



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและพัฒนาแผ่นฟิล์มพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและพอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อใช้เป็นถุงเพาะปลูกพืชทางการเกษตร

โดย รองศาสตราจารย์ ดร. เมธา รัตนกรพิทักษ์ และคณะ

กรกฎาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและพัฒนาแผ่นฟิล์มพลาสติกผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำและพอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อใช้เป็นถุงเพาะปลูกพืชทางการเกษตร

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.เมธา รัตนกรพิทักษ์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 2. ดร.อุทัย วิชัย | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 3. ดร.ช.วยากรณ์ เพ็ชฌัญญุ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 4. นางสาวยิ่งรัก พรายอินทร์ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| 5. ดร.จิตต์พร เครือเนตร | ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ |
| 6. นางสาวสุนทรี ศิริรัตนประภา | ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ |
| 7. นางสาวชนชม อ่วมเนตร | ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ |
| 8. นางอัญชัญ ชมภูพวง | มูลนิธิโครงการหลวง |
| 9. นางสาวอัมศยา สุริยะวงศ์ตระกูล | มูลนิธิโครงการหลวง |

ชุดโครงการ สมุนไพรเพื่อคุณภาพชีวิต

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่าย
เกษตร ประจำปี 2551-2553 โดยงานวิจัยนี้เป็นโครงการย่อยจากชุดโครงการ สมุนไพรเพื่อชีวิต โดยมี
ศาสตราจารย์ ดร.นันทวัน บุญยะประกฤษ เป็นผู้ประสานงานโครงการ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัด ได้แก่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ศูนย์
เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติและมูลนิธิโครงการหลวง ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงาน
ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากมูลนิธิโครงการหลวงทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานและให้
คำปรึกษาในการปลูกพริกและสตรอเบอรี่ ขอขอบคุณนายบัณฑิต ทองอ่อน นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเคมี
มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมแปลงตัดแปรและการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาถุงพลาสติกย่อยสลายที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบเพื่อใช้ในการปลูกพริกชูเปอร์ฮอทและสตรอเบอร์รี่ โดยวัตถุประสงค์การใช้งานถุงย่อยสลายนี้มี 3 ประเภท ได้แก่ 1) ถุงเพาะกล้าพริกที่มีช่วงเวลาการใช้งาน 1 เดือน 2) ถุงปลูกต้นพริกที่มีเวลาการใช้งาน 6 เดือน และ 3) ถุงเพาะไหลสตรอเบอร์รี่ ที่มีเวลาการใช้งาน 1 เดือน

โดยในส่วนแรกของงานวิจัย ได้ทำการสังเคราะห์แป้งดัดแปร (SDDSA) เพื่อใช้เป็นสาร compatibilizer ระหว่างแป้งและพลาสติก LDPE โดยการเพิ่มความเข้มข้นไฮโดรโฟบิกเข้าไปในโครงสร้างของแป้ง และการดัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับแป้ง นอกจากนี้ยังทำการศึกษานิดและเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมขององค์ประกอบต่างๆ ในพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้ถุงที่มีสมบัติการยืดหยุ่นที่ดี เช่น ชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ (ยางธรรมชาติ, ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์, Ecoflex) สาร compatibilizer (PE-g-MA และแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วย DDSA (modified starch)) และสาร plasticizer (กลีเซอรอล) ที่มีผลต่อลักษณะพื้นผิว (surface morphology) และสมบัติความทนแรงดึง (tensile properties) ของพอลิเมอร์ผสม

นอกจากนี้ยังทำการศึกษากาย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างหลังการใส่ปลูกพริกชูเปอร์ฮอทและสตรอเบอร์รี่โดยการทดสอบการเสียดสีจากการเสียดสีความตึงเครียดของถุง การเกิดรูพรุนจากการย่อยสลายของแป้งในถุง การลดลงของน้ำหนักถุงหลังการใช้งานโดยเปรียบเทียบกับถุงปลูกโดยใช้ถุงปลูกปกติ (ถุง LDPE) และยังศึกษาผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอร์รี่หลังการใส่ถุงปลูกที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ จากผลการทดลองพบว่าถุงปลูกมีสมบัติความทนแรงดึงที่ลดลงเมื่อผ่านการใช้งาน โดยพบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่มีรูพรุนเกิดขึ้นและมีการลดลงของน้ำหนักจากน้ำหนักเริ่มต้นเมื่อระยะเวลาในการใช้งานนานขึ้น ในขณะที่ถุงปลูกปกติ (ถุงปลูกควบคุม) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสมบัติเชิงกลและน้ำหนักถุง นอกจากนี้จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอร์รี่หลังการปลูกด้วยถุงตัวอย่างที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบเปรียบเทียบกับถุงปลูกปกติพบว่า ให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอร์รี่ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่าการใช้ถุงปลูกย่อยสลายนี้ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตพริกและสตรอเบอร์รี่

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
2 การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ.....	5
1 การดัดแปรโครงสร้างแป้งมันสำปะหลัง.....	6
1.1 การดัดแปรแป้งด้วย Maleic Anhydride (SMA).....	6
1.2 การดัดแปรแป้งด้วย Succinic Anhydride (SSA).....	7
1.3 การดัดแปรแป้งด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (SDDSA).....	12
2 การศึกษาสมบัติการละลายของแป้งดัดแปรในน้ำและคลอโรฟอร์ม.....	15
3 การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber : ENR).....	16
4 การทดสอบการเข้ากันได้ของ แป้งดัดแปร ยางธรรมชาติ (NR), ENR และ LDPE.....	18
4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม.....	18
4.2 การเป่าขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Blow film extruder.....	19
4.3 ผลการทดสอบการเข้ากันได้เบื้องต้นกับ LDPE.....	19
สรุปผลการทดลอง (บทที่ 2).....	19
3 สมบัติพื้นผิว สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติความทนแรงดึงของแผ่นพลาสติกที่เตรียมจาก LDPE ผสมกับแป้ง.....	21
1 ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) และผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน.....	22
1.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (unmodified starch).....	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
1.2	ศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA (compatibilizer)..... 25
1.3	ศึกษาผลของชนิดของยาง (สารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ)..... 30
1.4	ศึกษาผลของปริมาณ NR (สารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ)..... 33
1.5	ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล (Plasticizer)..... 35
1.6	ศึกษาผลของปริมาณแป้งดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (SDDSA)..... 37
1.7	ศึกษาผลของปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด Ecoflex เปรียบเทียบกับ NR..... 39
2	ผลการตรวจสอบเชิงความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)..... 42
	สรุปผลการทดลอง (บทที่ 3)..... 45
4	การทดสอบการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่าง..... 48
1	การทดสอบการย่อยสลายของถุงตัวอย่างในระดับห้องปฏิบัติการ..... 48
2	การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อใช้ในการปลูกพริกชูเปอร์ฮอต..... 51
	2.1 การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกจากการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และการหาปริมาณน้ำหนักที่หายไป หลังการใช้งาน..... 55
	2.2 การศึกษาผลของการใช้ถุงย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของพริก..... 66
3	การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อใช้ในการชำโหลและปลูกสตรอเบอรี่.... 69
	3.1 การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกจากการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และการหาน้ำหนักที่หายไปหลังการ ใช้งาน..... 73
	3.2 การศึกษาผลของการใช้ถุงย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของสตรอเบอรี่..... 78

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
สรุปผลการทดลอง (บทที่ 4).....	82
5 สรุปผลการทดลอง.....	84
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของถุงก่อนและหลังการปลูกพริก และสตอเบอรี่.....	92
ภาคผนวก ข ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการปลูกพริกชูเปอร์ฮอท.....	115
ภาคผนวก ค ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการปลูกสตอเบอรี่.....	120
ภาคผนวก ง ลักษณะอากาศบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สาใหม่ ต.โป่งแยง อ.แม่ริม จ. เชียงใหม่และศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ต.แม่นาจร อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่.	124

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ประเภทการใช้งานถุงพลาสติก ขนาดและระยะเป้าหมายการใช้งาน.....	3
2.1 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Maleic Anhydride (SMA).....	6
2.2 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride เป็น 1:1 (SSA1).....	8
2.3 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride เป็น 1:2 (SSA2).....	8
2.4 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride เป็น 1:1.....	9
2.5 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : emulsion succinic anhydride เป็น 1:1 (SSA4).....	9
2.6 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : emulsion succinic anhydride เป็น 1:2 (SSA5).....	10
2.7 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : 2-dodecyl succinic anhydride เป็น 1 : 0.1 (SDDSA1).....	12
2.8 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : 2-dodecyl succinic anhydride เป็น 1:1 (SDDSA2).....	12
2.9 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : 2-dodecyl succinic anhydride เป็น 1:2 (SDDSA3).....	13
2.10 การตั้งชื่อแป้งดัดแปร.....	13
2.11 แสดงผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ของ NR และ ENR.....	17
2.12 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ^1H NMR ของ NR และ ENR....	18
3.1 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง LDPE และ แป้ง.....	24

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
3.2 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA (กรณีใช้ยางธรรมชาติ (NR) เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น).....	26
3.3 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA (กรณีใช้กรณีใช้ยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ (ENR) เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น)...	29
3.4 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของชนิดของยาง.....	31
3.5 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณ NR	33
3.6 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล.....	36
3.7 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของการใช้แบ่งดัดแปรด้วย DDSA..	38
3.8 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของการใช้ NR และ Ecoflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น.....	40
3.9 สมบัติเชิงความร้อนของแป้ง, LDPE, NR และชิ้นงานตัวอย่างสูตร 4.....	43
3.10 สมบัติเชิงความร้อนของแป้ง, LLDPE, LDPE, Ecoflex และชิ้นงานตัวอย่างสูตร 22.....	44
3.11 สูตรปลูกสำหรับปลูกกล้าพริก ต้นพริกและสตรอเบอรี่.....	45
3.12 ประเมินราคาวัตถุดิบและต้นทุนการผลิต.....	46
3.13 สรุปราคาปลูกย่อยสลายสูตร 1-5 เทียบกับราคาที่ใช้จริงในปัจจุบัน	47
4.1 เปรียบเทียบต้นน้ำนักปลูกเพาะกล้าพริกก่อนและหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่างๆ...	61
4.2 ความสูงระยะต้นกล้าของต้นพริกที่ฟ้าตั้งแต่อายุ 1 สัปดาห์ถึง 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	67
4.3 ความสูงระยะต้นของต้นพริกที่ฟ้าตั้งแต่อายุ 1 สัปดาห์ถึง 8 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก.....	67
4.4 น้ำหนักผลผลิตสดและแห้งของพริกที่ฟ้า.....	68
4.5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนสีรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลของต้นพริกที่อายุหลังย้าย 5 เดือน.....	69
4.6 ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และขนาดทรงพุ่มของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในถุงปลูกชนิดต่าง	78

ๆ.....

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.7 ความยาวราก น้ำหนักราก และเปอร์เซ็นต์การพบอาการการเปลี่ยนสีของราก จากสีขาวเป็นสีน้ำตาลของสตรอเบอรี่ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูกในถุงชนิดต่าง ๆ.	79
4.8 น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว และความหวานของผลสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุง ชนิดต่าง ๆ.....	82
5.1 เปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการและกิจกรรมที่ทำจริง	87
5.2 เปรียบเทียบ output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ได้จริง	89

สารบัญรูป

รูป		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย Maleic Anhydride	6
2.2	FTIR สเปกตรัมของแป้งดัดแปรโครงสร้างด้วย Maleic Anhydride (SMA) และแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรโครงสร้าง.....	7
2.3	ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย Succinic Anhydride	8
2.4	FTIR สเปกตรัมของ SSA ที่ใช้อัตราส่วนระหว่างหน่วยแป้ง:SA ต่างๆและทำปฏิกิริยาในตัวทำละลายต่างๆ เทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรโครงสร้าง	11
2.5	ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย 2-dodecyl succinic anhydride (DDSA).....	13
2.6	FTIR สเปกตรัมของ SDDSA ที่ใช้อัตราส่วนระหว่างหน่วยแป้ง:DDSA ต่างๆ และทำปฏิกิริยาใน EtOH เทียบกับแป้งที่ไม่ได้ดัดแปรโครงสร้าง	14
2.7	การทดสอบการละลายในชั้นน้ำและคลอโรฟอร์มของแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร เทียบกับแป้งดัดแปรชนิดต่างๆ	15
2.8	ปฏิกิริยาการเตรียม ENR	16
2.9	FTIR สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (NR) และยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ 26.2 % epoxide (ENR 26).....	17
2.10	¹ H NMR สเปกตรัมของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ 26.2% epoxide (ENR 26).....	18
3.1	ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้งตามสูตร 4, 5 และ 6 ...	24
3.2	ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (Starch) ตามสูตร 2, 3, 4, 5 และ 6.....	25
3.3	ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (Starch) ตามสูตร 2, 3, 4, 5 และ 6	25
3.4	ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4 และ 9.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.5 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4 และ 9.....	27
3.6 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4 และ 9.....	28
3.7 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 10, 11 และ 12.....	29
3.8 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 10, 11 และ 12.....	30
3.9 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีชนิดของยางต่างกันของสูตร 8 และ 10.....	31
3.10 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีชนิดของยางและปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4, 9, 10, 11 และ 12.....	32
3.11 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีชนิดของยางและปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4, 9, 10, 11 และ 12.....	32
3.12 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีปริมาณ NR ต่างกันของสูตร 13 และ 4.....	34
3.13 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ NR ต่างกันของสูตร 13, 4 และ 14.....	34
3.14 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ NR ต่างกันของสูตร 13, 4 และ 14.....	35
3.15 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกันของสูตร 15 และ 4.....	36
3.16 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกันของสูตร 15 และ 4.....	37
3.17 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกันของสูตร 15 และ 4.....	37
3.18 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มี 1% PE-g-MA (สูตร 8) และ 1% แป้งดัดแปร DDSA (สูตร 17, 18 และ 19).....	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.19 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี 1% PE-g-MA (สูตร 8) และ 1% แป้งดัดแปรเป็นสารเชื่อมประสาน (สูตร 17, 18 และ 19).....	39
3.20 ค่า % Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี 1% PE-g-MA (สูตร 8) และ 1% แป้งดัดแปรเป็นสารเชื่อมประสาน (สูตร 17, 18 และ 19).....	39
3.21 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่างกันของสูตร 4 และ 22.....	41
3.22 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี NR (สูตร 4) และ Ecloflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (สูตร 20, 21 และ 22).....	41
3.23 ค่า % Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี NR (สูตร 4) และ Ecloflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (สูตร 20, 21 และ 22).....	42
3.24 DSC เทอร์โมแกรมของชิ้นงานตัวอย่างสูตร 4, แป้ง, LDPE และ NR	43
3.25 DSC เทอร์โมแกรมของชิ้นงานตัวอย่างสูตร 22, แป้ง, LLDPE, LDPE และ Ecloflex.....	44
4.1 แสดงน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของ ชิ้นงานตัวอย่างและแหล่งจุลินทรีย์.....	49
4.2 กราฟแสดงอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของเซลลูโลสและแผ่นฟิล์ม ตัวอย่าง.....	51
4.3 การเพาะและบ่มเมล็ดพริกขี้หนูแปรรูป (ก) การเพาะเมล็ดพริกขี้หนูแปรรูปลงในถาดหลุม ข) และ ค) การนำไปบ่มในตู้ที่บ่มแสง.....	52
4.4 ต้นกล้าพริกขี้หนูแปรรูปอายุ 14 วัน ที่ย้ายปลูกในถุงเพาะกล้า 3 สูตร ถุงเพาะ กล้าปกติ (control) ถุงผสมแป้ง 40 % และถุงผสมแป้ง 50 %.....	52
4.5 ต้นพริกขี้หนูแปรรูปที่เพาะกล้าในถุงพลาสติก 3 ชนิด และย้ายลงปลูกในถุง ขนาด 8x13 นิ้ว จำนวน 2 ชนิด คือ ถุงปลูกปกติ (control) และผสมแป้ง 30% และต้นพริกขี้หนูแปรรูปที่ปลูกในระบบ Substrate ภายใต้โรงเรือนโดยให้น้ำ และปุ๋ยผ่านหัวน้ำหยด.....	53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4.6	ลักษณะผลพริกซูปเปอร์ฮอตสีแดงที่พร้อมเก็บเกี่ยว.....	54
4.7	ลักษณะถุงเพาะกล้า ก) ก่อนการใช้งาน ข) หลังการใช้งาน 1 เดือนและ ค) หลังการใช้งาน 5 เดือน.....	56
4.8	ลักษณะถุงเพาะกล้าชนิดต่างๆ ที่อายุ 5 เดือน ก) ถุงเพาะกล้าปกติ (control) ข) ถุงผสมแบ่ง 40 % และ ค) ถุงผสมแบ่ง 50 %.....	56
4.9	ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแบ่ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	57
4.10	ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแบ่ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	57
4.11	ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแบ่ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	58
4.12	ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแบ่ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	58
4.13	ค่าความทนแรงดึงของถุงควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกกล้าพริกที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	59
4.14	ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกกล้าพริกที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	59
4.15	ภาพถ่ายถุงเพาะกล้าพริกที่มีแบ่ง 40% และ 50% ที่กำลังขยาย 500 เท่า ก่อนและหลังการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน.....	60
4.16	เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักถุงเพาะกล้าพริกหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่างๆกัน.....	61
4.17	ลักษณะถุงปลูกพริกซูปเปอร์ฮอตที่อายุ 5 เดือนของถุงปลูกปกติ (control) และถุงผสมแบ่ง 30%.....	62
4.18	ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกต้นพริกที่มีแบ่ง 30% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 5 เดือน.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.19 ค่าความยืด ณ จุดขาดของถุงปลูกต้นพริกที่มีแฉ่ง 30% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 5 เดือน.....	63
4.20 ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกปกติที่ใช้สำหรับปลูกต้นพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน.....	64
4.21 ค่าความยืด ณ จุดขาดของถุงปลูกปกติที่ใช้สำหรับปลูกต้นพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน.....	64
4.22 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีแฉ่ง 30% ที่กำลังขยาย 500 เท่าก่อนหลังการใช้งาน 5 เดือน.....	65
4.23 เปอร์เซนต์การสูญเสียน้ำหนักถุงปลูกพริกหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน	65
4.24 แสดงระบบรากของต้นพริกหลังการปลูกในถุงเพาะที่มีแฉ่ง 50%, 40% (ปลูกในถุงปลูกที่มีแฉ่ง 30%) และถุงเพาะปกติ (ปลูกในถุงปลูก LDPE) ระยะเวลา 5 เดือน.....	69
4.25 ลักษณะแปลงปลูกต้นแม่ไหล.....	71
4.26 ลักษณะไหลของต้นสตรอเบอรี่ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตไหล.....	71
4.27 ลักษณะการผลิตไหล.....	72
4.28 ลักษณะแปลงปลูกเพื่อผลิตผลสด.....	72
4.29 ค่าความทนแรงดึงของถุงชำไหลสตรอเบอรี่ที่มีแฉ่ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน	74
4.30 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงชำไหลสตรอเบอรี่ที่มีแฉ่ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน.....	74
4.31 ค่าความทนแรงดึงของถุงชำไหลสตรอเบอรี่ที่มีแฉ่ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน	75
4.32 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงชำไหลสตรอเบอรี่ที่มีแฉ่ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน.....	75
4.33 ภาพถ่ายชิ้นงานแผ่นฟิล์มที่มีแฉ่ง 40% ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.34 ภาพถ่ายชิ้นงานแผ่นฟิล์มที่มีแป้ง 50% ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	76
4.35 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักงูขำไหสตรอบเบอร์ที่มีแป้ง 40%, 50% และงูปลูกปกติ หลังจากการผลิตไอลแล้ว 2 เดือน (ก่อนนำงูขำไหลงดิน)..	77
4.36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักงูขำไหสตรอบเบอร์ที่มีแป้ง 40%, 50% และงูปลูกปกติหลังจากการปลูกแล้ว 5 เดือน (หลังจากนำงูเพาะไหลงดินแล้ว 5 เดือน).....	78
4.37 ลักษณะรากของต้นสตรอบเบอร์ที่ปลูกในงูที่มีแป้ง 40% ที่มีอายุ 1 เดือนหลังปลูก.....	80
4.38 ลักษณะรากของต้นสตรอบเบอร์ที่ปลูกในงูที่มีแป้ง 50% ที่มีอายุ 1 เดือนหลังปลูก.....	80
4.39 ลักษณะรากของต้นสตรอบเบอร์ที่ปลูกในงู control ที่มีอายุ 1 เดือนหลังปลูก...	80
4.40 ลักษณะรากของต้นสตรอบเบอร์ที่ปลูกในงูที่มีแป้ง 40% ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูก.....	81
4.41 ลักษณะรากของต้นสตรอบเบอร์ที่ปลูกในงูที่มีแป้ง 50% ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูก.....	81
4.42 ลักษณะรากของต้นสตรอบเบอร์ที่ปลูกในงู control ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูก...	81

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างมาก เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานในการใช้งานได้ดี เช่น มีความคงทน ความสวยงามและราคาถูก อย่างไรก็ตาม ปัญหาการใช้พลาสติกจำนวนมากในปัจจุบัน เริ่มส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของมนุษย์อย่างเห็นได้ชัดมากขึ้น เช่น การไม่ย่อยสลายของพลาสติกอันก่อให้เกิดเป็นขยะจำนวนมาก หรือการกำจัดโดยการเผา อันก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกซึ่งส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ประกอบกับปัจจุบันราคาน้ำมันมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ราคาต้นทุนการผลิตพลาสติกสูงมากขึ้นด้วย หลายประเทศได้ให้ความสนใจในการลดปริมาณการใช้พลาสติกลง โดยการนำพลาสติกมาใช้นิใหม่ (reuse) หรือการนำมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ (recycle) รวมถึงการใช้พลาสติกชีวภาพทดแทนการใช้พลาสติกที่ผลิตจาก LDPE ซึ่งเป็นสารปิโตรเลียมทั้งหมด (100% petroleum-based plastic) โดยในปัจจุบันทั่วโลกมีการใช้พลาสติกประมาณ 200 ล้านตันต่อปี แต่มีการใช้พลาสติกชีวภาพเพียงปีละ 7 แสนตัน ซึ่งคิดเป็น 0.35% เท่านั้น [1]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกชีวภาพ [1] เนื่องจากมีความพร้อมด้านวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือ ยางธรรมชาติ โดยทั้งภาครัฐและภาคเอกชนได้ให้ความสนใจงานวิจัยทางด้านพลาสติกชีวภาพมากขึ้น เพื่อต้องการพัฒนาพลาสติกชีวภาพให้มีสมบัติและเหมาะสมกับการใช้งานในราคาที่เหมาะสม โดยรัฐบาลได้กำหนดให้พลาสติกชีวภาพเป็นอุตสาหกรรมเพื่ออนาคต (New wave industry) [2] ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) ได้ร่วมกันจัดทำแผนที่นำทาง (roadmap) ขึ้นและมีการจัดสัมมนาเพื่อระดมความคิดเพื่อกำหนดกรอบการวิจัยด้านพลาสติกชีวภาพในประเทศไทยเมื่อต้นปี 2550 ซึ่งแสดงถึงการให้ความสำคัญต่องานวิจัยและพัฒนาทางด้านพลาสติกชีวภาพอย่างมาก

พลาสติกชีวภาพแบ่งเป็นสามกลุ่มได้แก่ 1) พอลิเมอร์ที่ผลิตจากพืช เช่น แป้งและเซลลูโลส 2) พอลิเมอร์ที่ผลิตจากการเพาะเลี้ยงเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น พอลิไฮดรอกซีบิวทิเลตและพอลิแลคไทด์ และ 3) พอลิเมอร์ชีวภาพที่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างทางเคมี เช่น แป้งดัดแปร (modified starch) ซึ่งอาจมีการผสมสารเติมแต่ง (additive) เช่น กลีเซอรอลหรือซอร์บิทอล เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของวัสดุให้ดีขึ้น [3] อย่างไรก็ตาม ปัญหาการนำเอาพอลิเมอร์ชีวภาพเหล่านี้มาใช้เป็นพลาสติกชีวภาพนั้นยังมีข้อจำกัดด้านต้นทุนการผลิตที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลาสติกสังเคราะห์ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี กล่าวคือ ถุงพลาสติกที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) 100% (virgin LDPE) มีราคาประมาณ 32 สตางค์ต่อถุง ขณะที่ถุงที่ผลิตจากวัสดุ

ชีวภาพ 100% มีราคาประมาณ 1.50 บาทต่อถุง และยังมีสมบัติการดูดความชื้นสูงเนื่องจากมีแป้งเป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดการเสียสมบัติเชิงกลเร็วเมื่อผ่านการใช้งาน ส่วนถุงที่ผลิตจากแป้งที่มีการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีเพื่อลดสมบัติการดูดความชื้นแล้ว (100% modified starch bag) จะมีราคาสูงขึ้นอีกเป็น 2 บาทต่อถุง ซึ่งมีราคาแพงและสมบัติความยืดหยุ่นยังด้อยกว่าถุงพลาสติกที่ผลิตจาก LDPE มาก ซึ่งทำให้ไม่เหมาะในการนำมาใช้เป็นวัสดุปลูกพืชจริง ส่วนถุงพลาสติกที่ผลิตจาก recycle LDPE จะมีราคาถูกกว่ามาก ประมาณ 15 สตางค์ต่อถุง แต่มีข้อเสียคือสมบัติเชิงกลไม่ดี เช่น กรอบ เปราะและแตกง่าย

ดังนั้น จึงมีงานวิจัยหลายฉบับศึกษาการดัดแปรสมบัติแผ่นพลาสติกที่เตรียมจาก LDPE ด้วยพอลิเมอร์สังเคราะห์โดยการผสมพอลิเมอร์ทั้งสอง (polymer blend) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมและศึกษาสมบัติของพลาสติกดัดแปรเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปใช้แทนพลาสติกสังเคราะห์ในปัจจุบัน โดยจากการศึกษางานวิจัยพบว่าพลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่เตรียมขึ้นมาจากส่วนผสมระหว่าง LDPE ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติยืดหยุ่นดี และแป้งหลายประเภท เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้า เป็นต้น โดยการเติมแป้งลงไปผสมกับ LDPE นั้นจะทำให้แผ่นพลาสติกมีความสามารถในการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (gas/water permeability) ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่น LDPE ที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร [4] ซึ่งจะส่งผลทำให้แผ่นพลาสติกเกิดการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้น แต่ปริมาณของแป้งที่เพิ่มขึ้นจะมีผลโดยตรงทำให้ความยืดหยุ่นของแผ่นพลาสติกลดลง [5]

ในปี 2001 Thakore และคณะ [6] จึงได้มีการศึกษาการใช้แป้งดัดแปรด้วยพาทาลเลท (starch phthalate) นำมาผสมกับ LDPE เพื่อเตรียมเป็นพลาสติกชีวภาพ พบว่าตัวอย่างดังกล่าวจะมีสมบัติความยืดหยุ่นและความสามารถในการย่อยสลายในดินดีกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพที่เตรียมจาก LDPE กับแป้งดิบที่ไม่ผ่านการดัดแปร ต่อมาในปี 2005 Nakamura และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาพลาสติกชีวภาพระหว่าง LDPE กับแป้งดัดแปรอะโครเลทและอะไดเพท (adipate and acetylated starch) พบว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จะมีความเข้ากันได้ดี ในปี 2005 Huang และคณะ [8] ได้ศึกษาการดัดแปร LDPE ด้วย maleic anhydride หรือ acrylic acid แล้วจึงนำมาผสมกับแป้งดิบ พบว่าแผ่นพลาสติกมีความเข้ากันได้ดี แต่ยังมีข้อเสียที่สำคัญ คือ ความยืดหยุ่นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่น LDPE ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นให้กับพลาสติกชีวภาพระหว่าง LDPE และแป้ง

นอกจากนี้ ในปี 2001 Kumar และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาการเตรียมแผ่นพลาสติกระหว่าง LDPE และยางธรรมชาติที่ใช้แล้ว (ground tire rubber, GTR) พบว่าแผ่นตัวอย่างมีความเข้ากันได้ดี แต่จะมีความแข็งและเหนียวมาก เนื่องจาก GTR เป็นยางธรรมชาติที่เสียสภาพแล้ว จึงทำให้สูญเสียสมบัติความยืดหยุ่น ซึ่งหากเป็นการนำเอายางธรรมชาติ (natural rubber) มาใช้โดยตรงก็อาจช่วยให้สมบัติความยืดหยุ่นดีขึ้น [10-11]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและพัฒนาแผ่นพลาสติกที่เตรียมจาก LDPE ผสมกับพลาสติกชีวภาพสองชนิดได้แก่แป้งมันสำปะหลังและ/หรือยางธรรมชาติ เพื่อนำไปใช้เป็นถุง 3 ประเภท ได้แก่ 1) ถุงเพาะกล้าพริก 2) ถุงปลูกต้นพริก และ 3) ถุงเพาะไหลสตรอเบอรี่ โดยถุงแต่ละประเภทมีความต้องการให้เกิดการย่อยสลายในช่วงเวลาที่ต่างกัน โดยแสดงขนาดถุงและเป้าหมายระยะเวลาการใช้งานของถุงแต่ละประเภทในตารางที่ 1

ตาราง 1.1 ประเภทการใช้งานถุงพลาสติก ขนาดและระยะเป้าหมายการใช้งาน

ประเภทการใช้งาน	ขนาดถุงปลูก	ระยะเวลาเป้าหมายการใช้งาน (ระยะที่ถุงยังคงสภาพที่ดี)
ถุงเพาะกล้าพริก	3"x5"	1 เดือน
ถุงปลูกต้นพริก	8"x13"	6 เดือน
ถุงเพาะไหลสตรอเบอรี่	2"x4"	1 เดือน

โดยเมื่อถุงเพาะกล้าพริก (ขนาด 3"x5") ผ่านระยะเวลาการเพาะกล้า 1 เดือนแล้ว จะทำการนำถุงเพาะใส่เข้าไปในถุงปลูก (ขนาด 8"x13") และต้องการให้ถุงเพาะสามารถย่อยสลายได้เพื่อให้กล้าพริกสามารถแทงรากออกมาจากถุงเพาะได้ ส่วนถุงเพาะไหลสตรอเบอรี่ (ขนาด 2"x4") นั้นมีระยะเวลาการใช้งาน 1 เดือน และเมื่อนำถุงเพาะลงปลูกในดิน ต้องการให้ถุงเพาะเกิดการย่อยสลายเพื่อให้รากสตรอเบอรี่สามารถแทงรากออกมาได้นั่นเอง

โดยในบทที่ 2 ของรายงานนี้เป็นการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติเพื่อให้สามารถเข้ากันได้ (compatible) กับ LDPE โดยเหตุผลที่เลือกแป้งมาใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีราคาถูกและย่อยสลายได้ อย่างไรก็ตามการเพิ่มแป้งในพลาสติกที่มากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถเป่าให้เป็นฟิล์มได้ เกิดการฉีกขาดง่ายและเสียสมบัติความยืดหยุ่นที่ดี จึงมีการใช้ยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นที่ดี เพิ่มความเหนียวและสมบัติเชิงกลของแผ่นพลาสติกผสม ดังนั้นการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆในแผ่นพลาสติกชีวภาพผสมจึงมีความสำคัญต่อสมบัติของถุงย่อยสลาย

ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงการศึกษาผลของปริมาณพอลิเมอร์ชีวภาพดัดแปรทั้งสองในพลาสติกต่อสมบัติพื้นผิว สมบัติการทนแรงดึงและสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นพลาสติกชีวภาพดัดแปร เพื่อเลือกชิ้นงานที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานในสภาวะจริง โดยทดสอบสมบัติการทนแรงดึงของแผ่นพลาสติกชีวภาพดัดแปรหลังจากผ่านการใช้งานแล้วในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อทดสอบการทนต่อสภาวะการใช้งานจริง

ส่วนในบทที่ 4 เป็นผลการทดสอบการย่อยสลายของถุงพลาสติกทั้งสภาวะในห้องปฏิบัติการ และการย่อยสลายหลังการใช้งานในสภาวะจริง โดยทำการทดสอบสมบัติการทนแรงดึงของแผ่นพลาสติกชีวภาพดัดแปรหลังจากผ่านการใช้งานแล้วในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อทดสอบการทนต่อสภาวะการใช้งานจริง ศึกษาลักษณะพื้นผิวและการเกิดรูพรุนของแผ่นพลาสติกซึ่งจะมีผลต่อปริมาณความชื้นขณะทำการเพาะปลูกต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นพลาสติก และนอกจากนี้ยังมีผลการเจริญเติบโตของพริกและสตรอเบอรี่เมื่อมีการใช้ถุงตัวอย่างในการปลูกด้วย

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านสมบัติเชิงกล ลักษณะพื้นผิว และน้ำหนักของถุงปลูกเพื่อติดตามผลของการย่อยสลายของถุงปลูกซึ่งมีปริมาณแบ่งต่าง ๆ กันเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ถุงเพาะหรือถุงปลูกปกติ
2. ศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกชูเปอร์ฮอทและสตรอเบอรี่ที่ได้จากการใช้ถุงปลูกที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบเปรียบเทียบกับกรณีการใช้ถุงเพาะหรือถุงปลูกปกติ

บทที่ 2

การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาต่างๆที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ โดยในส่วนของสารสังเคราะห์แป้งดัดแปร แบ่งออกเป็น 3 ปฏิกิริยา ได้แก่ 1) ปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งด้วย maleic Anhydride (MA), 2) ปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งด้วย succinic Anhydride (SA) และ 3) ปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งด้วย 2-dodecyl succinic anhydride (DDSA)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหรือใช้ตัวทำละลายอินทรีย์อื่นที่ราคาถูกเช่น เอทานอลและไอโซโพรพานอล โดยเกณฑ์ในการเลือกหมู่ฟังก์ชันที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งคือจะต้องทำให้โครงสร้างของแป้งมีความเป็นขั้วน้อยลง (less hydrophilic) เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้ว ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ MA และ SA เป็นสารดัดแปรขั้นต้น และจะใช้สภาวะปฏิกิริยาที่เหมาะสมของปฏิกิริยาทั้งสองนี้ ในการนำไปใช้ในปฏิกิริยาที่มี DDSA เป็นสารดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจาก DDSA มีราคาแพงกว่าและเป็นสารที่มีไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวกว่า (hydrocarbon C12) ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความเป็น hydrophobic แก่โครงสร้างของแป้ง ซึ่งน่าจะทำให้การเข้ากันได้ระหว่างแป้งมันสำปะหลัง (starch) และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ดียิ่งขึ้น

ส่วนชนิดของยางในการทดลองนี้มี 2 ชนิด ได้แก่ 1) ยางธรรมชาติแบบแท่ง (Natural Rubber : NR) และ 2) ยางอีพอกซิไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber : ENR) ซึ่งการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันอีพอกซิไดซ์นั้นเป็นการเพิ่มความเป็นขั้วของยางธรรมชาติเนื่องจากการเพิ่มออกซิเจนเข้าไปในโครงสร้างของยางธรรมชาติ

ดังนั้น หัวข้อผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองในบทนี้ แบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

1. การดัดแปรโครงสร้างแป้งมันสำปะหลัง
 - 1.1 การดัดแปรแป้งด้วย Maleic Anhydride (SMA)
 - 1.2 การดัดแปรแป้งด้วย Succinic Anhydride (SSA)
 - 1.3 การดัดแปรแป้งด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (SDDSA)
2. การศึกษาสมบัติการละลายของแป้งดัดแปรในน้ำและคลอโรฟอร์ม
3. การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber : ENR)
4. การทดสอบการเข้ากันได้ของแป้งดัดแปร ยางธรรมชาติ (NR), ENR และ LDPE

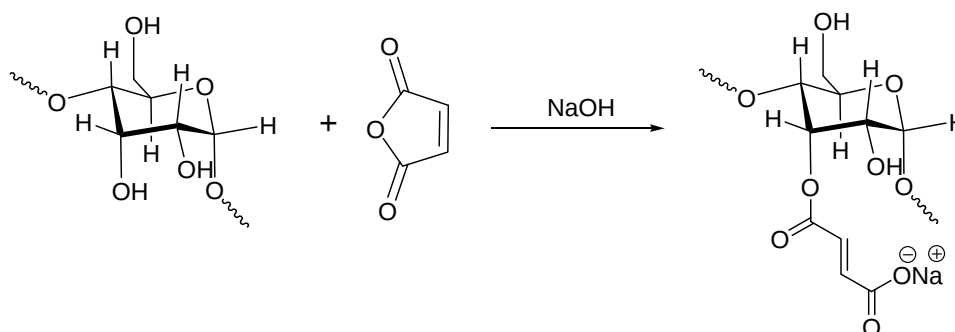
1. การดัดแปรโครงสร้างแป้งมันสำปะหลัง

1.1 การดัดแปรแป้งด้วย Maleic Anhydride (SMA)(รูป 2.1)

ละลายแป้งมันสำปะหลังที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 mesh 5 กรัม ในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร คนด้วย magnetic stirrer พร้อมกับให้ความร้อนที่ 35°C ด้วย water bath แล้วปรับค่า pH ของสารละลายให้มี pH 8.5 ด้วยสารละลาย 3% NaOH จากนั้นเติมสารละลาย Maleic Anhydride 0.25 กรัม ใน abs.EtOH 20 มิลลิลิตร ลงในสารละลายแป้งอย่างช้าๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปรับค่า pH ให้มีค่า 8.5 ด้วย 3% NaOH จากนั้นทำปฏิกิริยาที่สภาวะนี้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดลงปรับ pH ให้มีค่า 6.5 ด้วยสารละลาย 3% HCl และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินน้ำออก ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และ acetone อย่างละ 2 ครั้ง ตามลำดับ หลังจากนั้นอบสารผลิตภัณฑ์ที่ 50°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สารผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

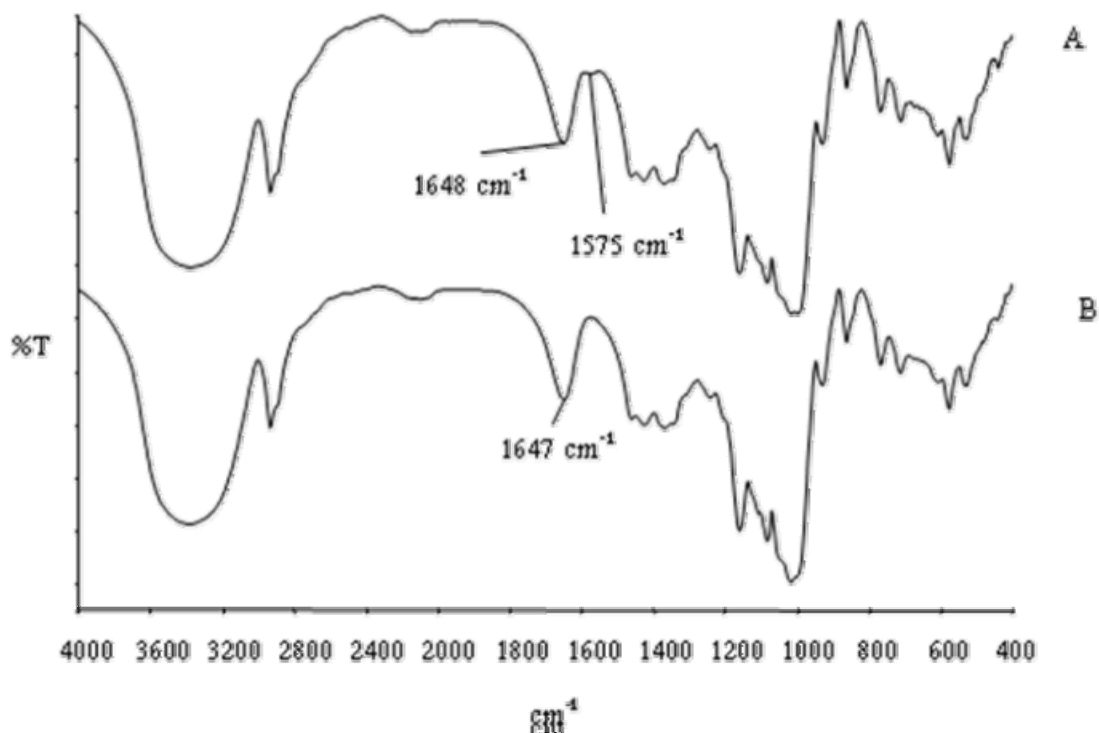
ตาราง 2.1 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Maleic Anhydride (SMA)

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	10.0001	0.06	24
Maleic anhydride 99%	98.06	0.2503	2.55×10^{-3}	1



รูป 2.1 ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย Maleic Anhydride

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย FTIR ระหว่างแป้งที่ผ่านการดัดแปรกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วย Maleic anhydride (MA) พบว่าสเปกตรัม FTIR มีลักษณะเหมือนกัน โดยหากปฏิกิริยาการเปิดวงของ Maleic anhydride (MA) เกิดขึ้น คาดว่าจะพบสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (Ester) ที่ 1705 cm^{-1} แต่จากสเปกตรัม A (รูป 2.2) ซึ่งเป็นของแป้งดัดแปรไม่พบสัญญาณดังกล่าว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาการแทนที่ด้วย Maleic anhydride (MA) ไม่เกิดขึ้นเลยหรืออาจเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นจะไม่ใช้สารผลิตภัณฑ์นี้ในการผสมกับ LDPE ในขั้นต่อไป



รูป 2.2 FTIR สเปกตรัมของ

A) แป้งดัดแปรโครงสร้างด้วย Maleic Anhydride (SMA)

B) แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรโครงสร้าง

1.2 การดัดแปรแป้งด้วย Succinic Anhydride (SSA)(รูป 2.3)

ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย Succinic Anhydride ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 วิธี โดยทำปฏิกิริยาในตัวทำละลายที่ต่างกันดังนี้

1.2.1 การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride ที่ละลายในเอทานอล (SSA1 และ SSA2)

ละลายแป้งมันสำปะหลังที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 mesh 5 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนด้วย magnetic stirrer แล้วปรับค่า pH ของสารละลายให้มี pH 8.5 ด้วยสารละลาย 3% NaOH จากนั้นเติมสารละลาย Succinic Anhydride 3 กรัม ใน abs.EtOH 15 มิลลิลิตร ลงในสารละลายแป้งอย่างช้าๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปรับค่า pH ให้มีค่า 8.5 ด้วย 3% NaOH จากนั้นทำปฏิกิริยาที่สภาวะนี้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดลงปรับ pH ให้มีค่า 6.5 ด้วยสารละลาย 3% HCl และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินน้ำออก ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และ acetone อย่างละ 2 ครั้ง ตามลำดับ หลังจากนั้นอบสารผลิตภัณฑ์ที่ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ดังกล่าวมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : Succinic Anhydride เป็น 1:1 ดังแสดงรายละเอียดดัง

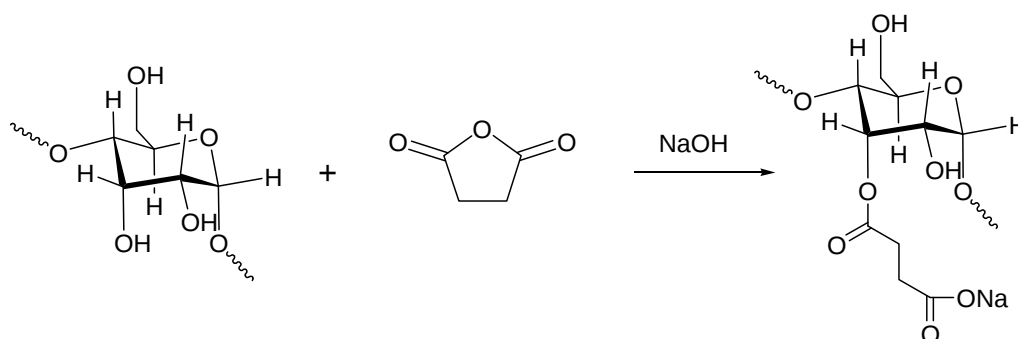
ตาราง 2.2 ส่วนปฏิกิริยาที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : Succinic Anhydride เป็น 1:2 แสดงดังรายละเอียดดังตาราง 2.3 โดยใช้สภาวะในการทดลองเหมือนกับกรณีข้างต้น ได้สารผลิตภัณฑ์แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

ตาราง 2.2 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride เป็น 1:1 (SSA1)

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	5.0001	0.03	1
succinic anhydride 99%	100.07	3.0003	0.03	1

ตาราง 2.3 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride เป็น 1:2 (SSA2)

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	5.0002	0.03	1
succinic anhydride 99%	100.07	6.0001	0.06	2



รูป 2.3 ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย Succinic Anhydride

1.2.2 การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride ที่ละลายในไอโซโพรพานอล (SSA3)

ละลายแป้งมันสำปะหลังที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 mesh 5 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนด้วย magnetic stirrer แล้วปรับค่า pH ของสารละลายให้มี pH 8.5 ด้วยสารละลาย 3% NaOH จากนั้นเติมสารละลาย Succinic Anhydride 3 กรัม ใน abs.Isopropanol 15 มิลลิลิตร ลงในสารละลายแป้งอย่างช้าๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปรับค่า pH ให้มีค่า 8.5 ด้วย 3% NaOH จากนั้นทำปฏิกิริยาที่สภาวะนี้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดลงปรับ pH ให้มีค่า 6.5 ด้วยสารละลาย 3%

HCl และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินน้ำออก ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และ acetone อย่างละ 2 ครั้ง ตามลำดับ หลังจากนั้นอบสารผลิตภัณฑ์ที่ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ได้สารผลิตภัณฑ์แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

ตาราง 2.4 อัตราส่วนสารที่ใช้ในการดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride เป็น 1:1

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	5.0001	0.03	1
succinic anhydride 99%	100.07	3.0001	0.03	1

1.2.3 การดัดแปรโครงสร้างของแป้งด้วย Succinic Anhydride ในน้ำโดยใช้ Sodium dodecyl sulfate เป็น surfactant (SSA4 และ SSA5)

เตรียมสารละลายแป้งมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 mesh 0.81 กรัม ในน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วย mechanical stirrer ปรับค่า pH ของสารละลายให้มี pH 8.5 ด้วยสารละลาย 3% NaOH จากนั้นเติมสาร emulsion succinic anhydride (เตรียมโดยผสมระหว่าง succinic anhydride 28 ส่วน 0.5 กรัม ใช้ Sodium dodecyl sulphate (SDS) 2 ส่วน 0.035 กรัม และน้ำกลั่น 70 ส่วน 2 มิลลิลิตร) คนสารละลายผสม 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ปรับค่า pH ให้มีค่า 8.5 ด้วย 3% NaOH และทำปฏิกิริยาที่สภาวะนี้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังปฏิกิริยาลิ้นสุดลงปรับ pH ให้มีค่า 6.5 ด้วยสารละลาย 5% HCl และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินน้ำออก ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น และ acetone อย่างละ 2 ครั้ง ตามลำดับ อบสารผลิตภัณฑ์ที่ 60°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ดังกล่าวมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : emulsion succinic anhydride เป็น 1:1 ดังแสดงรายละเอียดดังตาราง 2.5 ส่วนปฏิกิริยาที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : emulsion succinic anhydride เป็น 1:2 แสดงดังรายละเอียดดังตาราง 2.6 โดยใช้สภาวะในการทดลองเหมือนกับกรณีข้างต้น ได้สารผลิตภัณฑ์แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR

ตาราง 2.5 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : emulsion succinic anhydride เป็น 1:1 (SSA4)

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	0.81	0.005	1
Succinic anhydride 99%	100.07	0.5	0.005	1
SDS	266	0.035	-	-

SDS คือ Sodium dodecyl sulphate

ตาราง 2.6 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : emulsion succinic anhydride เป็น 1:2 (SSA5)

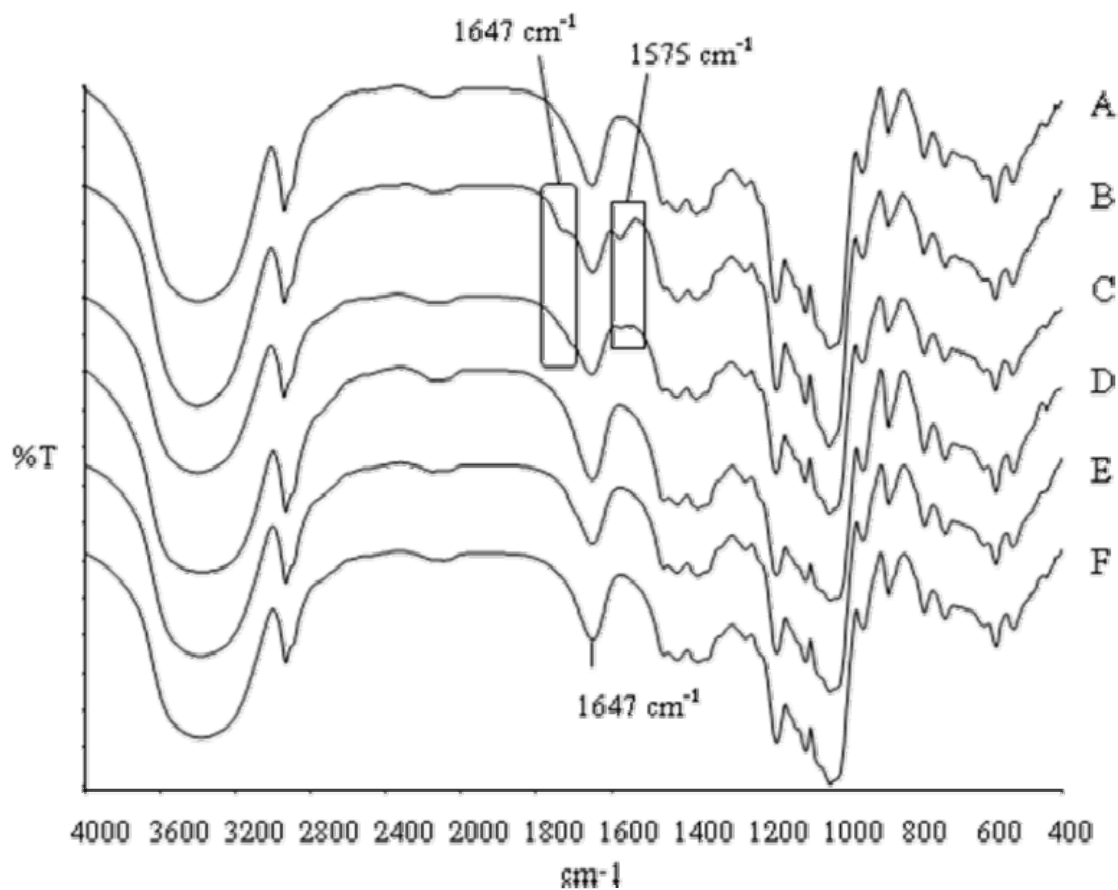
สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	0.81	0.005	1
Succinic anhydride 99%	100.07	1	0.01	2
SDS	266	0.07	-	-

SDS คือ Sodium dodecyl sulphate

ดังนั้น การดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย Succinic Anhydride ได้ทำในสถานะต่างๆ ดังนี้

1. ปฏิกริยาในสารละลายเอทานอล โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : Succinic Anhydride เป็น 1 : 1 (SSA1) และ 1 : 2 (SSA2)
2. ปฏิกริยาในสารละลายไอโซโพรพานอล โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : Succinic Anhydride เป็น 1 : 1 (SSA3)
3. ปฏิกริยาในสารละลายน้ำ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : Succinic Anhydride เป็น 1 : 1 (SSA4) และ 1 : 2 (SSA5) และใช้ Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) เป็น surfactant

จากผลของสเปกตรัม FTIR พบสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (Ester) ที่ 1702 cm^{-1} และสัญญาณของ 1575 cm^{-1} เฉพาะของ SSA2 เท่านั้น (รูป 2.4) ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการเปิดวงของ Succinic Anhydride ส่วนสเปกตรัมของ SSA3 พบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนปฏิกิริยาอื่นๆ (SSA1, SSA4 และ SSA5) ไม่มีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแป้งและ Succinic Anhydride ดังนั้นในการทดสอบสมบัติการละลายในขั้นต่อไปจะใช้ SSA2 และ SSA3 เท่านั้นในการทดสอบ



รูป 2.4 FTIR สเปกตรัมของ

- A) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแบ่ง:SA เป็น 1:1 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SSA1)
- B) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแบ่ง:SA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SSA2)
- C) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแบ่ง:SA เป็น 1:1 ทำปฏิกิริยาใน Isopropanol (SSA3)
- D) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแบ่ง:SA เป็น 1:1 ทำปฏิกิริยาในน้ำ และใช้ SDS เป็น surfactant (SSA4)
- E) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแบ่ง:SA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาในน้ำ และใช้ SDS เป็น surfactant (SSA5)
- F) แบ่งที่ไม่ผ่านการดัดแปรโครงสร้าง

1.3 การดัดแปรแป้งด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (SDDSA)(รูป 2.5)

การดัดแปรแป้งด้วย 2-dodecyl succinic anhydride (DDSA) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง โดยการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างแป้งกับ DDSA ต่างๆ (SDDSA1, SDDSA2 และ SDDSA3) ดังแสดง ในตาราง 2.7-2.9 โดยมีรายละเอียดการเตรียมดังนี้

เตรียมสารละลายแป้งมันที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 400 mesh 5 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร คนด้วย magnetic stirrer ปรับค่า pH ของสารละลายให้มี pH 8.5 ด้วยสารละลาย 3% NaOH จากนั้น เติมสารละลาย DDSA 16.25 กรัม ใน abs.EtOH 25 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปรับ ค่า pH ให้มีค่า 8.5 ด้วย 3% NaOH จากนั้นทำปฏิกิริยาที่สภาวะนี้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังปฏิกิริยา สิ้นสุดลงปรับ pH ให้มีค่า 6.5 ด้วยสารละลาย 3% HCl และตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินน้ำออก ล้าง ตะกอนด้วยน้ำกลั่น และ acetone ตามลำดับ อย่างละ 2 ครั้ง อบสารผลิตภัณฑ์ที่ 60°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนสารเคมีที่ใช้ดังกล่าวมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : DDSA เป็น 1:0.1 ดังแสดงรายละเอียดดังตาราง 2.7 ส่วนปฏิกิริยาที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : DDSA เป็น 1:1 และ 1:2 แสดงดังรายละเอียดดังตาราง 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ ได้สารผลิตภัณฑ์วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR

ตาราง 2.7 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : 2-dodecyl succinic anhydride เป็น 1 : 0.1 (SDDSA1)

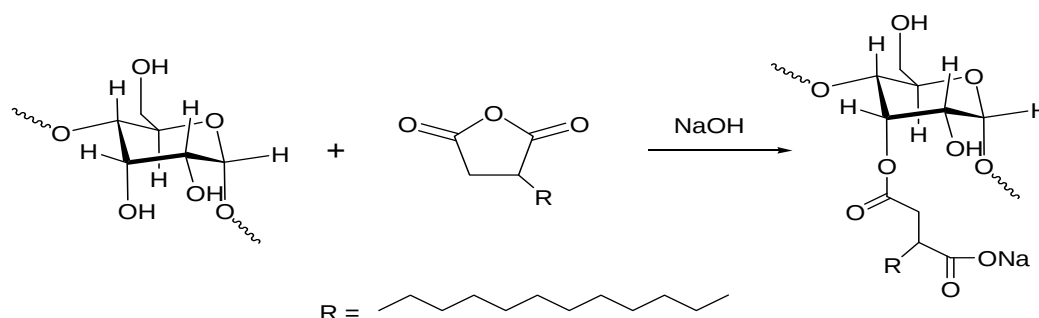
สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	5.0001	0.03	1
2-dodecyl succinic anhydride	266.68	0.82499	0.003	0.1

ตาราง 2.8 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : 2-dodecyl succinic anhydride เป็น 1:1 (SDDSA2)

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	5.0000	0.03	1
2-dodec-1-yl succinic anhydride	266.68	8.2497	0.03	1

ตาราง 2.9 อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : 2-dodecyl succinic anhydride เป็น 1:2 (SDDSA3)

สารเคมี	MW (g/mol)	Mass (g)	Mole	Molar ratio
แป้งมัน (dehydroglucose unit)	162.06	5.0000	0.03	1
2-dodecyl succinic anhydride	266.68	16.2501	0.06	2



รูป 2.5 ปฏิกิริยาการดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย 2-dodecyl succinic anhydride (DDSA)

เนื่องจากแป้งดัดแปร มีหลายชนิดและเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ จึงตั้งชื่อแป้งดัดแปรดัง

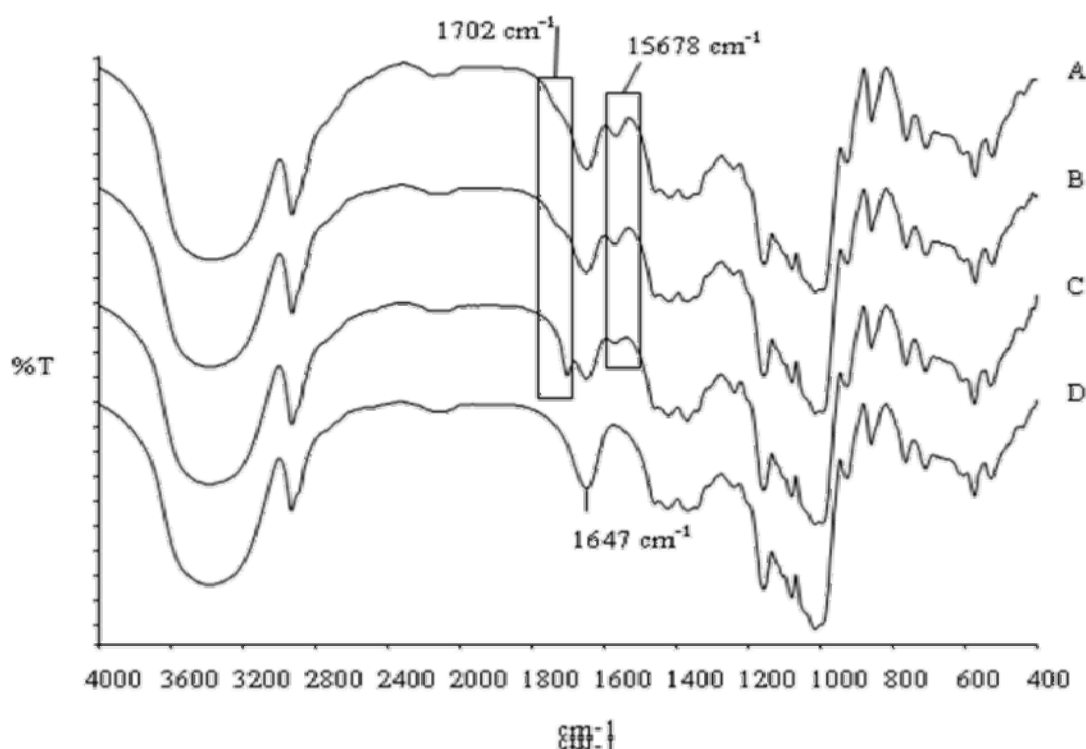
ตาราง 2.10

ตาราง 2.10 การตั้งชื่อแป้งดัดแปร

ชื่อแป้งดัดแปร	สารดัดแปรที่ใช้	ตัวทำละลาย	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : สารดัดแปร	สารเสถียร
SMA	maleic anhydride (MA)	เอทานอล	24 : 1	-
SSA 1	succinic anhydride (SA)	เอทานอล	1 : 1	-
SSA 2		เอทานอล	1 : 2	-
SSA 3		ไอโซโพรพานอล	1 : 1	-
SSA 4		นอล	34 : 1	SDS
SSA 5		น้ำ	17 : 1	SDS
SDDSA 1	2-dodecyl	เอทานอล	1 : 0.1	-
SDDSA 2	succinic	เอทานอล	1 : 1	-
SDDSA 3	anhydride (DDSA)	เอทานอล	1 : 2	-

การดัดแปรโครงสร้างแป้งด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA) จะทำในตัวทำละลายเอทานอลเท่านั้น ในการทดลองจะทำการปรับปริมาณอัตราส่วนระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : DDSA คือ 1 : 0.1 , 1 : 1 และ 1 : 2 (SDDSA1 , SDDSA2 และ SDDSA3 ตามลำดับ)

จากผลของสเปกตรัม FTIR (รูป 2.6) พบสัญญาณของหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ (Ester) ที่ 1702 cm^{-1} และ 1575 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการเปิดวงของ DDSA ดังนั้นในการทดสอบสมบัติการละลายจะใช้ SDDSA1, SDDSA2 และ SDDSA3 ในการทดสอบ และจะใช้ในการผสมกับ LDPE ในขั้นต่อไป



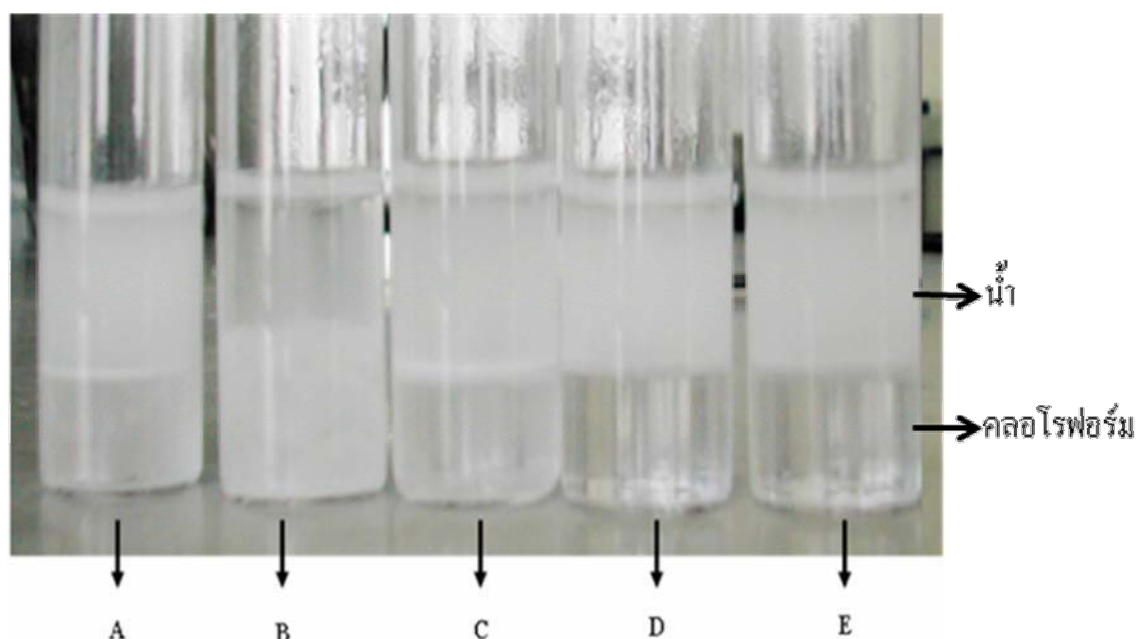
รูป 2.6 FTIR สเปกตรัมของ

- A) SDDSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:DDSA เป็น 1:0.1 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SDDSA1)
- B) SDDSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:DDSA เป็น 1:1 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SDDSA2)
- C) SDDSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:DDSA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SDDSA3)
- D) แป้งที่ไม่ได้ดัดแปรโครงสร้าง

2. การศึกษาสมบัติการละลายของแป้งดัดแปรในน้ำและคลอโรฟอร์ม

วัตถุประสงค์ของการทดสอบการละลายเพื่อทดสอบว่าแป้งที่ดัดแปรแล้วจะมีความสามารถละลายในคลอโรฟอร์มได้หรือไม่ ทั้งนี้เนื่องจากแป้งที่ดัดแปรจะมีสมบัติการละลายในน้ำได้น้อยลง แต่จะละลายในชั้นคลอโรฟอร์มได้ดีขึ้น เนื่องจากโครงสร้างแป้งดัดแปรมีไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวจึงทำให้ละลายในชั้นน้ำได้น้อยลง และละลายในชั้นคลอโรฟอร์มได้ดีขึ้น

จากผลการทดลองแป้งที่ดัดแปรด้วย DDSA ใน Ethanol ในอัตราส่วน 1 : 2 (SDDSA3) ละลายในชั้นของคลอโรฟอร์มได้ดีกว่าในชั้นน้ำ (รูป 2.7) คาดว่าเป็นเพราะ DDSA มีหมู่ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว (C12) ส่งผลทำให้ความเป็น hydrophobic ของแป้งดัดแปรเพิ่มขึ้น ส่วนแป้งดัดแปรตัวอื่น (SSA2 , SSA3 และ SSA5) และแป้งไม่ดัดแปรจะละลายในชั้นน้ำ ดังนั้นแป้งดัดแปรที่จะนำไปผสมกับ LDPE ในขั้นตอนต่อไป คือ แป้งที่ดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (SDDSA1 , SDDSA2 และ SDDSA3) เท่านั้น

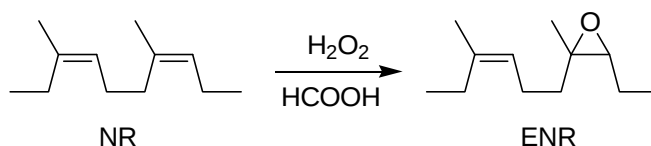


รูป 2.7 การทดสอบการละลายในชั้นน้ำและคลอโรฟอร์ม ของ

- A) แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร
- B) SDDSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:DDSA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SDDSA3)
- C) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:SA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาใน EtOH (SSA2)
- D) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:SA เป็น 1:1 ทำปฏิกิริยาใน Isopropanol (SSA3)
- E) SSA ที่ใช้อัตราส่วน หน่วยแป้ง:SA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาในน้ำและใช้ SDS เป็น surfactant (SSA5)

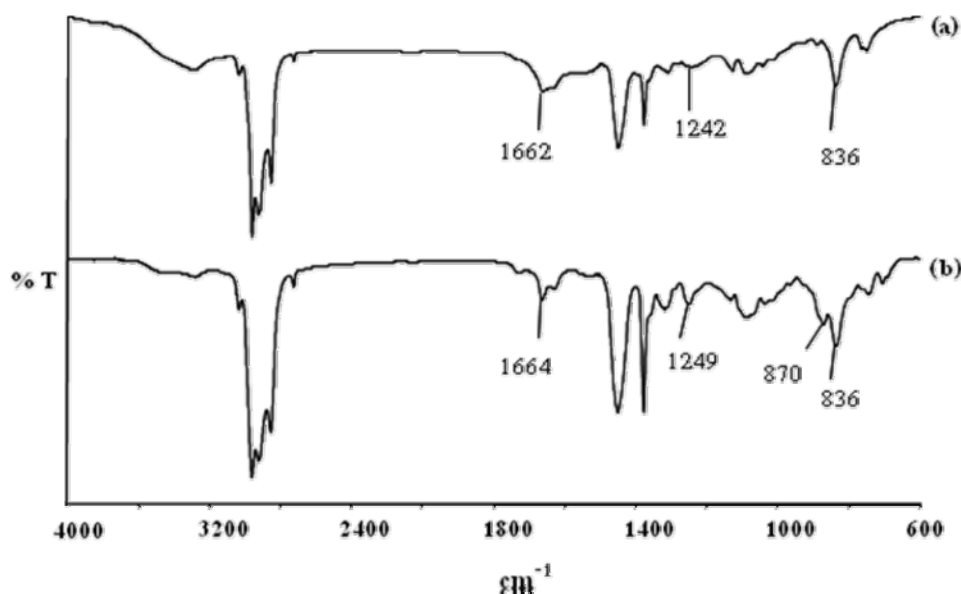
3. การสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber : ENR) (รูป 2.8)

เตรียมน้ำยางธรรมชาติให้มีความเข้มข้น 30% ทำให้อย่างมีความเสถียรภาพมากขึ้นโดยเทอริก (4% โดยน้ำหนักของเนื้อยางแห้ง) ให้ความร้อนที่ 50°C และปั่นจนอย่างต่อเนื่อง เมื่ออุณหภูมิคงที่ให้หยุดกรดฟอร์มิก (25% ต่อโมลของเนื้อยางแห้ง) ลงไป หลังจากนั้น 20 นาที จึงทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) (30% ต่อโมลของเนื้อยางแห้ง) ลงไปอย่างช้าๆ ปรับเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60°C ปั่นจนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง น้ำยางที่ได้หลังสิ้นสุดปฏิกิริยา เรียกว่า ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ตกตะกอน ENR ในเมทานอล และทำให้บริสุทธิ์ด้วย $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{MeOH}$ จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C



รูป 2.8 ปฏิกิริยาการเตรียม ENR

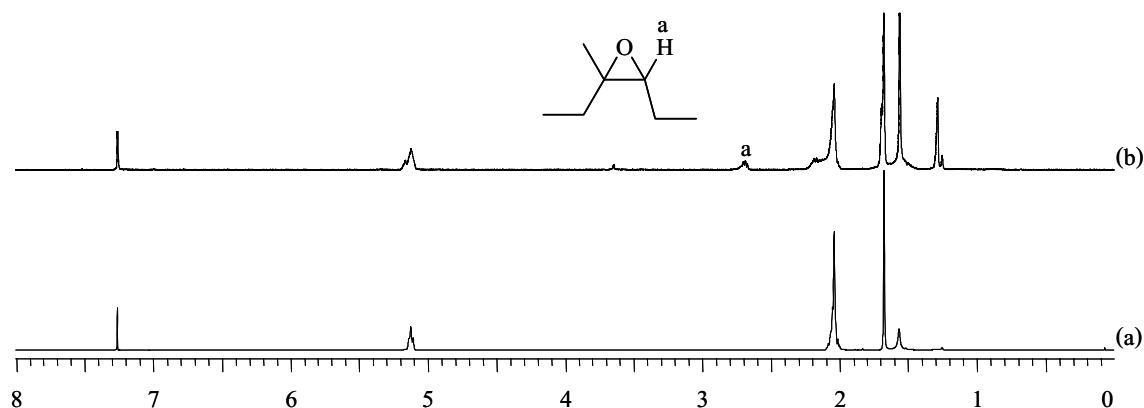
รูป 2.9 แสดงสเปกตรัม FTIR ของ NR และ ENR โดยสเปกตรัม FTIR ของ ENR (รูปที่ 2.9 (b)) ปรากฏสัญญาณใหม่ที่ 870 cm^{-1} (asymmetric stretching of epoxide ring) และ 1249 cm^{-1} (symmetric stretching of epoxide ring) ซึ่งเป็นสัญญาณการสั่นในโครงสร้างของหมู่อีพอกไซด์ ผลการดัดแปรโครงสร้างตำแหน่งอื่นๆ แสดงดังตาราง 2.11 ส่วนรูป 2.10 (a) แสดงสเปกตรัม ^1H NMR ของยางธรรมชาติซึ่งมีโครงสร้างแบบ cis-1,4-polyisoprene เป็นส่วนใหญ่ ส่วนรูป 2.10 (b) แสดงสัญญาณของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ พบการปรากฏสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งที่ติดกับวงอีพอกไซด์ที่ 2.7 ppm และสัญญาณของโปรตอนที่ติดกับพันธะคู่ในหน่วยไอโซพรีนที่ 5.1 ppm รายละเอียดผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ^1H NMR สเปกโทรสโกปี แสดงดังตาราง 2.12



รูป 2.9 FTIR สเปกตรัมของ (a) ยางธรรมชาติ (NR) และ (b) ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ 26.2 % epoxide (ENR 26)

ตาราง 2.11 แสดงผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR Spectroscopy ของ NR และ ENR

Functional groups	Wave number (cm ⁻¹)	
	NR	ENR
=C-H stretching	3035	3035
C-H stretching		
CH ₃	2961	2962
CH ₂	2929,2854	2926,2855
C-H bending		
CH ₃	1376	1376
CH ₂	1449	1449
C-H wagging	736	737
 Symmetric stretching Asymmetric stretching	- -	1249 870



รูป 2.10 ¹H NMR สเปกตรัมของ (a) พอลิโพรพิลีน (NR) และ (b) พอลิโพรพิลีนอีพอกไซด์ 26.2% epoxide (ENR 26)

ตาราง 2.12 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ¹H NMR ของ NR และ ENR

Proton resonance	Chemical shift (ppm)	
	NR	ENR
$\begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ -\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2- \end{array}$	2.1	2.1
$\begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ -\text{C}=\text{CH}- \end{array}$	1.7	1.7
$-\text{C}=\text{CH}-$	5.1	5.1
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \quad \text{CH} \end{array}$	-	2.7

4. การทดสอบการเข้ากันได้ของ แป้งดัดแปร พอลิโพรพิลีน (NR), ENR และ LDPE

4.1 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมของ LDPE สามารถเตรียมได้โดยการผสมเม็ด LDPE ร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆ ในอัตราส่วนต่างๆ ตามสูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสม นำส่วนผสมทั้งหมดใส่ลงในเครื่อง Internal mixer โดยกำหนดให้มีอุณหภูมิในห้องผสม (barrel temperature) เท่ากับ 150°C ที่ความเร็วสกรู (screw speed) 100 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปตัดเม็ด

4.2 การเป่าขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง Blow film extruder

นำเม็ดพลาสติกที่เตรียมได้จากการผสมด้วยเครื่อง Internal mixer ไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเม็ดพลาสติกมาเป่าขึ้นรูปเป็นถุงด้วยเครื่อง Blow film extruder โดยกำหนดให้มีการแบ่งโซนในการให้ความร้อนออกเป็น 4 โซน ดังนี้ คือ 160/170/180/190°C ที่ความเร็วสกรู (screw speed) 100 rpm พอลิเมอร์เมื่อถูกฉีดผ่านหัวดายน์ออกมาจะถูกเป่าด้วยลมเย็น และถูกม้วนเก็บด้วยลูกกลิ้ง ชิ้นงานที่เตรียมได้จะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพต่อไป

4.3 ผลการทดสอบการเข้ากันได้เบื้องต้นกับ LDPE

จากผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า แบ่งที่ดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA) ให้ผลการทดสอบการผสมกับ LDPE ที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการใช้ compatibilizer เช่น PE-g-MA และใช้ plasticizer เช่น กลีเซอรอล ร่วมด้วย กล่าวคือสามารถผสมกับ LDPE ได้ดี เป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีการไหม้ของแผ่นฟิล์มเกิดขึ้น ส่วนแบ่งที่ดัดแปรด้วย succinic anhydride (SA) และ maleic anhydride (MA) นั้น ให้ผลการทดสอบการเข้ากันได้เบื้องต้นกับ LDPE ที่ด้อยกว่ากรณีของ 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA) ดังนั้นในการศึกษาในขั้นต่อไปจะใช้แบ่งที่ดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA) ในการผสมกับ LDPE เท่านั้นและเสนอผลของสาร compatibilizer และ plasticizer ต่อสมบัติต่างๆของแผ่น LDPE ผสมด้วย

ส่วนผลการทดสอบการเข้ากันได้ระหว่าง LDPE และ NR หรือ ENR นั้นพบว่าแผ่นฟิล์มมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันดี และไม่มีลักษณะไหม้เกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจะใช้ทั้ง NR และ ENR ในการผสมกับ LDPE และแบ่งเพื่อศึกษาสมบัติอื่นๆ

สรุปผลการทดลอง (บทที่ 2)

จากการสังเคราะห์แบ่งดัดแปร โดยใช้ Maleic Anhydride (MA) พบว่าปฏิกิริยาไม่สามารถเกิดได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการทดลอง เช่น ตัวทำละลาย อัตราส่วนโดยโมลของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม ส่วนปฏิกิริยาการดัดแปรแบ่งด้วย Succinic Anhydride (SA) นั้น ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วยแบ่ง : SA เป็น 1:2 ทำปฏิกิริยาในเอทานอล และใช้สภาวะดังกล่าวในการเตรียมแบ่งดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA) ซึ่งจากผล FTIR พบว่าสภาวะที่ใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วยแบ่ง:DDSA เป็น 1:2 (SDDSA3) ทำให้ได้การเข้าแทนที่ของหมู่ dodecyl (C12) เข้าได้มากที่สุด ซึ่งน่าจะทำให้การเข้ากันได้ระหว่างแบ่งดัดแปรและ LDPE เข้ากันได้ดีขึ้น จากผลการทดสอบการเข้ากันได้เบื้องต้นกับ LDPE พบว่าแบ่งที่ดัดแปรด้วย DDSA ให้ผลการทดสอบการผสมกับ LDPE ที่ดี โดยต้องใช้ compatibilizer และ plasticizer ร่วมด้วย กล่าวคือสามารถผสมกับ LDPE ได้ดี เป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีการไหม้ของ

แผ่นฟิล์มเกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจะใช้แป้งที่ดัดแปร DDSA ในการผสมกับ LDPE ส่วนผลการทดสอบการเข้ากันได้ระหว่าง LDPE และ NR หรือ ENR พบว่าแผ่นฟิล์มมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันดีและไม่มีลักษณะไหม้เกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจะใช้ทั้ง NR และ ENR ในการผสมกับ LDPE และแป้งเพื่อศึกษาสมบัติอื่นๆ

บทที่ 3

สมบัติพื้นผิว สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติความทนแรงดึงของแผ่น พลาสติกที่เตรียมจาก LDPE ผสมกับแป้ง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาแผ่นพลาสติกที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ผสมกับแป้งซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีราคาถูกและสามารถย่อยสลายได้ เพื่อนำไปใช้เป็นถุงปลูกสำหรับการปลูกพริก ถุงเพาะกล้าพริกและถุงเพาะไหลสตรอเบอร์รี่ โดยได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาเคมีเพื่อตัดแปรโครงสร้างของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) กับ LDPE นอกจากนี้ยังสนใจศึกษาผลของการเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น 2 ชนิดลงในพลาสติกผสม ได้แก่ ยางธรรมชาติและ Ecoflex (poly(butylene adipate-co-terephthalate)) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์จากวัตถุดิบปิโตรเคมีของบริษัท BASF ประเทศเยอรมนี โดยเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่สามารถย่อยสลายได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มแป้งลงใน LDPE ในเปอร์เซ็นต์ที่สูงจะทำให้สมบัติความยืดหยุ่นของแผ่นพลาสติกลดน้อยลง โดยถุงปลูกที่มีสารเพิ่มความยืดหยุ่นทั้ง 2 ชนิดนั้นจะใช้ในการทดลองเพาะกล้าพริกและการเพาะไหลสตรอเบอร์รี่ ซึ่งต้องการให้ถุงเกิดการย่อยสลายในระยะเวลา 1 เดือน และใช้ในการปลูกต้นพริก ซึ่งต้องการให้ถุงเกิดการย่อยสลายในระยะเวลาประมาณ 6 เดือน โดยทำการศึกษาผลของปริมาณพอลิเมอร์ชีวภาพในถุงพลาสติกตัวอย่างต่อสมบัติการทนแรงดึง สมบัติเชิงความร้อนและสมบัติพื้นผิวของแผ่นพลาสติกชีวภาพตัดแปร

จากการทดลองในบทที่ 2 ซึ่งศึกษาการเตรียมแป้งและยางธรรมชาติตัดแปรและศึกษาเบื้องต้นถึงความเข้ากันได้ (compatibility) ระหว่าง LDPE และพอลิเมอร์ชีวภาพตัดแปรทั้ง 2 ชนิด โดยจากผลการทดลองจะใช้แป้งตัดแปร DDSA เพื่อเป็นสาร compatibilizer ระหว่างแป้งมันสำปะหลังและ LDPE และใช้ยางธรรมชาติ ชนิด NR และ ENR เพื่อเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และทำการศึกษสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมต่อไป

โดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนการเตรียมและเป่าฟิล์มพลาสติก LDPE จะประกอบไปด้วยส่วนผสมหลายอย่างที่มีวัตถุประสงค์ต่างกัน ได้แก่

- LDPE ซึ่งเป็นเนื้อพลาสติกส่วนใหญ่
- Polyethylene-graft-maleic anhydride (PE-g-MA) ซึ่งเป็นสาร compatibilizer โดยทั่วไปเติมประมาณ 1-5% โดยน้ำหนัก
- กลีเซอรอล ซึ่งเป็นสาร plasticizer โดยทั่วไปเติมประมาณ 10-50% โดยน้ำหนัก
- ในบางสูตร อาจมีการเติม Linear low density polyethylene (LLDPE) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นฟิล์มด้วย โดยทั่วไปเติมประมาณ 10-50% โดยน้ำหนัก

ดังนั้นในบทที่ 3 นี้จะเป็นการศึกษาผลของชนิดและเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบต่างๆในพอลิเมอร์ผสม เช่น ปริมาณแป้ง (unmodified starch) สารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ (NR, ENR, Ecoflex) สาร compatibilizer ได้แก่ PE-g-MA และแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วย DDSA (modified starch) และสาร plasticizer ได้แก่ กลีเซอรอล ต่อลักษณะพื้นผิว (surface morphology) และสมบัติการทนแรงดึง (tensile properties) ของพอลิเมอร์ผสม นอกจากนี้ ยังทำการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสมด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) โดยมีรายละเอียดของการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

1. การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) และผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

ศึกษาผลขององค์ประกอบแต่ละชนิด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (unmodified starch)
- 1.2 ศึกษาผลของปริมาณ Polyethylene graft Maleic Anhydride (PE-g-MA) ซึ่งเป็นสาร compatibilizer
- 1.3 ศึกษาผลของชนิดของยาง ได้แก่ NR และ ENR
- 1.4 ศึกษาผลของปริมาณ NR
- 1.5 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล ซึ่งเป็นสาร plasticizer
- 1.6 ศึกษาผลของปริมาณแป้งดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA)
จากการดัดแปรแป้งด้วย DDSA โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง และ DDSA เป็น 1:0.1, 1:1 และ 1:2 ทำให้ได้แป้งดัดแปร 3 ชนิด คือ SDDSA1, SDDSA2 และ SDDSA3 ตามลำดับ โดยทำการศึกษาผลของการเติมแป้งดัดแปร 3 ชนิดนี้ ต่อสมบัติการทนแรงดึงของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสม
- 1.7. ศึกษาผลของชนิดของสารเพิ่มความยืดหยุ่น ได้แก่ NR และ Ecoflex

2. ผลการทดสอบเชิงความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) และผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

นำถุงที่เตรียมได้จากเครื่อง Blow film extruder มาเตรียมเป็นแผ่นชิ้นงานสำหรับนำไปศึกษา ลักษณะพื้นผิว และทำการถ่ายภาพพื้นผิวจำนวน 2 กำลังขยาย ได้แก่ 25 และ 500 เท่า เพื่อการ

กระจายตัวของอนุภาค ขนาดอนุภาคของแป้งและยางหรือส่วนผสมอื่นๆที่เติมลงในสูตรแต่ละสูตรของชิ้นงาน

ทำการเตรียมชิ้นงานสำหรับนำไปทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile properties) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยเตรียมแผ่นชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1 x 5 ตร.ซม. ความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างที่ทดสอบ (Gage length) คือ 30 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการดึง 10 mm/min และกำลังในการดึง (Load cell) 1 kN ทำการวิเคราะห์แผ่นตัวอย่างด้วยเครื่อง TESTING MACHINE Model WDW-5E โดยทำการทดสอบทั้งตามแนวยาวและแนวขวางของแผ่นตัวอย่าง

1.1 ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (unmodified starch)

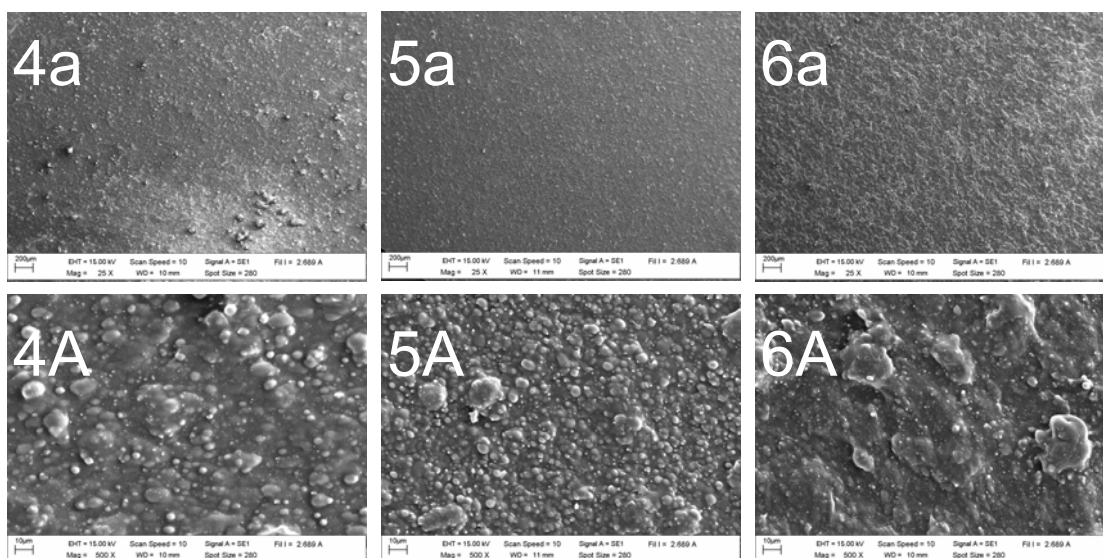
ศึกษาผลของปริมาณแป้งต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง LDPE/Starch เป็น 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 และ 30/70 โดยน้ำหนัก (สูตร 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ) โดยทำการผสมร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆตามปริมาณที่กำหนด (ตาราง 3.1) จากผลการศึกษาพบว่าทุกสูตรการผสมสามารถเป่าขึ้นรูปได้ ยกเว้นสูตร 1 ซึ่งเป็นสูตรการผสมที่ไม่เติมแป้ง ซึ่งไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มีความหนืดมากเกินไป รูป 3.1 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานสูตร 4, 5 และ 6 (รูป 3.1-4, 3.1-5 และ 3.1-6 ตามลำดับ) จากรูปจะเห็นได้ว่ามีอนุภาคของแป้งขนาดประมาณ 1-10 μm กระจายอยู่ทั่วไปบนชิ้นงาน โดยพบว่าสูตร 6 ซึ่งมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นเป็น 70 ส่วนโดยน้ำหนัก (รูป 3.1-6) พบการเกาะกลุ่มของแป้งเป็นอนุภาคขนาดใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของชิ้นงานที่มีปริมาณแป้ง 50 และ 60 ส่วนโดยน้ำหนัก (รูป 3.1-4 และ 3.1-5 ตามลำดับ) และเมื่อนำชิ้นงานที่สามารถเป่าขึ้นรูปได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับชิ้นทดสอบถุง recycled PE (Control 1) และถุง LDPE บริสุทธิ์ (Control 2) (รูป 3.2) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมีความเป็นอสัณฐานโดยสมบูรณ์ (Amorphous) ในขณะที่ LDPE มีลักษณะกึ่งผลึก (Semicrystalline) ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของ LDPE ที่สามารถเกิดผลึกได้ลดลง จึงส่งผลทำให้ชิ้นงานมีความเป็นผลึกลดลง อีกทั้งโมเลกุลของแป้งยังสามารถเข้าไปลดอันตรกิริยาและความสามารถในการเกิดผลึกของ LDPE ได้อีกด้วย ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ (สูตร 2-6) พบว่าทุกสูตรการเตรียมมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในส่วนของค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation) ของชิ้นงานนั้น (รูป 3.3) พบว่าไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนระหว่าง LDPE/Starch เท่ากับ 40/60 (สูตร 5) ชิ้นงานมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดตามแนวยาวและแนวขวางสูงที่สุด โดยมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสองแนว (230% ตามแนวยาว และ 223% ตามแนวขวาง)

ตาราง 3.1 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ด พลาสติกและแป้ง (%wt)			การเป่าขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	ได้
1	100	0	20	10	3	ไม่ได้
2	70	30	20	10	3	ได้
3	60	40	20	10	3	ได้
4	50	50	20	10	3	ได้
5	40	60	20	10	3	ได้
6	30	70	20	10	3	ได้

Control 1 ถุง recycled PE

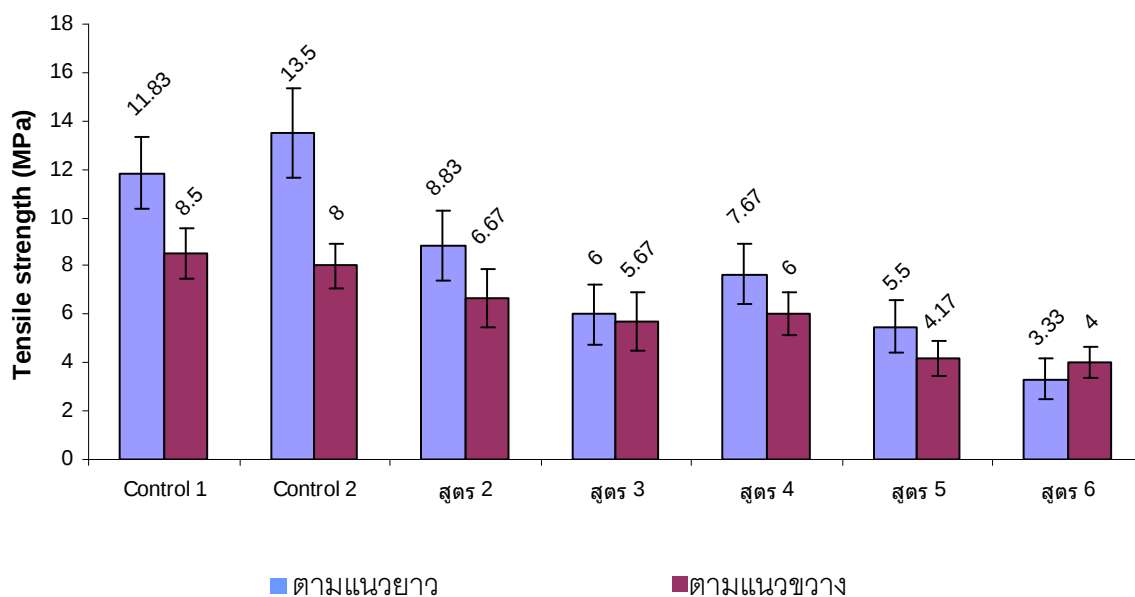
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



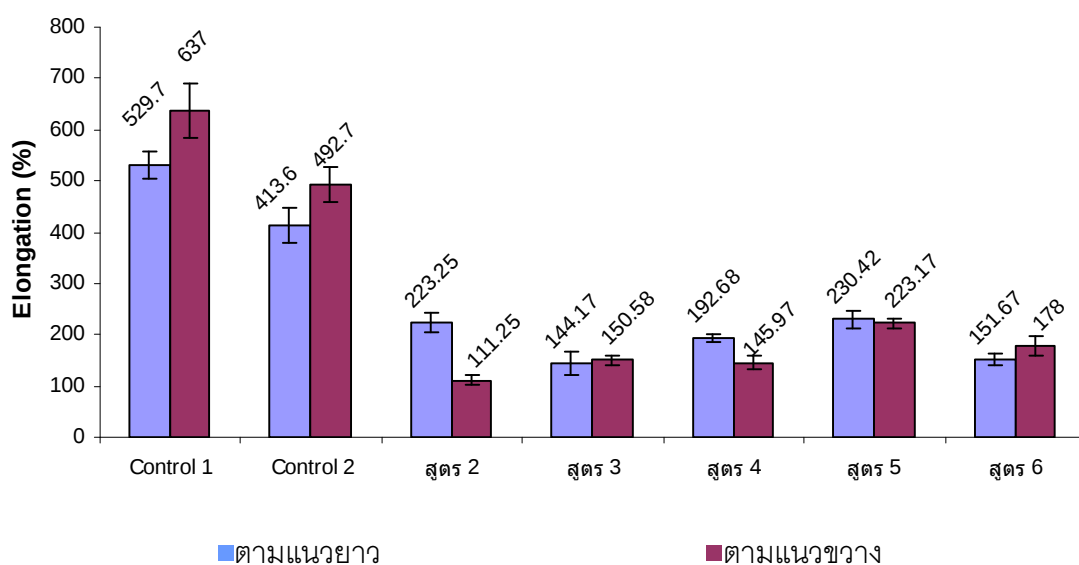
เมื่อ a คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.1 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้งตามสูตร 4, 5 และ 6



รูป 3.2 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (Starch) ตามสูตร 2, 3, 4, 5 และ 6



รูป 3.3 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง (Starch) ตามสูตร 2, 3, 4, 5 และ 6

1.2 ศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA (compatibilizer)

1.2.1 กรณีใช้ยางธรรมชาติ (NR) เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น

ศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA ต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยทำการผสม PE-g-MA ร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆตามปริมาณที่กำหนด (ตาราง 3.2) จากผลการศึกษาพบว่า การเติม 1%, 3% และ 5% PE-g-MA โดยน้ำหนักรวมของ LDPE และแป้ง (สูตร 8, 4

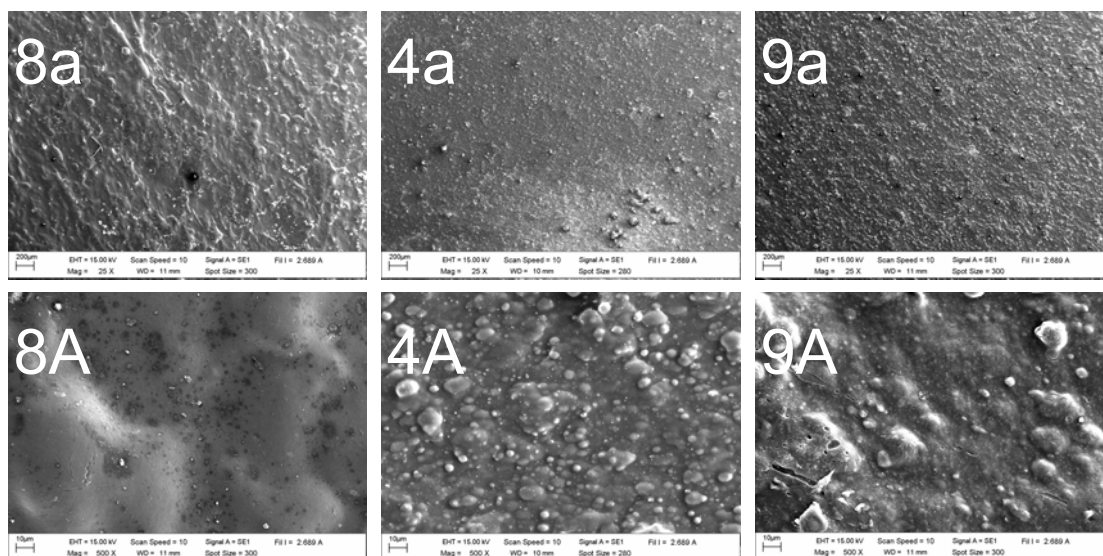
และ 9 ตามลำดับ) พบว่าสูตรการผสมดังกล่าวสามารถเป่าขึ้นรูปได้ แต่ในกรณีการเติม 1% PE-g-MA นั้น (สูตร 8) พบว่าชิ้นงานที่เตรียมได้มีเม็ดเจลของแป้งและยางปรากฏอยู่บนชิ้นงาน (รูป 3.4) ในขณะที่การเติม 3% และ 5% PE-g-MA ไม่ปรากฏลักษณะดังกล่าว และจากภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทั้ง 3 สูตร (รูป 3.4) พบว่าชิ้นงานสูตร 8 ทั้งสองกำลังขยาย (25 เท่า และ 500 เท่า (รูป 3.4-8a และ 3.4-8A)) พบลักษณะการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคที่มีขนาดของกลุ่มก้อนที่ใหญ่กว่าสูตร 4 และสูตร 9 (รูป 3.4-4 และ 3.4-9) ซึ่งมีปริมาณ PE-g-MA 3% และ 5% ตามลำดับ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณ PE-g-MA ที่เพิ่มขึ้นมีส่วนในการช่วยเพิ่มระดับความเข้ากันได้ของ LDPE, แป้ง และ NR ให้ดียิ่งขึ้น สำหรับพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติม PE-g-MA นั้น พบว่าไม่สามารถเป่าขึ้นรูปได้ และเมื่อนำชิ้นงานที่สามารถเป่าขึ้นรูปได้มาทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับถุงควบคุมทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดที่ต่ำกว่า และจากผลการศึกษายังพบว่าเมื่อปริมาณ PE-g-MA เพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงขึ้นด้วย โดยพบว่าที่ 5% PE-g-MA (สูตร 9) ชิ้นงานมีความต้านทานต่อแรงดึงและการยืดตัวออกทั้งตามแนวยาวและแนวขวางที่ใกล้เคียงกัน (รูป 3.5 และ 3.6)

ตาราง 3.2 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ด พลาสติกและแป้ง (%wt)			การเป่าขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	ได้
7	50	50	20	10	0	ไม่ได้
8	50	50	20	10	1	ได้
4	50	50	20	10	3	ได้
9	50	50	20	10	5	ได้

Control 1 ถุง recycled PE

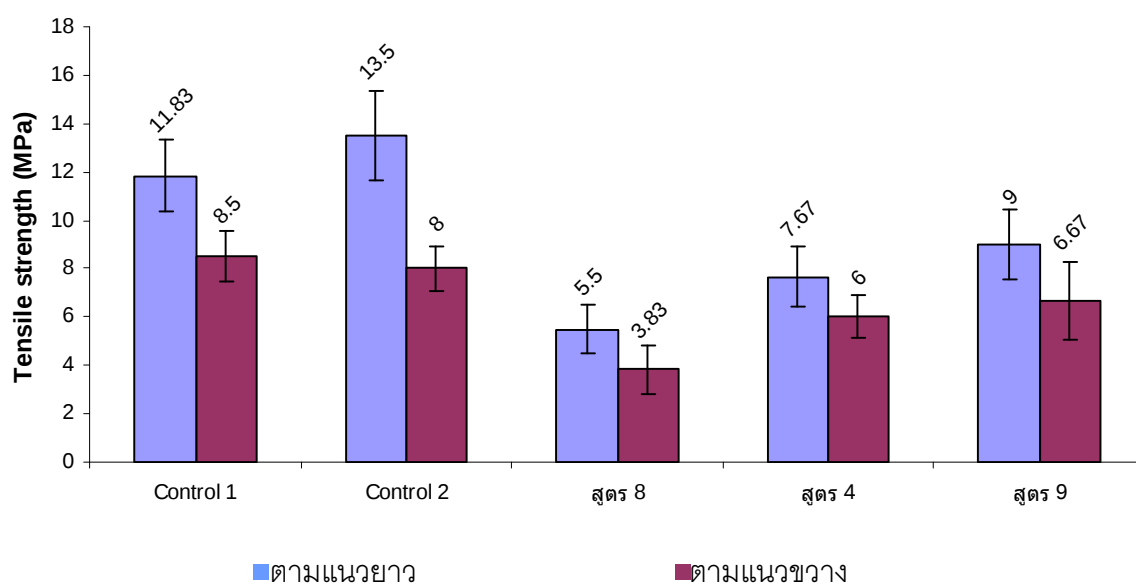
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



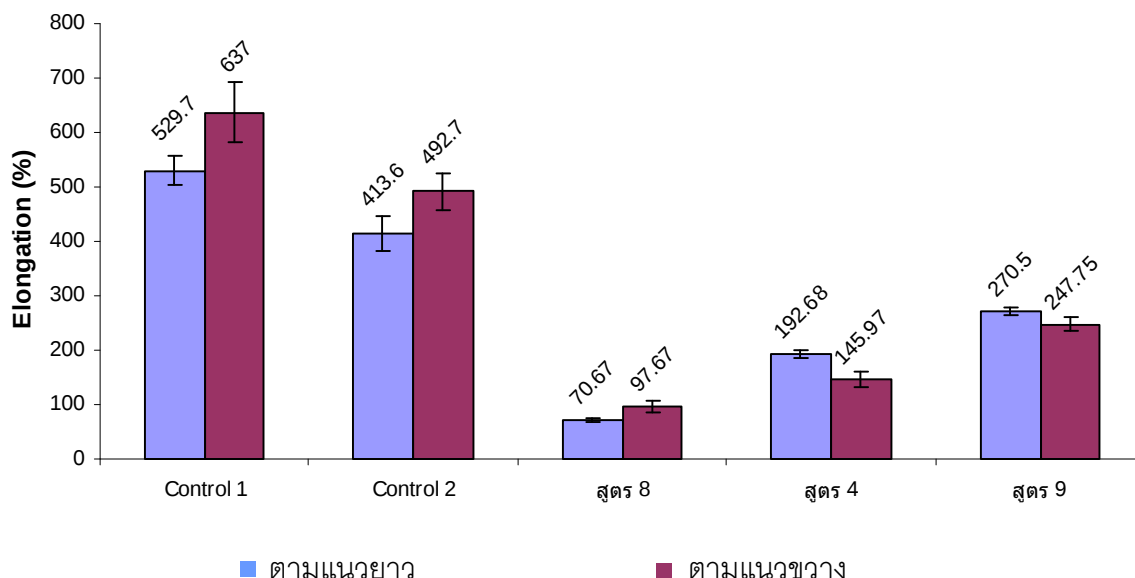
เมื่อ a คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.4 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4 และ 9



รูป 3.5 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4 และ 9



รูป 3.6 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA

ต่างกันของสูตร 8, 4 และ 9

1.2.2 กรณีใช้ยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ (ENR) เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น

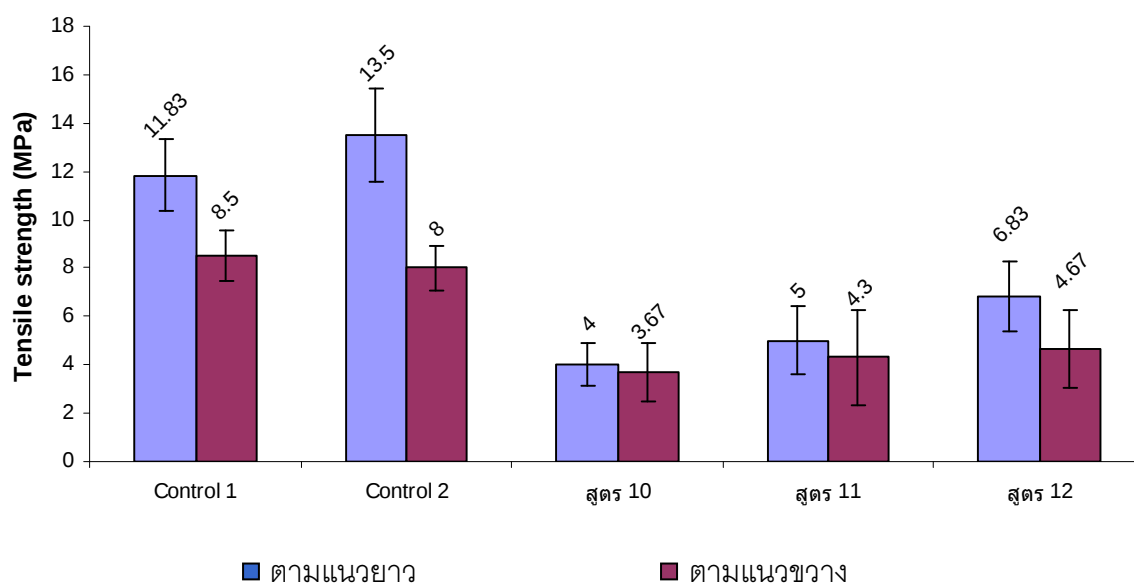
ศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA ต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยทำการผสม PE-g-MA ร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆ ตามปริมาณที่กำหนด (ตาราง 3.3) จากการศึกษพบว่าในกรณีของ ENR การเติม 3% และ 5% PE-g-MA (สูตร 11 และ 12 ตามลำดับ) พบว่าถุงที่เป่าขึ้นรูปได้มีลักษณะเม็ดเจลของแป้งและยางกระจายอยู่ทั่วไปบนชิ้นงาน ขณะที่การเติม 1% PE-g-MA (สูตร 10) ไม่พบลักษณะดังกล่าวบนชิ้นงาน ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าการมีหมู่ฟังก์ชันอีพ็อกไซด์บนสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติมีส่วนช่วยลดปริมาณการใช้ PE-g-MA และเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกลเปรียบเทียบกับถุงควบคุมทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าอย่างเห็นได้ชัด และพบว่าเมื่อปริมาณ PE-g-MA เพิ่มขึ้น ไม่มีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานแตกต่างกันมากนัก (รูป 3.7) แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าที่ 5% PE-g-MA (สูตร 12) ชิ้นงานมีการยืดตัวออกตามแนวยาวและตามแนวขวางสูงกว่าที่ 1% และ 3% PE-g-MA (สูตร 10 และ 11 ตามลำดับ) อย่างชัดเจน (รูป 3.8)

ตาราง 3.3 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณ PE-g-MA

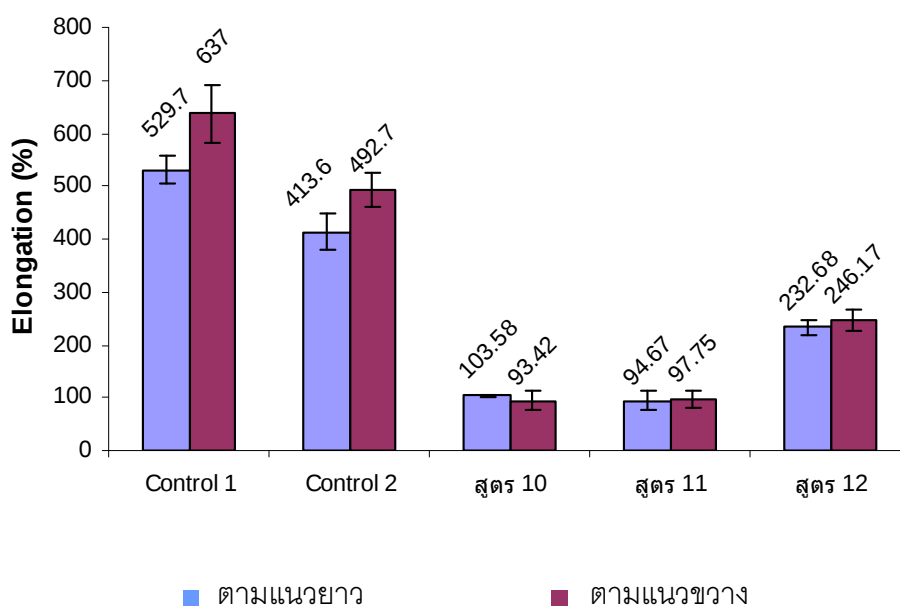
สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ด พลาสติกและแป้ง (%wt)			การเป่าขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	ENR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	ได้
10	50	50	20	10	1	ได้
11	50	50	20	10	3	ได้
12	50	50	20	10	5	ได้

Control 1 ถุง recycled PE

Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



รูป 3.7 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 10, 11 และ 12



รูป 3.8 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ PE-g-MA ต่างกัน ของสูตร 10, 11 และ 12

1.3 ศึกษาผลของชนิดของยาง (สารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ)

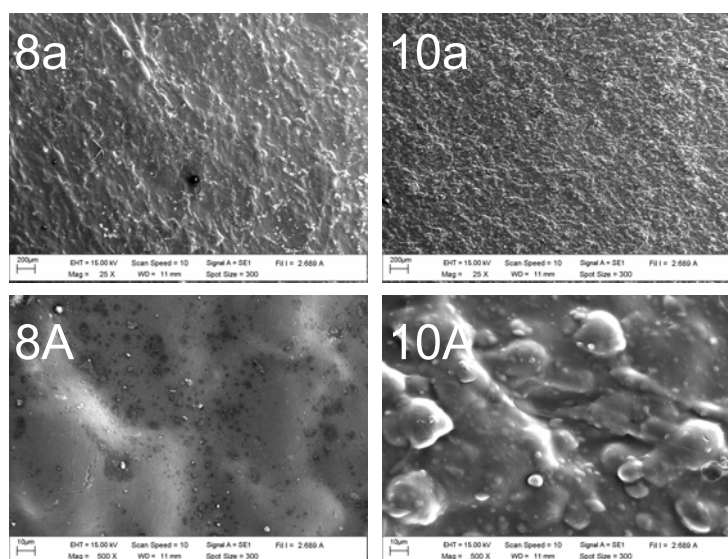
ศึกษาผลของชนิดของยางต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยใช้ยาง 2 ชนิด ได้แก่ NR และ ENR ผสมร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆตามสูตรการผสม (ตาราง 3.4) โดยมี 1%, 3% และ 5% PE-g-MA เป็นสาร compatibilizer จากการศึกษาพบว่าในกรณีของ NR ชิ้นงานที่มี 3% และ 5% PE-g-MA (สูตร 4 และ 9 ตามลำดับ) จะให้ลักษณะของชิ้นงานที่ดีไม่มีเม็ดเจลาของแป้งและยางปรากฏอยู่บนชิ้นงานเหมือนกับในกรณีการเติม 1% PE-g-MA (สูตร 8) ส่วนในกรณี ENR นั้นพบว่าที่ 1% PE-g-MA (สูตร 10) เท่านั้น ที่ให้ลักษณะชิ้นงานที่ดีโดยไม่มีเม็ดเจลาของแป้งและยางปรากฏอยู่บนชิ้นงาน และเมื่อดูลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM (รูป 3.9-10) พบอนุภาคของแป้งและยางกระจายอยู่ทั่วชิ้นงาน และมีขนาดของอนุภาคประมาณ 5-25 μm มีการแยกเฟสเกิดขึ้นเหมือนกับในกรณีของ NR ที่มีการเติม 3% และ 5% PE-g-MA (สูตร 4 และ 9 ตามลำดับ รูป 3.4-4 และ 3.4-9) ถึงแม้ว่ากรณีของ ENR จะใช้ PE-g-MA ในปริมาณที่น้อยกว่า แต่จากผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงานพบว่าให้ผลต่ำกว่าทุกควบคุมทั้ง 2 ชนิด และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณี NR พบว่าการเติม NR ให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานโดยภาพรวมดีกว่าในกรณีการเติม ENR (รูป 3.10 และ 3.11) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าหมู่ฟังก์ชันอิพ็อกไซด์บนสายโซ่โมเลกุลของ ENR มีผลน้อยมากในการเพิ่มระดับความเข้ากันได้ระหว่าง LDPE กับแป้ง จึงไม่มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของชิ้นงานให้ดีขึ้น ดังนั้น ในการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ยางชนิด NR เท่านั้นเพื่อศึกษาผลของปริมาณของยางต่อสมบัติต่างๆต่อไป

ตาราง 3.4 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของชนิดของยาง

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ด พลาสติกและแป้ง (%wt)				การเป่าขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	ENR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	-	ได้
8	50	50	20	10	-	1	ได้
4	50	50	20	10	-	3	ได้
9	50	50	20	10	-	5	ได้
10	50	50	20	-	10	1	ได้
11	50	50	20	-	10	3	ได้
12	50	50	20	-	10	5	ได้

Control 1 ถุง recycled PE

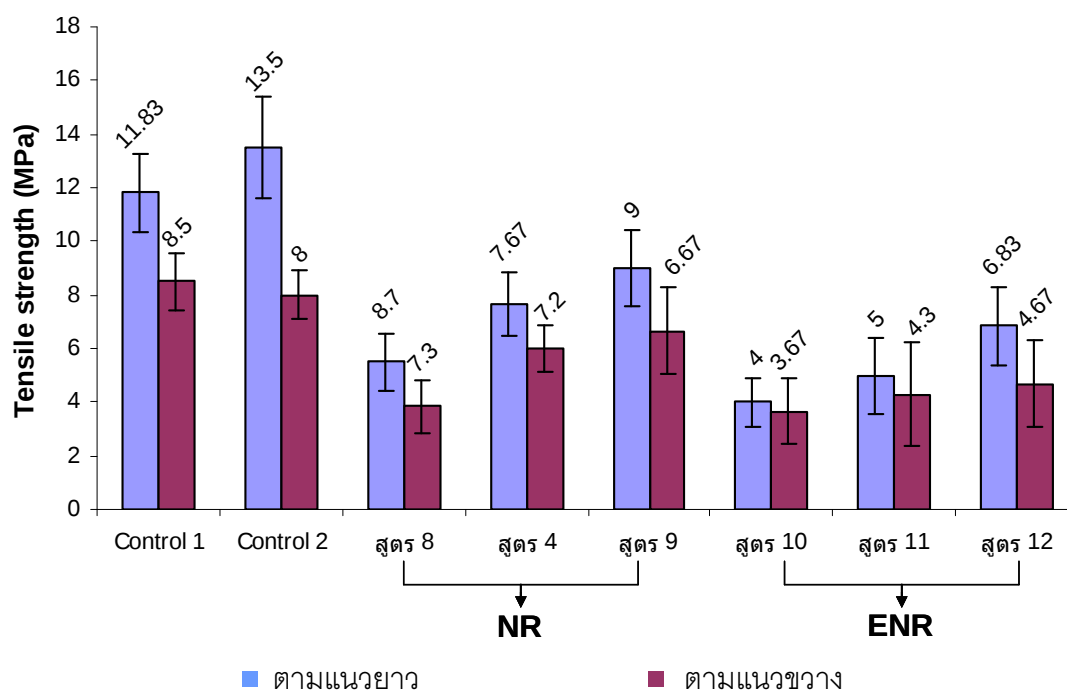
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



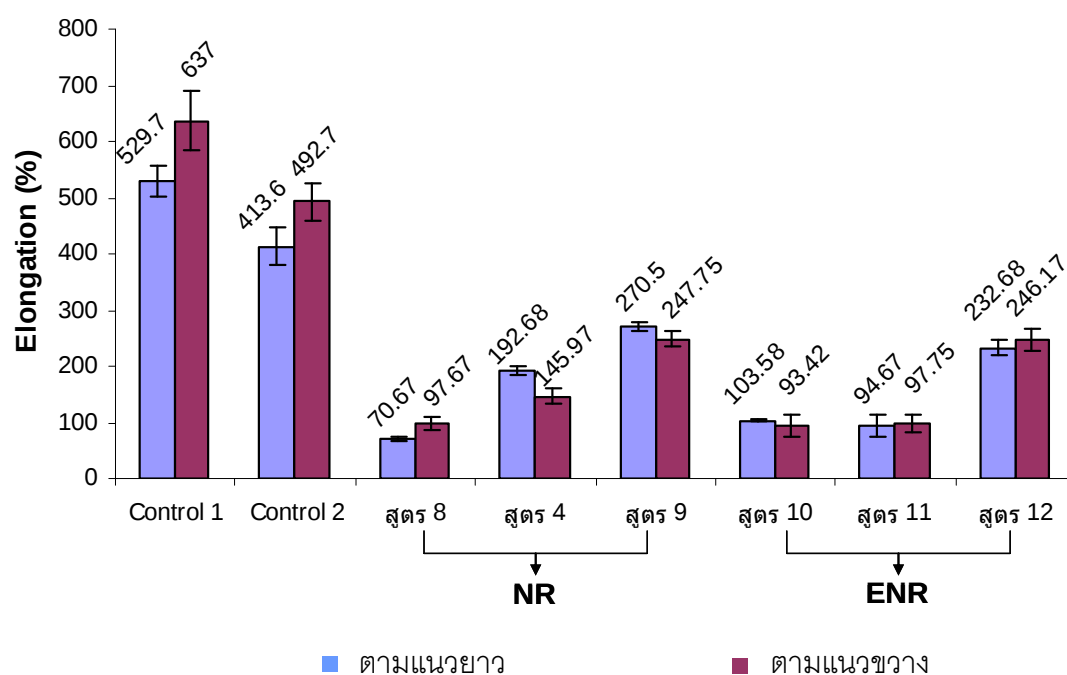
เมื่อ a คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.9 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีชนิดของยางต่างกันของสูตร 8 และ 10



รูป 3.10 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีชนิดของยางและปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4, 9, 10, 11 และ 12



รูป 3.11 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีชนิดของยางและปริมาณ PE-g-MA ต่างกันของสูตร 8, 4, 9, 10, 11 และ 12

1.4 ศึกษาผลของปริมาณ NR (สารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ)

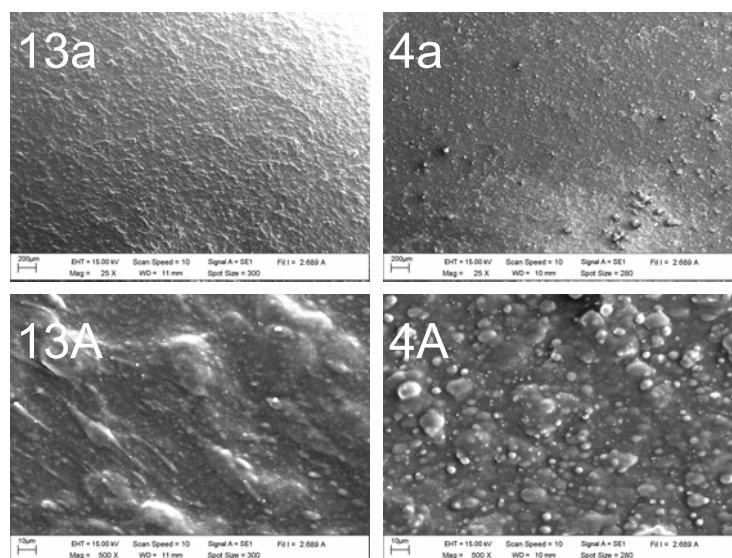
ศึกษาผลของปริมาณ NR ต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณ NR ที่เติมลงในสูตรการผสมเป็น 0, 10 และ 20% โดยน้ำหนักของ LDPE และแป้ง (ตาราง 3.5) จากผลการศึกษาพบว่าทุกสูตรการเตรียมสามารถเป่าขึ้นรูปได้และให้ลักษณะของชิ้นงานที่ดี และจากภาพถ่าย SEM จะเห็นได้ว่าชิ้นงานที่ไม่เติม NR (สูตร 13 (รูป 3.12-13)) มีลักษณะพื้นผิวที่เนียนเรียบกว่าสูตร 4 (NR 10% (รูป 3.12-4)) แต่พบการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคแป้งที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่ากระจายอยู่ทั่วชิ้นงานโดยมีขนาดของอนุภาคประมาณ 5-15 μm และมีการแยกเฟสเกิดขึ้น และเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกลให้ผลแสดงดังรูป 3.13 และ 3.14 จากผลการศึกษาพบว่า การเติม NR มีส่วนช่วยทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานสูงกว่าในกรณีที่ไม่เติม NR แต่เมื่อปริมาณ NR เพิ่มขึ้นเป็น 20% พบว่าไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานต่อแรงดึงมากนัก และในส่วนของการยืดตัวออกตามแนวยาวจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณ NR 10% (192.68%) ให้ค่าสูงกว่าในกรณี NR 0% และ 20% (157.58% และ 144.42% ตามลำดับ) และในส่วนของการยืดตัวออกตามแนวขวางนั้น พบว่าที่ปริมาณ NR 20% มีค่าสูงที่สุด (245.83%) ส่วนในกรณี 0% และ 10% NR ให้ค่าใกล้เคียงกันคือ 162.92% และ 145.97% ตามลำดับ ซึ่งโดยภาพรวมจะเห็นได้ว่าทั้ง 3 กรณีให้สมบัติด้านการยืดตัวออกไม่แตกต่างกันมากนัก แต่การเติม NR มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงของชิ้นงานให้ดีขึ้น โดยที่ 10% NR เป็นปริมาณที่เพียงพอในการปรับปรุงสมบัติดังกล่าว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับถุงควบคุมทั้ง 2 ชนิดพบว่า มีสมบัติเชิงกลที่ดีน้อยกว่าเนื่องจากชิ้นงานมีการแยกเฟสเกิดขึ้นดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ตาราง 3.5 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณ NR

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ด พลาสติกและแป้ง (%wt)			การเป่าขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	ได้
13	50	50	20	0	3	ได้
4	50	50	20	10	3	ได้
14	50	50	20	20	3	ได้

Control 1 ถุง recycled PE

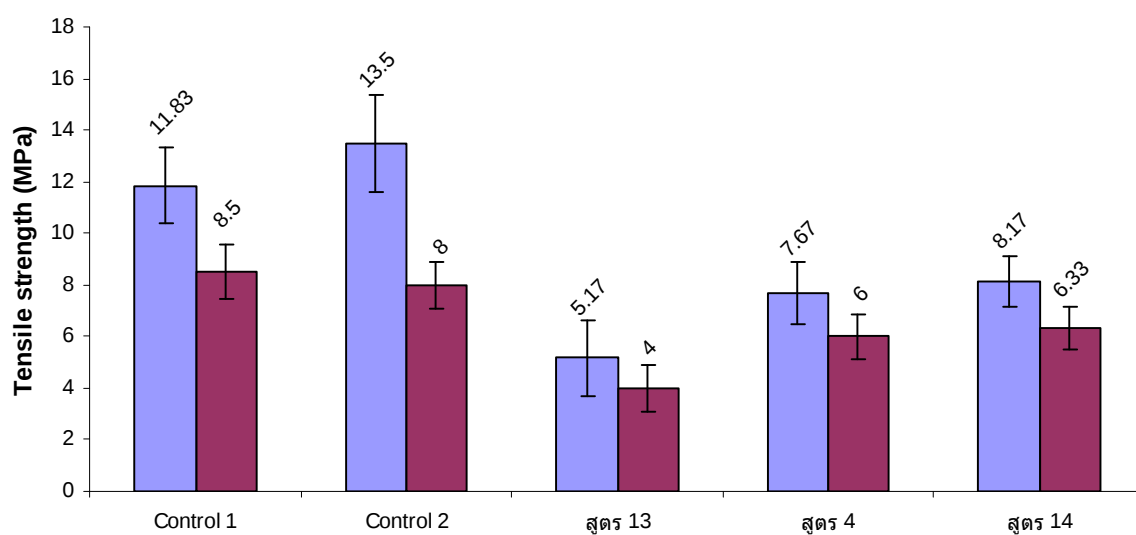
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



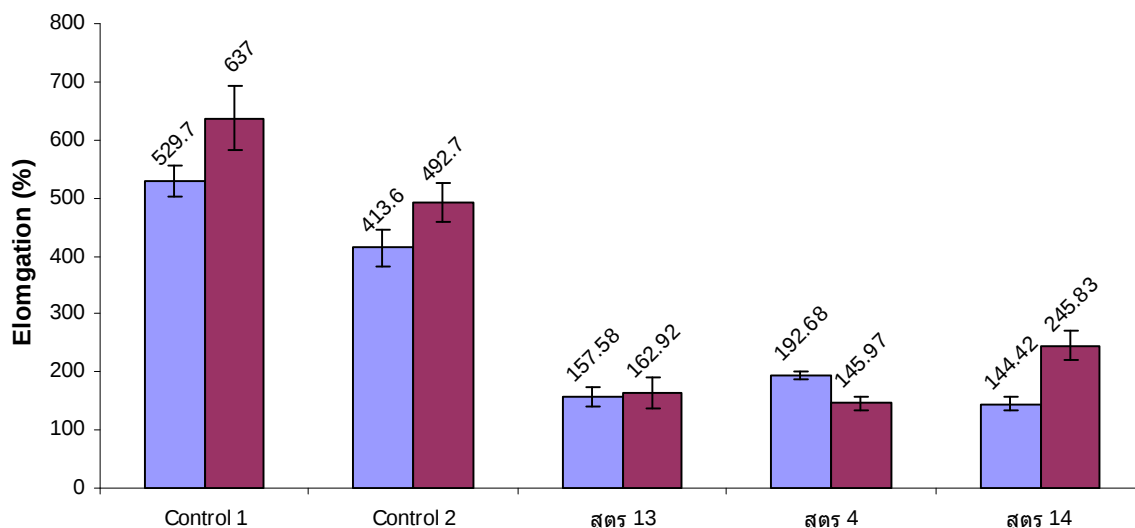
เมื่อ a คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.12 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีปริมาณ NR ต่างกันของสูตร 13 และ 4



รูป 3.13 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ NR ต่างกันของ สูตร 13, 4 และ 14



รูป 3.14 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณ NR ต่างกันของ สูตร 13, 4 และ 14

1.5 ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล (Plasticizer)

ศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอลต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานโดยปรับเปลี่ยนปริมาณกลีเซอรอลเป็น 0%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักของ LDPE และแบ่ง ตามสูตรการผสมดังตาราง 3.6 จากผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอล 30% (สูตร 16) ไม่สามารถทำการเป่าขึ้นรูปได้ ทั้งนี้กลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม (Plasticizers) เมื่อเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมต่างๆผสมกันไม่ได้ดี เนื่องจากส่วนผสมจะมีลักษณะที่หนึ่เกินไปทำให้ไม่มีแรงเชื่อมมากพอที่จะทำให้ส่วนผสมต่างๆผสมเข้ากันได้ สำหรับกรณีที่ไม่เติมกลีเซอรอล (สูตร 15) และเติม 10% กลีเซอรอล (สูตร 4) นั้น พบว่าชิ้นงานสามารถเป่าขึ้นรูปได้ อีกทั้งยังให้ลักษณะของชิ้นงานที่ดีไม่ปรากฏเม็ดเจลของแป้งและยางอยู่บนชิ้นงานและเมื่อทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM (รูป 3.15) พบว่าสูตร 15 ที่ไม่เติมกลีเซอรอลมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคแป้งและยางที่มีขนาดใหญ่กว่า (ขนาดอนุภาคประมาณ 5-25 μm รูป 3.15-15) ในกรณีชิ้นงานที่เติม 20% กลีเซอรอล (สูตร 4) (ขนาดอนุภาคประมาณ 5-15 μm รูป 3.15-4)

รูป 3.16 และ 3.17 แสดงสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่มีการเติมกลีเซอรอล 0% และ 20% จากรูป 3.16 จะเห็นได้ว่าชิ้นงานทั้งสองมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่าถุงควบคุมทั้ง 2 ชนิด และการเติม 20% กลีเซอรอล (สูตร 4) ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงด้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของชิ้นงานที่ไม่เติมกลีเซอรอล (สูตร 15) แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การเติม 20% กลีเซอรอลมีส่วนช่วยให้ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติมกลีเซอรอล โดยให้

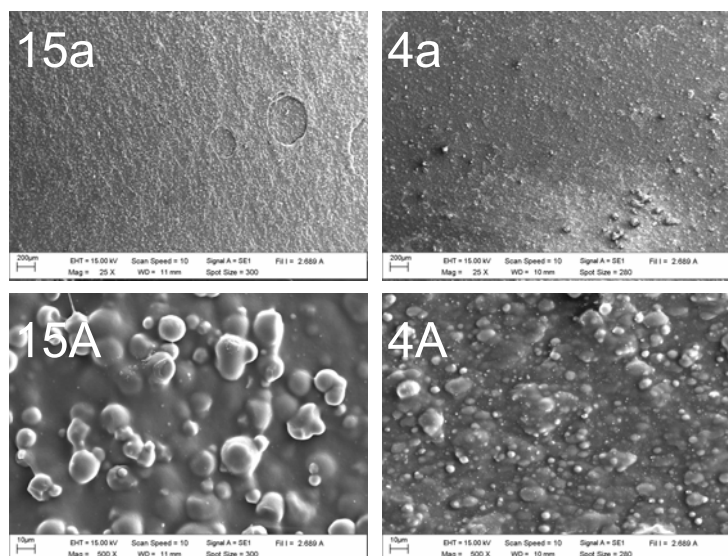
ค่าที่สูงกว่าทั้งตามแนวยาวและตามแนวขวาง (192.68% ตามแนวยาว และ 145.97% ตามแนวขวาง กรณี 20% กลีเซอรอล, 22.42% ตามแนวยาว และ 12.5% ตามแนวขวาง กรณี 0% กลีเซอรอล)

ตาราง 3.6 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของปริมาณกลีเซอรอล

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ด พลาสติกและแป้ง (%wt)			การเป่าขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	ได้
15	50	50	0	10	3	ได้
4	50	50	20	10	3	ได้
16	50	50	30	10	3	ไม่ได้

Control 1 ถุง recycled PE

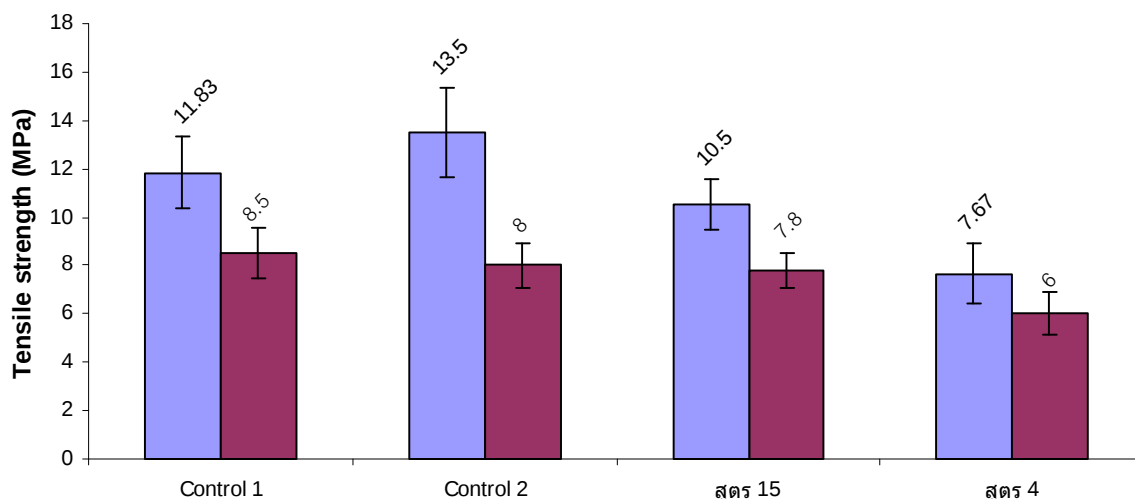
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



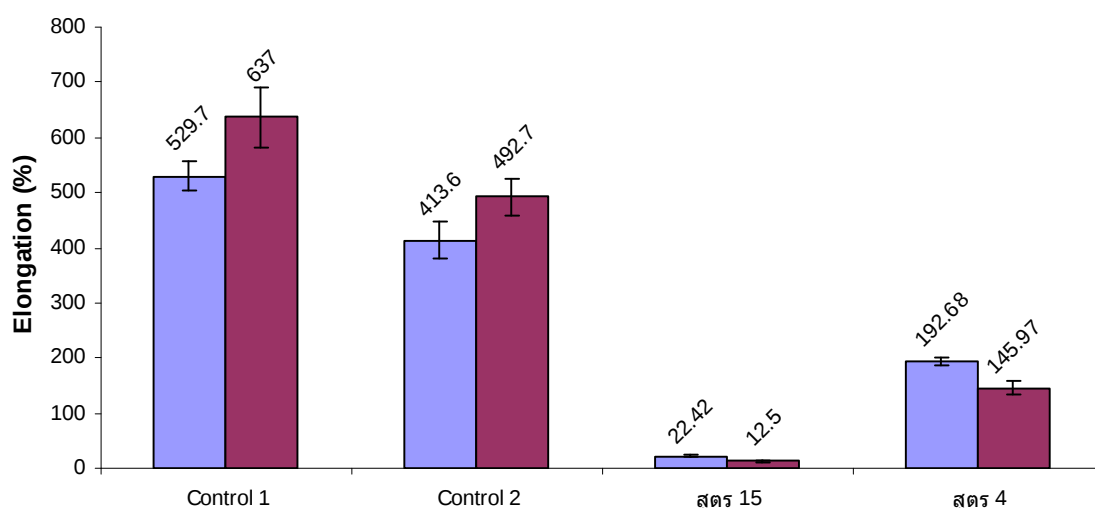
เมื่อ a คือภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.15 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกันของสูตร 15 และ 4



รูป 3.16 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน ของสูตร 15 และ 4



รูป 3.17 ค่า %Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มีปริมาณกลีเซอรอลต่างกัน ของสูตร 15 และ 4

1.6 ศึกษาผลของปริมาณแป้งดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (SDDSA)

ศึกษาผลของปริมาณแป้งดัดแปร ชนิด SDDSA ซึ่งมีอัตราส่วนโมลระหว่างหน่วย dehydroglucose ของแป้ง : DDSA เป็น 1:0.1, 1:1 และ 1:2 (SDDSA1, SDDSA2 และ SDDSA3 ตามลำดับ) เทียบกับชิ้นงานที่มีการเติม PE-g-MA ในปริมาณที่เท่ากัน (1%) (สูตร 8) โดยผสมรวมกับ องค์ประกอบอื่นๆตามปริมาณที่กำหนด (ตาราง 3.7) จากผลการศึกษาพบว่าชิ้นงานที่มีการเติมแป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิดสามารถเป่าขึ้นรูปได้ แต่ปรากฏลักษณะเม็ดเจลของแป้งและยางอยู่บนชิ้นงาน และเมื่อ ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่มีการเติมแป้งดัดแปรด้วยเทคนิค SEM พบว่าลักษณะพื้นผิวสูตร

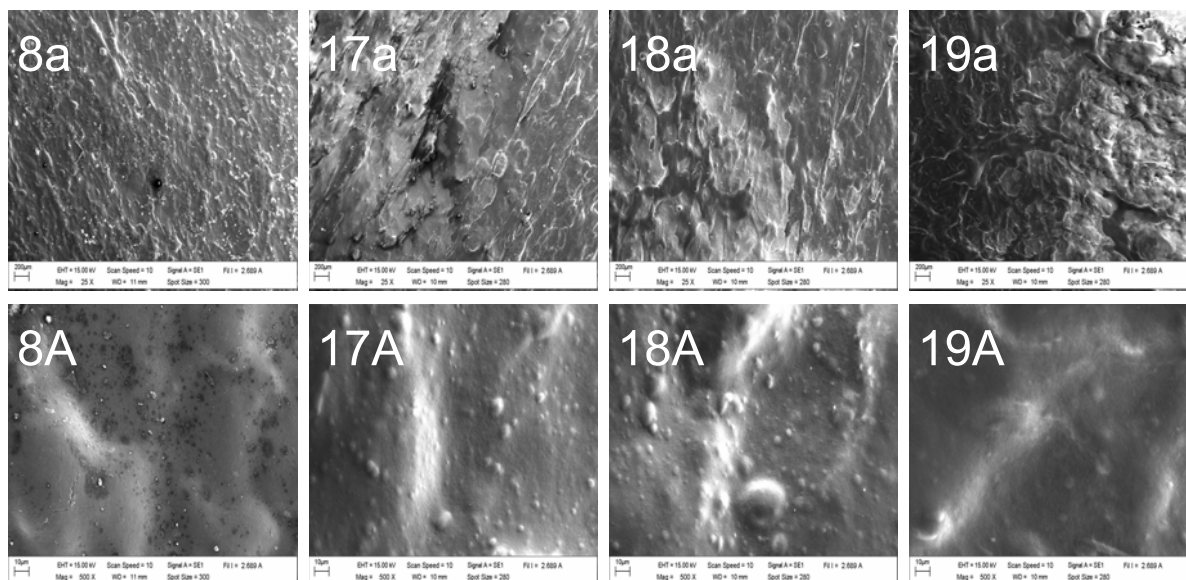
19 (รูป 3.18-19) มีลักษณะพื้นผิวเรียบเช่นเดียวกับชิ้นงานสูตร 8 (รูป 3.18-8) ส่วนสูตร 17 และ 18 (รูป 3.18-17 และ 3.19-18 ตามลำดับ) พบอนุภาคนาขนาดเล็กกระจายตัวทั่วชิ้นงาน (อนุภาคนาขนาดประมาณ 1-10 μ m) และจากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ของชิ้นงานที่มีการเติม 1% PE-g-MA (สูตร 8) มีค่าโดยภาพรวมที่ดีกว่ากรณีชิ้นงานที่มีการใช้แป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิด ขณะที่เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ใช้แป้งดัดแปรทั้ง 3 ชนิดพบว่าให้ผลไม่ต่างกันมากนัก (รูป 3.19 และ 3.20)

ตาราง 3.7 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของการใช้แป้งดัดแปรด้วย DDSA

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติก และแป้ง (%wt)				การเป่า ขึ้นรูป
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA	แป้งดัดแปร	
Control 1	-	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	-	ได้
8	50	50	20	0	1	-	ได้
17	50	50	20	10	-	1(SDDSA1)	ได้
18	50	50	20	10	-	1(SDDSA2)	ได้
19	50	50	20	10	-	1(SDDSA3)	

Control 1 ถุง recycled PE

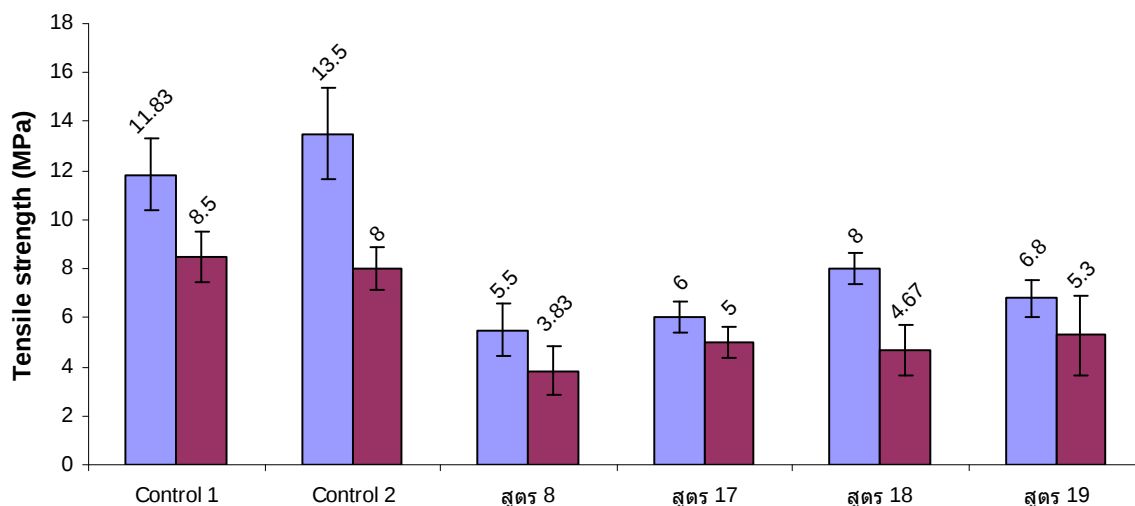
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



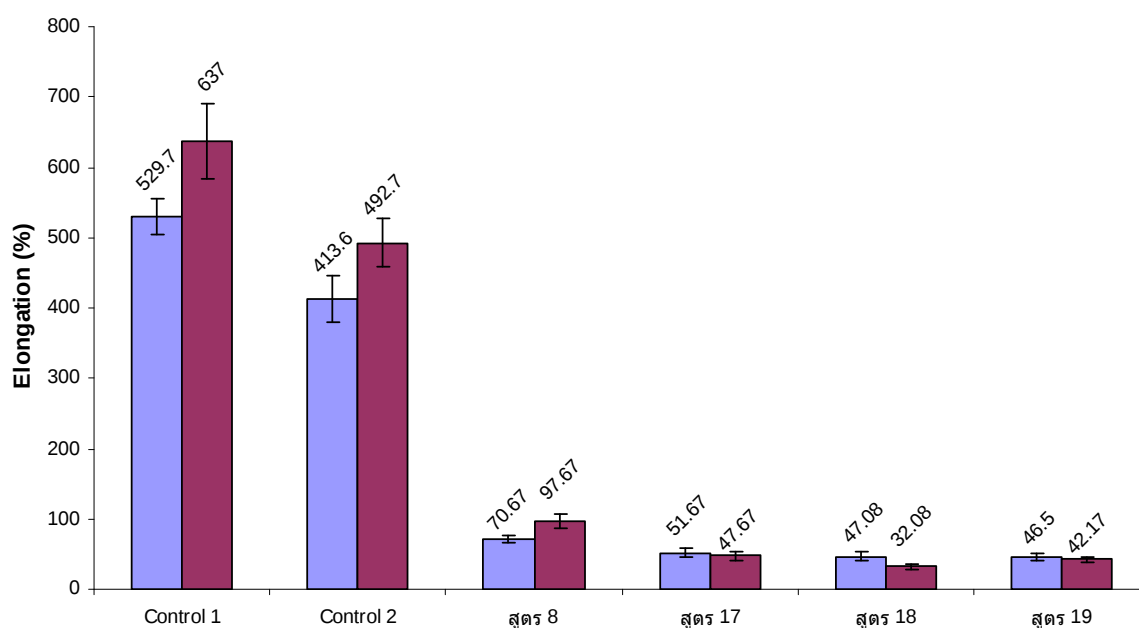
เมื่อ a คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.18 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มี 1% PE-g-MA (สูตร 8) และ 1% แป้งดัดแปร DDSA (สูตร 17, 18 และ 19)



รูป 3.19 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี 1% PE-g-MA (สูตร 8) และ 1% แป้งดัดแปรเป็นสารเชื่อมประสาน (สูตร 17, 18 และ 19)



รูป 3.20 ค่า % Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี 1% PE-g-MA (สูตร 8) และ 1% แป้งดัดแปรเป็นสารเชื่อมประสาน (สูตร 17, 18 และ 19)

1.7 ศึกษาผลของปริมาณของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด Ecoflex เปรียบเทียบกับ NR

เปรียบเทียบผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นชนิด Ecoflex ต่อลักษณะทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่มีปริมาณแป้ง 30, 40 และ 50% (สูตร 20, 21 และ 22 ตามลำดับ) และเปรียบเทียบกับผลกับกรณีการใช้ NR เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (สูตร 4) โดยการผสมร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆตามสูตร

การผสมดังแสดงในตาราง 3.8 ซึ่งเป็นสูตรที่ได้จากการศึกษาปัจจัยต่างๆข้างต้นและมีการเพิ่ม LLDPE 10% เฉพาะในกรณีที่ใช้ Ecoflex เพื่อเพิ่มสมบัติความแข็งแรงเหนียวของแผ่นฟิล์มและเพื่อสามารถเป่าแผ่นฟิล์มที่บางกว่าในกรณีที่ไม่มีการเติม LLDPE เลย

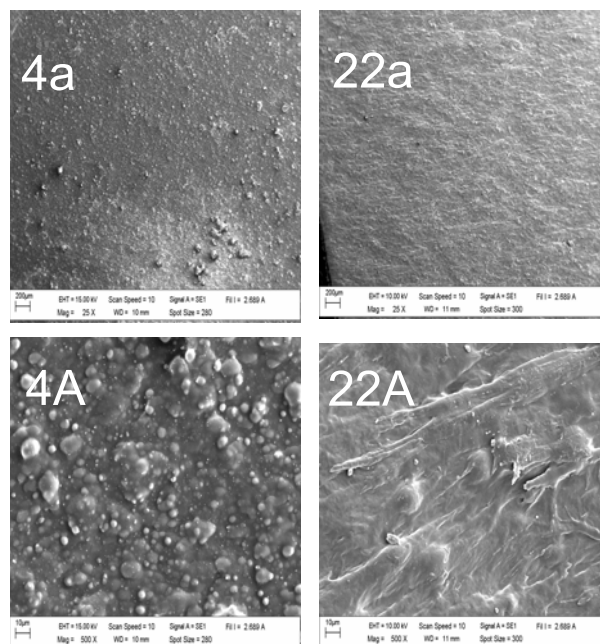
จากผลการศึกษาพบว่าทุกสูตรการผสมสามารถเป่าขึ้นรูปได้ และให้ลักษณะของถุงที่ดี ไม่ปรากฏเม็ดเจลของแป้งและสารเพิ่มความยืดหยุ่นบนชิ้นงาน และเมื่อดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานด้วยเทคนิค SEM พบว่าชิ้นงานที่มี 10% NR เป็นองค์ประกอบ (สูตร 4 รูป 3.21-4) มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ และมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคแป้งจำนวนมาก ในขณะที่ชิ้นงานที่มี 20% Ecoflex (สูตร 22 รูป 3.21-22) พบว่ามีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเนียนเรียบ และมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคแป้งในปริมาณที่น้อยกว่า และจากผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน พบว่าการใช้ 20% Ecoflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นมีผลทำให้ชิ้นงานมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดสูงกว่าในกรณีการใช้ NR (รูป 3.22 และ 3.23) นอกจากนี้ยังพบว่าทุกสูตรการเตรียมที่มี Ecoflex เป็นองค์ประกอบ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นจาก 30 เป็น 50 ส่วนโดยน้ำหนัก (สูตร 20, 21 และ 22) ยังคงพบว่าค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดตามแนวยาวของชิ้นงานมีค่าใกล้เคียงกับถุง LDPE บริสุทธิ์ (รูป 3.23) ทั้งนี้อาจเนื่องจาก Ecoflex มีหมู่คาร์บอนิลอยู่ในสายโซ่โมเลกุลซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของแป้งได้ จึงมีผลทำให้ชิ้นงานมีความเข้ากันได้และมีสมบัติเชิงกลที่ดีซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้รับจากเทคนิค SEM ในขณะที่ NR เป็นไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยหน่วยไอโซพรีนต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลที่ยาวและไม่มีขั้วจึงไม่สามารถเข้ากันได้กับโมเลกุลของแป้งซึ่งมีขั้ว

ตาราง 3.8 สูตรการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเพื่อศึกษาผลของการใช้ NR และ Ecoflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)				ร้อยละโดยน้ำหนัก รวมของเม็ดพลาสติก และแป้ง (%wt)			การเป่า ขึ้นรูป
	LDPE	LLDPE	Ecoflex	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA	
Control 1	-	-	-	-	-	-	-	-
Control 2	100	-	-	-	-	-	-	ได้
4	50	-	-	50	20	10	3	ได้
20	40	10	20	30	20	-	3	ได้
21	30	10	20	40	20	-	3	ได้
22	20	10	20	50	20	-	3	ได้

Control 1 ถุง recycled PE

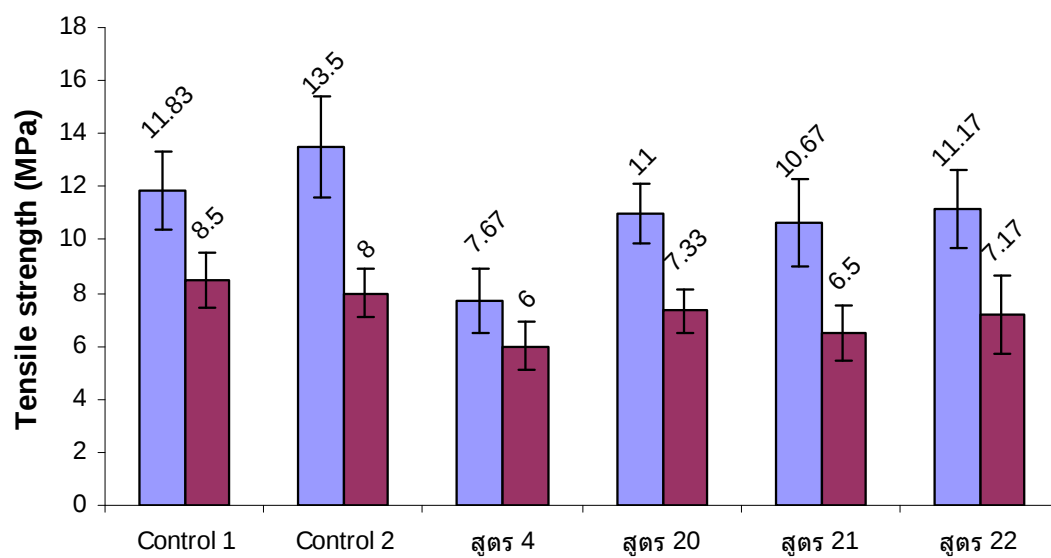
Control 2 ถุง LDPE บริสุทธิ์



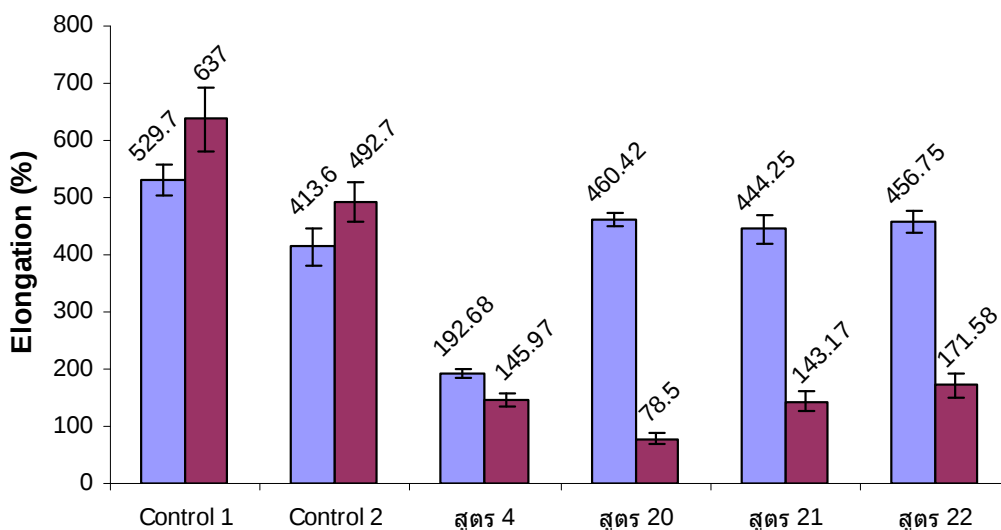
เมื่อ a คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 25 เท่า

A คือ ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 500 เท่า

รูป 3.21 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีสารเพิ่มความยืดหยุ่นต่างกันของสูตร 4 และ 22



รูป 3.22 ค่า Tensile strength ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี NR (สูตร 4) และ Ecloflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (สูตร 20, 21 และ 22)

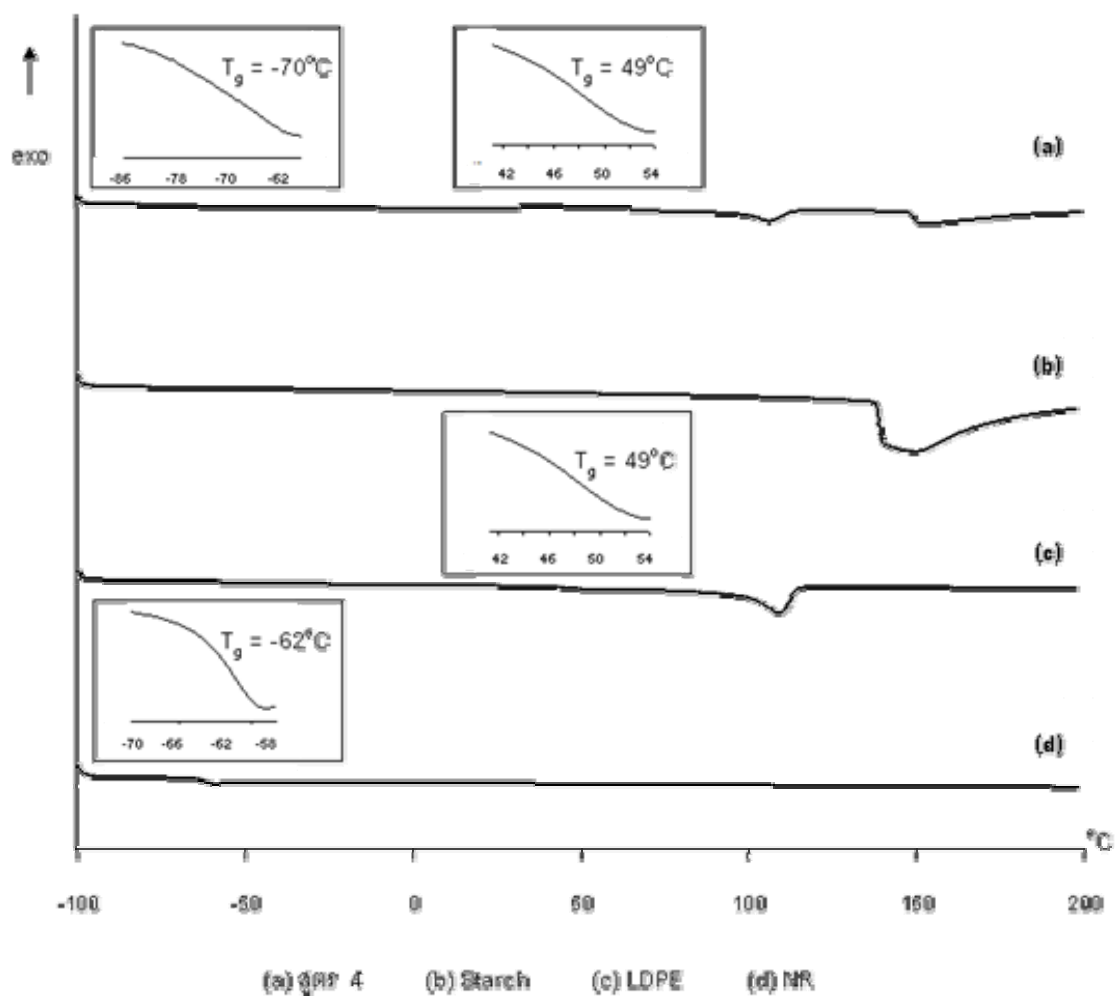


รูป 3.23 ค่า % Elongation ของ Control 1, Control 2 และชิ้นงานที่มี NR (สูตร 4) และ Ecloflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น (สูตร 20, 21 และ 22)

2. ผลการตรวจสอบเชิงความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC)

ในการทดลองนี้ ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของพอลิเมอร์ผสมสูตร 4 และสูตร 22 เพื่อเป็นตัวแทนของพอลิเมอร์สูตรที่มี NR และ ecoflex เป็นส่วนประกอบ ตามลำดับ เตรียมสารตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิกรัม ในถ้วยอะลูมิเนียม (Aluminium pan) ทำการตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง METTLER TOLEDO โดยการให้ความร้อนเริ่มต้นจาก -100°C จนถึง 200°C ด้วยอัตราเร็ว $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ จากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสูตร 4 (รูป 3.24 (a)) พบว่าชิ้นงานตัวอย่างมีค่า T_g และ T_m ที่ใกล้เคียงกับสารผสมเริ่มต้นก่อนการผสม กล่าวคือ มีค่า T_g เท่ากับ -70°C และ 49°C ซึ่งเป็นค่า T_g ณ ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับ NR (-62°C) และ LDPE (49°C) ตามลำดับ ส่วนค่า T_m พบว่ามีค่า เท่ากับ 107°C และ 153°C (T_m ของ LDPE เท่ากับ 110°C และ T_m ของแป้งเท่ากับ 149°C ตามลำดับ) สรุปผลสมบัติทางความร้อนในตาราง 3.9 จากการที่พอลิเมอร์ผสมมีการปรากฏค่า T_g และ T_m ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับสารเริ่มต้นก่อนผสมชี้ให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มีการแยกเฟสของแต่ละองค์ประกอบในระดับไมครอนเกิดขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวและผลการตรวจสอบสมบัติเชิงกลดังได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

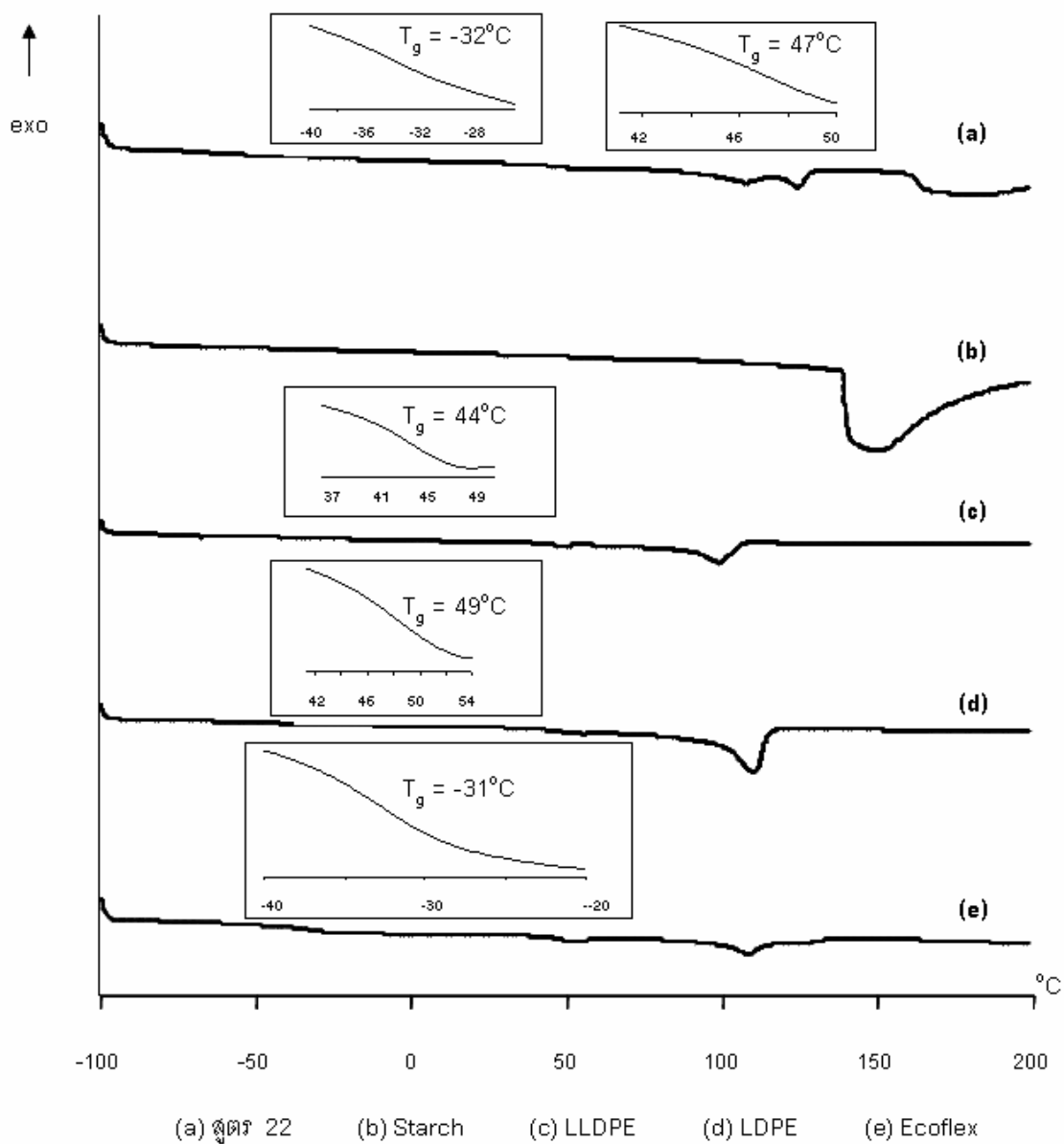
ในขณะที่ชิ้นงานพอลิเมอร์ผสมสูตร 22 ซึ่งมี Ecloflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นนั้น (รูป 3.25 (a)) พบว่ามีสมบัติทางความร้อนเป็นไปในทำนองเดียวกับสูตร 4 คือมีการปรากฏค่า T_g และ T_m ที่ใกล้เคียงกับสารเริ่มต้นก่อนผสม ดังแสดงในตาราง 3.10 ซึ่งแสดงถึงการเกิดการแยกเฟสในระดับไมครอนเช่นกัน



รูป 3.24 DSC เทอร์โมแกรมของ a) ชิ้นงานตัวอย่างสูตร 4, b) แป้ง, c) LDPE และ d) NR

ตาราง 3.9 สมบัติเชิงความร้อนของแป้ง, LDPE, NR และชิ้นงานตัวอย่างสูตร 4

ตัวอย่าง	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)
แป้ง	-	149
LDPE	49	110
NR	-62	-
ชิ้นงานสูตร 4	-70, 49	107, 153



รูป 3.25 DSC เทอร์โมแกรมของ a) ชิ้นงานตัวอย่างสูตร 22, b) แป้ง, c) LLDPE, d) LDPE และ e) Ecoflex

ตาราง 3.10 สมบัติเชิงความร้อนของแป้ง, LLDPE, LDPE, Ecoflex และชิ้นงานตัวอย่างสูตร 22

ตัวอย่าง	T_g ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)
แป้ง	-	149
LLDPE	44	99
LDPE	49	110
Ecoflex	-31	51, 108
ชิ้นงานสูตร 22	-32, 47	51, 107, 124

สรุปผลการทดลอง (บทที่ 3)

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการดัดแปรโครงสร้างของแป้งและยางธรรมชาติไม่มีผลมากนักในการเพิ่มระดับความเข้ากันได้ระหว่าง LDPE และแป้ง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขั้นตอนการเตรียมถุงและต้นทุนการผลิต จึงเลือกใช้แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรโครงสร้างเป็นสารชีวภาพ โดยใช้ 10% NR เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพและใช้ 3% PE-g-MA เป็นสาร Compatibilizer เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม 20% กลีเซอรอล มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น เมื่อศึกษาผลของสารเพิ่มความยืดหยุ่นระหว่าง NR และ Ecoflex พบว่าสารทั้ง 2 ชนิดมีส่วนช่วยให้สามารถเป่าขึ้นรูปได้ โดยชิ้นงานที่มี Ecoflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นจะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ Ecoflex แทน NR จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น เนื่องจากราคาต่อหน่วยของ Ecoflex สูงกว่า NR (Ecoflex ราคา 380 บาท/กก และ NR ราคา 55 บาท/กก) แม้ว่าชิ้นงานที่มี NR เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นจะมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ Ecoflex แต่ชิ้นงานที่เตรียมได้ก็ยังคงมีสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถเป่าขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในการเลือกสูตรถุงปลูกเพื่อใช้ในการทดลองปลูกกล้าพริกและโหลสตรอเบอรี่ ซึ่งต้องการให้ถุงเกิดการย่อยสลายในระยะเวลาประมาณ 1 เดือน และถุงสำหรับปลูกต้นพริก ซึ่งต้องการให้ถุงย่อยสลายในระยะเวลาประมาณ 6 เดือน จึงสนใจเลือกใช้ทั้ง NR และ Ecoflex เป็นส่วนผสมในการเตรียมถุงปลูกร่วมกับส่วนผสมอื่นๆ ดังแสดงในตาราง 3.11 และมีต้นทุนวัสดุในการเตรียมถุงในแต่ละสูตรดังแสดงในตาราง 3.12 โดยสูตรทั้ง 5 สูตรนี้จะใช้ชื่อใหม่เป็นสูตร 1-5 เพื่อใช้ในการวิจารณ์ในบทที่ 4 ต่อไป

ตาราง 3.11 สูตรถุงปลูกสำหรับปลูกกล้าพริก ต้นพริกและสตรอเบอรี่

ชื่อ สูตร ใหม่	ชื่อสูตร เก่าจาก ตาราง 3.1-3.8	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (wt/wt)				ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของ เม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)			ขนาด ถุง ปลูก	ระยะเวลา เป่าหมาย การใช้งาน
		LDPE	LLDPE	Ecoflex	แป้ง	NR	Glycerol	PE-g-MA		
1	3	60	-	-	40	10	20	3	3"x5"	1 เดือน
2	4	50	-	-	50	10	20	3	3"x5"	1 เดือน
3	20	40	10	20	30	-	20	3	8"x13"	6 เดือน
4	21	30	10	20	40	-	20	3	2"x4"	1 เดือน
5	22	20	10	20	50	-	20	3	2"x4"	1 เดือน

หมายเหตุ : สูตร 1 และ 2 เป็นสูตรในการเตรียมถุงปลูกกล้าพริก

สูตร 3 เป็นสูตรในการเตรียมถุงปลูกต้นพริก

สูตร 4 และ 5 เป็นสูตรในการเตรียมถุงสำหรับปลูกโหลสตรอเบอรี่

ตาราง 3.12 ประมาณราคาวัตถุดิบและต้นทุนการผลิต

วัตถุดิบ	ราคา (บาท/ กก)	สูตร 1		สูตร 2		สูตร 3		สูตร 4		สูตร 5	
		ปริมาณ การใช้ (กรัม)	ราคา (บาท/ กก)	ปริมาณ การใช้ (กรัม)	ราคา (บาท/ กก)	ปริมาณ การใช้ (กรัม)	ราคา (บาท/ กก)	ปริมาณ การใช้ (กรัม)	ราคา (บาท/ กก)	ปริมาณ การใช้ (กรัม)	ราคา (บาท/ กก)
LDPE	47.00	451.13	21.20	375.94	17.67	325.20	15.28	243.90	11.46	162.60	7.64
LLDPE	52.00	-	-	-	-	81.30	4.23	81.30	4.23	81.30	4.23
Ecoflex	380.00	-	-	-	-	162.60	61.79	162.60	61.79	162.60	61.79
แป้ง	32.00	300.75	9.62	375.94	12.03	243.90	7.80	325.20	10.41	406.50	13.01
NR	55.40	75.19	4.17	75.19	4.17	-	-	-	-	-	-
Glycerol	79.30	150.37	11.92	150.37	11.92	162.60	12.89	162.60	12.89	162.60	12.89
PE-g- MA	280.00	22.56	6.32	22.56	6.32	24.39	6.83	24.39	6.83	24.39	6.83
รวม		1 กก	53.23	1 กก	52.11	1 กก	108.84	1 กก	107.61	1 กก	106.39
ปริมาณการผลิต/kg		28.20 ถุง		28.20 ถุง		32.52 ถุง		121.95 ถุง		121.95 ถุง	
ขนาดถุงปลูก		3"x5"		3"x5"		8"x13"		2"x4"		2"x4"	
ราคา/ถุง		1.89 บาท		1.85 บาท		3.06 บาท		0.88 บาท		0.87 บาท	

จากการประเมินราคาถุงสูตร 1-5 ซึ่งมีขนาดต่างกันดังแสดงในตาราง 3.12 พบว่าราคาถุงยังมีราคาที่ยังสูงเพื่อเทียบกับถุงเพาะหรือถุงปลูกที่เกษตรกรใช้กันอยู่ในปัจจุบัน (ตาราง 3.13) ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมสูตรนั้น จะต้องทำการผสมส่วนผสมต่างๆ (compound) ไว้ก่อนแล้วจึงนำไปเป่าถุง ซึ่งในขั้นตอนการเป่านั้นมีการสูญเสียส่วนผสมไปค่อนข้างมาก อาจเนื่องจากการไม่เข้ากันโดยสมบูรณ์ของส่วนผสมต่างๆ ทำให้เกิดเป็นเม็ดแป้งหรือยางขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการฉีกขาดระหว่างการเป่า จึงทำให้เป่าได้ถุงบางส่วนจากการเป่าทั้งหมดเท่านั้น นอกจากนี้ ถุงที่เป่าได้บางสูตรยังมีลักษณะที่หนา ด้วยปัญหาเหล่านี้ทำให้จำนวนถุงที่เป่าได้จึงมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักสารที่ผสมเริ่มต้นทั้งหมด ทำให้ราคาต้นทุนวัสดุต่อถุงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับราคาถุงที่ใช้จริงในปัจจุบัน ซึ่งหากทำการประมาณราคาต้นทุนการผลิตทั้งหมด เช่น ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้าและค่าเครื่องมือที่ใช้เข้าไปรวมด้วย ทำให้ราคาถุงต่อหน่วยมีค่าสูงมาก อย่างไรก็ตาม จะต้องมีการพัฒนาสูตรถุงย่อยสลายเพิ่มเติมเพื่อให้ได้สูตรที่สามารถเป่าได้อย่างต่อเนื่องและมีความบาง ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตอย่างมาก

ตาราง 3.13 สรุปราคาถุงปลูกย่อยสลายสูตร 1-5 เทียบกับราคาถุงที่ใช้จริงในปัจจุบัน

ถุงสูตร	ขนาดถุง	วัตถุประสงค์การใช้งาน	ราคาต้นทุนวัสดุ (บาท/ถุง)	ราคาถุงที่ใช้จริงในปัจจุบัน (บาท/ถุง)
1	3"x5"	ถุงเพาะกล้าพริก	1.89	0.32 บาท/ถุง (ถุงขาวนมเล็ก)
2			1.85	
3	8"x13"	ถุงปลูกต้นพริก	3.06	1 บาท/ถุง (ถุงขาวนมใหญ่)
4	2"x4"	ถุงเพาะไหลสตรอเบอรี่	0.88	0.06 บาท/ถุง (ถุงดำ)
5			0.87	

บทที่ 4

การทดสอบการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่าง

ในบทนี้เป็นการศึกษาผลของการย่อยสลายของถุงปลูกซึ่งมีปริมาณแบ่งต่าง ๆ กัน (ตาราง 3.11) ภายหลังจากผ่านการใช้งานของถุงปลูกกล้าพริก (สูตร 1 และ 2), ถุงปลูกต้นพริก (สูตร 3) และถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ (สูตร 4 และ 5) โดยติดตามผลของการย่อยสลายจากการศึกษาสมบัติเชิงกล การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงาน และการศึกษาน้ำหนักที่หายไปของถุงตัวอย่างหลังการใช้งานที่ระยะเวลาการต่าง ๆ กันเปรียบเทียบกับน้ำหนักถุงปลูกเริ่มต้น และศึกษาผลของการใช้ถุงปลูกต่อการเจริญเติบโตของพริกและสตรอเบอรี่ โดยวิเคราะห์จากความสูงของต้นและผลผลิตต่อต้นเมื่อเทียบกับการใช้ถุงแบบปกติ โดยมีเกณฑ์ความสำเร็จของถุงเพาะกล้าพริกและไหลสตรอเบอรี่เมื่อครบ 1 เดือน และเกณฑ์ของถุงปลูกพริกเมื่อครบ 6 เดือนแล้วนั้น แบ่งเป็น 2 เกณฑ์ ดังนี้

1. ถุงสามารถรูปอยู่ได้ตลอดระยะเวลาการเพาะหรือการปลูก
2. ประเมินผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่ในถุงตัวอย่างเมื่อเทียบกับถุงควบคุมว่าผลผลิตได้เท่ากับหรือดีกว่าถุงควบคุม

โดยก่อนการนำถุงปลูกไปใช้จริง ได้มีการศึกษาการย่อยสลายของถุงสูตรที่มีแบ่ง 40% และแบ่ง 50% ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาแนวโน้มการย่อยสลายของถุงตัวอย่างในช่วงเวลา 45 วัน โดยได้เลือกถุงตัวอย่างสูตร 1 (ใช้รหัส E40) และสูตร 2 (ใช้รหัส E50) เพื่อทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ

ดังนั้น หัวข้อผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองในบทนี้ มีดังนี้

1. การทดสอบการย่อยสลายของถุงตัวอย่างในระดับห้องปฏิบัติการ
2. การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อใช้ในการปลูกพริกชูเปอร์ฮอต
 - 2.1 การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างจากการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และการหาปริมาณน้ำหนักที่หายไปหลังการใช้งาน
 - 2.2 การศึกษาผลของการใช้ถุงย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก
3. การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อใช้ในการชำไหลและปลูกสตรอเบอรี่
 - 3.1 การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างจากการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และการหาน้ำหนักที่หายไปหลังการใช้งาน
 - 3.2 การศึกษาผลของการใช้ถุงย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสตรอเบอรี่

1. การทดสอบการย่อยสลายของถุงตัวอย่างในระดับห้องปฏิบัติการ

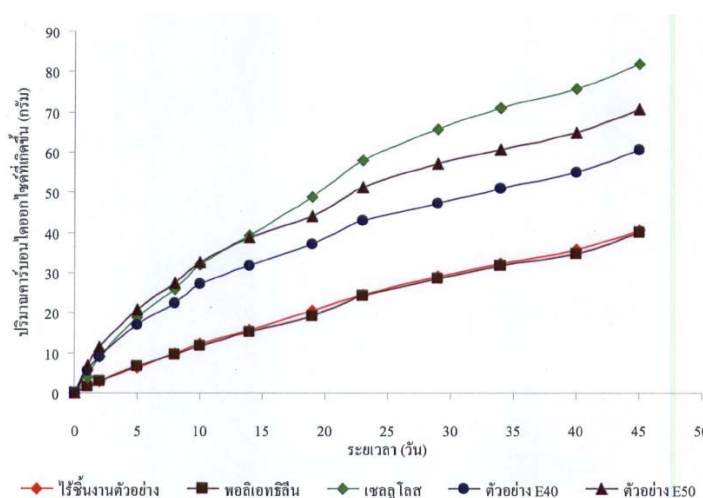
การเตรียมชิ้นตัวอย่าง

เตรียมชิ้นวัสดุตัวอย่างโดยการตัดแผ่นตัวอย่างสูตร 1 (E40) และตัวอย่างสูตร 2 (E50) เป็นชิ้นขนาด $2.0 \times 2.0 \times 0.1$ เซนติเมตร โดยแหล่งจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร และมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน

วิธีการทดสอบ

การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพทำโดยผสมแหล่งจุลินทรีย์ 360 กรัม (น้ำหนักแห้ง) กับตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ 36 กรัม (น้ำหนักแห้ง) คลุกเคล้าให้เข้ากันใส่ในขวดทดสอบขนาด 2 ลิตร แล้วต่อเข้ากับเครื่องมือทดสอบ โดยทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มพลาสติก E40 2 ซ้ำ ชิ้นงานตัวอย่างฟิล์มพลาสติก E50 2 ซ้ำ เซลลูโลส ฟิล์มพอลิเอทิลีน 2 ซ้ำ และแหล่งจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียวเพื่อใช้ในการทดสอบแบบไร้ชิ้นงานตัวอย่าง (blank) จำนวน 2 ซ้ำ ในการทดสอบ ขวดทดสอบทั้งหมดอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมและช่วงเวลาเดียวกัน ทำการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณการไหลเข้าของอากาศ

ขั้นตอนการทดสอบเริ่มต้นผ่านอากาศที่ปราศจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าขวดทดสอบให้เพียงพอต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ระดับของออกซิเจนในขวดทดสอบไม่ต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ ของอากาศที่ผ่านออกมาจากขวดทดสอบ ระหว่างการทดสอบต้องควบคุมปริมาณแสงโดยทำการทดสอบในที่มืด ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ $58 \pm 2^{\circ}\text{C}$ และตรวจการผ่านเข้าออกของอากาศเพื่อป้องกันการรั่วในระบบอย่างสม่ำเสมอ มีระบบดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของชิ้นงานตัวอย่าง ผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของชิ้นงานตัวอย่างและแหล่งจุลินทรีย์แสดงดังรูป 4.1



รูป 4.1 แสดงน้ำหนักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของชิ้นงานตัวอย่างและแหล่งจุลินทรีย์

การวิเคราะห์และการแปลผล

คำนวณหาค่าเฉลี่ยสุทธิ (จากการทดลองสองซ้ำ) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของชิ้นงานตัวอย่าง โดยการลบด้วยค่าเฉลี่ยสุทธิ (จากการทดสอบสามครั้ง) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบแบบไร้ชิ้นงานตัวอย่าง (blank) (รูป 4.1)

$$\text{การย่อยสลายทางชีวภาพ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{C_g(\text{test}) - C_g(\text{blank})}{C_i} \times 100$$

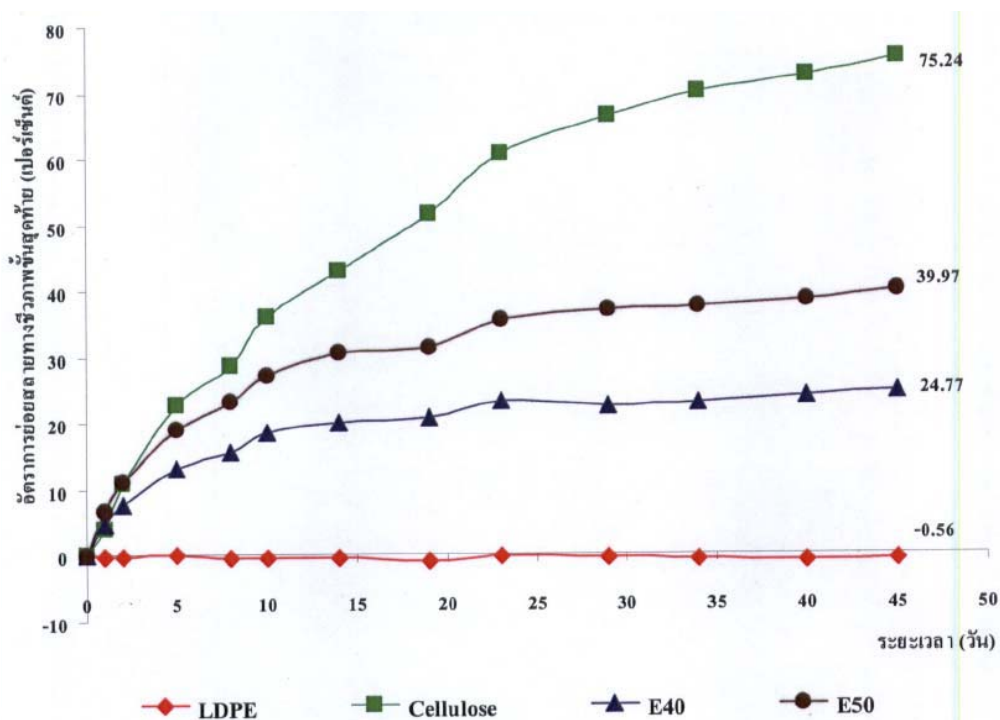
เมื่อ

$C_g(\text{test})$ คือค่าเฉลี่ยสุทธิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการย่อยสลายชิ้นงานตัวอย่าง

$C_g(\text{blank})$ คือค่าเฉลี่ยสุทธิของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการทดสอบแบบไร้ชิ้นงานตัวอย่าง

C_i คือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดในชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณ

การทดสอบการย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะการหมักที่มีการควบคุม พบว่า เซลลูโลส (สารมาตรฐานเชิงบวก) แตกสลายทางชีวภาพขั้นสุดทำได้ 75.24 (± 5.59 , SD) เปอร์เซ็นต์ (รูป 4.2) ในขณะที่ตัวอย่างฟิล์มพลาสติก E40 และ ฟิล์มพลาสติก E50 แตกสลายทางชีวภาพขั้นสุดทำได้ 24.77 (± 2.19 , SD) และ 39.97 (± 4.32 , SD) เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และไม่พบว่าฟิล์มพอลิเอทิลีน (สารมาตรฐานเชิงลบ) เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ ค่าที่วัดได้เท่ากับ -0.56 (± 1.45 , SD) เปอร์เซ็นต์ ภายใต้ระยะเวลาการทดสอบเดียวกัน คือ 45 วัน จากผลการศึกษานี้จึงสามารถสรุปได้ว่าถุงที่มีแบ่ง 50% มีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่เร็วกว่าและมากกว่าถุงที่มีแบ่ง 40%



รูป 4.2 กราฟแสดงอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของเซลลูโลสและแผ่นฟิล์มตัวอย่าง

2. การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อใช้ในการปลูกพริกขี้หนูเปอร์ฮอต

ทดสอบการปลูกพริกขี้หนูเปอร์ฮอตในระบบวัสดุปลูก (Substrate) ภายใต้โรงเรือนที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สไลใหม่ ต.โป่งแยง อ.แม่วิม จ.เชียงใหม่ ทั้งนี้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) การทดสอบการย่อยสลายของถุงในระยะเพาะกล้า จำนวน 3 ชนิด คือ ถุงเพาะกล้าพลาสติก (control) ถุงเพาะกล้าที่ผสมแป้ง 40% และผสมแป้ง 50% ซึ่งเริ่มดำเนินการในเดือนมีนาคม-เดือนเมษายน พ.ศ. 2552 และช่วงหลังย้ายลงถุงปลูก ซึ่งเริ่มย้ายลงถุงปลูกวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

2) การทดสอบการย่อยสลายของถุงปลูก ขนาด 8x13 นิ้ว และถุงพลาสติกเดิมที่บรรจุวัสดุปลูก วางแผนการทดสอบถุงในระยะเพาะกล้าแบบ CRD (Completely Randomized Design) และวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) สำหรับการทดสอบถุงในระยะย้ายปลูกจำนวน 3 กรรมวิธีๆ ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 คือ ถุงเพาะกล้าพลาสติก (control)
- กรรมวิธีที่ 2 คือ ถุงปลูกสูตรผสมแป้ง 40%
- กรรมวิธีที่ 3 คือ ถุงปลูกสูตรผสมแป้ง 50%

ส่วนถุงปลูกขนาด 8x13 นิ้ว ที่ทดสอบในครั้งนี้มีจำนวน 2 สูตร ได้แก่ ถุงพลาสติกที่ใช้ปลูกเดิม และถุงพลาสติกตัวอย่างที่ผสมแป้ง 30% โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design)

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

1. การเพาะกล้า

แช่เมล็ดในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50-55 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหยอดเมล็ดในถาดหลุมที่บรรจุวัสดุเพาะ (media) รดน้ำให้ชุ่มแล้วนำไปบ่มในตู้ที่บแสง (รูป 4.3)



ก)



ข)



ค)

รูป 4.3 การเพาะและบ่มเมล็ดพริกขี้หนูเปราะฮอท

ก) การเพาะเมล็ดพริกขี้หนูเปราะฮอทลงในถาดหลุม

ข) และ ค) การนำไปบ่มในตู้ที่บแสง

2. การย้ายกล้า

เมื่อต้นกล้าอายุ 14 วัน หรือมีใบจริง 1-2 ใบ ย้ายลงปลูกในถุงเพาะขนาด 3x6 นิ้ว 3 ชนิด คือ ถุงเพาะกล้าปกติ (control), ผสมแฉ่ง 40% และผสมแฉ่ง 50% จำนวนถุงละ 2 ต้น (รูป 4.4)



ก)



ข)



ค)

รูป 4.4 ต้นกล้าพริกขี้หนูเปราะฮอทอายุ 14 วัน ที่ย้ายปลูกในถุงเพาะกล้า 3 สูตร

ก) ถุงเพาะกล้าปกติ (control)

ข) ถุงผสมแฉ่ง 40 %

ค) ถุงผสมแฉ่ง 50 %

3. การย้ายปลูก

นำกาบมะพร้าวสับบรรจุลงในถุงขนาด 8×13 นิ้ว 2 ชนิด คือ ถุงปลูกปกติ (control) และถุงตัวอย่างผสมแยม 30% นำถุงวางเรียงเป็นแถวโดยให้ระหว่างถุงห่าง 50 เซนติเมตร และระหว่างแถวห่าง 1 เมตร ปล่อน้ำแช่กาบมะพร้าวทิ้งไว้ 2 วัน จากนั้นเจาะรูด้านข้างถุงสูงจากก้นถุง 1-2 นิ้ว เพื่อระบายน้ำออก และย้ายต้นกล้าลงปลูก (รูป 4.5)



รูป 4.5 ก) ต้นพริกซูเปอร์ฮอทที่เพาะกล้าในถุง 3 ชนิด และย้ายลงปลูกในถุงขนาด 8×13 นิ้ว

จำนวน 2 ชนิด คือ ถุงปลูกปกติ (control) และผสมแยม 30%

ข) ต้นพริกซูเปอร์ฮอทที่ปลูกในระบบ Substrate ภายใต้โรงเรือนโดยให้น้ำและปุ๋ยผ่านหัวน้ำหยด

4. การให้น้ำและปุ๋ย

ให้น้ำและปุ๋ยไปพร้อมกันในรูปของสารละลายโดยใช้ระบบน้ำหยด สำหรับปริมาณที่ให้อยู่กับช่วงระยะการเจริญเติบโตของต้นพริกและสภาพอากาศในแต่ละวัน

5. การเก็บผลผลิต

เมื่อผลพริกเปลี่ยนเป็นสีแดง ชั่งน้ำหนักผลสด จากนั้นนำไปตากแดดและชั่งน้ำหนักผลแห้ง โดยเก็บเกี่ยวผลจนกระทั่งแล้วเสร็จ (รูป 4.6)



รูป 4.6 ลักษณะผลพริกชูปเปอร์ฮอตสีแดงที่พร้อมเก็บเกี่ยว

6. การบันทึกข้อมูล

6.1 ด้านกายภาพและน้ำหนักถุงตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาต่าง ๆ ดังนี้

6.1.1 ถุงเพาะขนาด 3 x5 นิ้ว : ชั่งน้ำหนักจำนวน 4 ครั้ง ได้แก่ ก่อนปลูก หลังย้ายปลูก 1, 2.5 และ 5 เดือน โดยนำถุงมาล้างให้สะอาดและผึ่งลมให้แห้งก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statistic 8.0

6.1.2 ถุงปลูกขนาด 8 x13 นิ้ว : ชั่งน้ำหนักถุงก่อนปลูก และหลังปลูก 5 เดือน โดยนำถุงมาล้างให้สะอาดและผึ่งลมให้แห้งก่อนนำมาชั่งน้ำหนัก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statistic 8.0

6.1.3 การวัดสมบัติความทนแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machine (model WDW-5E) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยเตรียมแผ่นชิ้นงานตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1 x 5 ตร.ซม. ความยาวเริ่มต้นของตัวอย่างที่ทดสอบ (Gage length) คือ 30 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการดึง 10 mm/min และกำลังในการดึง (Load cell) 1 kN โดยทำการทดสอบทั้งตามแนวยาวและแนวขวางของแผ่นตัวอย่าง

6.1.4 วัดลักษณะพื้นผิวแผ่นพลาสติกด้วยเครื่อง LEO 1455 VP scanning electron micrometer (SEM) และทำการถ่ายภาพพื้นผิวที่กำลังขยาย 500 เท่า เพื่อดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวชิ้นงานก่อนและหลังการใช้งาน

6.2 การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพริกชูปเปอร์ฮอต

6.2.1 การเจริญเติบโต : บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต โดยวัดความ สูงทุกสัปดาห์ พร้อมทั้ง บันทึกลักษณะและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสีรากของพริกชูปเปอร์ฮอต

6.2.2 การให้ผลผลิต : บันทึกข้อมูลของผลผลิต โดยชั่งน้ำหนักผลสดและผลแห้ง

โดยในการวิจารณ์ผลการทดลองได้แบ่งรายละเอียดการศึกษาเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

1. การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างโดยการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค Scanning electron microscope (SEM) และการหาปริมาณน้ำหนักที่หายไป
2. การศึกษาผลของการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชที่ได้จากการใช้ถุงปลูกที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ

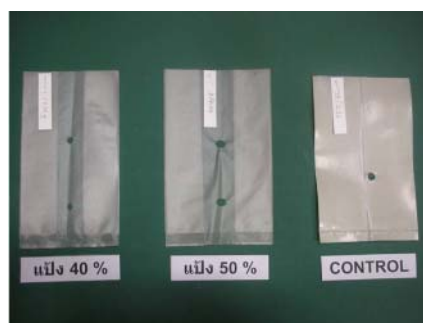
2.1 การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างจากการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และการหาปริมาณน้ำหนักที่หายไปหลังการใช้งาน

2.1.1 กรณีถุงตัวอย่างที่ใช้เพาะกล้าพริก

ถุงตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเพื่อเพาะกล้าพริกมีอยู่ 3 ตัวอย่าง ได้แก่

- ถุงที่มีแบ่ง 40% (สูตร 1)
- ถุงที่มีแบ่ง 50% (สูตร 2)
- ถุงปลูกปกติ (ถุง LDPE)

รูป 4.7 แสดงลักษณะถุงเพาะกล้าก่อนใช้งานและหลังการใช้งานแล้ว 1 และ 5 เดือน พบว่าหลังการใช้งานแล้ว ถุงที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบเกิดเป็นตะไคร่น้ำสีเขียวเกาะตามผิวของถุงด้านในทั้งนี้เนื่องจากถุงตัวอย่างมีความใสมากกว่าถุงปกติ แสงจึงสามารถส่องผ่านได้และเกิดเป็นตะไคร่น้ำได้ง่าย ซึ่งส่งผลเสียต่อต้นพริกเนื่องจากตะไคร่น้ำอาจเกิดการแย่งธาตุอาหารของพืชในดิน ดังนั้นการเตรียมถุงตัวอย่างครั้งต่อไป ควรทำให้ถุงตัวอย่างทึบแสงเพื่อลดการเกิดเป็นตะไคร่น้ำขณะทำการปลูกพริก รูป 4.8 แสดงลักษณะถุงเพาะกล้าทั้งสามชนิดที่อายุ 5 เดือน



ก) ก่อนปลูก



ข) หลังจากผ่านการปลูก 1 เดือน



ค) หลังผ่านการปลูก 5 เดือน

รูป 4.7 ลักษณะถุงเพาะกล้า ก) ก่อนการใช้งาน ข) หลังการใช้งาน 1 เดือน และ ค) หลังการใช้งาน 5 เดือน



ก)



ข)

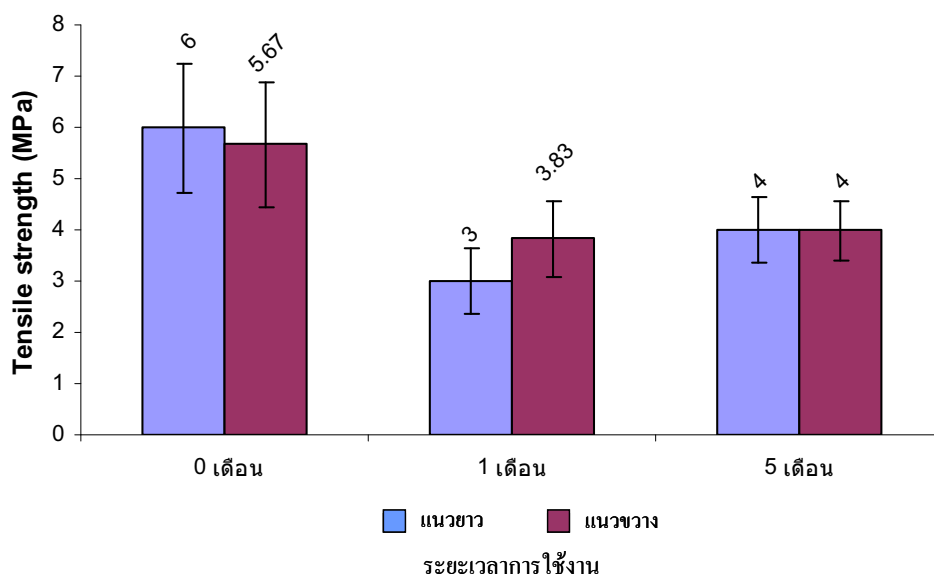


ค)

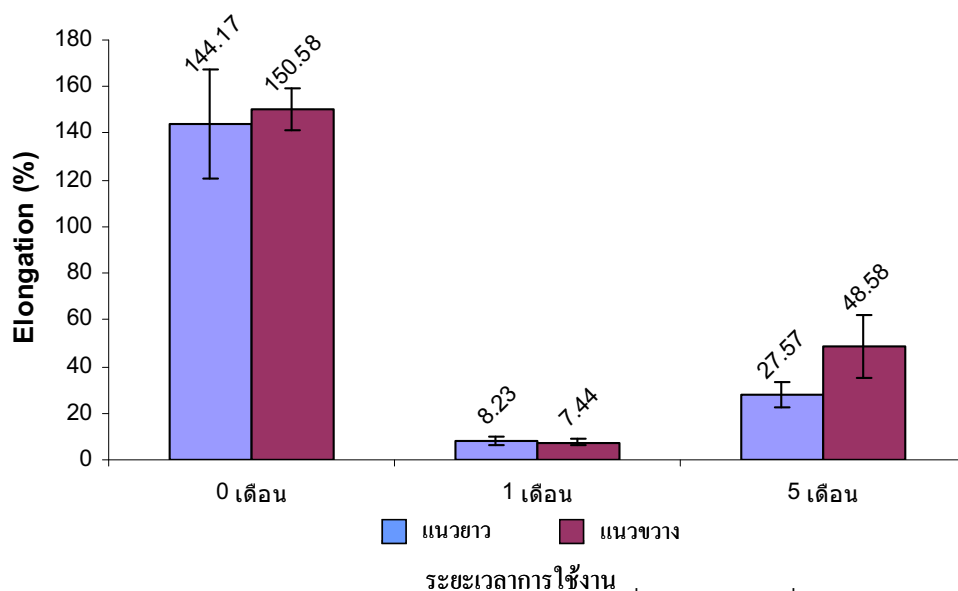
รูป 4.8 ลักษณะถุงเพาะกล้าชนิดต่างๆ ที่อายุ 5 เดือน ก) ถุงเพาะกล้าปกติ (control) ข) ถุงผสมแป้ง 40 % และ ค) ถุงผสมแป้ง 50 %

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการศึกษสมบัติความทนแรงดึงและค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด พบว่าถุงปลูกทุกสูตรที่มีแป้งเป็นส่วนผสมเมื่อผ่านการใช้งานแล้ว มีค่าความทนแรงดึงไม่แตกต่างกับในกรณีของถุงปลูกเริ่มต้นมากนัก (รูป 4.9 และ 4.11) แต่มีค่าความยืด ณ จุดขาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น (ก่อนใช้งาน) (รูป 4.10 และ 4.12) ในขณะที่ถุงปกติ (ถุง LDPE) ซึ่งใช้เป็นถุงควบคุมยังคงมีสมบัติเชิงกลที่ไม่แตกต่างกับตอนเริ่มต้นมากนัก (รูป 4.13 และ 4.14) ซึ่งจากผลที่ได้รับอาจกล่าวได้ว่าในกรณีของถุงปลูกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบเมื่อผ่านการใช้งาน

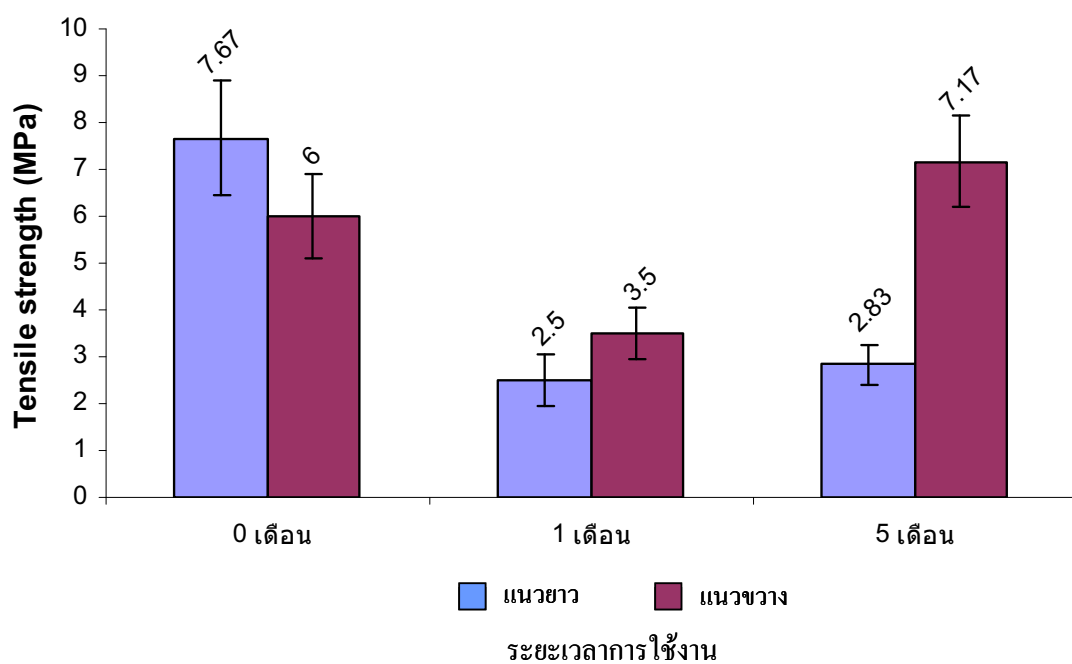
แล้วจะเกิดการเสียสภาพของชิ้นงานเนื่องจากการย่อยสลายของแป้งเกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจากผลที่ได้รับไม่สามารถระบุแนวโน้มได้ชัดเจนว่าปริมาณแป้งและระยะเวลาในการใช้งานที่ต่างกันมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานแตกต่างกันหรือไม่ เนื่องจากชิ้นงานอาจเกิดการเสียสภาพก่อนแล้ว



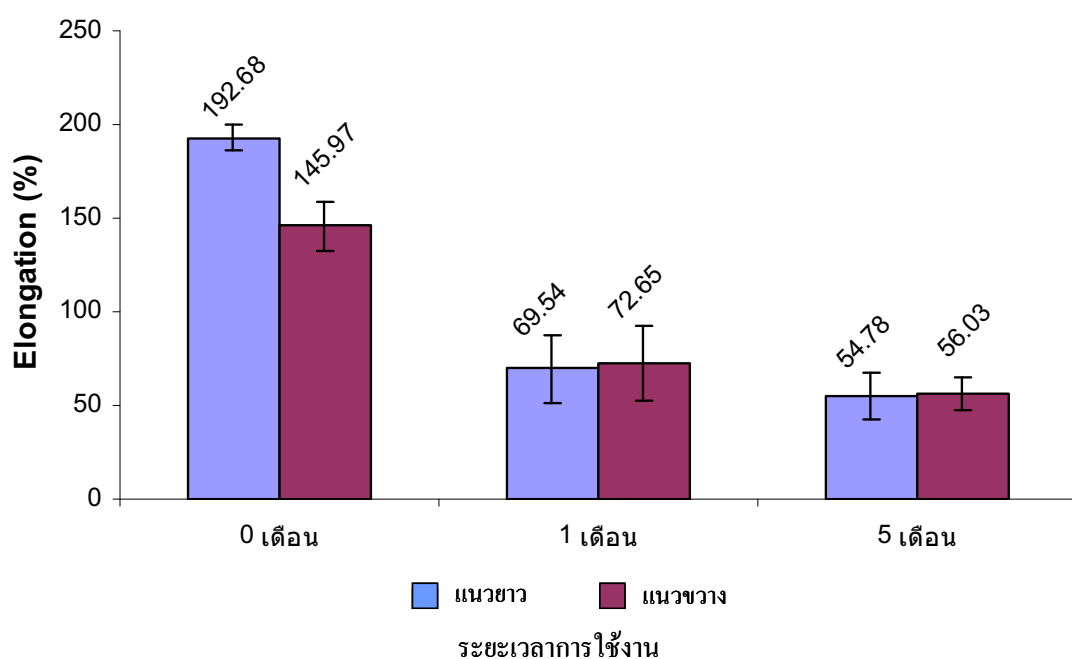
รูป 4.9 ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแป้ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน



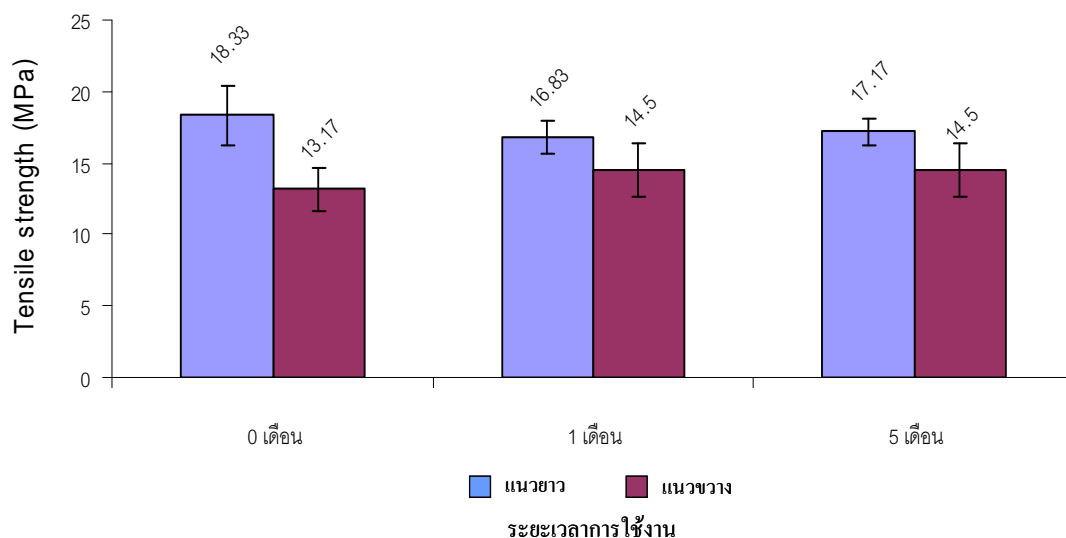
รูป 4.10 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแป้ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน



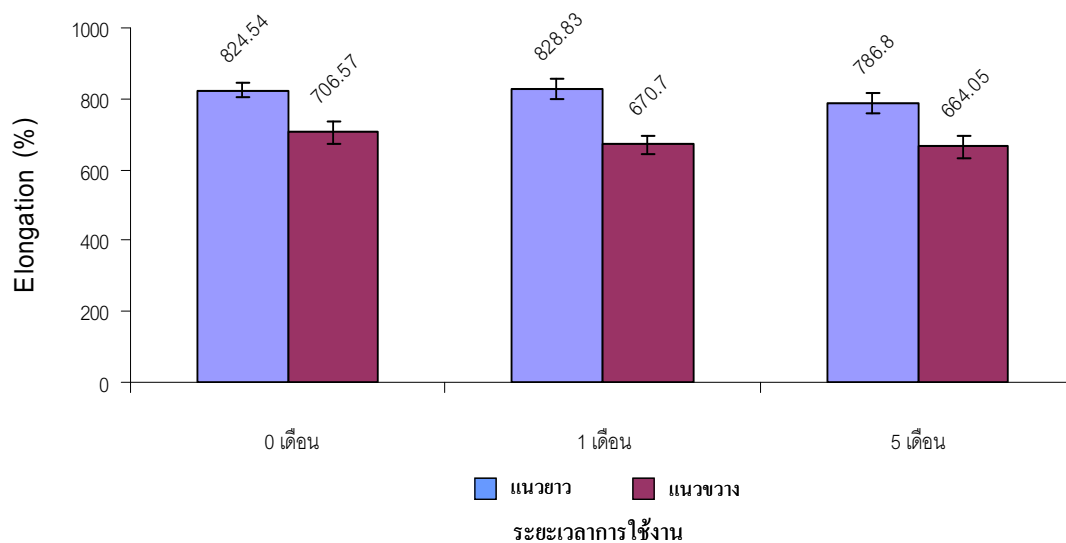
รูป 4.11 ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแป้ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน



รูป 4.12 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงปลูกกล้าพริกที่มีแป้ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน



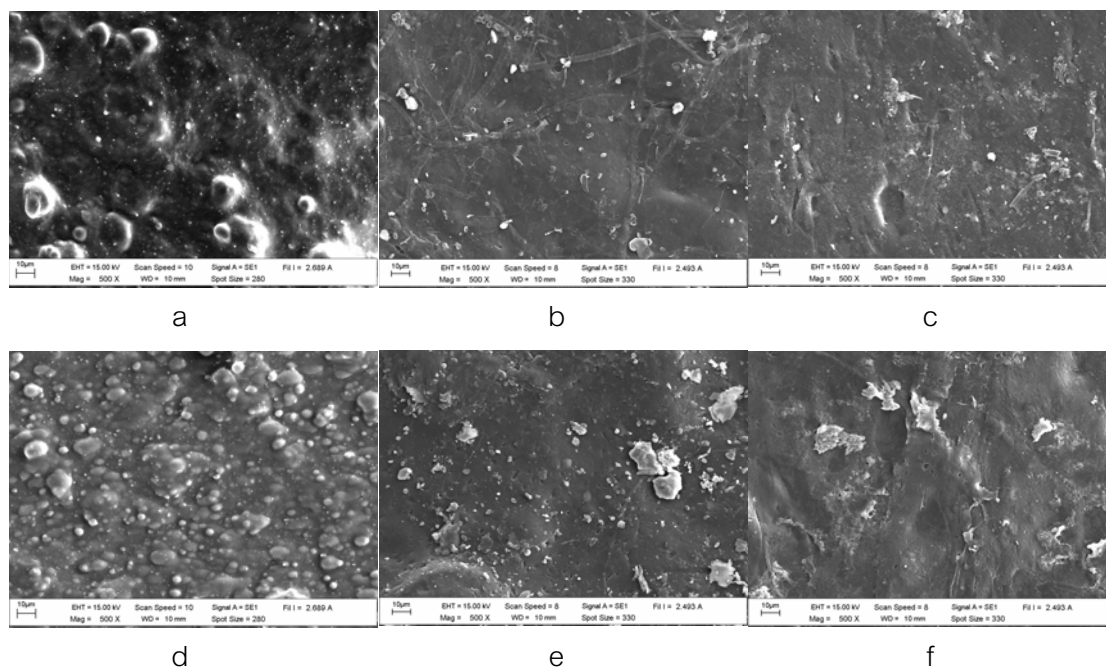
รูป 4.13 ค่าความทนแรงดึงของถุงควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกกล้าพริกที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน



รูป 4.14 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกกล้าพริกที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน และ 5 เดือน

จากผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานด้วยเทคนิค SEM (รูป 4.15) พบว่าชิ้นงานที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบที่ผ่านการใช้งานแล้วจะสังเกตเห็นรูพรุนเกิดขึ้น (รูป 4.15(b), (c), (e) และ (f)) ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการที่แบ่งเกิดการย่อยสลาย และจากรูปยังพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการใช้งานแล้วมี

ลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบเมื่อเทียบกับลักษณะก่อนการใช้งานทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการหลุดออกของแป้งจากพื้นผิวชิ้นงาน

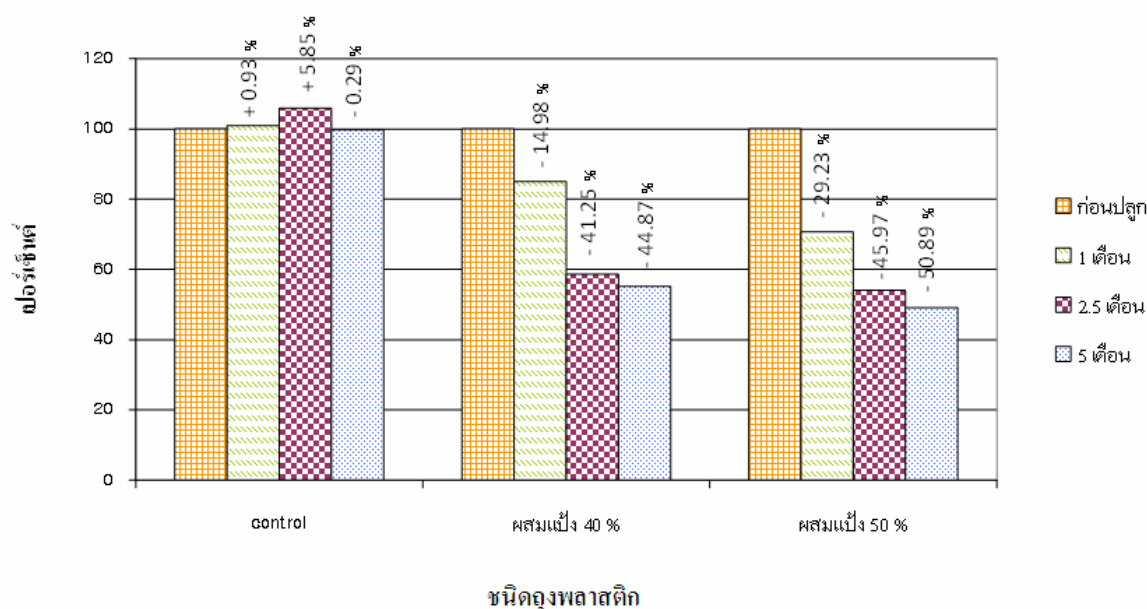


รูป 4.15 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของถุงพลาสติกที่มีแป้ง 40% ((a-c)) และ 50% (d-f) ที่กำลังขยาย 500 เท่า โดย (a) และ (d) เป็นภาพถ่ายก่อนการใช้งาน (b) และ (e) เป็นภาพถ่ายหลังการใช้งาน 1 เดือน และ (c) และ (f) เป็นภาพถ่ายหลังการใช้งาน 5 เดือน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถุงพลาสติกก่อนและหลังการใช้งานพบว่าถุงที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบมีน้ำหนักลดลงเมื่อระยะเวลาในการใช้งานนานขึ้น อีกทั้งยังพบว่าที่ระยะเวลาในการใช้งานเท่ากันถุงปลูกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่มากกว่า (50%) จะมีน้ำหนักลดลงมากกว่าถุงที่มีแป้งน้อยกว่า (40%) ในขณะที่ถุงปลูกปกติ (LDPE) ที่ผ่านการใช้งานแล้วยังคงมีน้ำหนักที่คงที่เช่นเดียวกับน้ำหนักเริ่มต้น (ตาราง 4.1 และ รูป 4.16)

ตาราง 4.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักถุงเพาะกล้าพริกก่อนและหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ชนิดถุงพลาสติก	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักถุง			
	ก่อนปลูก	1 เดือน	2.5 เดือน	5 เดือน
Control	100.00	100.13	105.85	99.71
40%	100.00	85.02	58.75	55.13
50%	100.00	70.77	54.03	49.11



รูป 4.16 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักถุงเพาะกล้าพริกหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่างๆกัน

2.1.2 กรณีถุงตัวอย่างที่ใช้ปลูกพริก

ถุงตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาเพื่อปลูกพริกมี 2 ตัวอย่าง ได้แก่

- ถุงที่มีแป้ง 30% (สูตร 3)
- ถุงปลูกปกติ (ถุง LDPE)

รูป 4.17 แสดงลักษณะถุงปลูกพริกที่อายุ 5 เดือน ทั้งชนิดที่เป็นถุงปลูกปกติ (control) และถุงที่มีแป้งผสมอยู่ 30% (สูตร 3) พบว่าถุงที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบจะเกิดการเสียสภาพเนื่องจากเกิดการย่อยสลายไปหลังจากการใช้งาน 5 เดือน และมีสีเขียวด้านในถุงเนื่องจากการเกิดตะไคร่น้ำขึ้น อย่างไรก็ตาม

ตามแม้ว่าถุงจะเกิดการย่อยสลายไปบ้าง แต่ถุงยังสามารถคงสภาพและห่อหุ้มวัสดุปลูกและต้นพริกไว้ได้ดี



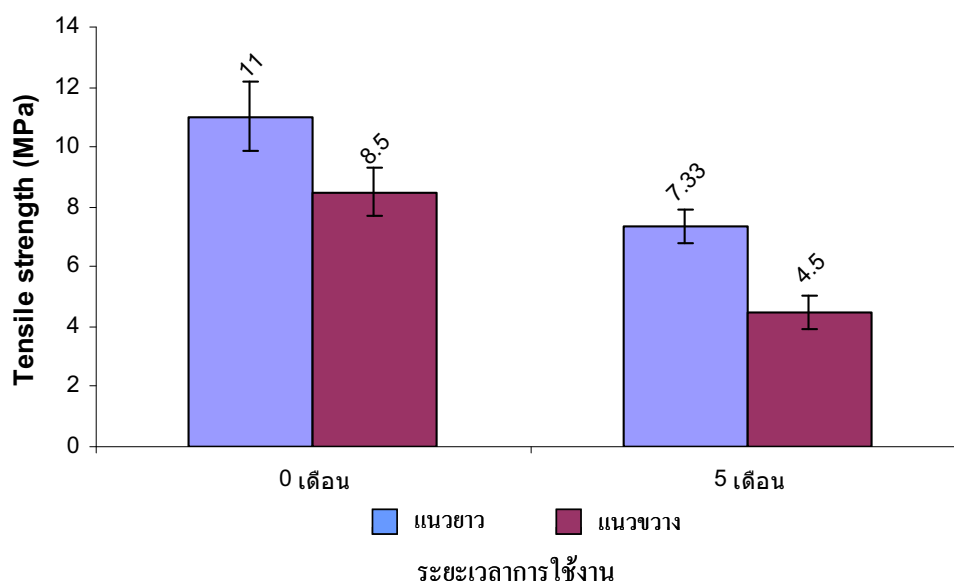
ก)



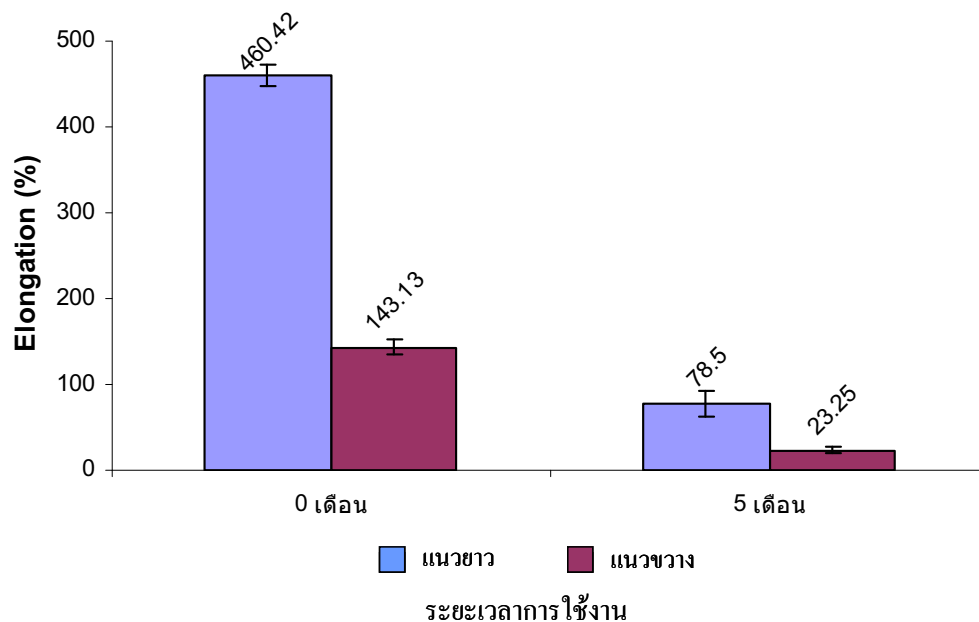
ข)

รูป 4.17 ลักษณะถุงปลูกพริกซูปเปอร์ฮอทที่อายุ 5 เดือน ก) ถุงปลูกปกติ (control) และ ข) ผสมแป้ง 30%

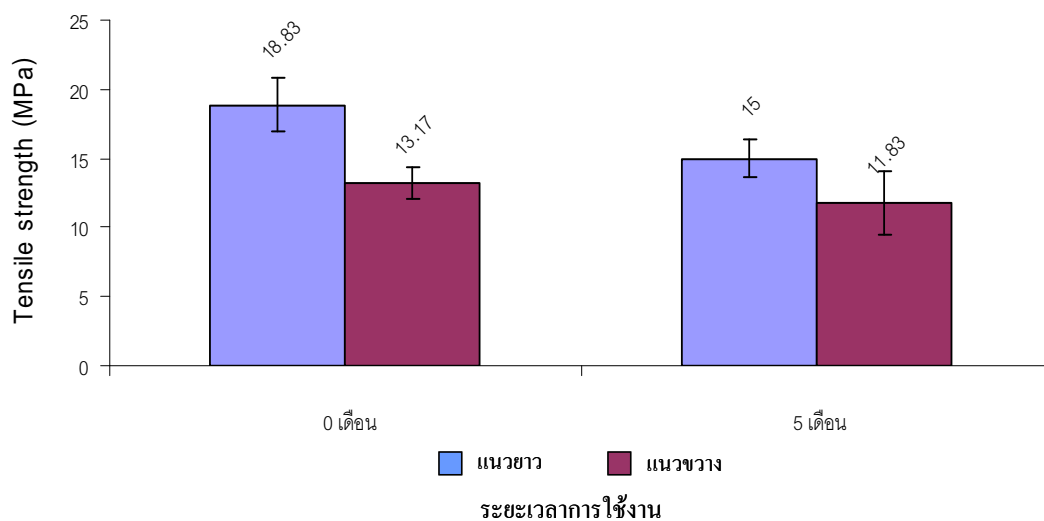
จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของถุงปลูกต้นพริกที่มีแป้ง 30% (สูตร 3 (ตาราง 3.11)) ที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน พบว่าค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือนมีค่าไม่แตกต่างกับกรณีของถุงปลูกเริ่มต้นมากนัก (รูป 4.18) แต่มีค่าความยืดหยุ่น จุดขาดลดต่ำลงอย่างมากเมื่อเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น (รูป 4.19) ในขณะที่ถุงปลูกปกติ (LDPE) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงสมบัติดังกล่าวหลังการใช้งาน 5 เดือน (รูป 4.20-4.21)



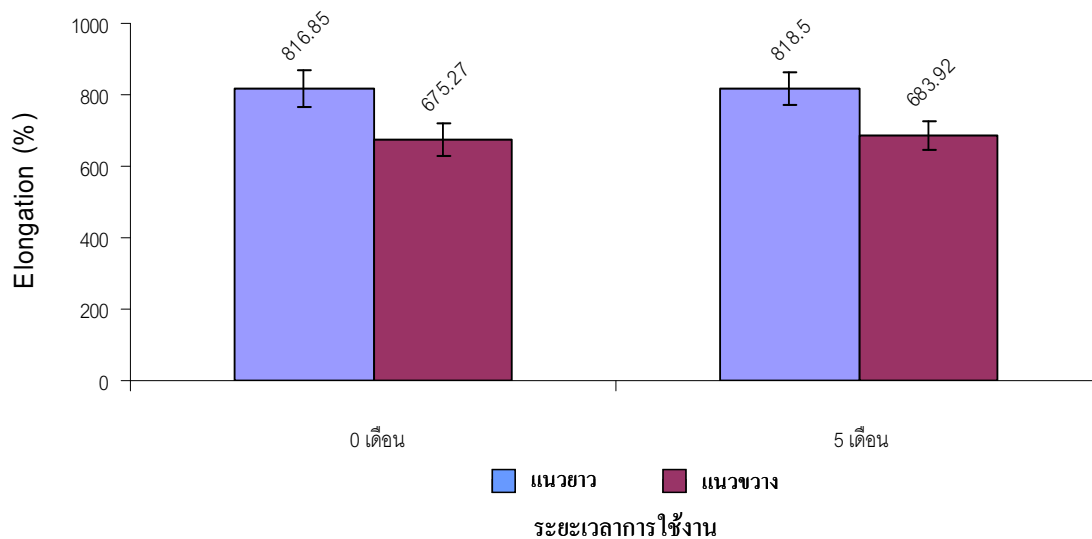
รูป 4.18 ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกต้นพริกที่มีแป้ง 30% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 5 เดือน



รูป 4.19 ค่าความยืด ณ จุดขาดของถุงปลูกต้นพริกที่มีแป้ง 30% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 5 เดือน

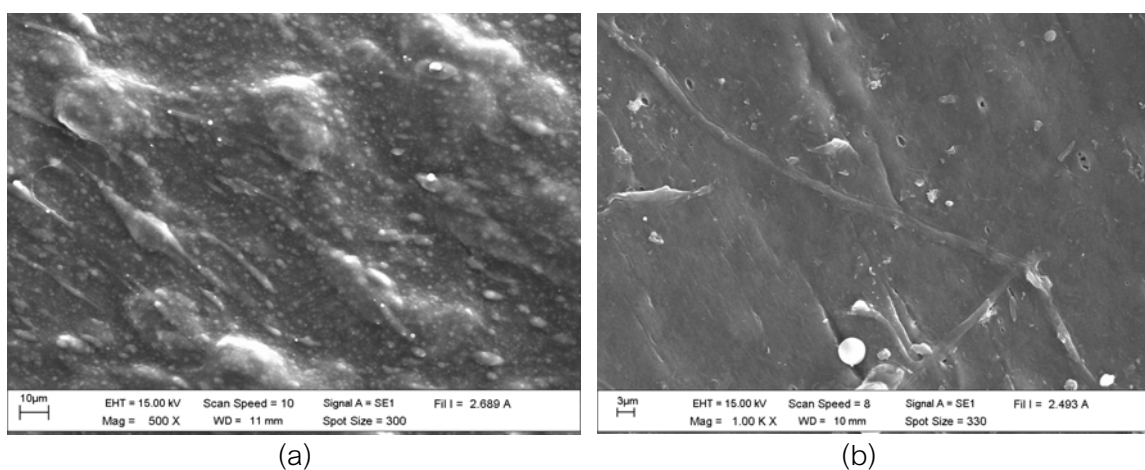


รูป 4.20 ค่าความทนแรงดึงของถุงปลูกปกติที่ใช้สำหรับปลูกต้นพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน



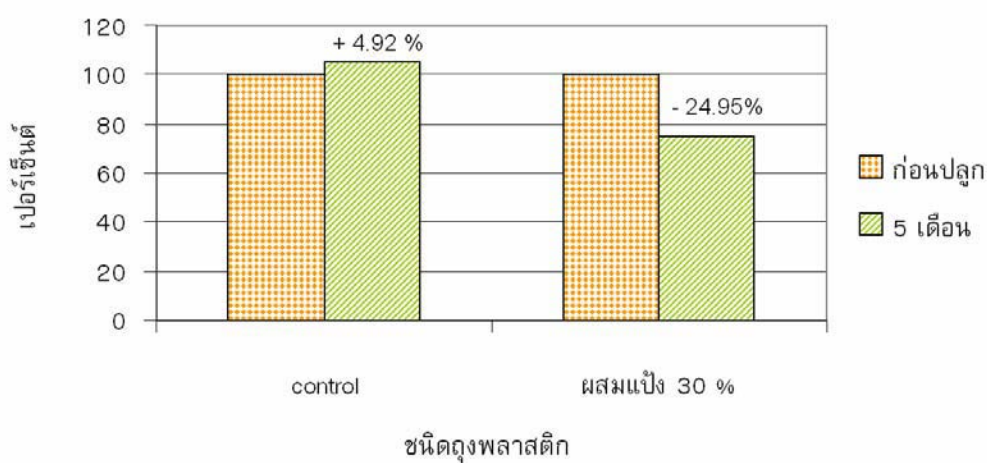
รูป 4.21 ค่าความยืด ณ จุดขาดของถุงปลูกปกติที่ใช้สำหรับปลูกต้นพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน

จากผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานด้วยเทคนิค SEM จากรูป 4.22 พบว่าในกรณีของชิ้นงานที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบและมีรูพรุนเล็กน้อยซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการหลุดออกของแป้งจากพื้นผิวของชิ้นงาน (รูป 4.22(b))



รูป 4.22 ภาพถ่ายชิ้นงานที่มีแป้ง 30% ที่กำลังขยาย 500 เท่า โดย (a) เป็นภาพถ่ายก่อนการใช้งาน และ (b) เป็นภาพถ่ายหลังการใช้งาน 5 เดือน

จากการศึกษาปริมาณน้ำหนักของถุงปลูกก่อนและหลังการใช้งานพบว่าถุงปลูกที่มีแป้ง 30% มีน้ำหนักลดลง 21.37% เมื่อระยะเวลาในการใช้งาน 5 เดือน ในขณะที่ถุงปลูกปกติ (LDPE) ที่ผ่านการใช้งานแล้วยังคงมีน้ำหนักที่คงที่เช่นเดียวกับน้ำหนักเริ่มต้น (รูป 4.23)



รูป 4.23 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักถุงปลูกพริกหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

2.2 การศึกษาผลของการใช้ถุ่ยย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริก

วิธีการทดลอง

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตและปริมาณผลผลิตของพริกชูเปอร์ฮอตที่ปลูกในระบบ substrate ภายใต้โรงเรือน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Statistic 8.0 โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การเจริญเติบโต

- 1) วัดความสูงระยะต้นกล้าจากโคนต้นถึงส่วนของยอดพืชในถุงเพาะกล้าสัปดาห์ละครั้ง เป็นเวลา 1 เดือน
- 2) วัดความสูงต้นพริก โดยสุ่มจำนวน 45 ต้น วัดความสูงจากโคนต้นถึงส่วนของยอดพืชในถุงปลูก สัปดาห์ละครั้ง จนสามารถเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตได้

- ผลผลิต

- 1) น้ำหนักผลผลิตต่อต้น จากการสุ่มตัวอย่างพืชจำนวน 45 ถุง
- 2) น้ำหนักแห้งต้นพริก
 - หลังผ่านการปลูกแล้ว 2.5 เดือน โดยสุ่มจำนวน 27 ต้น
 - หลังผ่านการปลูกแล้ว 5 เดือน โดยสุ่มจำนวน 27 ต้น

ผลการทดลอง

- การเจริญเติบโต

1) ความสูงระยะต้นกล้า

ทำการวัดความสูงของต้นกล้าพริกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 3 หลังการย้ายปลูก เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าสัปดาห์ที่ 1 ถุงที่มีแยม 40% และ 50% มีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุด โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับถุงชนิดอื่น เฉลี่ยเท่ากับ 6.28 และ 6.13 เซนติเมตร รองลงมาคือถุงปลูกควบคุมมีความสูงต้นเฉลี่ย 5.51 เซนติเมตร (ตาราง 4.2)

สัปดาห์ที่ 2 ถุงที่มีแยม 40% และ 50% มีความสูงต้นเฉลี่ยสูงสุด โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับถุงชนิดอื่น เฉลี่ยเท่ากับ 15.22 และ 14.46 เซนติเมตร รองลงมาคือถุงปลูกควบคุมมีความสูงต้นเฉลี่ย 13.24 เซนติเมตร (ตาราง 4.2)

สัปดาห์ที่ 3 ถุงปลูกควบคุม ถุงปลูกที่มีแยม 40% และ 50% มีความสูงต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 27.39 - 28.14 เซนติเมตร (ตาราง 4.2)

2) ความสูงระยะต้น

ทำการวัดความสูงของต้นพริกตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 8 หลังการย้ายปลูก (หลังจากสัปดาห์ที่ 8 ไม่สามารถวัดความสูงของต้นได้ เนื่องจากต้นสูงเกินไป) พบว่าความสูงของต้น

พริกชี้ฟ้าที่ปลูกในถุงปลูกปกติ ถุงปลูกที่มีแแบ่ง 40% และ 50% ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึง สัปดาห์ที่ 8 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยสัปดาห์ที่ 1 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 55.90 - 58.18 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 2 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 66.25 - 67.87 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 3 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 80.61 - 90.76 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 4 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 116.89 - 123.30 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 5 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 135.40 - 142.16 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 6 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 150.42 - 160.72 เซนติเมตร สัปดาห์ที่ 7 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 172.80 - 177.01 เซนติเมตร และสัปดาห์ที่ 8 มีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 190.28 - 241.04 เซนติเมตร (ตาราง 4.3)

ตาราง 4.2 ความสูงระยะต้นกล้าของต้นพริกชี้ฟ้าตั้งแต่อายุ 1 สัปดาห์ถึง 3 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก

ชนิดถุง	ความสูง (เซนติเมตร)		
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3
control	5.51 b ^{1/}	13.24 b	27.39 a
40%	6.28 a	15.22 a	28.06 a
50%	6.13 a	14.46 a	28.14 a
LSD _{0.05}	0.27	0.77	1.12
CV (%)	12.43	14.96	11.23

^{1/} ค่าเฉลี่ยจาก 60 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Least Significant Difference

ตาราง 4.3 ความสูงระยะต้นของต้นพริกชี้ฟ้าตั้งแต่อายุ 1 สัปดาห์ถึง 8 สัปดาห์ หลังย้ายปลูก

ชนิดถุง	ความสูง (เซนติเมตร)							
	สัปดาห์ 1	สัปดาห์ 2	สัปดาห์ 3	สัปดาห์ 4	สัปดาห์ 5	สัปดาห์ 6	สัปดาห์ 7	สัปดาห์ 8
control	58.18 a ^{1/}	67.32 a	86.39 a	116.89 a	135.40 a	150.42 a	172.80 a	190.28 a
40%	56.95 a	66.25 a	90.76 a	123.30 a	142.16 a	160.72 a	177.01 a	241.04 a
50%	55.90 a	67.87 a	80.61 a	120.29 a	137.39 a	153.92 a	174.54 a	196.91 a
LSD _{0.05}	3.27	9.86	22.69	13.39	23.4	20.41	23.32	57.54
CV (%)	2.61	3.44	11.65	4.92	7.46	5.81	5.89	12.12

^{1/} ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Least Significant Difference

- ผลผลิต

ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตพริกชี้ฟ้าตั้งแต่ระยะแรกจนถึงสิ้นสุดระยะการเก็บเกี่ยว โดยเก็บเฉพาะผลแดงนำไปชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง พบว่าต้นพริกชี้ฟ้าที่ปลูกในถุงชนิด control, 40% และ 50% ให้น้ำหนักผลสดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 907.73 - 932.85 กรัมต่อต้น และน้ำหนักผลแห้งเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 271.78 - 284.77 กรัมต่อต้น (ตาราง 4.4)

ตาราง 4.4 น้ำหนักผลผลิตสดและแห้งของพริกชี้ฟ้า

ชนิดถุง	น้ำหนักผล (กรัม)	
	ผลสด	ผลแห้ง
control	932.85 a ^{1/}	284.77 a
40%	924.77 a	274.53 a
50%	907.73 a	271.78 a
LSD _{0.05}	359.13	100.90
CV (%)	17.19	16.07

^{1/} ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Least Significant Difference

หลังจากการปลูกพริกในถุงปลูกครบ 5 เดือน ได้ทำการศึกษาระบบรากของพริกโดยการฉีกถุงออกและตรวจประเมินเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสีรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลบริเวณก้นถุง พบว่ารากของต้นพริกที่ปลูกในถุงเพาะกล้าที่ผสมแยม 50% และปลูกในถุงใหญ่ผสมแยม 30% มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสีรากมากที่สุด คือ 60.2 ส่วนถุงเพาะที่ผสมแยม 40% และปลูกในถุงใหญ่ผสมแยม 30% และ ถุงเพาะกล้า control และปลูกในถุงปลูก control พบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสีน้อยกว่าโดยมีค่าเฉลี่ย 41.7 และ 43.0 % ตามลำดับ (รูป 4.24 และตาราง 4.5) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่มีปริมาณแยมในถุงตัวอย่างมากและเป็นเวลานาน (5 เดือน) ทำให้เกิดกระบวนการหมัก (fermentation) และมีเกิดกรดขึ้นในระหว่างการปลูกและมีผลต่อการเจริญเติบโตของราก



รูป 4.24 แสดงระบบรากของต้นพริกหลังการปลูกในถุงเพาะที่มีแบ่ง 50%, 40% (ปลูกในถุงปลูกที่มีแบ่ง 30%) และถุงเพาะปกติ (ปลูกในถุงปลูก LDPE) ระยะเวลา 5 เดือน

ตาราง 4.5 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนสีรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลของต้นพริกที่อายุหลังย้าย 5 เดือน

ประเภทถุง		% การเปลี่ยนสีของราก
ถุงเพาะกล้า (3"x5")	ถุงปลูก (8"x13")	
40%	30%	41.7
50%	30%	60.2
control	control	43.0

3. การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อใช้ในการชำไหลและปลูกสตรอเบอรี่

การทดสอบการใช้ถุงย่อยสลายเพื่อชำไหลและปลูกสตรอเบอรี่ ดำเนินการที่ศูนย์พัฒนาโครงการแม่แฮ อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่ โดยใช้ถุงตัวอย่างสูตร 4 (แบ่ง 40%) และสูตร 5 (แบ่ง 50%) (ตาราง 3.11) เพื่อใช้เป็นถุงชำไหลสตรอเบอรี่ โดยมีถุงปกติ (ถุงพลาสติก LDPE) เพื่อเปรียบเทียบผล การย่อยสลายของถุงตัวอย่างและผลต่อผลผลิตสตรอเบอรี่หลังการปลูก โดยมีรายละเอียดการทดลอง ดังนี้

วิธีการทดลอง

ใช้สตรอเบอรี่พันธุ์ Mara Des Bois โดยทำการทดลองในโรงเรือนของศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ต.แม่นาจร อ.แม่วาง จ.เชียงใหม่ และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ดังนี้

1. ช่วงการผลิตไหลสตรอเบอรี่ (เดือน สิงหาคม – ตุลาคม 2552)

- 1.1 ชั่งน้ำหนักถุงที่จะใช้ในการผลิตไหลขนาด 2" × 4" จำนวน 3 สูตร คือ สูตรผสมแบ่ง 40% สูตรผสมแบ่ง 50% และถุงพลาสติกที่ใส่กันทั่วไป (Control) จำนวนชนิดละ 270 ถุง
- 1.2 เตรียมแปลงปลูกต้นกล้าสตรอเบอรี่ (แม่ไหล) เพื่อผลิตต้นไหล เป็นรูปสามเหลี่ยมความกว้าง 80 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร จากนั้นคลุมแปลงด้วยใบตองตั้งทั้งสองด้าน (รูป 4.25)
- 1.3 ปลูกต้นกล้าสตรอเบอรี่ลงในร่องกลางแปลงปลูกที่เตรียมไว้ โดยใช้ระยะห่างระหว่างต้น 20-25 เซนติเมตร และเมื่อต้นสตรอเบอรี่มีอายุประมาณ 2 เดือนหลังปลูก จะเริ่มมีต้นไหลงอกออกมาจากต้นแม่และแตกรากที่มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร (รูป 4.26)
- 1.4 กรอกดินลงในถุงปลูกที่เตรียมไว้ในข้อ 1.1 รดน้ำให้ชุ่ม นำมารองดินไหลแล้วใช้ไม้ที่มีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ยึดต้นไหล ต้นแม่ 1 ต้นสามารถผลิตไหลได้ประมาณ 25-30 ต้น (รูป 4.27)
- 1.5 เก็บถุงทั้ง 3 ชนิดออกมาชั่งน้ำหนักจำนวน 10 ถุงต่อเดือน

2. ช่วงการย้ายปลูกและผลิตผลสด (เดือน ตุลาคม 2552 – เมษายน 2553)

- 2.1 เตรียมแปลงปลูกขนาดเดียวกันกับการปลูกแม่ไหล คลุมด้วยพลาสติกคลุมแปลงทั้ง 2 ด้าน (รูป 4.28)
- 2.2 นำต้นกล้าสตรอเบอรี่ที่ได้จากข้อ 1 มาปลูกโดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD มี 3 blocks 3 treatments ดังนี้
 - Treatment 1 คือ ถุงปลูกสูตรผสมแบ่ง 40%
 - Treatment 2 คือ ถุงปลูกสูตรผสมแบ่ง 50%
 - Treatment 3 คือ control
- 2.3 นำตัวอย่างทั้ง 3 treatment เปิดถุงปลูกด้านล่างเพื่อให้รากสามารถเจริญลงดินได้ แล้วนำปลูกลงดินโดยใช้ระยะปลูก 20 เซนติเมตร จากนั้นดูแลรักษาโดยการให้น้ำปุ๋ยสูตร 15-15-15 ทุก ๆ 25-30 วัน และพ่นอาหารเสริมทางใบเดือนละ 1 ครั้ง



รูป 4.25 ลักษณะแปลงปลูกต้นแม่ไหล



รูป 4.26 ลักษณะไหลของต้นสตรอเบอรี่ที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตไหล



รูป 4.27 ลักษณะการผลิตไหล



รูป 4.28 ลักษณะแปลงปลูกเพื่อผลิตผลสด

การบันทึกข้อมูล

แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ข้อมูลทางกายภาพของถุงพลาสติกตัวอย่าง ได้แก่ การตรวจสอบพื้นผิว สมบัติความทนแรงดึงและน้ำหนักของถุงปลูกทั้ง 3 ชนิด คือ ก่อนปลูก ช่วงการผลิตไหลและหลังย้ายปลูก โดยทำการสุ่มซึ่งจำนวน 10 ถุงต่อชนิดต่อเดือน
2. การเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของสตรอเบอรี่ ทำการบันทึกข้อมูลด้าน

2.1 การเจริญเติบโต : ขนาดใบ จำนวนใบ และความสูงของต้นทุก ๆ 14 วัน

พร้อมทั้งบันทึกลักษณะและปริมาณรากของต้นสตรอเบอรี่ทุก 1 เดือน

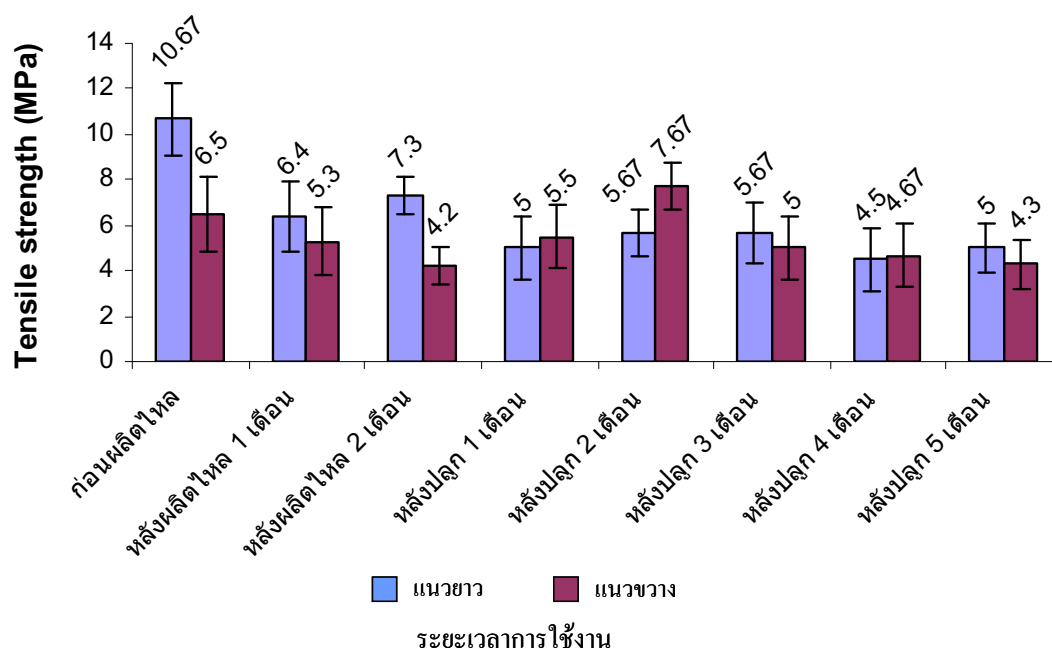
ปริมาณและคุณภาพผลผลิต : น้ำหนักผล ความกว้างผล ความยาวผล และค่าความ หวาน (brix) ของผลสตรอเบอรี่

เปอร์เซ็นต์รากที่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มมากกว่าปกติ พิจารณาโดยการตั้งเกณฑ์การประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเข้ม ตั้งแต่ 0-100 % โดยแบ่งเป็นช่วงละ 10% แล้วใช้เกณฑ์ที่ตั้งไว้นั้นเป็นมาตรฐานเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีรากของแต่ละตัวอย่าง โดยตัวเลขที่รายงานนั้นเป็นตัวเลขค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

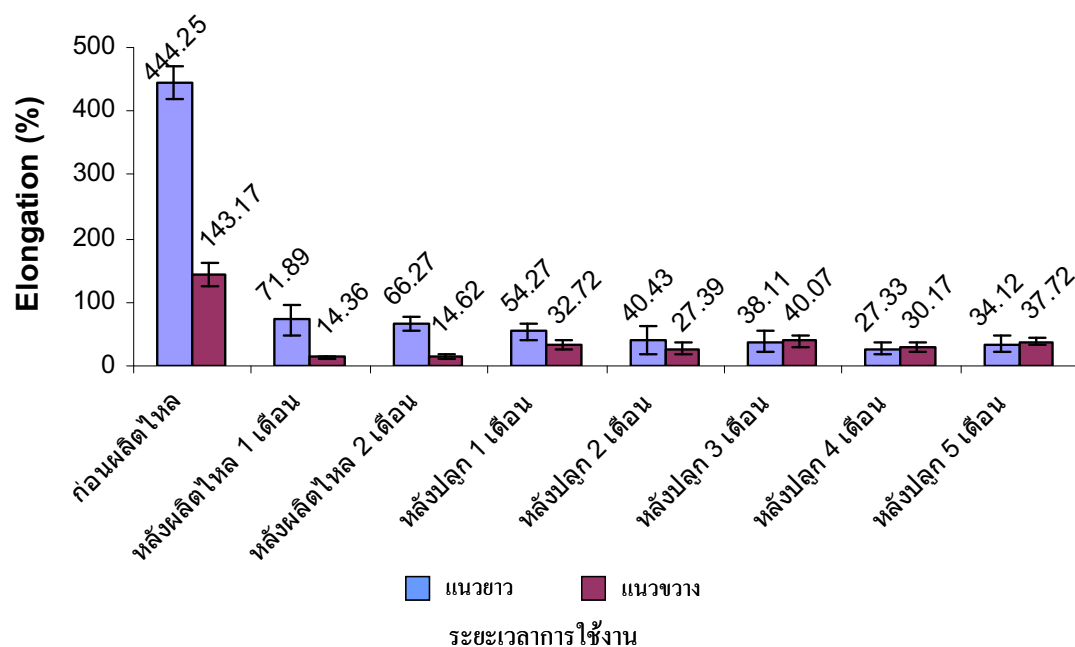
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 การศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างจากการทดสอบสมบัติเชิงกล การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM และการหาน้ำหนักที่หายไปหลังการใช้งาน

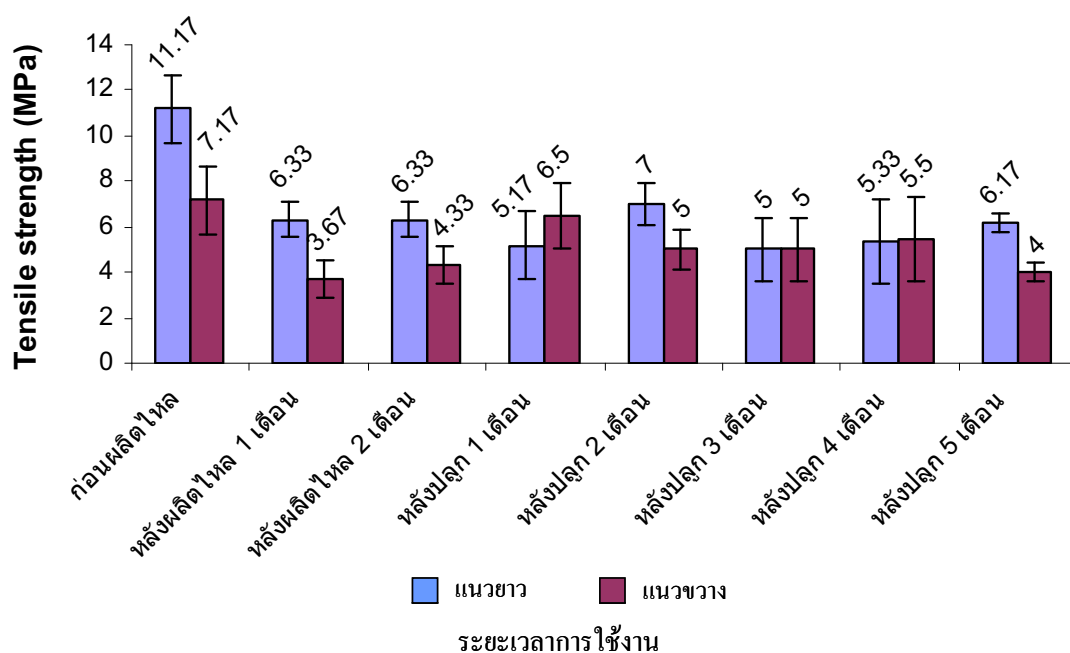
ศึกษาสมบัติเชิงกลและลักษณะพื้นผิวของถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ที่มีแบ่ง 40% และ 50% (สูตร 4 และ 5 (ตาราง 3.11)) ที่ระยะเวลาการใช้งาน 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงก่อนการผลิตไหล (ระยะเวลา 2 เดือน) และช่วงปลูกไหล (ระยะเวลา 5 เดือน) (รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 7 เดือน) โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น ผลการศึกษาสมบัติความทนแรงดึง และค่าความยืด ณ จุดขาดแสดงดังรูป 4.29-4.32 จากผลการทดสอบให้ผลเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลการทดสอบในกรณีของถุงปลูกกล้วยและถุงปลูกต้นพริก กล่าวคือ ค่าความทนแรงดึงมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น ในขณะที่ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดของถุงปลูกเมื่อผ่านการใช้งานแล้วมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น และจากผลการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานจะสังเกตเห็นรูพรุนเกิดขึ้นในกรณีของถุงปลูกที่ผ่านการใช้งานแล้วซึ่งเกิดจากการที่ส่วนของแบ่งสลายไป ดังแสดงในรูป 4.33-4.34



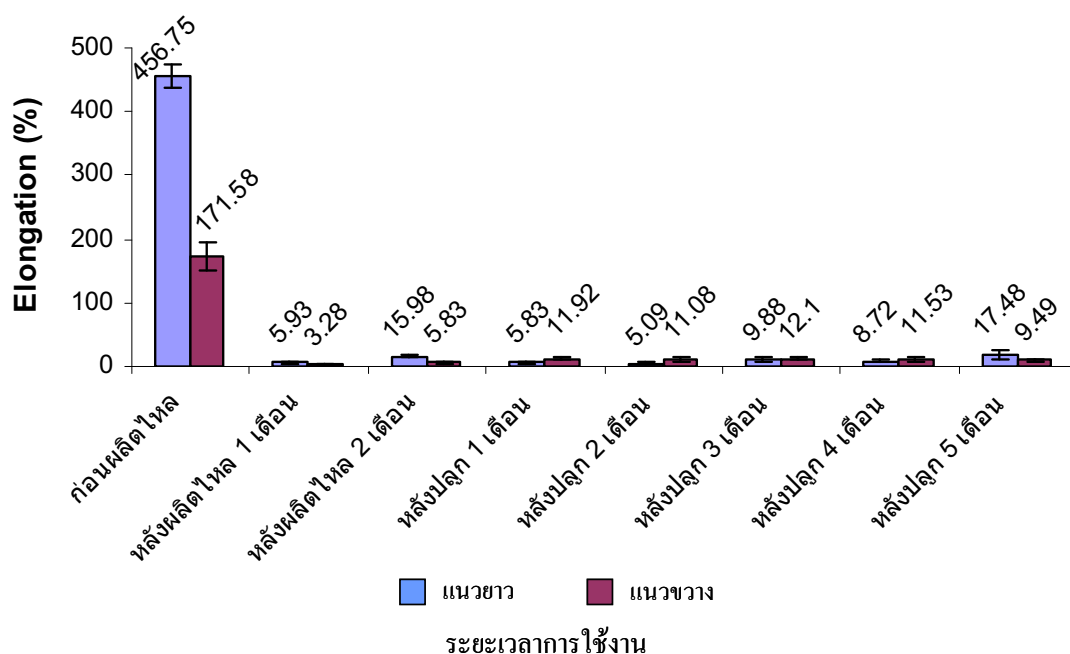
รูป 4.29 ค่าความทนแรงดึงของถุงชำไหลสตรอเบอร์รี่ที่แบ่ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน



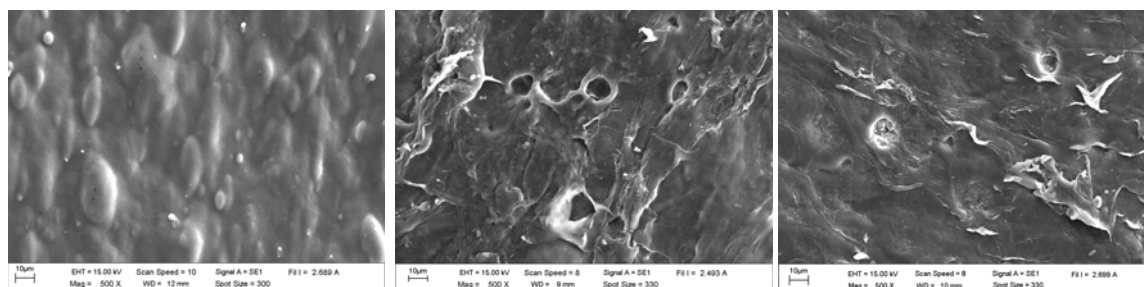
รูป 4.30 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงชำไหลสตรอเบอร์รี่ที่แบ่ง 40% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน



รูป 4.31 ค่าความทนแรงดึงของถุงชำไผ่สตรอเบอรี่ที่มีแป้ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน



รูป 4.32 ค่าความยืด ณ จุดขาด (%) ของถุงชำไผ่สตรอเบอรี่ที่มีแป้ง 50% ที่ระยะเวลาในการใช้งาน 1 เดือน ถึง 4 เดือน

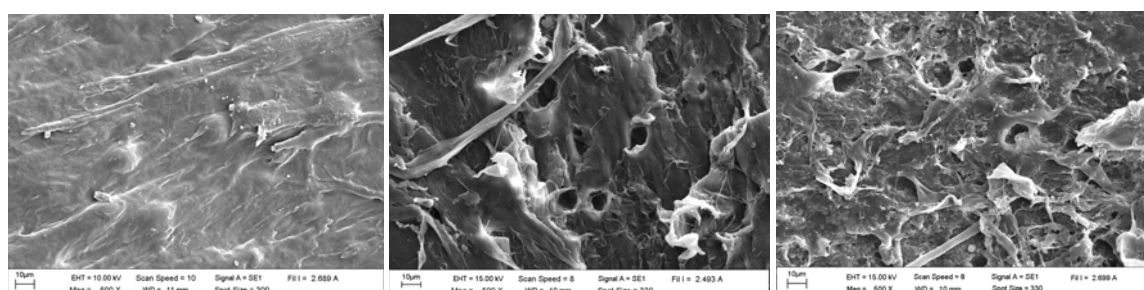


ก่อนการผลิตไหล

หลังผลิตไหล 2 เดือน

หลังปลูก 5 เดือน

รูป 4.33 ภาพถ่ายชิ้นงานแผ่นฟิล์มที่มีแป้ง 40% ที่กำลังขยาย 500 เท่า



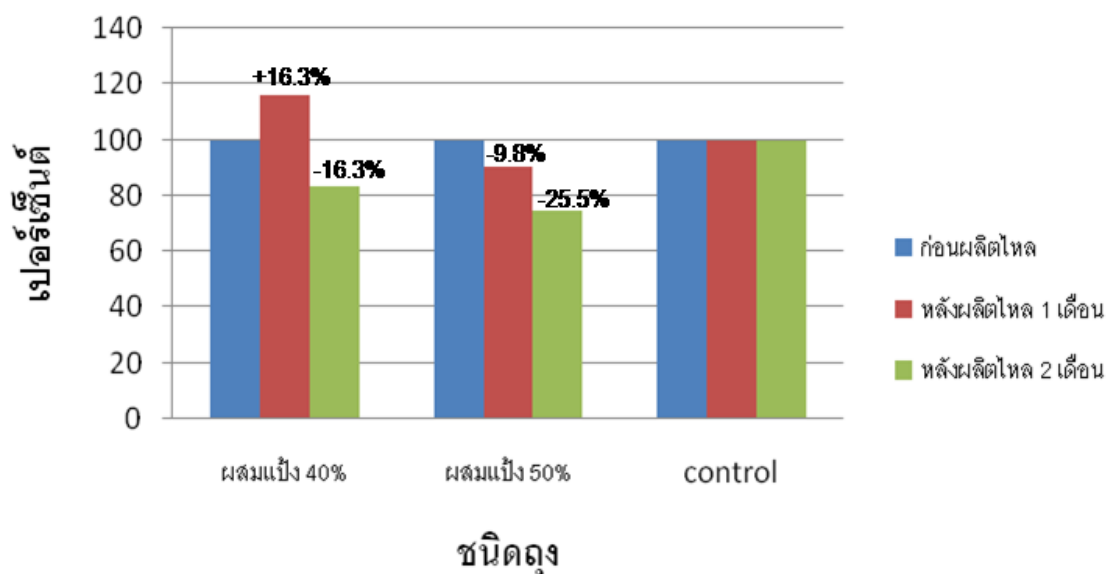
ก่อนการผลิตไหล

หลังผลิตไหล 2 เดือน

หลังปลูก 5 เดือน

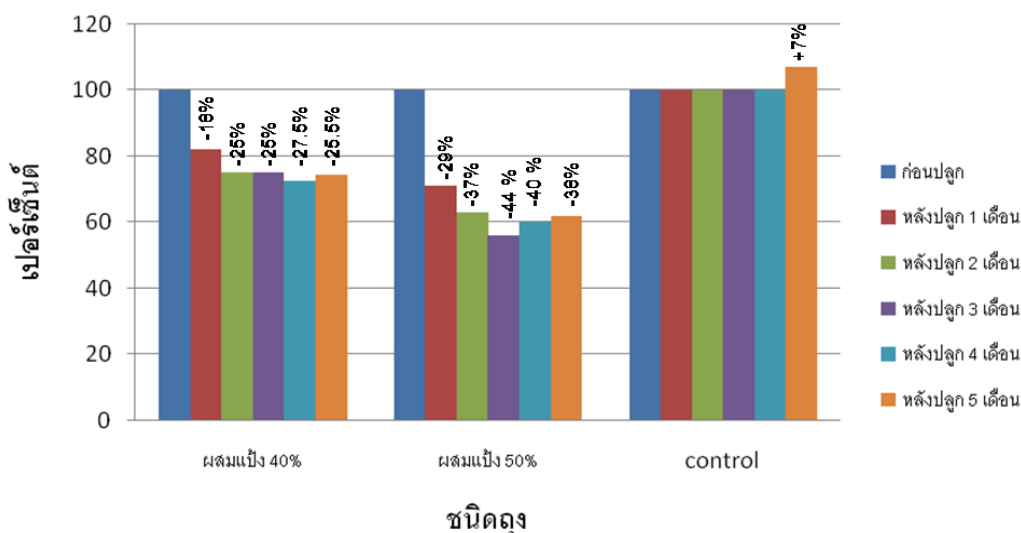
รูป 4.34 ภาพถ่ายชิ้นงานแผ่นฟิล์มที่มีแป้ง 50% ที่กำลังขยาย 500 เท่า

จากการหาน้ำหนักที่หายไปหลังการใช้งานเพื่อเป็นการยืนยันการเกิดการย่อยสลายของถุงหลังการใช้งาน โดยการทดลองนำถุงปลูกทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ สูตรผสมแป้ง 40% สูตรผสมแป้ง 50% และ control มาทำการผลิตไหลสตรอบเออรี่ภายใต้โรงเรือน ในช่วงเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2552 เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่า ถุงสูตรผสมแป้ง 50% มีน้ำหนักลดลงทั้ง 2 เดือน และมีเปอร์เซ็นต์การลดลงมากที่สุด โดยเดือนที่ 1 และ 2 มีอัตราการลดลงของน้ำหนัก คือ 9.8% และ 25.5% ตามลำดับ ส่วนถุงสูตรผสมแป้ง 40% ในช่วงเดือนที่ 1 น้ำหนักถุงเพิ่มขึ้น 16.3% แต่ในเดือนที่ 2 มีน้ำหนักลดลง 16.3% สำหรับถุงที่ใช้กันทั่วไป (control) พบว่า น้ำหนักถุงไม่ลดลงในทั้ง 2 เดือน (รูป 4.35)



รูป 4.35 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถุงชำโหลสตรอเบอรี่ที่มีแป้ง 40%, 50% และถุงปลูกปกติ หลังจากการผลิตโหลแล้ว 2 เดือน (ก่อนนำถุงชำโหลลงดิน)

จากการนำต้นกล้าสตรอเบอรี่ในถุงปลูก 3 ชนิด ที่ผ่านการผลิตโหลแล้วมาย้ายลงแปลงปลูก แบบไม่ถอดถุงออก แต่เปิดกันถุงเพื่อผลิตผลสดภายใต้โรงเรือนเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยทำการย้ายปลูกเมื่อวันที่ 26 เดือนตุลาคม 2552 และเก็บเกี่ยวแล้วเสร็จในเดือน มีนาคม 2553 ผลการศึกษาการย่อยสลายของถุงแต่ละชนิดโดยการชั่งน้ำหนักของถุงที่เก็บจากแปลงปลูกทุก ๆ 1 เดือน พบว่า ถุงปลูกสูตรผสมแป้ง 40% และ 50% มีน้ำหนักลดลง โดยถุงผสมแป้ง 50% มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเฉลี่ยลดลงมากที่สุดในช่วงหลังย้ายปลูก 5 เดือน อยู่ระหว่าง 29-44% รองลงมาคือสูตรแป้ง 40% ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเฉลี่ยลดลง 18-27.5% ขณะที่ถุงปลูกที่ใช้กันทั่วไป(control) ไม่พบการลดลงของน้ำหนัก ในทั้ง 5 เดือน (รูป 4.36)



รูป 4.36 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำในถุงชำโหลสตรอเบอรี่ที่มีแบ่ง 40%, 50% และถุงปลูกปกติ หลังจากการปลูกแล้ว 5 เดือน (หลังจากนำถุงเพาะโหลลงดินแล้ว 5 เดือน)

3.2 การศึกษาผลของการใช้ถูงย่อยสลายต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสตรอเบอรี่

3.2.1 ด้านการเจริญเติบโต

จากการศึกษาข้อมูลการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่ ได้แก่ ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และขนาดทรงพุ่ม ทุก ๆ 14 วัน เป็นระยะเวลา 5 เดือน พบว่า ค่าเฉลี่ยความสูงต้น จำนวนใบ ความยาวใบ และความกว้างทรงพุ่มของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถูงทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความกว้างใบของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถูงที่มีแบ่ง 40% และ 50% พบว่า มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 2.91 และ 2.87 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับถูง control ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 2.63 เซนติเมตร (ตาราง 4.6)

ตาราง 4.6 ความสูงต้น จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ และขนาดทรงพุ่มของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois ที่อายุ 5 เดือนหลังปลูกในถูงปลูกชนิดต่าง ๆ

ชนิดถูง	ความสูง (เซนติเมตร)	จำนวนใบ ต่อต้น	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	ความกว้างทรงพุ่ม (เซนติเมตร)
control	7.42 a ^{1/}	6.94 a	2.63 b	2.86 a	10.90 a
40%	7.70 a	7.74 a	2.91 a	3.15 a	12.46 a
50%	7.77 a	6.93 a	2.87 a	3.13 a	12.06 a
LSD _{0.05}	1.20	2.99	0.19	0.39	2.31
CV (%)	6.96	18.31	2.93	5.59	8.62

^{1/}ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Least Significant Difference

จากการศึกษาความยาวราก น้ำหนักราก และเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลของสตรอเบอร์รี่ทุก ๆ 1 เดือนหลังปลูก พบว่า ความยาวราก และเปอร์เซ็นต์ของการพบอาการการเปลี่ยนสีของรากของสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในถุงทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนน้ำหนักรากของสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในถุงที่มีแ่ง 50% มีน้ำหนักรากเฉลี่ยสูงสุด คือ 5.30 กรัม โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับถุงชนิดอื่น รองลงมาคือถุงที่มีแ่ง 40 % และ control โดยมีน้ำหนักรากเฉลี่ย 3.782 และ 2.89 กรัม ตามลำดับ (ตาราง 4.7) (รูป 4.37-4.42 แสดงลักษณะรากของต้นสตรอเบอร์รี่ที่ปลูกในถุงทั้ง 3 ชนิด ที่มีอายุ 1 เดือน และ 5 เดือน) การที่ถุงที่มีแ่ง 40% และ 50% มีน้ำหนักรากมากกว่าถุงควบคุม อาจเนื่องมาจากถุงตัวอย่างที่มีแ่งเกิดการย่อยสลาย ทำให้เกิดรูพรุน (ผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิค SEM รูปที่ 4.33 และ 4.34) ซึ่งทำให้รากสามารถเกิดการถ่ายเทอากาศและดูดซึมธาตุอาหารได้ดี ขณะที่ถุงควบคุมไม่มีการย่อยสลายในดิน ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทอากาศและอัตราการดูดซึมธาตุอาหารน้อยกว่า จึงส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากสตรอเบอร์รี่ในถุงที่มีแ่ง 40% และ 50% ดีกว่าและทำให้น้ำหนักรากมากกว่าถุงควบคุม

ตาราง 4.7 ความยาวราก น้ำหนักราก และเปอร์เซ็นต์การพบอาการการเปลี่ยนสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลของสตรอเบอร์รี่ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูกในถุงชนิดต่าง ๆ

ชนิดถุง	ความยาวราก (เซนติเมตร)	น้ำหนักราก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนสีราก (%)
control	21.63 a ^{1/}	2.89 b	78.83 a
40%	19.96 a	3.78 ab	78.17 a
50%	21.63 a	5.30 a	81.33 a
LSD _{0.05}	7.30	2.16	9.22
CV (%)	15.29	23.91	5.12

^{1/}ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Least Significant Difference



รูป 4.37 ลักษณะรากของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงที่มีแป้ง 40% ที่มีอายุ 1 เดือนหลังปลูก



รูป 4.38 ลักษณะรากของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงที่มีแป้ง 50% ที่มีอายุ 1 เดือนหลังปลูก



รูป 4.39 ลักษณะรากของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุง control ที่มีอายุ 1 เดือนหลังปลูก



รูป 4.40 ลักษณะรากของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงที่มีแป้ง 40% ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูก



รูป 4.41 ลักษณะรากของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงที่มีแป้ง 50% ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูก



รูป 4.42 ลักษณะรากของต้นสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุง control ที่มีอายุ 5 เดือนหลังปลูก

3.2.2 ด้านผลผลิต

การศึกษาข้อมูลผลผลิตของสตรอเบอรี่ ได้แก่ น้ำหนักผล ความกว้างผล ความยาวผล และความหวาน ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักและความหวานของผลสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความกว้างผลของสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงสูตร 40% และ 50% พบว่า มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 15.74 และ 15.84 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับถุง control ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 10.74 มิลลิเมตร สำหรับความยาวผลของสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงสูตร 40% พบว่า มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ 24.56 มิลลิเมตร โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับถุงชนิดอื่น รองลงมาคือถุงชนิด 50% และ control มีความกว้างผลเฉลี่ย 24.16 และ 17.16 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ตาราง 4.8)

ตาราง 4.8 น้ำหนัก ความกว้าง ความยาว และความหวานของผลสตรอเบอรี่ที่ปลูกในถุงชนิดต่าง ๆ

ชนิดถุง	น้ำหนักผล (กรัม)	ความกว้างผล (มิลลิเมตร)	ความยาวผล (มิลลิเมตร)	ความหวาน (องศาบริกซ์)
control	4.12 a ^{1/}	10.74 b	17.16 b	7.33 a
40%	4.46 a	15.74 a	24.56 a	8.32 a
50%	4.82 a	15.84 a	24.16 ab	7.45 a
LSD _{0.05}	1.22	4.06	7.02	2.07
CV (%)	12.05	12.70	14.10	11.88

^{1/}ค่าเฉลี่ยจาก 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยในแนวดิ่งที่ตามด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบ Least Significant Difference

สรุปผลการทดลอง (บทที่ 4)

จากการทดสอบใช้ถุงปลูกที่มีแบ่ง 40% (สูตร 1) และ 50% (สูตร 2) เพื่อเพาะกล้าพริก ถุงที่มีแบ่ง 30% (สูตร 3) เพื่อใช้เป็นถุงปลูกพริกและถุงที่มีแบ่ง 40% และ 50% (สูตร 4) และ 50% (สูตร 5) (ตาราง 3.11) เพื่อใช้เป็นถุงเพาะโหลสตรอเบอรี่ ทำการทดสอบการย่อยสลายของถุงตัวอย่างโดยการทดสอบการเสียสภาพ สมบัติความตึงยืดของถุง การเกิดรูพรุนจากการย่อยสลายของแบ่งในถุง การลดลงของน้ำหนักถุงหลังการใช้งาน นอกจากนี้ยังศึกษาผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่หลังการใช้ถุงปลูกที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบโดยเปรียบเทียบกับถุงปลูกโดยใช้ถุงปลูกปกติ (ถุง LDPE)

จากผลการทดลองพบว่าถุงปลูกทุกสูตรที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบมีค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาดลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น ในขณะที่ค่าความทนแรงดึงไม่มีผลกระทบมากนัก ซึ่ง

ผลดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่มีลักษณะของรูพรุนเกิดขึ้น อีกทั้งยังให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณน้ำหนักของถุงปลูก โดยพบการลดลงของน้ำหนักจากเริ่มต้นเมื่อระยะเวลาในการใช้งานนานขึ้น ในขณะที่ถุงปลูกควบคุมไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสมบัติเชิงกลและน้ำหนักถุง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าถุงปลูกที่เตรียมได้มีการย่อยสลายของแป้งเกิดขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกหลังการปลูกด้วยถุงตัวอย่างที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบเปรียบเทียบกับถุงปลูกปกติพบว่า ให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามพบว่าการเปลี่ยนสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลของพริกในกรณีที่มีการใช้ถุงเพาะกล้าที่มีแป้ง 50% มากกว่ากรณีที่ใช้ถุงเพาะกล้าที่มีแป้ง 40% และถุงปลูกปกติ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการที่มีปริมาณแป้งในถุงตัวอย่างมากและเป็นเวลานาน (5 เดือน) ทำให้เกิดกระบวนการหมัก (fermentation) และมีเกิดกรดขึ้นในระหว่างการปลูกและมีผลต่อการเจริญเติบโตของราก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์แป้งดัดแปรโดยได้ทดสอบการใช้สารดัดแปรหลายชนิด เช่น ปฏิกริยาที่ใช้ Maleic Anhydride (MA) เพื่อดัดแปรโครงสร้างพบว่าปฏิกริยาไม่สามารถเกิดได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะการทดลอง เช่น ตัวทำละลาย อัตราส่วนโดยโมลของสารที่เข้าทำปฏิกริยาไม่เหมาะสม ส่วนปฏิกริยาการดัดแปรแป้งด้วย Succinic Anhydride (SA) นั้น ได้สภาวะเหมาะสมที่ทำให้ปฏิกริยาเกิดขึ้นได้ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วยแป้ง : SA เป็น 1:2 ทำปฏิกริยาในเอทานอล จากนั้นนำสภาวะดังกล่าวมาใช้ในการเตรียมแป้งดัดแปรด้วย 2-Dodecyl Succinic Anhydride (DDSA) ซึ่งมีความเป็นไฮโดรโฟบิกมากกว่า SA ซึ่งจากผลการศึกษาด้วยเทคนิค FTIR พบว่าสภาวะที่ใช้ อัตราส่วนโดยโมลระหว่างหน่วยแป้ง:DDSA เป็น 1:2 (SDDSA3) ทำให้ได้การเข้าแทนที่ของหมู่ dodecyl (C12) มากที่สุด

การศึกษาลักษณะของชนิดและเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบต่างๆในพอลิเมอร์ผสม เช่น ปริมาณแป้ง (unmodified starch) สารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ (NR, ENR, Ecoflex) สาร compatibilizer (PE-g-MA และแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วย DDSA (modified starch)) และสาร plasticizer (กลีเซอรอล) ต่อ ลักษณะพื้นผิว (surface morphology) และสมบัติการทนแรงดึง (tensile properties) ของพอลิเมอร์ผสม จากผลการศึกษาพบว่า การดัดแปรโครงสร้างของแป้งและยางธรรมชาติอีพอกซีไดซ์ (ENR) ไม่มีผลมากนักในการเพิ่มระดับความเข้ากันได้ระหว่าง LDPE และแป้ง โดยพบว่าการใช้ 10% NR เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นชีวภาพ และ 3% PE-g-MA เป็นสาร compatibilizer ให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และสามารถเป่าขึ้นรูปถุงตัวอย่างได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม 20% กลีเซอรอล มีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น และเมื่อศึกษาลักษณะของสารเพิ่มความยืดหยุ่นระหว่าง NR และ Ecoflex พบว่าสารทั้ง 2 ชนิดมีส่วนช่วยให้สามารถเป่าขึ้นรูปถุงตัวอย่างได้ โดยชิ้นงานที่มี Ecoflex เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นจะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามในการเตรียมถุงปลูกเพื่อนำไปใช้งานจริงนั้นได้เลือกใช้ทั้ง NR และ Ecoflex เป็นส่วนผสมร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากต้องการให้ถุงเกิดการย่อยสลายที่ระยะเวลาแตกต่างกัน โดยถุงปลูกที่มี NR เป็นส่วนผสมและมีปริมาณแป้ง 40 และ 50% จะถูกนำไปใช้ในการปลูกกล้าพริกซึ่งต้องการให้ถุงเกิดการย่อยสลายภายในระยะเวลา 1 เดือน และถุงปลูกที่มี Ecoflex เป็นส่วนผสมนั้น จะมีการเติมแป้งที่ปริมาณ 30%, 40% และ 50% โดยที่ปริมาณแป้ง 30% จะนำไปใช้ในการปลูกต้นพริกซึ่งต้องการให้ถุงสามารถคงรูปและห่อหุ้มวัสดุปลูกอยู่ได้ในระยะเวลา 6 เดือน และที่ปริมาณแป้ง 40 และ 50% นั้น จะนำไปใช้ในการปลูกสตรอเบอรี่ซึ่งต้องการให้ถุงเกิดการย่อยสลายภายในระยะเวลา 1 เดือน

ศึกษาการย่อยสลายของถุงพลาสติกตัวอย่างโดยการทดสอบการเสียดสี สภาพสมบัติความยืดหยุ่น การเกิดรูพรุนจากการย่อยสลายของแบงก์ในถุง การลดลงของน้ำหนักถุงหลังการใช้งาน นอกจากนี้ยังศึกษาผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่หลังการใช้ถุงปลูกที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบโดยเปรียบเทียบกับปลูกโดยใช้ถุงปลูกปกติ (ถุง LDPE) จากผลการทดลองพบว่าถุงปลูกทุกสูตรที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบมีค่าความยืดหยุ่นสูง ณ จุดขาดลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับถุงปลูกเริ่มต้น ในขณะที่ค่าความทนแรงดึงไม่มีผลกระทบมากนัก ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่มีลักษณะของรูพรุนเกิดขึ้น อีกทั้งยังให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณน้ำหนักของถุงปลูก โดยพบการลดลงของน้ำหนักจากเริ่มต้นเมื่อระยะเวลาในการใช้งานนานขึ้น ในขณะที่ถุงปลูกควบคุมไม่พบการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านสมบัติเชิงกลและน้ำหนักถุง ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าถุงปลูกที่เตรียมได้มีการย่อยสลายของแบงก์เกิดขึ้น นอกจากนี้จากการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่หลังการปลูกด้วยถุงตัวอย่างที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบเปรียบเทียบกับถุงปลูกปกติพบว่า ให้ผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่าการใช้ถุงปลูกย่อยสลายนี้ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบเบื้องต้นในการใช้ถุงเพาะและถุงปลูกโดยใช้พริกขี้หนูและสตรอเบอรี่เป็นพืชต้นแบบ โดยได้ทำการศึกษาในโรงเรือนเพื่อต้องการควบคุมตัวแปรต่างๆเช่น ปริมาณน้ำ แสง แสง โรคพืช โดยจากผลการทดลองพบว่า สามารถใช้ถุงเพาะและถุงปลูกเพื่อลดปริมาณการใช้พลาสติกได้โดยการผสมกับแบงก์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพเพื่อให้เป็นส่วนของถุงที่สามารถเกิดการย่อยสลายได้ โดยเมื่อนำเกณฑ์ความสำเร็จของการใช้ถุงทั้งสองชนิดมาพิจารณาซึ่งประกอบไปด้วย

1. ถุงสามารถคงรูปอยู่ได้ตลอดระยะเวลาการเพาะหรือการปลูก
2. ประเมินผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่ในถุงตัวอย่างเมื่อเทียบกับถุงควบคุมว่าผลผลิตได้เท่ากับหรือดีกว่าถุงควบคุม

จากผลการทดลองพบว่าถุงตัวอย่างทั้งสองชนิดสามารถคงรูปหรือสามารถห่อหุ้มดินหรือวัสดุปลูกได้ดีตลอดระยะเวลาการใช้งานของถุงบนดิน ทำให้ถุงตัวอย่างทั้งสองประเภทผ่านเกณฑ์ความสำเร็จในข้อแรก และเมื่อพิจารณาเกณฑ์ด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชทั้งสองชนิดพบว่า ทั้งพริกและสตรอเบอรี่ในถุงตัวอย่างสามารถให้ผลผลิตที่ดีไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญจากถุงควบคุม ซึ่งแสดงว่าถุงตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองนี้ผ่านเกณฑ์ความสำเร็จด้านการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น แม้ว่าต้นทุนการผลิตถุงตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังมีราคาที่สูงกว่าถุงพลาสติกทั่วไป แต่การใช้ถุงพลาสติกตัวอย่างที่มีส่วนที่ย่อยสลายได้จะมีส่วนในการลดมลภาวะและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของถุงให้ดีขึ้น และวิจัยเพื่อลดต้นทุนการผลิตให้เทียบเท่ากับถุงพลาสติกทั่วไป เพื่อเป็นตัวเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแก่เกษตรกร

นอกจากนี้ จากการทดลองนี้ ยังได้ข้อสังเกตที่น่าสนใจและสามารถนำไปพัฒนาและปรับปรุงเพื่อใช้ในงานต่อไปได้ เช่น

1. การใช้ถุงตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ไม่ได้เป็นการช่วยให้การย่อยสลายของถุงเร็วขึ้น หรือเกิดการย่อยสลายง่ายขึ้น แต่เป็นการลดปริมาณการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก โดยการใช้พอลิเมอร์ชีวภาพเป็นส่วนผสมในถุงตัวอย่าง

2. หลังจากการนำถุงเพาะไฮสตรอบเออร์เป็นเวลา 1 เดือนและนำถุงลงดินโดยไม่ฉีกถุงออก แต่ทำการเปิดกันถุงก่อนย้ายลงปลูกในดิน ปัญหาที่พบคือรากสตรอบเออร์ไม่สามารถเจริญออกทางด้านข้างได้เนื่องจากถุงหนาเกินไป ทำให้ต้นสตรอบเออร์มีขนาดเล็กในช่วงแรกๆของการปลูก ดังนั้นควรปรับปรุงการเป่าถุงให้มีควมบางมากขึ้น เพื่อให้สลายตัวได้เร็ว ซึ่งจะช่วยให้รากสตรอบเออร์สามารถแทงออกมาได้ง่ายขึ้น

3. จากการย้ายปลูกต้นพริกลงถุงปลูกขนาด 8"x13" สูตรผสมแบ่ง 30% พบปัญหาการเกิดตะไคร่น้ำในถุงและวัสดุปลูก ซึ่งเป็นผลมาจากถุงใสไม่สามารถป้องกันแสงได้ จึงทำให้เกิดตะไคร่น้ำขึ้น ส่งผลให้เกิดการแย่งธาตุอาหารจากพืชและอาจทำให้ต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้น ดังนั้นในการเตรียมถุงครั้งต่อไป ควรทำถุงปลูกให้ทึบแสงโดยการเพิ่มสีขาวยในระหว่างการขึ้นรูปฟิล์ม นอกจากนี้ในระหว่างการปลูกพริก ด้วยถุงย่อยสลายนี้เป็นระยะเวลานาน พบการเจริญของเชื้อราบริเวณถุงเพาะ (ถุงสูตร 1 และ 2 ขนาด 3"x5") ที่อยู่ด้านในถุงปลูก จากการนำเชื้อราไปวิเคราะห์พบกลุ่มเชื้อรา Class Deuteromyces เชื้อรา *Rhizopus* spp. ซึ่งเป็นเชื้อราจำพวก saprophyte ที่เจริญอยู่ในธรรมชาติสภาพแวดล้อมทั่วไปแต่ไม่ได้เป็นเชื้อร่าก่อโรคในพืช แต่จะช่วยให้การย่อยสลายของแบ่งเร็วขึ้น ดังนั้นจึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของต้นพริก

4. จากการศึกษากุฏปลูกพริกที่ระยะเวลาการปลูกประมาณ 6 เดือน พบว่าถุงที่มีส่วนผสมแบ่ง 50% (สูตร 2) เกิดการเปลี่ยนสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลในปริมาณมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่มีปริมาณส่วนผสมของแบ่งในถุงตัวอย่างมาก การสลายตัวของแบ่งและแฉวมอยู่ในน้ำปุ๋ยบริเวณกันถุงเป็นระยะนาน ๆ ก่อให้เกิดกระบวนการหมัก (fermentation) ซึ่งอาจส่งผลกล่าวคือ เกิดสภาพของน้ำปุ๋ยบริเวณกันถุงไม่เหมาะสม ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของราก ขณะที่ถุงที่มีแบ่ง 40% (สูตร 1) พบการเปลี่ยนสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยกว่า ดังนั้นการใช้ถุงที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบในเปอร์เซ็นต์ที่สูงอาจไม่เหมาะสมในการใช้ปลูกพืชระยะเวลานาน เพราะอาจมีผลต่อระบบรากพืชได้ ส่วนถุงเพาะไฮสตรอบเออร์ที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบ 40% (สูตร 4) และ 50% (สูตร 5) พบว่าหลังจากการปลูกครบ 5 เดือนแล้ว มีการเปลี่ยนสีของรากจากสีขาวเป็นสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันเชิงสถิติเมื่อเทียบกับถุงควบคุม (ตารางที่ 4.7)

5. เมื่อทำการประมาณราคาค่าต้นทุนถุงย่อยสลายที่เตรียมได้พบว่าราคาค่าต้นทุนต่อถุงยังมีราคาสูงกว่าถุงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียสารผสมไปค่อนข้างมากในขั้นตอนการเป่าถุง

เนื่องจากการไม่เข้ากันอย่างสมบูรณ์ของส่วนผสมต่างๆ จึงเกิดเป็นเม็ดแบ่งหรือยางขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการฉีกขาดระหว่างการเป่า จึงสามารถเป่าได้ถุงบางส่วนจากการเป่าทั้งหมดเท่านั้น นอกจากนี้ ถุงที่เป่าได้บางส่วนก็ยังมียุทธศาสตร์ที่หนา ทำให้ได้จึงมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักสารที่ผสมเริ่มต้นทั้งหมด ทำให้ราคาต้นทุนวัสดุต่อถุง มีค่าสูงเมื่อเทียบกับราคาถุงที่ใช้จริงในปัจจุบัน ดังนั้นจะต้องทำการพัฒนาสูตรถุงย่อยสลายเพิ่มเติมเพื่อให้ได้สูตรที่สามารถเป่าได้อย่างต่อเนื่องและมีความบาง ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนการผลิตอย่างมาก

6. จากการศึกษาระยะเวลาการเก็บของถุงก่อนการใช้งาน (stability) ว่าถุงเกิดการเสื่อมสภาพก่อนการใช้งานหรือไม่ โดยทำการทดสอบค่าการทนแรงดึง (tensile properties) ของถุงที่เวลาการเก็บต่างๆ กันพบว่าสามารถเก็บถุงนี้ในถุงซิปลเป็นระยะเวลาหลายเดือนก่อนการใช้งานแล้วถุงยังมีสมบัติความยืดหยุ่นเหมือนเดิม อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเก็บถุงในสภาวะเปิด (ไม่ได้เก็บในถุงซิปล) พบว่าถุงมีลักษณะติดกันและมีราเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ถุงมีแบ่งเป็นส่วนประกอบจึงสามารถดูดความชื้นได้ง่าย

ตาราง 5.1 เปรียบเทียบกิจกรรมที่เสนอในข้อเสนอโครงการและกิจกรรมที่ทำจริง

กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	กิจกรรมที่ทำได้จริง
1. ดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ เพื่อความเข้ากันได้ระหว่าง LDPE และทดสอบความเข้ากันได้กับองค์ประกอบต่างๆ ในสารผสม	1. สามารถสังเคราะห์แป้งดัดแปรด้วย SA และ DDSA และสังเคราะห์ยางชนิด NR และ ENR เมื่อทดสอบความเข้ากันได้พบว่าองค์ประกอบต่างๆ สามารถเข้ากันได้ดีและไม่เกิดการไหม้เมื่อทำการเป่า
2. ศึกษาผลของปริมาณของแป้งและองค์ประกอบต่างๆ ต่อสมบัติการทนแรงดึง สมบัติพื้นผิวและสมบัติเชิงความร้อน	2. ศึกษาผลขององค์ประกอบต่างๆ ไปนี้ต่อสมบัติการทนแรงดึง สมบัติพื้นผิวและสมบัติเชิงความร้อน - ผลของอัตราส่วนระหว่าง LDPE และแป้ง - ผลของปริมาณ PE-g-MA ซึ่งเป็นสาร compatibilizer - ผลของชนิดของยาง ได้แก่ NR และ ENR - ผลของปริมาณ NR - ผลของปริมาณกลีเซอรอล ซึ่งเป็นสาร plasticizer - ผลของปริมาณแป้งดัดแปรด้วย DDSA

กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	กิจกรรมที่ทำได้จริง
3. ขึ้นรูปของของผสมระหว่าง LDPE และแบ่งเป็นแผ่นฟิล์ม	3. สามารถเตรียมถุงต้นแบบ 5 สูตร เพื่อใช้ในการปลูกพริก และสตรอเบอรี่ ดังแสดงรายละเอียดสูตรในตาราง 3.11
4. วิเคราะห์การย่อยสลายของพลาสติกต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการ	4. ทดสอบการย่อยสลายถุงที่มีแบ่ง 40% และ 50% ในระดับห้องปฏิบัติการเปรียบเทียบกับถุง LDPE พบว่าถุงที่มีแบ่ง 50% ย่อยสลายดีที่สุด (39.97%) ส่วนถุงที่มีแบ่ง 40% สลายไป 24.77% ส่วนถุงควบคุม LDPE ไม่มีการสลายเลย
5. ทดสอบการใช้ถุงตัวอย่างที่มีปริมาณแบ่งต่างกันเพื่อเป็นถุงเพาะกล้าพริก ถุงปลูกพริกและถุงชำโหลสตรอเบอรี่	5. สามารถใช้ถุงตัวอย่างดังรายละเอียดในตาราง 3.11 เพื่อเพาะกล้าพริก ปลูกต้นพริกและชำโหลสตรอเบอรี่ได้
6. ศึกษาการย่อยสลายของถุงตัวอย่างทั้งหมด โดยศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติพื้นผิวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถุงก่อนและหลังการใช้งานที่ระยะเวลาต่างๆกัน	6. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ เช่น สมบัติการทนแรงดึง ความยืด หยุ่น จุดขาด สมบัติพื้นผิวและการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถุงหลังการใช้งาน ทำให้ทราบว่าถุงที่มีแบ่ง 50% เกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่าถุงที่มีแบ่ง 40% ขณะที่ถุงปลูกปกติ (ถุง LDPE) ไม่เกิดการย่อยสลาย
7. ศึกษาผลของการใช้ถุงตัวอย่างที่มีแบ่งเป็นส่วนประกอบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกและสตรอเบอรี่	7. ทราบว่าผลการเจริญเติบโตและผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่ระหว่างการปลูกในถุงที่มีแบ่งและถุงควบคุม (ถุง LDPE) นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงว่าการใช้ถุงปลูกย่อยสลายนี้ไม่มีผลกระทบต่อผลผลิตพริกและสตรอเบอรี่

ตาราง 5.2 เปรียบเทียบ output ที่เสนอในข้อเสนอโครงการและที่ได้จริง

Output		ในกรณีล่าช้า ให้ท่าน ระบุสาเหตุและการ แก้ไข
กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ/หรือจากการปรับแผน	ผลสำเร็จ (%)	
1. ดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและยางธรรมชาติ	100%	-
2. ศึกษาผลของปริมาณของแป้งและองค์ประกอบต่างๆต่อสมบัติการทนแรงดึง สมบัติพื้นผิวและสมบัติเชิงความร้อน	100%	-
3. ขึ้นรูปของของผสมระหว่าง LDPE และแป้งเป็นแผ่นฟิล์ม	100%	-
4. วิเคราะห์การย่อยสลายของพลาสติกต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการ	100%	-
5. ทดสอบการใช้ถุงตัวอย่างที่มีปริมาณแป้งต่างกันเพื่อเป็นถุงเพาะกล้าพริก ถุงปลูกพริกและถุงชำโหลสตรอเบอรี่	100%	-
6. ศึกษาการย่อยสลายของถุงตัวอย่างทั้งหมด โดยการศึกษาสมบัติทางกายภาพ	100%	-
7. ศึกษาผลของการใช้ถุงตัวอย่างที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพริกและสตรอเบอรี่	100%	-

ลงนาม.....

(รองศาสตราจารย์.ดร.เมธา รัตนกรพิทักษ์)

หัวหน้าโครงการวิจัย

26 ตุลาคม 2553

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผู้จัดการออนไลน์. (30 พฤศจิกายน 2550) สมาคมพลาสติกชีวภาพ นกตลาดบรรจุภัณฑ์ สิ่งแวดล้อมไร้กระแสโลกร้อน. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2551.
จาก:http://www.reangwa.co.th/news/content_detail.asp?c=25
- [2] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2 มีนาคม 2550) กรอบการวิจัยพลาสติกชีวภาพของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2551. จาก: <http://www.nrct.net/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=2660&mode=t>
- [3] เดลินิวส์. (17 ตุลาคม 2549). พลาสติกชีวภาพ. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มกราคม 2551. จาก: <http://library.kmitnb.ac.th/clipping/UploadFiles/pdf-jvm31143.pdf>
- [4] Arvanitoyannis I, Biliaderis CG, Ogawa H, Kawasaki N. Biodegradable film made from low-density polyethylene (LDPE), rice starch and potato starch for food packaging application: Part 1. Carbohydrate Polymer 1998;36:89-104.
- [5] Psomiadou E, Arvanitoyannis I, Biliaderis CG, Ogawa H, Kawasaki N. Biodegradable films made from low density polyethylene (LDPE), wheat starch and soluble starch for food packaging applications. Part 2. Carbohydrate Polymers 1997;33:227-242.
- [6] Thakore IM, Desai S, Sarawade BD, Devi S. Studies on biodegradability, morphology and thermo-mechanical properties of LDPE/modified starch blends. European polymer journal 2001;37:151-160.
- [7] Nakamura EM, Cordi L, Almeida GSG, Duran N, Mei LHI. Study and development of LDPE/starch partially biodegradable compounds. Journal of Material Processing Technology 2005;162-163:236-241.
- [8] Huang CY, Roan ML, Kuo MC, Lu WL. Effect of compatibiliser on the biodegradation and mechanical properties of high-content starch/low-density polyethylene blends. Polymer Degradation and Stability 2005;90:95-105.
- [9] Kumar CR, Fuhrmann I, Karger-Kocsis J. LDPE-based thermoplastic elastomers containing ground tire rubber with and without dynamic curing. Polymer Degradation and Stability 2002;76:137-144.
- [10] Siri-Upathum C, Punnachaiya S. Radiation cross-linking of small electrical wire insulator fabricated from NR/LDPE blends. NIMB Beam Interactions with Materials & Atoms 2007;265:109-113.
- [11] Gerald JL. Degradable Plastics. United States Patent 4983651 (May 21, 1987)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของถุงปลูกก่อนการใช้งาน

LDPE บริสุทธิ์

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	15	8	372.5	503.5
2	14	9	430.1	479.0
3	13	7	400.1	449.5
4	10	9	406.0	510.0
5	15	8	403.5	545.3
6	14	7	469.5	469.0
เฉลี่ย	13.5	8	413.6	492.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.9	0.89	32.94	34.05

Recycled PE

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	12	9	523.5	698.5
2	11	8	558.5	708.0
3	10	10	556.0	616.5
4	13	9	530.5	630.2
5	14	8	522.5	578.3
6	11	7	487.0	590.5
เฉลี่ย	11.83	8.5	529.7	637.0
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	1.05	26.2	54.58

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
2	70	30	20	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	10	7	240.5	108.5
2	11	6	196.5	117.0
3	9	8	234.0	108.5
4	8	8	247.0	125.5
5	7	6	210.5	102.5
6	8	5	211.0	105.5
เฉลี่ย	8.83	6.67	223.25	111.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	1.21	20.03	8.49

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
3	60	40	20	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	7	5	126.0	143.0
2	7	4	150.0	139.0
3	5	7	145.0	161.5
4	4	6	185.5	157.5
5	6	7	119.0	155.5
6	7	5	139.5	147.0
เฉลี่ย	6	5.67	144.17	150.58
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.26	1.21	23.36	8.89

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
4	50	50	20	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	9	5	200.1	154.0
2	8	7	192.5	132.5
3	7	7	199.5	160.5
4	9	6	185.5	129.3
5	6	5	194.5	156.0
6	7	6	184.5	143.5
เฉลี่ย	7.67	6	192.68	145.97
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.21	0.89	6.79	12.97

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
5	40	60	20	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	5	243.0	226.5
2	6	4	225.5	223.5
3	6	5	246.0	216
4	7	3	206.5	210
5	5	4	217.5	225
6	4	4	244.0	238
เฉลี่ย	5.5	4.17	230.42	223.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.05	0.75	16.42	9.58

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
6	30	70	20	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	4	4	143.5	160.0
2	3	4	146.0	168.0
3	2	3	167.0	198.5
4	4	5	137.5	158.0
5	3	4	169.0	196.0
6	4	4	147.0	187.5
เฉลี่ย	3.33	4	151.67	178.0
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.82	0.63	13.09	18.21

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
8	50	50	20	10	1

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	4	5	65.0	100.0
2	5	4	77.5	98.0
3	6	3	68.5	93.0
4	7	5	68.5	111.5
5	5	3	74.5	103.0
6	6	3	70.0	80.5
เฉลี่ย	5.5	3.83	70.67	97.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.05	0.98	4.55	10.41

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
9	50	50	20	10	5

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	10	8	277.5	257.5
2	11	9	263.5	263.0
3	9	7	275.0	240.0
4	8	6	278.5	228.0
5	7	5	269.0	251.0
6	9	5	259.5	235.0
เฉลี่ย	9	6.67	270.5	247.75
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.41	1.63	7.82	13.16

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	ENR	PE-g-MA
10	50	50	20	10	1

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	3	105.5	76.0
2	4	5	105.5	85.5
3	4	4	100.0	114.0
4	3	2	102.5	71.0
5	5	5	105.0	112.5
6	3	3	103.0	101.5
เฉลี่ย	4	3.67	103.58	93.42
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.89	1.21	2.18	18.56

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	ENR	PE-g-MA
11	50	50	20	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	3	95.0	85.0
2	3	2	76.0	111.0
3	4	3	122.0	93.0
4	6	5	91.0	79.0
5	7	7	73.0	93.5
6	5	6	111.0	125.0
เฉลี่ย	5	4.3	94.67	97.75
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.41	1.97	19.21	17.16

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	ENR	PE-g-MA
12	50	50	20	10	5

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	3	257.5	260.0
2	6	5	243.1	229.0
3	7	7	221.0	258.5
4	8	4	226.5	219.0
5	9	6	227.5	241.5
6	6	3	220.5	269.0
เฉลี่ย	6.83	4.67	232.68	246.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	1.63	14.66	19.59

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
13	50	50	20	0	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	4	167.5	206.0
2	4	3	144.0	138.5
3	6	5	162.5	184.0
4	7	4	173.0	142.0
5	3	3	129.5	150.5
6	6	5	169.0	156.5
เฉลี่ย	5.17	4	157.58	162.92
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	0.89	17.11	26.57

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
14	50	50	20	20	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	9	5	148.0	248.5
2	9	7	160.0	279.0
3	8	7	151.0	264.5
4	7	6	145.5	234.0
5	7	7	137.5	247.0
6	9	6	124.5	202.0
เฉลี่ย	8.17	6.33	144.42	245.83
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.98	0.81	12.20	26.53

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	PE-g-MA
15	50	50	0	10	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	12	8	23.5	14.5
2	11	8	22.5	11.0
3	10	9	17.5	13.5
4	9	7	23.5	12.5
5	10	7	24.0	13.0
6	11	8	23.5	10.5
เฉลี่ย	10.5	7.8	22.42	12.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.05	0.75	2.46	1.52

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	(SDDSA1)
17	50	50	20	10	1

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	7	5	48	54.0
2	6	6	64.5	48.5
3	6	5	47.5	54.0
4	5	5	50.0	46.5
5	6	4	46.5	42.5
6	6	5	53.5	40.5
เฉลี่ย	6	5	51.67	47.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	0.63	6.76	5.67

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	(SDDSA2)
18	50	50	20	10	1

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	7	5	54.5	30.0
2	8	5	40.0	35.5
3	9	4	51.5	27.0
4	8	6	53.0	34.0
5	8	5	43.0	35.0
6	8	3	40.5	31.0
เฉลี่ย	8	4.67	47.08	32.08
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	1.03	6.63	3.32

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)		ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของเม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)		
	LDPE	Starch	Glycerol	NR	(SDDSA3)
19	50	50	20	10	1

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	8	3	50.5	44.0
2	7	4	53.0	37.5
3	7	5	44.5	44.0
4	7	7	39.0	39.5
5	6	6	50.0	44.5
6	6	7	42.0	43.5
เฉลี่ย	6.8	5.3	46.5	42.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.75	1.63	5.49	2.93

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)				ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของ เม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)	
	LDPE	LLDPE	Ecoflex	Starch	Glycerol	PE-g-MA
20	40	10	20	30	20	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	12	8	451.0	63.5
2	11	7	459.5	71.0
3	12	8	457.0	89.0
4	10	6	455.5	72.0
5	12	8	455.0	79.5
6	9	7	484.5	77.5
เฉลี่ย	11	7.33	460.42	78.5
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.5	0.82	12.12	8.70

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)				ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของ เม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)	
	LDPE	LLDPE	Ecoflex	Starch	Glycerol	PE-g-MA
21	30	10	20	40	20	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	11	7	444.5	190.0
2	10	6	475.5	155.0
3	12	5	475.0	168.0
4	13	8	419.5	150.0
5	9	7	430.0	156.0
6	9	6	421.0	1188.5
เฉลี่ย	10.67	6.5	444.25	143.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.63	1.05	25.61	17.56

สูตร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (w/w)				ร้อยละโดยน้ำหนักรวมของ เม็ดพลาสติกและแป้ง (%wt)	
	LDPE	LLDPE	Ecoflex	Starch	Glycerol	PE-g-MA
22	20	10	20	50	20	3

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	12	7	470.0	197.5
2	11	6	436.0	191.5
3	10	9	478.5	157.0
4	12	8	471.5	160.0
5	9	5	438.5	143.0
6	13	8	446.0	180.5
เฉลี่ย	11.17	7.17	456.75	171.58
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	1.47	18.68	21.50

ตารางแสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของถุงปลูกภายหลังการใช้งาน

1. ถุงควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกกล้าพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 0 เดือน

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	19	14	850.35	678.50
2	18	13	847.10	756.90
3	18	15	830.20	732.10
4	16	14	800.90	700.30
5	17	12	797.00	691.50
6	22	11	821.70	680.10
เฉลี่ย	18.33	13.17	824.54	706.60
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.07	1.47	22.51	31.43

2. ถุงควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกกล้าพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 1 เดือน

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	17	14	843.1	657.8
2	18	13	878.9	678.9
3	16	15	830.5	700.5
4	17	16	809.2	654.3
5	15	12	811.8	634.9
6	18	17	799.5	697.8
เฉลี่ย	16.83	14.5	828.83	670.7
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.17	1.87	29.15	26.10

3. คุณสมบัติที่ใช้สำหรับปลุกกล้าพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	18	12	789.4	654.9
2	16	13	765.0	623.0
3	17	15	800.5	690.3
4	18	14	745.8	700.2
5	16	16	823.9	674.0
6	18	17	796.2	641.9
เฉลี่ย	17.17	14.5	786.8	664.05
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.98	1.87	27.62	29.51

4. คุณสมบัติปลุกกล้าพริก ปริมาณแฉ่ำ 40% (ภายหลังการใช้งาน 1 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	3	3	6.42	6.95
2	3	4	9.48	6.19
3	3	5	9.18	5.83
4	3	3	8.75	8.90
5	2	4	5.90	7.30
6	4	4	9.67	9.45
เฉลี่ย	3	3.83	8.23	7.44
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	0.75	1.64	1.46

5. ถูปลูกกล้วยตาก ปริมาณแป้ง 40% (ภายหลังการใช้งาน 5 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	3	3	24.09	61.59
2	4	4	27.66	50.82
3	4	5	19.04	63.26
4	4	4	30.20	48.30
5	4	4	34.90	39.10
6	5	4	29.50	28.40
เฉลี่ย	4	4	27.57	48.58
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	0.58	5.46	13.32

6. ถูปลูกกล้วยตาก ปริมาณแป้ง 50% (ภายหลังการใช้งาน 1 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	2	4	56.22	96.67
2	3	4	98.53	90.51
3	2	3	67.87	63.09
4	2	3	45.30	45.30
5	3	3	69.09	59.70
6	3	4	80.20	80.60
เฉลี่ย	2.5	3.5	69.54	72.65
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.55	0.55	18.56	19.83

7. ถูปลูกกล้วยตาก ปริมาณแป้ง 50% (ภายหลังการใช้งาน 5 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	3	6	45.25	69.08
2	2	8	71.37	55.37
3	3	8	70.46	62.98
4	3	6	48.16	52.01
5	3	7	49.37	48.92
6	3	8	44.06	47.79
เฉลี่ย	2.83	7.12	54.78	56.03
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	0.98	12.65	8.41

8. ถูควบคุมที่ใช้สำหรับปลูกต้นพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 0 เดือน

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	16	12	880.90	645.0
2	19	13	878.69	600.0
3	21	12	795.60	678.0
4	18	15	789.12	723.4
5	21	14	757.30	690.4
6	18	13	799.50	714.8
เฉลี่ย	18.83	13.17	816.85	675.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.94	1.17	50.98	46.25

9. ถูควบคุมที่ใช้สำหรับปลุกต้นพริกที่ระยะเวลาการใช้งาน 5 เดือน

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	15	11	870.4	645.3
2	15	10	789.4	672.9
3	16	12	825.6	712.9
4	17	15	799.3	635.9
5	14	14	759.2	735.7
6	13	9	867.1	700.8
เฉลี่ย	15	11.83	818.5	683.92
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.41	2.32	44.36	39.31

10. ถูปลุกต้นพริก ปริมาณแบ่ง 30% (ภายหลังการใช้งาน 5 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	9	5	153.9	28.24
2	8	4	139.5	23.53
3	9	4	135.8	26.80
4	8	4	168.0	19.05
5	8	5	128.7	21.60
6	9	5	132.9	20.19
เฉลี่ย	8.5	4.5	143.13	23.24
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.55	0.55	14.93	3.67

11. ถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ ปริมาณแบ่ง 40% (หลังผลิตไหล 1 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	8	4	95.11	11.33
2	5	5	43.52	15.34
3	6	5	59.55	12.45
4	6	7	78.21	15.91
5	6	5	52.87	16.30
6	9	6	102.1	14.80
เฉลี่ย	6.4	5.3	71.89	14.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.52	1.03	23.71	2.01

12. ถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ ปริมาณแบ่ง 40% (หลังผลิตไหล 2 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	8	6	54.01	11.19
2	7	4	60.36	10.56
3	8	3	53.13	10.56
4	6	3	70.30	19.04
5	8	4	82.89	15.90
6	7	5	76.9	20.45
เฉลี่ย	7.3	4.17	66.27	14.62
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.82	1.17	12.36	4.47

13. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 40% (หลังปลูก 1 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	3	67.2	30.9
2	4	4	54.3	30.8
3	3	6	40.9	25.6
4	7	8	38.6	35.2
5	6	5	56.6	43.1
6	5	7	68	30.7
เฉลี่ย	5	5.5	54.27	32.72
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.41	1.87	12.53	5.93

14. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 40% (หลังปลูก 2 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	6	8	35.91	26.38
2	7	7	20.24	17.17
3	6	12	21.19	19.58
4	5	8	31.49	32.91
5	4	6	54.06	34.48
6	6	5	79.68	33.80
เฉลี่ย	5.67	7.67	40.43	27.39
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.03	2.42	22.82	7.59

15. ถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ ปริมาณแป้ง 40% (หลังปลูก 3 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	6	3	34.20	34.60
2	5	5	28.10	43.10
3	4	6	43.00	54.00
4	5	4	68.00	37.00
5	8	7	24.90	43.70
6	6	5	30.45	28.00
เฉลี่ย	5.67	5	38.11	40.07
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.37	1.41	15.91	8.96

16. ถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ ปริมาณแป้ง 40% (หลังปลูก 4 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	4	30.5	23.0
2	3	6	45.0	27.0
3	5	5	28.0	42.0
4	4	6	25.6	30.8
5	7	3	18.0	25.0
6	3	4	16.9	33.2
เฉลี่ย	4.5	4.67	27.33	30.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.38	1.21	10.21	6.89

17. ถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ ปริมาณแบ่ง 40% (หลังปลูก 5 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	6	5	32.81	45.37
2	5	4	14.23	44.64
3	6	4	51.03	35.81
4	5	4	26.41	37.21
5	3	4	37.21	31.21
6	5	5	43.01	32.05
เฉลี่ย	5	4.3	34.12	37.72
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.09	0.52	12.89	6.08

18. ถุงปลูกไหลสตรอเบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังผลิตไหล 1 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	7	5	3.94	2.38
2	6	5	6.04	3.04
3	7	5	5.76	2.91
4	5	3	7.09	2.63
5	7	2	6.90	4.90
6	6	2	5.90	3.80
เฉลี่ย	6.33	3.67	5.94	3.28
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.82	1.51	1.21	0.93

19. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังผลิตไหล 2 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	7	6	19.02	3.46
2	7	6	17.80	3.01
3	6	5	13.35	8.26
4	5	4	12.30	9.70
5	7	3	15.60	4.67
6	6	2	17.80	5.89
เฉลี่ย	6.33	4.33	15.98	5.83
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.82	1.63	2.70	2.68

20. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังปลูก 1 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	6	4	12.10	4.70
2	5	6	15.20	5.90
3	4	5	9.30	6.30
4	7	8	8.70	3.20
5	3	7	13.40	4.80
6	6	9	18.80	5.67
เฉลี่ย	5.17	6.5	11.92	5.09
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	1.87	2.49	1.12

21. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังปลูก 2 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	6	4	12.10	4.70
2	5	6	15.20	5.90
3	4	5	9.30	6.30
4	7	8	8.70	3.20
5	3	7	13.40	4.80
6	6	9	18.80	5.67
เฉลี่ย	5.17	6.5	11.92	5.09
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.47	1.87	2.49	1.12

22. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังปลูก 3 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	3	8.90	13.00
2	4	6	10.70	8.00
3	5	4	11.30	7.00
4	3	7	12.00	9.00
5	7	6	15.70	5.80
6	6	3	14.00	9.50
เฉลี่ย	5	5	12.10	8.72
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.41	4.86	2.43	2.049

23. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังปลูก 4 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	5	5	14.20	8.60
2	7	6	8.90	7.80
3	3	7	10.40	4.50
4	5	5	15.30	5.10
5	4	4	11.40	9.00
6	8	6	9.00	5.00
เฉลี่ย	5.33	5.5	11.53	6.67
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.86	1.05	2.68	2.02

24. ถูปลูกไหลสตรอบอรี่ ปริมาณแบ่ง 50% (หลังปลูก 5 เดือน)

sample	Tensile strength (MPa)		Elongation (%)	
	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง	ตามแนวยาว	ตามแนวขวาง
1	7	4	13.26	8.24
2	6	4	12.97	10.82
3	6	4	11.50	12.41
4	6	4	13.81	7.45
5	6	4	24.79	6.25
6	6	4	28.56	11.79
เฉลี่ย	6.17	4	17.48	9.49
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.41	0	7.26	2.52

ภาคผนวก ข

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นกล้าของพริกขี้หนูเผือก สัปดาห์ที่ 1

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Treatments	2	19.89	9.94	18.00	0.00
Error	177	97.62	0.55		
Total	179	117.51			
LSD _{0.05}	= 0.27				
CV (%)	= 12.43				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นกล้าของพริกขี้หนูเผือก สัปดาห์ที่ 2

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Treatments	2	119.73	59.86	13.10	0.00
Error	177	810.47	4.58		
Total	179	930.19			
LSD _{0.05}	= 0.77				
CV (%)	= 14.96				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเผือก สัปดาห์ที่ 3

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Treatments	2	20.28	10.14	1.04	0.36
Error	177	1,733.64	9.79		
Total	179	1,753.92			
LSD _{0.05}	= 1.13				
CV (%)	= 11.23				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเปรี้ยวสด สัปดาห์ที่ 1

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	21.04	10.52		
Treatments	2	7.84	3.92	1.77	0.28
Error	4	8.83	2.21		
Total	8	37.71			
LSD _{0.05}	= 3.37				
CV (%)	= 2.61				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเปรี้ยวสด สัปดาห์ที่ 2

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	8.79	4.39		
Treatments	2	4.06	2.03	0.38	0.71
Error	4	21.32	5.33		
Total	8	34.16			
LSD _{0.05}	= 5.23				
CV (%)	= 3.44				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเปรี้ยวสด สัปดาห์ที่ 3

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	86.99	43.49		
Treatments	2	155.42	77.71	0.78	0.52
Error	4	400.76	100.19		
Total	8	643.17			
LSD _{0.05}	= 22.69				
CV (%)	= 11.65				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเปรี้ยวสด สัปดาห์ที่ 4

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	3.96	1.98		
Treatments	2	61.64	30.82	0.88	0.48
Error	4	139.61	34.90		
Total	8	205.20			
LSD _{0.05}	= 13.39				
CV (%)	= 4.92				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเปรี้ยวสด สัปดาห์ที่ 5

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	11.37	5.69		
Treatments	2	72.33	36.17	0.34	0.73
Error	4	426.20	106.55		
Total	8	509.90			
LSD _{0.05}	= 23.40				
CV (%)	= 7.46				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเปรี้ยวสด สัปดาห์ที่ 6

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	15.01	7.50		
Treatments	2	164.49	82.24	1.01	0.44
Error	4	324.34	81.09		
Total	8	503.84			
LSD _{0.05}	= 20.41				
CV (%)	= 5.81				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเผือก สัปดาห์ที่ 7

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	136.42	68.21		
Treatments	2	26.89	13.44	0.13	0.88
Error	4	423.53	105.88		
Total	8	586.84			
LSD _{0.05}	= 23.33				
CV (%)	= 5.89				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของพริกขี้หนูเผือก สัปดาห์ที่ 8

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	361.69	180.84		
Treatments	2	4,567.99	2284.00	3.54	0.13
Error	4	2,577.63	644.41		
Total	8	7,507.31			
LSD _{0.05}	= 57.55				
CV (%)	= 12.12				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักผลผลิตของพริกขี้หนูเผือก

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	59,239.00	29,619.60		
Treatments	2	986.00	493.10	0.02	0.98
Error	4	100,418.00	25,104.50		
Total	8	160,643.00			
LSD _{0.05}	= 359.19				
CV (%)	= 17.19				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักรากผลผลิตแห้งของพริกขี้หนูเปราะฮอท

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	2,175.60	1,087.79		
Treatments	2	281.20	140.61	0.07	0.93
Error	4	7,927.20	1,981.80		
Total	8	10,384.00			
LSD _{0.05}	= 100.92				
CV (%)	= 16.07				

ภาคผนวก ค

ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความสูงต้นของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	1.89	0.94		
Treatments	2	0.20	0.10	0.36	0.72
Error	4	1.13	0.28		
Total	8	3.22			
LSD _{0.05}	= 1.20				
CV (%)	= 6.96				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนจำนวนใบต่อต้นของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	3.85	1.93		
Treatments	2	1.30	0.65	0.37	0.71
Error	4	6.96	1.74		
Total	8	12.11			
LSD _{0.05}	= 2.99				
CV (%)	= 18.31				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างใบของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	0.21	0.10		
Treatments	2	0.14	0.07	10.57	0.03
Error	4	0.03	0.01		
Total	8	0.38			
LSD _{0.05}	= 0.19				
CV (%)	= 2.93				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวใบของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	0.19	0.09		
Treatments	2	0.16	0.08	2.75	0.18
Error	4	0.12	0.03		
Total	8	0.46			
LSD _{0.05}	= 0.39				
CV (%)	= 5.59				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างทรงพุ่มของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	5.80	2.90		
Treatments	2	3.93	1.96	1.90	0.26
Error	4	4.14	1.04		
Total	8	13.87			
LSD _{0.05}	= 2.31				
CV (%)	= 8.62				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวรากของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	M	F	P
Blocks	2	9.25	4.63		
Treatments	2	5.56	2.78	0.27	0.78
Error	4	41.52	10.38		
Total	8	56.33			
LSD _{0.05}	= 7.30				
CV (%)	= 15.29				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักรากของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	5.71	2.85		
Treatments	2	8.89	4.45	4.88	0.08
Error	4	3.64	0.91		
Total	8	18.24			
LSD _{0.05}	= 2.16				
CV (%)	= 23.91				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนเปอร์เซ็นต์รากเน่าของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	42.89	21.44		
Treatments	2	16.72	8.36	0.51	0.64
Error	4	66.11	16.53		
Total	8	125.72			
LSD _{0.05}	= 9.22				
CV (%)	= 5.12				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนน้ำหนักผลของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	1.17	0.59		
Treatments	2	0.72	0.36	1.24	0.38
Error	4	1.16	0.29		
Total	8	3.05			
LSD _{0.05}	= 1.22				
CV (%)	= 12.05				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความกว้างผลของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	5.11	2.55		
Treatments	2	50.95	25.48	7.94	0.04
Error	4	12.83	3.21		
Total	8	68.89			
LSD _{0.05}	= 4.06				
CV (%)	= 12.70				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความยาวผลของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	15.01	7.51		
Treatments	2	103.88	51.94	5.42	0.07
Error	4	38.34	9.59		
Total	8	157.23			
LSD _{0.05}	= 7.02				
CV (%)	= 14.10				

ตาราง การวิเคราะห์ความแปรปรวนความหวานของสตรอเบอรี่พันธุ์ Mara des bois

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Blocks	2	6.86	3.43		
Treatments	2	1.74	0.87	1.04	0.43
Error	4	3.35	0.84		
Total	8	11.95			
LSD _{0.05}	= 2.07				
CV (%)	= 11.88				

ลักษณะอากาศบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่สาใหม่ ต.โป่งแยง อ.แมริม จ.เชียงใหม่

ประจำเดือน มีนาคม พ.ศ.2552

วันที่	อุณหภูมิ (°ซ)			ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)		ปริมาณน้ำฝน (มม.)	การระเหยน้ำ (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	เวลา 08.00 น.	เวลา 15.00 น.		
1	21.00	19.50	19.62	49.46	50.33	-	5.26
2	23.00	19.50	20.44	91.47	40.67	-	3.40
3	22.00	20.00	20.31	65.24	48.18	-	5.78
4	22.00	20.50	20.60	64.84	33.56	-	4.79
5	21.50	19.50	19.83	54.34	40.67	-	6.82
6	24.00	21.00	21.69	57.27	53.01	-	6.89
7	22.50	21.00	21.08	52.65	46.12	-	4.83
8	21.50	20.00	20.11	61.72	46.12	-	5.24
9	24.00	21.00	21.69	68.08	53.01	-	5.87
10	23.50	22.50	22.34	49.46	46.59	-	4.68
11	22.50	21.50	21.37	46.32	53.43	-	6.08
12	23.50	22.50	22.34	61.72	39.36	-	4.65
13	23.50	22.50	22.34	62.58	47.06	-	6.40
14	20.50	16.50	17.71	58.75	66.76	-	4.06
15	23.00	17.00	19.01	77.63	56.49	-	3.31
16	23.50	21.00	21.49	79.00	58.13	-	3.81
17	20.50	16.00	17.43	73.08	71.96	-	3.60
18	21.00	16.00	17.63	95.24	87.89	11.30	-
19	23.50	17.00	19.22	90.69	84.18	-	1.37
20	23.50	17.00	19.22	83.83	76.97	-	2.68
21	23.50	20.50	21.21	83.83	69.63	-	4.00
22	24.00	21.00	21.69	72.78	58.89	-	4.49
23	22.00	20.50	20.60	76.97	64.24	-	4.19
24	23.50	20.00	20.92	87.61	61.75	-	3.54
25	21.50	19.50	19.83	74.24	63.91	-	3.10
26	21.00	17.50	18.49	91.47	62.87	0.20	2.86
27	24.50	19.50	21.05	83.05	69.05	27.30	-
28	25.00	20.00	21.53	70.18	65.60	-	4.06
29	24.50	21.00	21.90	62.16	58.13	5.30	3.08
30	25.50	21.00	22.30	59.66	44.14	-	4.70
31	21.00	18.00	18.77	70.80	55.32	-	5.80
รวม						44.1	129.34
เฉลี่ย	22.77	19.68	20.44	70.2	57.23		
ปริมาณน้ำฝนในรอบเดือน (มม.)	44.10			ฝนตกมากที่สุดในหนึ่งวัน (มม.)		27.30	
อุณหภูมิสูงสุดในรอบเดือน (°ซ)	25.50			จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)		4.00	
อุณหภูมิต่ำสุดในรอบเดือน (°ซ)	16.00						

ประจำเดือน เมษายน พ.ศ.2552

วันที่	อุณหภูมิ (°ซ)			ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)		ปริมาณน้ำฝน	การระเหยน้ำ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	เวลา 08.00 น.	เวลา 15.00 น.	(มม.)	(มม.)
1	22.00	20.00	20.31	83.25	59.87	-	4.76
2	23.00	19.00	20.15	87.17	83.83	-	3.35
3	22.50	19.50	20.23	83.83	58.52	-	-
4	24.00	21.00	21.69	75.91	53.85	52.60	5.00
5	23.50	20.50	21.21	59.21	53.85	-	5.46
6	22.50	21.50	21.37	69.17	53.85	-	5.20
7	21.00	20.50	20.19	79.97	50.33	-	4.48
8	24.00	21.00	21.69	91.47	53.85	-	4.66
9	22.50	21.00	21.08	84.35	64.56	-	4.93
10	23.00	21.00	21.29	84.01	62.69	-	4.63
11	24.00	20.00	21.13	84.01	65.60	-	1.72
12	22.50	21.00	21.08	84.35	62.87	6.20	2.08
13	26.00	22.00	23.08	79.97	60.63	0.90	3.61
14	22.00	21.00	20.88	68.12	68.75	-	4.74
15	24.00	21.00	21.69	91.67	68.75	5.90	2.01
16	25.50	23.50	23.73	76.97	64.87	1.90	3.70
17	24.00	22.50	22.55	70.80	51.22	-	4.81
18	28.50	21.50	23.81	80.41	60.63	-	6.64
19	25.00	23.00	23.24	73.37	35.89	-	4.44
20	25.00	22.50	22.95	67.11	37.59	-	7.53
21	23.50	22.50	22.34	63.79	43.13	-	7.16
22	25.50	23.00	23.44	76.45	41.20	-	6.38
23	25.50	23.50	23.73	74.21	42.60	-	7.00
24	25.50	23.00	23.44	70.80	53.65	-	6.81
25	20.50	20.00	19.70	70.80	44.61	--	6.99
26	21.00	19.00	19.34	95.64	91.57	37.70	6.64
27	22.00	19.50	20.03	95.59	75.47	9.90	-
28	23.00	20.00	20.72	91.67	78.77	17.60	3.80
29	28.50	20.50	23.24	91.76	75.93	1.60	2.14
30	24.00	21.00	21.69	84.35	44.61	-	3.94
รวม						134.30	134.61
เฉลี่ย	23.78	21.17	21.70	79.67	58.78		
ปริมาณน้ำฝนในรอบเดือน (มม.)	134.30			ฝนตกมากที่สุดในวันหนึ่งวัน (มม.)	52.60		
อุณหภูมิสูงสุดในรอบเดือน (°ซ)	28.50			จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)	9.00		
อุณหภูมิต่ำสุดในรอบเดือน (°ซ)	19.00						

ประจำเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2552

วันที่	อุณหภูมิ(°ซ)			ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)		ปริมาณน้ำฝน	การระเหยน้ำ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	เวลา 08.00 น.	เวลา 15.00 น.	(มม.)	(มม.)
1	22.50	19.00	19.95	84.35	76.45	-	4.67
2	23.00	20.00	20.72	91.67	65.93	-	2.93
3	21.50	20.00	20.11	91.57	78.36	0.70	3.37
4	22.00	20.00	20.31	91.67	69.05	0.30	2.85
5	23.50	20.00	20.92	91.67	87.89	-	3.64
6	25.00	22.50	22.95	87.89	84.01	1.40	1.67
7	26.50	22.00	23.28	77.45	65.18	4.00	2.74
8	31.00	22.50	25.39	77.69	64.56	0.30	4.99
9	23.50	21.00	21.49	77.45	62.04	-	5.58
10	24.50	21.00	21.90	87.89	73.25	0.50	4.88
11	24.00	21.00	21.69	84.35	64.56	-	4.63
12	23.50	21.00	21.49	84.35	73.00	-	3.55
13	20.50	19.50	19.42	77.21	81.42	9.30	3.01
14	20.50	19.50	19.42	100.00	95.89	21.20	2.70
15	20.50	19.50	19.42	100.00	95.69	36.20	1.52
16	25.00	20.00	21.53	100.00	88.15	26.69	0.34
17	25.50	20.00	21.74	88.15	88.52	-	3.24
18	27.00	20.50	22.63	91.76	88.86	44.00	-
19	21.00	20.50	20.19	91.57	84.84	1.90	2.32
20	23.50	20.50	21.21	95.69	72.49	11.10	-
21	24.00	20.50	21.41	84.18	66.88	-	4.52
22	26.50	21.00	22.71	84.18	76.15	-	5.53
23	24.50	21.50	22.18	81.61	67.18	-	5.81
24	22.50	21.00	21.08	80.83	73.00	-	5.68
25	22.5	20.50	20.80	91.76	78.77	-	4.05
26	24.00	22.00	22.26	91.67	79.36	2.40	2.21
27	24.00	22.50	22.50	80.63	79.17	-	4.00
28	21.20	21.00	20.56	88.15	71.96	-	4.20
29	22.50	20.00	20.52	95.79	85.15	21.30	4.25
30	21.50	21.00	20.68	95.89	98.89	11.30	1.01
31	25.00	20.00	21.53	100.00	92.11	21.60	2.42
รวม						214.19	102.31
เฉลี่ย	23.62	20.68	21.36	88.62	77.99		
ปริมาณน้ำฝนในรอบเดือน (มม.)				ฝนตกมากที่สุดในวันหนึ่งวัน (มม.)		44.00	
อุณหภูมิสูงสุดในรอบเดือน (°ซ)				จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)		17.00	
อุณหภูมิต่ำสุดในรอบเดือน (°ซ)							

ประจำเดือน มิถุนายน พ.ศ.2552

วันที่	อุณหภูมิ (°ซ)		เฉลี่ย	ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)		ปริมาณน้ำฝน (มม.)	การระเหยน้ำ (มม.)
	สูงสุด	ต่ำสุด		เวลา 08.00 น.	เวลา 15.00 น.		
1	23.00	21.00	21.29	95.74	77.92	10.40	1.67
2	24.00	21.50	21.98	84.01	75.47	-	3.10
3	24.00	21.00	21.69	76.97	78.14	-	4.34
4	27.50	19.50	22.27	80.41	69.34	-	4.15
5	21.50	19.50	19.83	95.79	84.18	69.30	5.70
6	20.50	19.00	19.13	100.00	87.89	7.80	0.78
7	21.00	20.00	19.91	100.00	91.85	7.00	0.58
8	23.00	18.50	19.87	100.00	87.89	4.50	1.28
9	24.00	19.50	20.84	95.69	88.64	1.50	1.23
10	27.50	21.00	23.12	76.45	78.36	4.70	1.93
11	23.00	19.50	20.44	83.64	78.77	-	4.04
12	21.00	19.50	19.62	79.97	81.42	2.80	3.55
13	24.00	20.50	21.41	91.47	84.84	1.60	2.36
14	22.50	21.00	21.08	84.18	92.20	-	2.37
15	28.00	21.50	23.61	83.83	85.58	5.30	1.80
16	21.50	20.50	20.39	88.03	76.15	2.30	3.21
17	21.00	20.00	19.91	100.00	95.98	24.70	2.88
18	23.00	19.00	20.15	100.00	88.28	16.60	0.25
19	21.50	19.50	19.83	91.76	88.64	10.70	0.96
20	27.00	19.50	22.06	95.69	88.64	0.40	2.81
21	26.50	20.00	22.14	91.67	85.15	-	3.34
22	22.00	20.00	20.31	95.69	88.28	3.30	1.70
23	21.50	20.00	20.11	95.79	78.14	1.20	1.86
24	27.00	20.50	22.63	95.79	88.64	9.90	-
25	23.50	21.50	21.78	91.67	85.58	-	2.39
26	25.00	20.00	21.53	91.85	77.92	-	3.25
27	23.50	21.00	21.49	84.68	72.23	0.40	2.29
28	26.50	20.00	22.14	84.18	81.61	-	4.55
29	21.50	20.00	20.11	83.64	77.69	-	2.31
30	21.00	19.00	19.34	91.57	95.93	-	1.79
รวม						184.40	72.47
เฉลี่ย	23.55	20.10	21.00	90.34	83.71		
ปริมาณน้ำฝนในรอบเดือน (มม.)	184.40			ฝนตกมากที่สุดในวันหนึ่งวัน (มม.)		69.30	
อุณหภูมิสูงสุดในรอบเดือน (°ซ)	28.00			จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)		19.00	
อุณหภูมิต่ำสุดในรอบเดือน (°ซ)	18.50						

ประจำเดือน กรกฎาคม พ.ศ.2552

วันที่	อุณหภูมิ (°ซ)			ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (%)		ปริมาณน้ำฝน	การระเหยน้ำ
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	เวลา 08.00 น.	เวลา 15.00 น.	(มม.)	(มม.)
1	23.00	19.00	20.15	100.00	95.89	15.80	-
2	23.00	20.00	20.72	100.00	91.67	5.50	0.70
3	24.50	21.00	21.92	83.83	88.40	4.70	1.03
4	22.00	20.50	20.60	84.52	77.92	2.00	2.25
5	20.50	19.00	19.13	91.67	95.89	1.00	2.72
6	20.50	18.50	18.85	100.00	91.57	29.60	0.89
7	21.00	18.50	19.05	100.00	80.19	10.40	-
8	23.00	20.00	20.72	91.47	88.40	1.50	1.47
9	26.00	21.00	22.51	84.01	78.97	-	2.32
10	22.50	21.50	21.37	76.45	66.25	1.60	-
11	24.50	22.00	22.47	83.83	60.99	-	6.00
12	23.50	22.50	22.34	80.83	85.00	-	5.89
13	22.00	20.00	20.31	84.18	88.40	-	3.93
14	23.00	20.50	21.00	91.67	74.21	3.60	0.97
15	23.00	21.50	21.57	87.89	78.36	-	2.31
16	24.00	22.00	22.26	80.19	66.25	0.30	3.34
17	28.50	20.50	23.24	76.97	66.25	-	5.10
18	21.00	19.50	19.62	91.85	95.93	38.30	--
19	21.50	20.50	20.39	95.69	74.73	20.50	1.37
20	22.00	20	20.31	95.74	87.89	-	3.75
21	22.00	21.00	20.88	95.79	95.89	2.20	1.44
22	23.50	22.00	22.06	91.67	75.23	4.40	0.96
23	22.50	21.50	21.37	84.18	81.79	-	4.47
24	23.50	21.00	21.49	87.76	72.75	0.10	1.95
25	21.00	20.00	19.91	91.85	77.92	-	4.28
26	21.00	20.00	19.91	91.47	88.15	-	3.17
27	23.00	21.00	21.29	100.00	88.15	1.80	0.23
28	22.50	21.00	21.08	87.89	74.99	-	2.05
29	23.00	21.50	21.57	91.76	81.03	-	3.84
30	23.50	20.50	21.21	84.01	92.03	-	1.75
31	25.00	21.00	22.10	100.00	84.52	13.20	-
รวม						156.50	68.18
เฉลี่ย	22.89	20.60	21.01	89.91	82.12		
ปริมาณน้ำฝนในรอบเดือน (มม.)	156.50			ฝนตกมากที่สุดในวันหนึ่งวัน (มม.)		38.30	
อุณหภูมิสูงสุดในรอบเดือน (°ซ)	28.50			จำนวนวันที่ฝนตก (วัน)		18.00	
อุณหภูมิต่ำสุดในรอบเดือน (°ซ)	18.50						

ลักษณะอากาศในโรงเรียนปลูกสตรอเบอรี่ ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงแม่แฮ ต. แม่จาง อ. แม่วาง จ. เชียงใหม่

ประจำเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2552			
วันที่	อุณหภูมิ เวลา 08.00 น. (°ซ)		ความชื้นสัมพัทธ์ในดิน(%)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เวลา 08.00 น.
27	23.00	10.00	10.00
28	23.00	10.00	10.00
29	24.00	11.00	10.00
30	27.00	10.50	10.00

ประจำเดือน ธันวาคม พ.ศ.2552

วันที่	อุณหภูมิเวลา 08.00 น. (°ซ)		ความชื้นสัมพัทธ์ในดิน(%)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เวลา 08.00 น.
1	31.00	12.00	10.00
2	31.50	9.00	10.00
3	30.00	9.50	10.00
4	30.50	9.50	10.00
5	30.50	9.00	10.00
6	30.00	9.00	10.00
7	30.50	9.50	10.00
8	26.50	9.50	10.00
9	29.50	9.50	10.00
10	30.50	9.50	10.00
11	29.50	10.00	10.00
12	31.50	9.50	10.00
13	30.50	10.00	10.00
14	26.00	10.00	10.00
15	32.50	9.50	10.00
16	32.50	9.00	10.00
17	32.00	9.00	10.00
18	34.00	8.00	10.00
19	31.00	12.00	10.00
20	30.50	10.00	10.00
21	32.00	9.00	10.00
22	29.00	9.00	10.00
23	28.00	9.50	10.00
24	30.00	9.00	10.00
25	33.00	9.00	10.00
26	33.50	10.00	10.00
27	34.00	11.00	10.00
28	32.50	1.50	10.00
29	29.50	9.50	10.00
30	32.00	8.00	10.00
31	30.50	9.50	10.00

ประจำเดือน มกราคม พ.ศ.2553

วันที่	อุณหภูมิเวลา 08.00 น. (°ซ)		ความชื้นสัมพัทธ์ในดิน(%)
	สูงสุด	ต่ำสุด	เวลา 08.00 น.
1	29.00	10.00	10.00
2	30.50	10.00	10.00
3	29.00	10.00	10.00
4	30.00	10.00	10.00
5	30.50	9.50	10.00
6	30.50	10.00	10.00
7	30.50	11.00	10.00
8	30.00	11.00	10.00
9	32.00	9.50	10.00
10	32.50	10.00	10.00
11	32.00	9.50	10.00
12	32.00	9.50	10.00
13	30.00	11.00	10.00
14	31.00	12.00	10.00
15	33.00	10.00	10.00
16	32.00	9.00	10.00
17	34.00	8.50	10.00
18	33.00	8.00	10.00
19	29.00	9.00	10.00