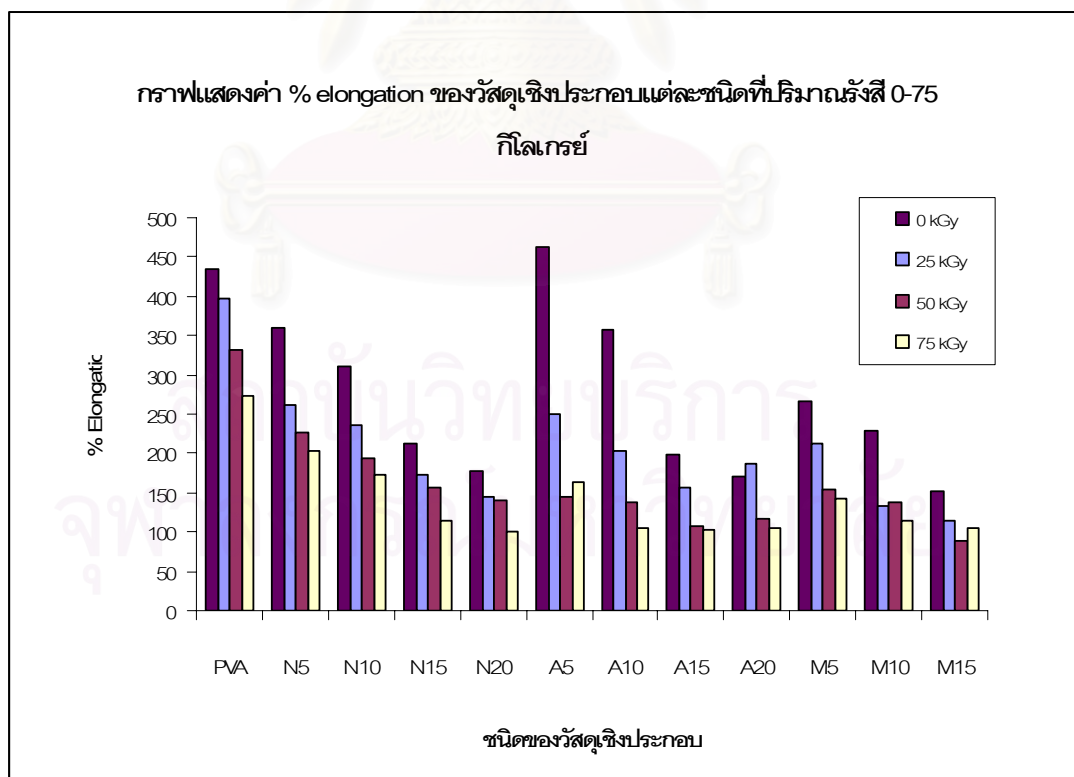
5.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

สมบัติเชิงกลเป็นสมบัติที่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถอธิบายถึงความแข็งแรงและความสามารถในการรับภาระในการทำงานของวัสดุ สมบัติเชิงกลที่ทำการศึกษาได้แก่ ความทนแรงดึง (Tensile strength หรือ stress at break) เปอร์เซ็นต์การยืด (% Elongation) โมดูลัสแรงดึง (Modulus of Elasticity) และความทนแรงฉีก (Tear resistance) ซึ่งสามารถสรุปดังรูปที่ 5.1-5.4

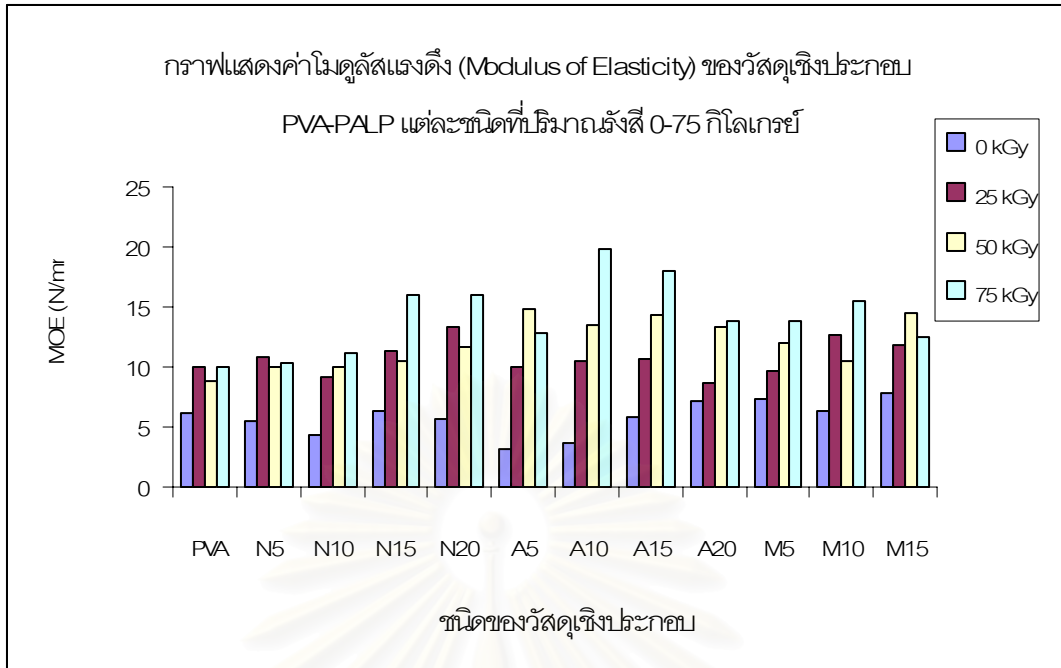
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



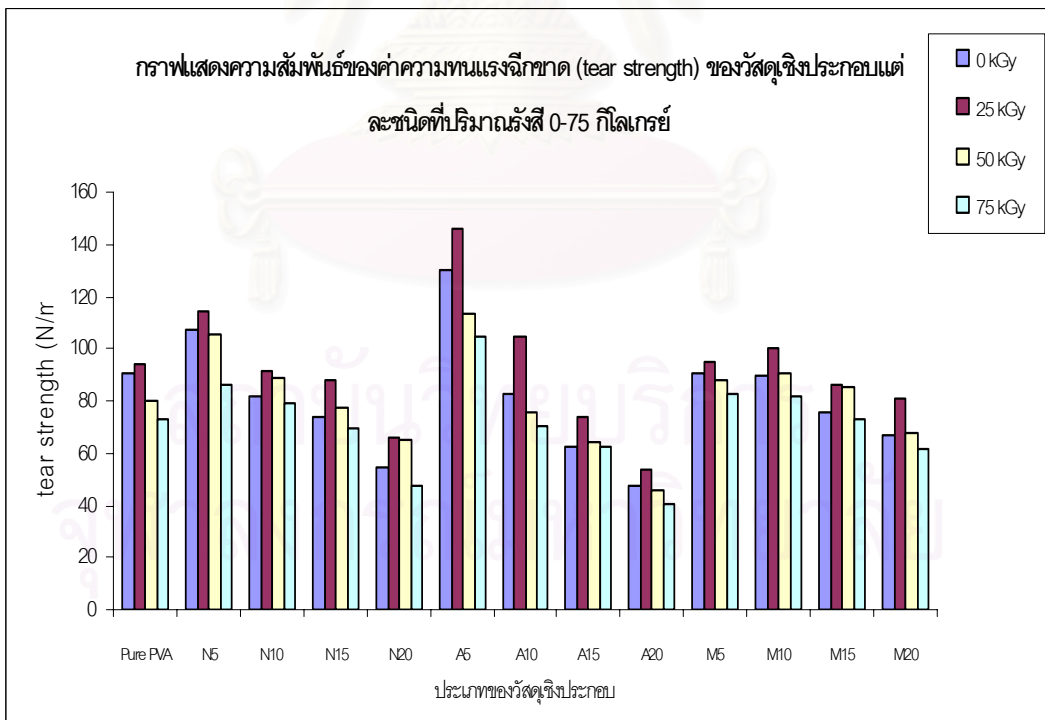
รูปที่ 5.1 แผนภูมิค่าความทนแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



รูปที่ 5.2 % Elongation ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิด ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



รูปที่ 5.3 ค่าโมดูลัสแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิด ที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์



รูปที่ 5.4 ค่าความทนแรงฉีกขาดของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP แต่ละชนิดที่ปริมาณรังสี 0-75 กิโลเกรย์

จากภาพที่ 5.1-5.4 แสดงคุณสมบัติเชิงกลที่ทำการทดสอบกับวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

จากการทดสอบความทนแรงดึง เมื่อผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 0-75 กิโลเกรย์ พบว่า ค่าความทนแรงดึงมีค่าสูงสุดที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ และเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 50 และ 75 กิโลเกรย์ มีผลทำให้ค่าความทนแรงดึงลดลง แต่อย่างไรก็ตามการฉายรังสีแกมมาวัสดุเชิงประกอบ ทำให้ค่าความทนแรงดึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ผ่านการฉายรังสี เมื่อพิจารณาถึงการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยสารเคมีกับค่าความทนแรงดึง พบว่า การปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยกรดสแตียริกและมาเลอิกแอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ มีผลต่อค่าความทนแรงดึงในทิศทางเดียวกันและคล้ายกับวัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรดไม่ผ่านการปรับปรุง โดยเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมค่าความทนแรงดึงไม่เพิ่มขึ้น

จากการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์การยืด (% Elongation) ของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าทั้งปริมาณรังสี และการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยสารเคมี โดยค่าเปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น

จากการทดสอบหาค่าโมดูลัสแรงดึง (Modulus of Elasticity) โดยคำนวณหาจากความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึง เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP มีลักษณะนิ่มคล้ายยาง ดังนั้นจึงใช้ค่าโมดูลัสแบบซีแคนต์ (secant modulus) พบว่าปริมาณรังสี ปริมาณสารตัวเติม และการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยสารเคมี มีผลต่อค่าโมดูลัส คือเมื่อฉายรังสีแกมมาวัสดุเชิงประกอบที่ 0-75 กิโลเกรย์ พบว่ายิ่งได้รับปริมาณรังสีสูงขึ้นค่าโมดูลัสมีค่าสูงขึ้น โดยสูงสุดที่ 75 กิโลเกรย์ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมจาก 0-20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ได้ค่าโมดูลัสที่เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน การปรับปรุงสารตัวเติมผงใบสับปะรด โดยกรดสแตียริก ทำให้ค่าโมดูลัสมีค่าสูงสุด โดยสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบ-ผงใบสับปะรดปรับปรุงด้วย MAH-PP และสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบ-ผงใบสับปะรดไม่ผ่านการปรับปรุง

จากการทดสอบความทนแรงฉีกของวัสดุเชิงประกอบทั้งที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีและรังสี พบว่ารังสีมีผลต่อความทนแรงฉีก โดยค่าความทนแรงฉีกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณรังสีมีค่าเพิ่มขึ้น และการปรับปรุงสารตัวเติมด้วยกรดสแตียริกที่ 5 เปอร์เซ็นต์ มีผลให้ค่าความทนแรงฉีกมีค่าสูงสุด และปริมาณสารตัวเติมที่ใส่ลงในพลาสติกที่ทำให้ค่าความทนแรงฉีกสูงสุดคือ ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะ เป็นผงใบสับปะรดที่ไม่ผ่านการปรับปรุงหรือผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีก็ตาม

สมบัติเชิงกลแต่ละประเภทบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุได้แตกต่างกัน คือ ค่าความทนแรงดึงเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความแข็งแรงของวัสดุหรือแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถต้านทานได้ก่อนที่จะเกิดการแตกหักเสียหาย ส่วนโมดูลัสบอกถึงความสามารถของวัสดุในการต้านทานการเปลี่ยนแปลง

รูปร่างเมื่อมีแรงมากกระทำ โดยวัสดุที่มีค่าโมดูลัสสูงไม่จำเป็นจะต้องมีความแข็งแรงสูงเสมอไป เปอร์เซ็นต์การยืด เป็นสมบัติที่บอกถึงความยืดหยุ่นของวัสดุ รวมถึงความสามารถในการขึ้นรูป และค่าความทนแรงฉีกเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการต้านทานต่อการฉีกขาดได้ดีหรือไม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทต้องการสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน พบว่าที่ปริมาณรังสี 25 กิโลเกรย์ เป็น optimum dose เนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ที่ปริมาณรังสีดังกล่าวมีค่าดี คือ ความทนแรงดึงมีค่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความทนแรงดึงที่วัสดุเชิงประกอบไม่ผ่านการฉายรังสี หรือผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณอื่น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดอยู่ในช่วงที่ใช้งานได้ ความยืดหยุ่นไม่ต่ำเกินไป ค่าโมดูลัสปานกลางคือ ค่าโมดูลัสเป็นค่าที่บอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ ถ้าค่าโมดูลัสสูงเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความยืดหยุ่นน้อย เปราะและขึ้นรูปได้ยากกว่า และนอกจากนี้ที่เงื่อนไขดังกล่าวมีค่าความทนแรงฉีกดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงกลที่อยู่ในช่วงที่ใช้งานได้ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นหีบห่อหรือฟิล์มจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

5.2 สมบัติเชิงเคมีของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

คุณสมบัติเชิงเคมีที่ทำการทดสอบคือ การดูดซึมน้ำ (water absorption) และความทนต่อสารเคมี ตัวทำละลาย (organic solvent absorption) กรดและด่าง พบว่าการดูดซึมน้ำของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น โดยลดลงถึง 45.699 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ผ่านการฉายรังสีเทียบกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 75 กิโลเกรย์ และปริมาณสารตัวเติม รวมทั้งการปรับปรุงผงใบสับปะรดด้วยสารเคมีมีผลทำให้วัสดุเชิงประกอบดูดซึมน้ำได้มากขึ้นเล็กน้อย

ความทนต่อตัวทำละลาย กรดและด่าง สารเคมีที่ทำการทดสอบ ได้แก่ xylene toluene chloroform acetic acid และ methanol พบว่าเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น การดูดซึมสารเคมี โดยพิจารณาจาก เปอร์เซ็นต์การบวมของวัสดุเชิงประกอบ (%swellability) พบว่าเปอร์เซ็นต์การบวมมีค่าลดลงและมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น โดยการบวมในตัวทำละลายของวัสดุเชิงประกอบไม่ขึ้นกับปริมาณสารตัวเติมและสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงสารตัวเติม

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปลาที่ผลิตเป็นถุงหรือบรรจุภัณฑ์สามารถทนต่อน้ำมัน ไขมันและตัวทำละลายได้ดี ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น วัสดุเชิงประกอบที่ผลิตขึ้นมีความสามารถทนต่อสารเคมีและตัวทำละลายเช่นกัน โดยเมื่อแช่ในสารเคมีนาน 24 ชั่วโมง วัสดุเชิงประกอบบวมขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น และพบว่าผงใบสับปะรดซึ่งเป็นสารตัวเติมไม่ทำให้วัสดุเชิงประกอบทนต่อสารเคมีและตัวทำละลายได้น้อยลง นอกจากนี้รังสีมีผลทำให้การดูดซึมน้ำและตัวทำละลายของวัสดุเชิงประกอบมีค่าลดลงไปอีก โดยเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและการดูดซึมตัวทำละลายของวัสดุ

เชิงประกอบแปรผกผันกับปริมาณรังสี ดังนั้นการฉายรังสีสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP มีอายุการใช้งานนานขึ้น เนื่องจากทนต่อน้ำและตัวทำละลายได้ดีขึ้น

5.3 ผลของเปอร์เซ็นต์เจลของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

เปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลของ PVA-PALP หลังผ่านกระบวนการฉายรังสี สามารถหาได้จากน้ำหนักสุดท้ายของ PVA-PALP ภายหลังการละลายในตัวทำละลายพอลิไวแอลกอฮอล์ คือน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส กับน้ำหนักก่อนการทำละลายของ PVA-PALP ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลที่ได้ หมายถึง โครงสร้างภายในของพอลิเมอร์เกิดการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลซึ่งกันและกัน (crosslinking) โดยผลที่ได้แสดงถึงโครงสร้างโมเลกุลที่เกิดการเชื่อมโยงเนื่องจากรังสี ดังแสดงในรูปที่ 4.22 พบว่า ปริมาณรังสีที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์เจลสูงสุด คือ 25 กิโลเกรย์ เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 50 และ 75 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์เจลมีแนวโน้มลดลง โดยที่ปริมาณรังสี 50 และ 75 กิโลเกรย์ เปอร์เซ็นต์เจลมีค่าใกล้เคียงกัน การลดลงของเปอร์เซ็นต์เจลเนื่องจากปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น ยังไม่สามารถอธิบายได้

5.4 สมบัติเชิงอุณหภูมิของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

ได้เลือกทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงอุณหภูมิซึ่งได้แก่อุณหภูมิหลอมเหลว (melting temperature) ของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ผงใบสับปะรดผ่านการปรับปรุงด้วยกรดสเตรียริก โดยผงตัวเติมปริมาณ 5 % (A5) และผ่านการฉายรังสีที่ปริมาณ 25 กิโลเกรย์ เนื่องจากเป็นเงื่อนไขที่มีคุณสมบัติดี เมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติเชิงเคมี ลักษณะของการเชื่อมโยงระหว่างเฟส และเปอร์เซ็นต์ความเป็นเจลหลังฉายรังสี อุณหภูมิที่ทำการศึกษายู่ในช่วง 50-400 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของวัสดุเชิงประกอบอยู่ที่ 327.177 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการทำถุงพลาสติกที่สลายตัวได้ (<http://www.pvabag.com>, 2005) ซึ่งสามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิ 120-180 องศาเซลเซียส ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP จึงสามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทนความร้อนได้ดี เนื่องจากมีจุดหลอมเหลวสูง

5.5 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวที่แตกหักของวัสดุเชิงประกอบต่างๆ จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปล่า วัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรด 5 เปอร์เซ็นต์ วัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรด-สเตรียริก 5 เปอร์เซ็นต์ และ วัสดุเชิงประกอบผงใบสับปะรด-MAH-PP 5 เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณ 25 กิโลเกรย์ เนื่องจาก

เป็นเงื่อนไขที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ดี จากภาพที่ 4.25 - 4.28 พบว่าการใช้สารเคมีในการปรับปรุง ผงไบสับปะรด ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเฟสน้อยลงโดยเห็นเป็นเม็ดสีขาว เคลือบอยู่บริเวณผิวซึ่ง พบกรดสเตียริกบนผิวไบสับปะรดมีจำนวนมากกว่า มาเลอิก แอนไฮไดรด์ พอลิโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่าการปรับปรุงด้วยกรดสเตียริกทำให้วัสดุเชิงประกอบมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าการปรับปรุงด้วย MAH-PP ดังภาพที่ 4.27 และ 4.28

5.6 การประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP

จากการวิจัย พบว่าวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP ที่ทำจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับผงไบสับปะรด ที่ปรับปรุงด้วยกรดสเตียริก 5 เปอร์เซ็นต์และนำไปฉายรังสี 25 กิโลเกรย์ เป็นเงื่อนไขที่ดี เนื่องจากมีค่าความทนแรงฉีกสูง มีจุดหลอมเหลวสูง และมีความบริสุทธิ์สูง จึงเหมาะที่จะนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ หรือบรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์ ทางอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร หรือเครื่องสำอาง เป็นต้น

5.7 ข้อเสนอแนะ

พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการ crosslink ยังสามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ ส่วนผงไบสับปะรดที่เติมลงไปเพื่อทำเป็นวัสดุเชิงประกอบจะเป็นตัวเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษากการย่อยสลายของวัสดุเชิงประกอบ PVA-PALP เป็นสิ่งที่ควรศึกษาเพิ่มเติม เช่น การย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุเชิงประกอบโดยการฝังดิน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ดวงดาว อัจจงค์. การปรับปรุงผิวของผงฝ้ายที่ได้จากการแปรสภาพทางเคมีของเศษผ้าฝ้ายเพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิโพรพิลีน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545. (ทุนวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช)
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 11, 2000 เล่ม. กรุงเทพมหานคร : สัมพันธ์พาณิชย์, 2537.
- วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม. 10330, 2543.
- สุพรรณณี พงศ์กิจวิฑูร. ผลของเกลือโลหะที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของพีวีเอฟิล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาคศึกษาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- สุณิสสา ปานบุญ และ จิราพร อานชมจันทร์. พอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างขยะพลาสติกพอลิโพรพิลีนและเส้นใยมะพร้าว. โครงการการเรียนการสอนเพื่อประสบการณ์ ปริญญาบัณฑิต ภาคศึกษาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- อรอุษา สรวารี. สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1. 2000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ภาคศึกษาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ภาษาอังกฤษ

- Alberto Fernadez. Microsoft Internet Explorer [Online]. Available from : http://www.sckcen.be/people/affernandez/rd_irrad.html. (2004).
- American Society of Testing and Materials. Standard Test Methods for tensile properties of plastics. ASTM D638-03. (2003).
- American Society of Testing and Materials. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D570-98. (1998).
- American Society of Testing and Materials. Standard Test Method for Initial Tear Resistance of Plastic Film and Sheeting. ASTM D1004-03a. (2003).
- Arib, R.M.N., Sapuan, S.M., Ahmad, M., Paridah, M.T., and Khairul Zaman, H.M.D.

- Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforces polypropylene composites. Material and Design. 27 (2006) : 391-396.
- Benlian Wang, Makoto Kodama, Sukekuni Mukataka, and Etsuo Kokufuta. On the intermolecular crosslinking of PVA chains in an aqueous solution by gamma ray irradiation. Polymer gels and Networks. 6 (1998) : 71-81.
- Benlian Wang, Sukekuni Mukataka, Etsuo Kokufuta, and Makoto Kodama. The influence of polymer concentration on the radiation chemical yield of intermolecular crosslinking of poly(vinyl alcohol) by gamma rays in deoxygenated aqueous solution. Radiation Physics and Chemistry. 59 (2000) : 91-95.
- DC Chemical. Microsoft Internet Explorer.[Online]. Available from : http://www.dcchem.co.kr/english/product/p_petr/p_pertr8.htm. (2005).
- Emo Chiellini, patrizia Cinelli, Andrea Corti, and El Refaye Kenawy. Composite films based on waste gelatin: thermal-mechanical properties and biodegradation testing. Polymer Degradation and Stability. 73 (2001) : 549-555.
- Emo Chiellini, Andrea Corti, Salvatore D' antone and Roberto Solaro. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) based materials. Progress in Polymer Science. 28 (2003) : 963-1014.
- Felix. H Otey, Arthur M. Mark, Charles L. Mehlretter, and Charles R. Russell. Starch-Based film for degradable agricultural mulch. Ind. Eng. Chem., Prod.Res. Develop.13 (1974).
- Follain N., Joly C., Dole P., and Bliard C. Properties of starch based blends. Part 2. Influence of poly vinyl alcohol addition and photocrosslinking on starch based materials mechanical properties. Carbohydrate Polymers. 60 (2005): 185-192.
- Ozaki, S.K., Monteiro, M.B.B., Yano, H., Imamura, Y., and Souza, M.K. Biodegradable composites from waste wood and poly(vinyl alcohol). Polymer Degradation and Stability. 87 (2005) : 293-299.
- Qi Wang, Lingyun He and, Jingui Huang. Supermolecular Structure and Mechanical Properties of P(AN-AM-AA)/PVA Intermacromolecular Complex Formed Through Hydrogen Bonding. State Key Laboratory of Polymer Materials Engineer,

Polymer Research Institute of Sichuan Union University, Chengdu 610065,
China : Available from : <http://www.paper.edu.cn> (1996).

Sandeep Kuar Jha, Stanislaus F. Souza, D. Preparation of polyvinyl alcohol-
polyacrylamide composite polymer membrane by gamma-irradiation for
entrapment of urease. Journal of Biochem Biophysic Methods. (2004).

S.F Environmental Friendly Packaging Product. Microsoft Internet Explorer [Online].
Available from : <http://www.pvabag.com>. (2005).



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- จินตมัย นาคะสวรรค. กระบวนการแปรรูปพลาสติก (plastic processing). 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- ธนิดา ปะบุญเรือง. การสลายตัวของฟิล์มโพลีเอทิลีนผสมแป้งในลำปะหลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาสหสาขาวิชาปิโตรเคมี-โพลีเมอร์ สาขาวิทยาศาสตร์โพลีเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- ปาริชาติ ลิ้มศิลา และอรรณพ พลพรพิริวงาม. การศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วต่อการย่อยสลายตัวของชีวภาพของพลาสติกโพลีเอทิลีน. วิทยานิพนธ์ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2539.

ภาษาอังกฤษ

- Burillo, G., Carreon, M.P. and Charlesby, A. Effect of Hydrogen atmosphere on the cross-linking of vinyl polymers. Radiat.Phys.Chem. 35 (1990) : 177-180.
- Jayamol George, S.S. Bhagawan ,and Sabu Thomas. Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre. Composites Science and Technology. 58 (1998) : 1471-1485.
- Mirzan T. Razzak, Darmawan Darwis, and Zainussin, Sukirno. Irradiation of polyvinyl pyrrolidone blended hydrogel for wound dressing. Radiation Physics and Chemistry. 62 (2001) : 107-113.
- Wen-Long Dai. Blendability and processing methodology of an environmental material rice-hush/PVA composite. Materials Letters. 57 (2003) : 3128-3136.
- Yoshiyuki Nishio and R.St.John manley. Cellulose/Poly(vinyl alcohol) Blends Prepared from Solutions in N,N-Dimethylacetamide-Lithium Chloride. Macromolecules . 21 (1998) : 1270-1277.
- Zainuddin, David J.T. Hill, and Tri T. Le. An ESR study on gamma-irradiated poly(vinyl alcohol). Radiation Physics and Chemistry. 62 (2001) : 283-291.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้านางสาวอรชชา โนนตา เกิดเมื่อวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2524 ที่โรงพยาบาลสมเด็จพระเจ้าน้องนางเธอ เจ้าฟ้าจุฬาภรณวลัยลักษณ์ อัครราชกุมารี นครศรีธรรมราช อำเภอศรีราชะ จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย