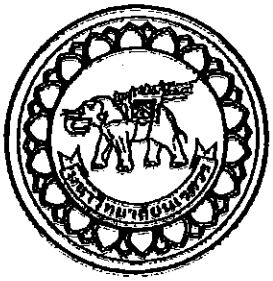


ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติ

EXPERIMENT DESIGN TO STUDY THE TENSILE STRENGTH OF THE POLYMER'S BLEND OF LOW DENSITY POLYETHYLENE WITH NATURAL RUBBER

นางสาวศุภัทธนันท์ รักพงษ์ รหัส 50363853

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 1551596
เลขเรียกหนังสือ ม.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ศ735 ป 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวศุภัทธนันท์ รักพงษ์ รหัส 50363853

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข)

.....กรรมการ
(อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์สุชาดา อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(อาจารย์อิศราวุธ ประเสริฐสังข์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น**
ผู้ดำเนินโครงงาน	**นางสาวศุภัทธนันท์ รักพงษ์ รหัส 50363853**
ที่ปรึกษาโครงงาน	**อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมอุตสาหการ**
ภาควิชา	**วิศวกรรมอุตสาหการ**
ปีการศึกษา	**2553**

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาค่าความทนต่อแรงดึงในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น (NR) โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาปัจจัยอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูป เพื่อให้ได้ยางเทอร์โมพลาสติกที่มีค่าความทนต่อแรงดึงที่ดีขึ้น โดยแสดงผลเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์

จากการศึกษาผลของค่าความทนต่อแรงดึงระหว่างใส่สารผสมกับไม่ใส่สารผสมของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR ในการอัดขึ้นรูป พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงที่ใส่สารผสมมีค่าสูงกว่าที่ไม่ใส่สารผสม ซึ่งมีค่าความทนต่อแรงดึง 11.772 MPa. อยู่ที่ระดับอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที นำผลค่าความทนต่อแรงดึงมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยทำการสุ่มข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล ซึ่งข้อมูลที่เก็บมานั้นสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ ปัจจัยในการอัดขึ้นรูปคือ อุณหภูมิ เวลา มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง และมีผลกระทบร่วมกัน และ.ในการวิเคราะห์การถดถอยทำให้ได้สมการการถดถอย เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงมีความคลาดเคลื่อนน้อย ดังนั้นสมการการถดถอยเหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญานิพนธ์ คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับคณะผู้ดำเนินงาน

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ให้ยืมอุปกรณ์ และเครื่องมือใช้การทดลอง จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกๆคน ในครอบครัวของคณะผู้ดำเนินโครงงานที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน
ศุภัทธนันท์ รักพงษ์

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อ.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 ผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตการทดลอง.....2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานโครงงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงงาน.....3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ.....3

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Theroplastic Elastomer; TPE).....4
2.2 พอลิเมอร์ผสม(Polymer blend).....6
2.3 พอลิเอทิลีน(Polyethylene; PE).....6
2.4 ยางธรรมชาติ(Natural Rubber).....8
2.5 สารเคมีสำหรับยาง.....9
2.6 สารต่างๆ ที่ใช้สำหรับการผลิตวัตถุสำเร็จรูปยาง อาจจำแนกเป็นพวกๆ ได้ดังนี้.....10
2.7 วัลคาไนเซชัน.....12
2.8 การผสม (Mixing).....13
2.9 การออกแบบ และวิเคราะห์การทดลอง.....13

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 19

3.1 ศึกษา และรวบรวมข้อมูล 19

3.2 การออกแบบการทดลอง 19

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 20

3.4 วัสดุ และอุปกรณ์ 20

3.5 การทดสอบแรงดึง (Tension test) 23

3.6 วิธีการทดลอง 25

3.7 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ 34

3.8 สรุปผลการทดลอง 34

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 35

4.1 การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง 35

4.2 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ 37

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลการทดลอง 54

5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข 54

เอกสารอ้างอิง 55

ภาคผนวก ก 57

ภาคผนวก ข 63

ภาคผนวก ค 65

ภาคผนวก ง 70

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 85

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน 3

2.1 การแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่ 6

2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับกรณีศึกษา 2 ปัจจัย 16

3.1 ตารางอัตราส่วนของ LDPE กับ NR 30

3.2 ตารางสารผสม 31

4.1 ตารางบันทึกผลค่าความทนต่อแรงดึงในการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการผสม 35

4.2 ตารางบันทึกผลค่าความทนต่อแรงดึงในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของLDPE 36

4.3 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม) 37

4.4 ตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR 39

4.5 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของอัตราส่วน LDPE ต่อ NR (ไม่ใส่สารผสม) 43

4.6 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของอัตราส่วน LDPE ต่อ NR (ใส่สารผสม) 43

4.7 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม) 44

4.8 ตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR 48

4.9 ตารางการวิเคราะห์ความถดถอย 52

4.10 ตัวอย่างค่าที่วัดจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ 53

ก.1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม) 56

ข.1 แบบการทดลองที่ 1 62

ข.2 แบบการทดลองที่ 2 62

ข.3 แบบการทดลองที่ 3 62

ค.1 ตอนที่ 3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม) 64

ค.2 ตอนที่ 3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมขอ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม) 66

ง.1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 1) 69

ง.2 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 2) 74

ง.3 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 3) 79

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สูตรโครงสร้างพอลิเอทธิลีน....6

2.2 ลักษณะโครงสร้างของสายโซ่พอลิเอทธิลีนชนิดต่างๆ....8

2.3 สูตรโครงสร้างของหน่วยโซพรีน....9

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ....14

3.1 เครื่องชั่ง....21

3.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)....21

3.3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์....22

3.4 แม่พิมพ์ ใช้สำหรับอัดขึ้นรูป....22

3.5 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)....23

3.6 ASTM D412....23

3.7 ชณะเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ดึงชิ้นงาน....24

4.1 แผนภูมิแสดงผลของปัจจัยหลัก (ไม่ใส่สารผสม)....40

4.2 แผนภูมิแสดงผลของปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction)....41

4.3 ผลค่าเฉลี่ยของค่าความทนต่อแรงดึง ในวิธีการทดลอง 3 วิธี (ใส่สารผสม)....42

4.4 กราฟแสดงค่าความทนต่อแรงดึง ในวิธีการทดลอง (ใส่สารผสม)....42

4.5 กราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าความทนต่อแรงดึง....47

4.6 กราฟแสดงผลของปัจจัยหลัก....50

4.7 กราฟแสดงผลของปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction)....51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยางดิบธรรมชาติ โดยนำวิวัฒนาการด้านเทคโนโลยีมาช่วยพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น การทำยางธรรมชาติที่มีความหนืดคงที่ การทำยางชนิดเหลว การผสมยางธรรมชาติกับพลาสติก (TPNR) และอื่นๆ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์(Thermoplastic elastomer; TPEs) มาพัฒนายางธรรมชาติกันอย่างแพร่หลาย

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ เป็นวัสดุที่ได้จากการนำเทอร์โมพลาสติกมาผสมกับยางธรรมชาติ ทำให้มีคุณสมบัติพิเศษของทั้งยาง และพลาสติก คือ มีความยืดหยุ่นเหมือนยางทั่วไป สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปได้ โดยการใช้เครื่องขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก เช่น เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) เครื่องอัดรีด (Extruder) และเครื่องเป่าขึ้นรูป(Blow molding machine) เป็นต้น เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างมาก เช่น ใช้งานในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ รองเท้า และเครื่องใช้ เป็นต้น ปัจจุบันในท้องถิ่นได้มีการนำเอายางพาราปลูกมากยิ่งขึ้น จึงต้องมีการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพารา และนำเอายางพารามาปรับปรุงให้ได้คุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งยางธรรมชาติเป็นยางที่มีสมบัติเด่นด้านความเหนียวติดกันที่ดี มีการขึ้นรูปที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง มีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูง และมีความทนต่อการฉีกขาดสูงมาก มีความเป็นฉนวนไฟฟ้า แต่หากเก็บไว้นานๆ จะทำให้ยางสูญเสียความยืดหยุ่นลง จึงนำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติมาผสมตามอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ต้องการ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราในท้องถิ่น

ในการศึกษาครั้งนี้ มีการนำปัจจัยในกระบวนการขึ้นรูปมาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาค่าความทนต่อแรงดึงหลังในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติ (Low density polyethylene/natural rubber blends : LDPE/NR) โดยใช้อุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นปัจจัยในการทดลอง ให้ได้ค่าความทนต่อแรงดึงเพื่อไปพัฒนาพอลิเมอร์ผสมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และเวลาของเครื่องอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ผลการทดลอง ผลการวิเคราะห์การทดลอง และสมการความสัมพันธ์เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาของกระบวนการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติ

1.4 ผลสำเร็จ (Outcome)

นำสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ โดยการกำหนดอุณหภูมิและเวลาที่ต้องการศึกษา เพื่อหาค่าความทนต่อแรงดึง

1.5 ขอบเขตการทดลอง

ศึกษาอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปต่อสมบัติค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติ

1.5.1 ทำการผสมพอลิเมอร์

1.5.1.1 พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ใช้ความหนาแน่น 0.920 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.5.1.2 ยางธรรมชาติ ชนิดยางแผ่นตากแห้ง (ยางดิบเกรด 3)

1.5.1.3 สารเคมีที่ใส่ กรดสเตียริก ซิงออกไซด์ และกำมะถัน

1.5.1.4 อัตราส่วนผสมที่ใช้ระหว่าง LDPE : NR (40/60)

1.5.1.5 เวลาที่ใช้ในการบดผสมประมาณ 25 นาที

1.5.1.6 ความเร็วที่ใช้ในการบดผสมลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2

1.5.1.7 อุณหภูมิที่ใช้ในการบดผสมลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส

1.5.1.8 เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 5-25 นาที

1.5.1.9 อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 100-180 องศาเซลเซียส

1.5.1.10 ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

1.5.2 ทดสอบสมบัติค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength)

ทดสอบสมบัติค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติ โดยใช้เครื่องทดสอบสมบัติค่าความทนต่อแรงดึง (Universal testing machine)

1.5.3 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

นำผลของค่าความทนต่อแรงดึงมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิเคราะห์ความถดถอย

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานโครงงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

หอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงงาน

ตั้งแต่ ตุลาคม 2553 - เมษายน 2554

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2553			ปี 2554			
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) วางแผน และออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความทนต่อดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR	←	→					
2) ทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลอง		←	―	→			
3) ทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลองค่าความทนต่อแรงดึง และวิเคราะห์ผลการทดลอง					←	→	
4) สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มโครงงาน							← →

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Theroplastic Elastomer; TPE)

เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง โดยไม่มีการเชื่อมโยงทางเคมีระหว่างโซ่โมเลกุล แต่มีการเชื่อมโยงทางกายภาพเป็นผลเนื่องมาจากการแยกวัฏภาคที่ไม่เข้ากันออกเป็น 2 วัฏภาค ได้แก่ วัฏภาคแข็ง (Hard phase) และวัฏภาคอ่อน (Soft phase) โดยที่วัฏภาคแข็งจุดหลอมเหลวสูงกว่าวัฏภาคอ่อน คือ ไม่สามารถเคลื่อนที่ ณ อุณหภูมิห้อง แต่สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้เมื่อได้รับความร้อน โดยทำหน้าที่คล้ายกับการเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslink) ในขณะที่วัฏภาคอ่อนมีลักษณะอสัณฐาน (Amorphous) คือมีอิสระในการเคลื่อนที่ได้มากกว่าวัฏภาคแข็ง และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่ต่ำ จึงมีสถานะคล้ายยาง อ่อนนิ่มยืดหยุ่นได้ทำให้เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์มีความต้านทานต่อการเสียรูปร่างได้ดี ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะของวัฏภาคแข็ง เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์เปลี่ยนแปลงสมบัติจากยางมาเป็นของเหลวหนืด ทำให้สามารถนำไปใช้กับกระบวนขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกได้ เมื่อให้ความเย็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์แข็งตัวและมีสมบัติคล้ายยาง ทำให้สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้ง และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.1.1 ชนิดของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPEs) สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่

2.1.1.1. เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyolefin Elastomer ; TPO) เป็นพอลิเมอร์ผสมทางเชิงกลระหว่างพอลิโอเอฟินกับอิลาสโตเมอร์ ตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (PP) กับยางเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน (EPDM)

2.1.1.2. เทอร์โมพลาสติกเชื่อมโยง (Themoplastic Vulcanisate ; TPV) ต่างจาก TPO ในส่วนของวัฏภาคยางที่มีการเชื่อมโยงสูงกว่า TPO สมรรถนะของ TPV จะใกล้เคียงกันกับยางเทอร์โมเซต

2.1.1.3. เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyester Elastomer) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อก ซึ่งประกอบด้วยส่วนแข็งและส่วนอ่อน โดยส่วนแข็งคือพอลิอัลคิลีนเทอเรพทาเลต และส่วนอ่อน คือพอลิอัลคิลีนอีเทอร์

2.1.1.4. เทอร์โมพลาสติกพอลิยูริเทนอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyurethane Elastomer) เป็นพอลิเมอร์ไรเซชันแบบขั้นระหว่างไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

2.1.1.5. เทอร์โมพลาสติกพอลิเอไมด์อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyamide Elastomer) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มที่มีสองโครงสร้าง คือพอลิอีเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์ และพอลิเอสเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์

2.1.1.6 เทอร์โมพลาสติกพอลิ (สไตรีน-ไดอีน) อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Poly (styrenediene) Elastomer) เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกที่มีความหนืดหลอมเหลวสูงมาก ส่วนที่เป็นอิลาสโตเมอร์ คือโมเลกุลที่มีพันธะคู่ ส่วนแข็ง คือพอลิสไตรีน

2.1.2 ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Natural Rubber; TPNR)

มีจุดเริ่มต้นมาจากความพยายามค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ ที่มีสมบัติอยู่ระหว่างยางและพลาสติก คือสามารถขึ้นรูปหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้ โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกทั่วๆไป แต่มีสมบัติพิเศษกว่า คือมีสมบัติยืดหยุ่นและสามารถโค้งงอได้ (Flexibillity) มีการกระดอนดี (Resillience) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของยาง

2.1.3 สมบัติและการประยุกต์ใช้งานของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติที่เด่นกว่าวัสดุอื่นดังนี้

2.1.3.1 มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิยูรีเทนและพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

2.1.3.2 มีสมบัติที่อุณหภูมิสูงดีกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเทต พอลิเอทิลีนและพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

2.1.3.3 มีความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าพอลิพรอพิลีน

2.1.3.4 มีความหนาแน่นต่ำกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิยูรีเทน และมีราคาถูกกว่าพอลิยูรีเทน

2.1.3.5 มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่ายางเชื่อมโยง

2.1.3.6 สามารถทนทานต่อน้ำและสารเคมีได้ดี

จากสมบัติข้างต้น จึงมีการนำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ได้ดังนี้

ก. ใช้ทดแทนยางเชื่อมโยงในผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นสูง และความแข็งแรงมาก

ข. ใช้แทนพลาสติกที่มีความยืดหยุ่น เช่น พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเลต พอลิยูรีเทน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เป็นต้น

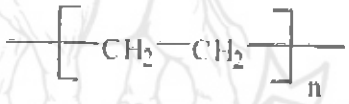
ค. ใช้ในอุตสาหกรรมด้านใหม่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรถยนต์

2.2 พอลิเมอร์ผสม(Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) คือพอลิเมอร์ 2 ชนิด หรือมากกว่า 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งถูกนำมาผสมรวมกัน (combining) โดยวิธีทางกายภาพ ซึ่งส่วนมากจะปราศจากการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม คือปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอรให้มีความหลากหลายมากขึ้น

2.3 พอลิเอทิลีน(Polyethylene; PE)

พอลิเอทิลีน เกิดจากการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนมอนอเมอร์โดยใช้กระบวนการที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิเอทิลีนชนิดต่างๆ จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ที่อุณหภูมิห้องพอลิเอทิลีนไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องพอลิเมอร์สามารถพองตัว และละลายได้ใน พารา-ไซลีน (p-Xylene) ไตรคลอโรเบนซีน เดคเคน และเดคคาลิน ทนต่อกรด ด่าง และสารออกซิไดส์แต่ไม่ทนกับสภาพแวดล้อม อุณหภูมิสูงและรังสี เมื่อขีดข่วนสามารถเกิดรอยได้ พอลิเอทิลีนเป็นวัสดุไม่มีขั้วจึงไม่นำไฟฟ้า สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่ได้ 3 แบบ ดังนี้



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างพอลิเอทธิลีน
ที่มา : สุพิชญ์ ปัญญาวัฒนพงศ์ (2545)

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของพอลิเอทิลีนตามลักษณะโครงสร้างของสายโซ่

พอลิเมอร์	โครงสร้างของสายโซ่	ความเป็นผลึก	กระบวนการผลิต	ความหนาแน่น g/cm^3
LDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งมาก	~50%	ใช้ความดันสูง	0.912 – 0.94
LLDPE	เชิงเส้น/มีโซ่กิ่งเล็กน้อย	>50%	ใช้ความดันต่ำ	0.92 – 0.94
HLDPE	เชิงเส้น	<90%	ใช้ความดันต่ำ	>0.958

ที่มา : สุพิชญ์ ปัญญาวัฒนพงศ์ (2545)

2.3.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene; LDPE)

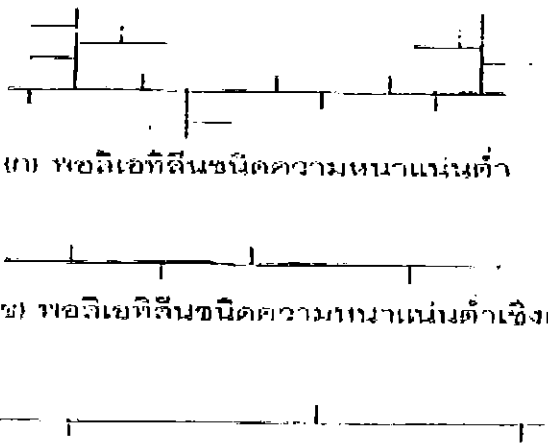
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันเอทิลีนแบบอนุมูลอิสระ โดยใช้ความดันสูง อุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส บางครั้งเรียกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความดันสูง พอลิเมอร์ที่ได้มีโซ่กิ่งเป็นจำนวนมาก ทำให้พอลิเอทิลีนชนนิดนี้มีความเป็นผลึกน้อย ความหนาแน่นต่ำ จุดหลอมเหลวต่ำ และมีช่วงกว้าง 80-110 องศาเซลเซียส มีความอ่อนนุ่ม โค้งงอง่าย ซึ่งมีโครงสร้างของสายโซ่แสดงดังรูปที่ 2.3ก

2.3.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear-Low-Density Polythylene; LLDPE) ผลิตจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบซิเกลอร์แนททา หรือแบบฟิลิปป์ โดยใช้ความดันต่ำ ในกระบวนการผลิตมีการใส่โคมมอนอเมอร์จำพวก 1-alkene เช่น 1-butene (นิยมใช้มากกว่าและราคาถูก) 1-hexene 1-octene หรือ 4-methylpentene ลงไปประมาณร้อยละ 10 ทำให้มีสายโซ่คาร์บอนสั้นๆ เกิดขึ้นที่พอลิเมอร์หลัก นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ความสม่ำเสมอของโมเลกุลและความเป็นผลึกลดลง สมบัติโดยทั่วไปคล้ายพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ แต่มีความแข็งแรงมากกว่าจึงนิยมใช้ในการผลิตฟิล์ม และมีโครงสร้างของสายโซ่แสดงดังรูปที่ 2.3ข

2.3.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง(High Dnsity Polyethylene; HDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผลิตได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบซิเกลอร์แนททา หรือแบบฟิลิปป์ หรือ Standard Oil โดยใช้ความดันต่ำ บางครั้งเรียกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความดันต่ำ มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลอย่างสม่ำเสมอมีโซ่กิ่งน้อย และสั้น จึงมีความเป็นผลึกสูง จุดหลอมเหลวสูงประมาณ 120-135 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับพลิเอทิลีนชนิดอื่น มีความแข็งมากนิยมใช้ในการเป่าขวดและบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ทำฟิล์มท่อ และขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดฉีด มีโครงสร้างของสายโซ่แสดงดังรูปที่ 2.3ค



(ก) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

(ข) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

(ค) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างของสายโซ่พอลิเอทธิลีนชนิดต่างๆ

ที่มา : สุพิชญ์ ปัญญาวัฒนพงศ์ (2545)

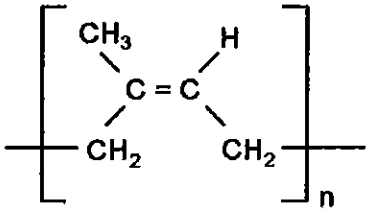
2.4 ยางธรรมชาติ(Natural Rubber)

ยาง (Natural Rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งยางผลิตได้จากการกรีดต้นยางโดยที่น้ำยางไหลออกมารวมกันในภาชนะรองรับ น้ำยางธรรมชาติเป็นของเหลวสีขาว โดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในน้ำ องค์ประกอบทางเคมีของน้ำยางธรรมชาติมีส่วนประกอบดังนี้

- ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน 35 เปอร์เซ็นต์
- สารประกอบเคมีที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน และเกลืออนินทรีย์อื่นๆ 5 เปอร์เซ็นต์
- น้ำ 60 เปอร์เซ็นต์

2.4.1 สมบัติทางเคมี

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวมีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากหน่วยไอโซพรีน (C_5H_8) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ที่ซ้ำๆกันมาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 50,000 - 3,000,000มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติมีลักษณะกระบวนการแปรรูปที่ดีเลิศ มีสิ่งเจือปนอื่นๆ ประมาณ 5 % ได้แก่ สารโปรตีน เถ้า สารที่สกัดได้ด้วยอะซีโตนและความชื้น



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของหน่วยโซพรีน

ที่มา : http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php

2.4.2 สมบัติทางกายภาพ

ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 g/cm^{3}ที่ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำให้ยางเย็นจนแข็งหรือเมื่อยืดยาง มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature; T_g) ประมาณ -70 องศาเซลเซียส คือยางจะเปลี่ยนจากมีความยืดหยุ่นเป็นแข็ง และแตกได้คล้ายแก้ว ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงโดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (specific resistivity) ประมาณ $1x10^{15} - 2x10^{15}$ ohms-cm.

2.5 สารเคมีสำหรับยาง

สารเคมีสำหรับยาง (Rubber additives) หมายถึง สารเคมีต่างๆที่ผสมลงไปในยางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีแล้วไม่อาจนำไปใช้งานได้ เว้นแต่สารเคมีเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับยางก่อน การให้สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยาง สามารถเร่งได้ด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมี เรียกว่า ยางไม่คงรูปหรือยางไม่เชื่อมโยง (Green compounds หรือ Uncured compounds) ส่วนยางที่เข้าทำปฏิกิริยากับสารเคมีแล้วเรียกว่า ยางคงรูปหรือยางเชื่อมโยง (Vulcanised rubbers หรือ Cured rubbers)

2.5.1 เนื่องจากเหตุผลในการผสมยางกับสารเคมีมี 4 ประการคือ

2.5.1.1 เพื่อแก้ข้อเสียของยาง ซึ่งข้อเสียของยางมีดังนี้คือ

ก. ยางที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งพลาสติก (plastic) และมีอีลาสติค (elastic) สมบัติเป็นพลาสติก (plastic) คือ ความสามารถที่ยางจะพยายามรักษารูปร่างที่ได้เปลี่ยนไปตามแรงกระทำ ส่วนสมบัติเป็นอีลาสติค (elastic) คือความสามารถที่ยางพยายามจะรักษารูปร่างเดิมก่อนที่จะทำให้เปลี่ยนไปตามแรงกระทำ

ข. ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่อุณหภูมิต่ำยางจะแข็งกระด้าง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางจะนิ่มหรือเยิ้ม การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้ยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด อุณหภูมิสูงประมาณ 60-70 องศาเซลเซียสยางจะนิ่มลง

ค. ยางมีความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ และความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงสูง สายโซ่เคลื่อนไหวอย่างจำกัดเนื่องจากเกิดโครงสร้างร่างแหที่แน่นหนา (Tight network) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวเพื่อกระจายพลังงานที่ได้รับเป็นผลให้ความแข็งแรงของวัสดุต่ำ แตกหักง่าย ยางสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิดเช่นโทลูอีน คาร์บอนเททระคลอไรด์เป็นต้น

ง. เพื่อเป็นตัวช่วยในขบวนการแปรรูปยางปกติยางดิบที่ยังไม่ผสมกับสารเคมีอะไร จะมีสมบัติเหนียว และทำให้ลำบากในการนำไปเข้าขบวนการต่างๆ เช่น การรีดยางให้เป็นแผ่นเรียบจากเครื่องรีดเรียบ (Calender) หรือการทำท่อยาง เส้นยาง จากเครื่องอัดรีด (Extruder) เป็นต้นขบวนการเหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติ หรือความสม่ำเสมอของยางเมื่อผ่านเครื่องรีดเรียบ และความผิดปกติในการพองตัวของยางเมื่อผ่านเครื่องอัดยางผ่านได้ แต่หลังจากที่ได้เติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารตัวเติม สารช่วยในการแปรรูปยาง จะทำให้ผลิตผลที่ได้จากเครื่องรีดเรียบมีผิวเรียบ และสามารถจะลดปัญหาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของแผ่นยางหรือการพองตัวของท่อยางได้ ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น

2.5.1.2 ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น

จากความเหมาะสมในการผสมสารเคมีในยางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างมาก และผลิตภัณฑ์ที่ได้เหล่านี้จะเปลี่ยนจากอ่อนไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการทนความร้อน เช่น กระเป๋าน้ำร้อน และผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมาก เช่น เปลือกหม้อแบตเตอรี่ต้องการสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างไร ก็สามารถเลือกชนิดและปริมาณสารเคมีได้ตามวัตถุประสงค์

2.5.1.3 เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

การนำยางมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้แต่เนื้อยางล้วนๆ จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงสามารถผสมสารอื่นที่มีราคาถูกลงไป เช่น พวกเคลย์ ไวติ้ง จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลงสารที่ใช้ผสมยางเพื่อการผลิตวัตถุสำเร็จรูปยาง

2.6 สารต่างๆ ที่ใช้สำหรับการผลิตวัตถุสำเร็จรูปยาง อาจจำแนกเป็นพวกๆ ได้ดังนี้

2.6.1 สารทำให้ยางคงรูป หรือสารวัลคาไนซิ่ง (Vulcanising agent)

เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (crosslink) ตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาได้แก่ สารกำมะถัน สารที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน สารเพอร์ออกไซด์

2.6.2 สารเร่ง (Accelerator)

ได้แก่ สารเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้เกิดช้า ปานกลาง หรือเร็ว เช่นกัวนีดีน (Guanidine), ไธอาโซล (Thiazole), ซัลฟีนาไมด์ (Sulphenamide), ไธยูแรม (Thiuram)

2.6.3 สารกระตุ้น หรือ สารเสริมตัวเร่ง (Activator)

เป็นสารที่ช่วยเร่งอัตราการวัลคาไนซ์ยางให้เร็วขึ้นโดยการทำให้สารเร่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อจะได้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น เร่งอัตราการวัลคาไนยางให้เร็วขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น โดยทำให้ยางมีค่ามอดูลัสสูงขึ้น ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic acid) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)

2.6.4 สารตัวเติม (Filler)

เป็นสารอื่นๆที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อลดต้นทุนในการผลิตหรือเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น พวกเขม่าดำ (Carbon black), แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate)และซิลิกา (Silica) เป็นต้น

2.6.5 สารช่วยในการแปรรูปยาง หรือสารพลาสติไซเซอร์ (Plasticiser)

เป็นสารทำให้ยางนิ่มสารพลาสติไซเซอร์ (Plasticiser) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ สารทำให้ยางนิ่มโดยทางเคมี(Chemical Plasticser) เป็นสารเคมีที่เมื่อใส่เข้าไปในยางจะทำให้ยางนิ่ม และสารช่วยทำให้ยางนิ่มโดยทางกายภาพ (Physical plasticiser) เป็นสารพลาสติไซเซอร์ที่ใส่เข้าไปแล้วจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลยางทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย

2.6.6 สารทำให้ยางนิ่มโดยทางเคมี (Chemical Plasticser)

เป็นสารเคมีที่เมื่อใส่เข้าไปในยางจะทำให้ยางนิ่ม และลดเวลาของการบดยางลงการใช้งานมักใช้กับยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์มักใส่สารเคมีประเภทนี้ลงไปในยางเมื่อเริ่มต้นการผสมหรือบดในเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง และปล่อยให้สารทำปฏิกิริยากับยางเป็นระยะเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะใส่สารอื่นลงไปได้ แก่ Sulphonic acid, Xylyl mercaptan

2.6.7 สารช่วยทำให้ยางนิ่มโดยทางกายภาพ (Physical plasticiser)

เป็นสารพลาสติไซเซอร์ที่ใส่เข้าไปแล้วจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลยางทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางจะนิ่มลง แปรรูปได้ง่ายขึ้นที่สำคัญได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเอสเทอร์

2.6.8 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent)

ได้แก่สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Antioxidant) หรือสารต้านทานปฏิกิริยาโอโซน (Antiozonant) ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดจะทำให้ยางมีอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางยาวขึ้น

2.6.9 สารพิเศษอื่นๆ (Miscellaneous ingredient)

ไม่ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องใช้สำหรับยางทั่วไปแต่บางครั้งจะใส่ลงไปในยางเมื่อมีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติพิเศษบางประการ เช่น สารที่ทำให้เกิดสี (Coloring material) สารที่ทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) สารหน่วง (Retarder) เป็นต้น

2.7 วัลคาไนเซชัน

วัลคาไนเซชัน (Vulcanization) คือ การที่ยางทำปฏิกิริยากับกำมะถันในปริมาณที่พอเหมาะที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของกำมะถัน โดยกำมะถันที่นำมาทำปฏิกิริยาด้วยนี้จะสร้างพันธะโคเวเลนต์เชื่อมระหว่างโซ่พอลิเมอร์ให้เป็นโมเลกุลเดียวกันทำให้ยางมีคุณภาพคงตัวในอุณหภูมิต่างๆ มีความยืดหยุ่นได้ดีมากขึ้น ทนความร้อน และแสงแดด ละลายในตัวทำละลายได้ยากขึ้น เช่น ปกติยางธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อนจะเหนียว และอ่อนตัว แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงจะแข็ง และเปราะฉะนั้นจึงต้องปรับคุณภาพของยางธรรมชาติ ก่อนนำมาใช้ประโยชน์ ปฏิกิริยานี้ถูกค้นพบโดยบังเอิญโดยชาร์ลส์ กูดเยียร์ (Charles Goodyear)

2.7.1 ระบบวัลคาไนซ์โดยกำมะถัน

ในระบบวัลคาไนซ์ยางโดยกำมะถันนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ขึ้นกับลักษณะการใช้กำมะถันในการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง คือ

2.7.1.1 ระบบวัลคาไนซ์แบบปกติ (Conventional Vulcanized System, C.V.)

2.7.1.2 ระบบวัลคาไนซ์แบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-Efficiently Vulcanized System, Semi-E.V.)

2.7.1.3 ระบบวัลคาไนซ์แบบมีประสิทธิภาพระบบวัลคาไนซ์แบบมีประสิทธิภาพ (Efficiently Vulcanized System, E.V.)โดยส่วนใหญ่การวัลคาไนซ์ในระบบปกติ (C.V.) จำนวนอะตอมของกำมะถันที่ใช้ในพันธะเชื่อมโยงจะเป็นแบบใช้กำมะถันมากกว่าหนึ่งอะตอมต่อหนึ่งพันธะ (polysulfidic crosslink) ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงให้เกิดพันธะที่ดีขึ้น ให้เป็นแบบการใช้กำมะถันหนึ่งอะตอมต่อหนึ่งพันธะเชื่อมโยง (monosulfidic crosslink) โดยการเพิ่มสัดส่วนของสารตัวเร่งในกลุ่มไธยูแรมไดซัลไฟด์ กับซัลฟินาไมด์ ซึ่งเป็นสารตัวเร่งที่มีสมบัติเป็นสารให้กำมะถัน (sulfur donor) ต่อกำมะถันให้สูงขึ้น มีการเริ่มใช้วิธีนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 ซึ่งในระบบนี้จะทำให้สมบัติทนต่อความร้อนที่ดีขึ้นในยางธรรมชาติ และให้ความต้านทานต่อความล้าที่ดีขึ้นในยางเอสบีอาร์แต่สมบัติเชิงกลทั่วไป เช่น โมดูลัส, ระยะยืดเมื่อขาด ในระบบนี้ไม่ดีเท่าระบบปกติ ในระบบอีวีนี้จะใช้กำมะถัน 0.3-0.8 phr. และสารตัวเร่ง 6.0-2.5 phr.

2.8 การผสม (Mixing)

2.8.1 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง(Two-roll-mill)

เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two roll mill) เป็นเครื่องบดยางที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูกกลิ้งบีบอัดและบดยางให้โมเลกุลของยางเกิดการขาด ทำให้ขนาดของโมเลกุลยางที่ใหญ่และยาวลดลง ทำให้ยางนิ่มลง และสามารถแปรรูปยางได้ และยังจะสามารถนำสารเคมีผสมเข้าไปในยางเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการได้ ขบวนการลดความหนืดของยางโดยใช้เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งเรียกว่า Mastication และการที่จะทำให้ยางนิ่มลงนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเร็วของผิวลูกกลิ้งทั้งสองจะต้องมีความเร็วที่ไม่เท่ากันโดยที่ลูกกลิ้งหน้าจะช้ากว่าลูกกลิ้งหลัง อัตราส่วนความเร็วผิวระหว่างลูกกลิ้งหน้ากับลูกกลิ้งหลังเรียกว่า Friction ratio โดยทั่วไป Friction ration จะอยู่ในช่วง 1 : 1 ถึง 4 : 1 และจะขึ้นกับชนิดของยางที่ใช้บด ในระหว่างการบดออกซิเจนในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลของยางที่ขาดออกจากกันไม่ให้รวมตัวกันได้ และอุณหภูมิของลูกกลิ้ง ถ้าอุณหภูมิต่ำ ยางจะแข็งไหลผ่านลูกกลิ้งได้ยากทำให้เกิดการฉีกขาดของสายโซ่โมเลกุลของยางมากขึ้น และในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิสูงยางจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้ยางนิ่มลงได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน

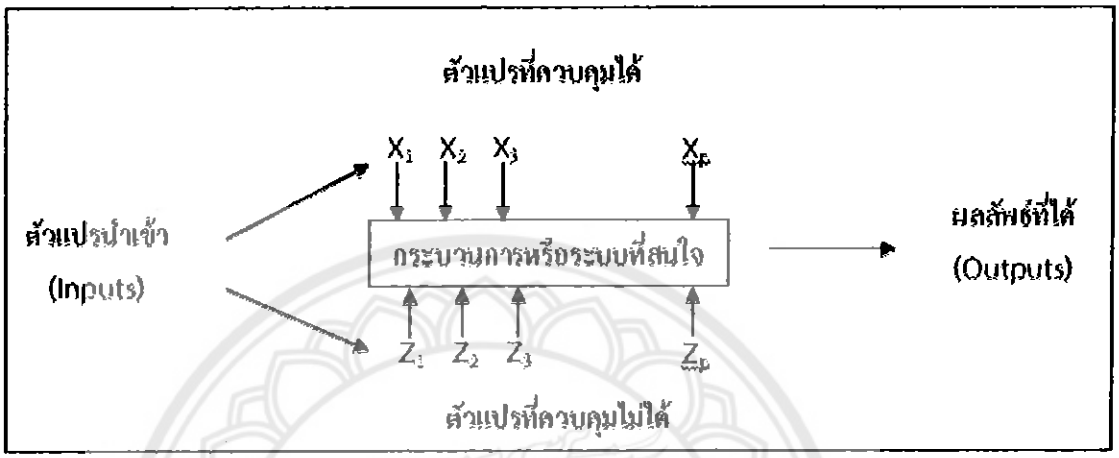
ข้อดีของเครื่องผสมชนิดนี้ คือสามารถมองเห็นลักษณะ และระดับการผสมเข้ากันของสารเคมีกับพลาสติกได้ มีความสะดวกในการทำความสะอาดเครื่องผสม สามารถทำการผสมในปริมาณที่แตกต่างกันได้ กล่าวคือ ตั้งแต่แบทช์ ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ได้ การผสมแบบนี้ได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะเป็นแผ่น ซึ่งเหมาะสมในลักษณะเป็นแผ่น ซึ่งเหมาะสำหรับการขึ้นรูปต่อโดยเทคนิคอื่นๆ เช่น การอัดขึ้นรูป (Compression molding)

ข้อเสียของการผสมโดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง คือผู้ผสมต้องมีทักษะในการใช้เครื่องและมีความรู้เรื่องการคอมปาวด์สูง ในกรณีที่ต้องการผสมให้มีสมบัติในแต่ละแบทช์ที่เหมือนกันทำได้ยากมาก เนื่องจากอาจมีการสูญเสียสารเคมีบางส่วนในขณะทำการผสม นอกจากนี้การผสมโดยใช้เครื่องผสมชนิดนี้เป็นระบบเปิด ดังนั้นจึงมีโอกาสที่ฝุ่นละออง และสิ่งปนเปื้อนชนิดต่างๆ เข้ามาปะปนกับคอมปาวด์ และมีโอกาสที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอมปาวด์ได้ง่าย และการผสมโดยการใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งเป็นการผสมที่ทำได้ช้ากว่ากรณีการใช้เครื่องผสมแบบปิด

2.9 การออกแบบ และวิเคราะห์การทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Experimental Design of Experiments) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกต และชี้สาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า"ตัวแปร(หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้

(Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร(หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้" (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ" (Uncontrollable or Noise Variables(Factors)) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุ และบันทึกไว้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และคณะ (2551)

2.9.1 ประโยชน์ของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญพอสรุปได้เป็น 4 ส่วน คือ

2.9.1.1 กำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้ ที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนอง

2.9.1.2 กำหนดค่าของตัวแปร(ปัจจัย) ที่ควบคุมได้ ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อให้โอกาสที่ผลของค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

2.9.1.3 กำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคุมได้ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง โดยทำให้ค่าความแปรปรวนของ Y มีค่าต่ำที่สุด

2.9.1.4 กำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคุมได้ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ทำให้ผลกระทบของตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ มีค่าน้อยที่สุด

2.9.2 ข้อแนะนำในการออกแบบแผนการทดลอง

(Guideline for Designing Experiments) แบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

2.9.2.1 กำหนดปัญหาที่ต้องการจะแก้ไขซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการระบุวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.9.2.2 เลือกปัจจัยที่จะทำการแปรค่าในการทดลอง และจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลอง

2.9.2.3 กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์ (ควรระบุให้ตรงกับปัญหาหรือวัตถุประสงค์ที่ต้องการทำการทดลอง)

2.9.2.4 การเลือกแบบแผนการทดลอง รูปแบบแผนการทดลองจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของจำนวนปัจจัยที่ใช้ กรณี สนใจศึกษาปัจจัยเดียว แบบแผนการทดลองที่ใช้คือ การจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA) กรณีศึกษาสองปัจจัย โดยไม่สนใจผลกระทบร่วม (อันตรกิริยาหรือ Interaction) แบบแผนการทดลองที่ใช้คือ การจำแนกสองทาง (Two-way ANOVA) หรือการออกแบบแบบสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (Complete Randomized Block Design) กรณีศึกษาสองปัจจัยหรือมากกว่า และสนใจผลกระทบร่วมแบบแผนการทดลองที่ใช้ คือการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiments) เป็นต้น

2.9.2.5 การทดลอง และการเก็บรวบรวมข้อมูล ในการทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงหลัก 3R's ได้แก่ ทดลองอย่างสุ่ม (Randomization) แต่ละการทดลองต้องทำซ้ำ (Replication) และพยายามลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Reduction of Error)

2.9.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทามสถิติ เน้นหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าเฉลี่ย และผลกระทบร่วมของปัจจัย ในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น SPSS, นาทีitab, Statistica, Statistica, SAS, Statgraphics และอื่นๆ

2.9.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA)

เป็นวิธีการพื้นฐานทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response ; y) หรือ ลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) สนใจศึกษาหรือปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ (ผลลัพธ์ Output) จากระบบหรือกระบวนการ ในการวิเคราะห์จะแยกสาเหตุของความแตกต่างออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

2.9.3.1 ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้

ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained Variation) คือความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัย (Factor) หรือวิธีปฏิบัติ (Treatment) ที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง บางครั้งอาจถูกเรียกว่าความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Between groups variation)

2.9.3.2 ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้

ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variation) คือความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากขาดความรู้ หรือความรู้เกี่ยวกับระบบยังไม่มากพอ ซึ่งในบางครั้งอาจเกิดจากกรณีที่ผู้ศึกษาทราบถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง (Noise Factors) ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนกล่าวถึง

ความแตกต่างในส่วนนี้ ในรูปของความผิดพลาดหรือส่วนที่ยังไม่สามารถอธิบายได้ (Error or Residuals) ถ้าผู้ทดลองมีความรู้หรือความสามารถในการควบคุมการทดลองมากขึ้นความผิดพลาดส่วนนี้ก็จะลดลง

2.9.4 การทดลองแบบแฟคทอเรียล(Factorial Experiment)

การทดลองแฟคทอเรียล มีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป

ในการทดสอบแบบแฟคทอเรียล ตัวแปรทั้งสอง (AและB) ถือว่ามีความสำคัญเท่ากัน จึงต้องมีการทดสอบสมมติฐานทั้ง 2 ตัวแปร

- กรณีผลกระทบหลักเนื่องจากอุณหภูมิ (ปัจจัย A)

  H_0 : $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0$

  H_1 : อย่างน้อยที่สุดมีค่าใดค่าหนึ่ง $(\alpha_i) \neq 0$
- กรณีผลกระทบหลักเนื่องจากเวลา (ปัจจัย B)

  H_0 : $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$

  H_1 : อย่างน้อยที่สุดมีค่าใดค่าหนึ่ง $(\beta_j) \neq 0$
- กรณีผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

  H_0 : $(\alpha\beta)_{ij} = 0$ ทุก ๆ ค่า i,j

  H_1 : อย่างน้อยที่สุดมีค่าใดค่าหนึ่ง $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$

ตารางที่ 2.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับกรณีศึกษา 2 ปัจจัยที่ a ระดับ และ b ระดับตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำ n ครั้ง

แหล่งที่มา (Source)	องศาเสรี (d.f.)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ค่าเฉลี่ย SS MS =SS/(d.f.)	ค่าสถิติ F
A	a - 1	SS_A	MS_A	$F_A=MS_A/MSE$
B	b - 1	SS_B	MS_B	$F_B=MS_B/MSE$
AB	(a – 1)(b – 1)	SS_{AB}	MS_{AB}	$F_{AB}=MS_{AB}/MSE$
ค่าผิดพลาด	(การลบ)	SS_E	MSE	
ทั้งหมดที่ปรับแล้ว	N - 1	SST		

ที่มา : รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และคณะ (2551)

2.9.5 การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression)

เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว หรือตั้งแต่สองตัวขึ้นไป กับตัวแปรตามหรือค่าตอบสนอง (y) โดยมีสมการความสัมพันธ์ที่แท้จริง และมีขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอย ดังนี้

2.9.5.1. ตรวจสอบว่าตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือไม่

2.9.5.2. สร้างสมการการพยากรณ์ เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่า Y

2.9.5.3. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น โดยทำการตรวจสอบว่าสมการพยากรณ์มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากน้อยพียงใด ดูจากค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณ (Standard Error of the Estimate) และการวิเคราะห์ความแตกต่างจากการทดลอง และการพยากรณ์

2.9.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิชญ์ ปัญญาวัฒนพงศ์ ได้ทำการศึกษางานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียม และสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกหรือทีพีเอ็นอาร์ (Thermoplastic Natual Rubber; TPNR) จากการผสมยางธรรมชาติ (Natual Rubber; NR) และพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyelyethylene; LDPE) โดยมีการนำยางธรรมชาติผสมสูตรในเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง แล้วนำไปผสมกับพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในเครื่องผสมระบบปิด จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูป และฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน นำชิ้นงานที่ได้ไปศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล มีการศึกษาสภาวะในการผสม สัดส่วนของ NR/LDPE ผลของชนิด และปริมาณสารเชื่อมโยง ได้แก่ กำมะถันกับไอคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (DCP) ที่เหมาะสมในการเตรียม TPNR และผลของสารช่วยผสมยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ (ENR) เมื่อนำ TPNR ที่เตรียมโดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงพบว่า ที่ปริมาณกำมะถัน 3 phr. กับสารเร่งปฏิกิริยา CBS 0.5 phr. เป็นสูตรผสมที่เหมาะสมในการเตรียม TPNR และเมื่อศึกษาสภาวะการเตรียมของ TPNR ในเครื่องผสมบราเบนเดอร์พลาสติกคอร์เดอร์ พบว่าที่อุณหภูมิ 150 °C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที เป็นสภาวะการเตรียมที่เหมาะสม และได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของ TPNR พบว่าค่าความแข็งแรงดึง และมอดูลัสมีค่าลดลง จากการศึกษาผล TPNR เป็นสารเชื่อมโยง พบว่าปริมาณไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ 1 phr. เป็นสูตรผสมที่เหมาะสมในการเตรียม TPNR และพบว่าจากการศึกษาผลของสารช่วยผสม ENR เมื่อเติม ENR ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและมอดูลัสเพิ่มขึ้น และการเติม ENR-3 ให้สมบัติเชิงกลดีกว่า ENR-10

ดร.วราภรณ์ ตันรัตนกุล และคนอื่นๆ ได้ทำการวิจัยเรื่องยางผสมชนิดใหม่:ยางธรรมชาติผสมโพลิเอททิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก เมื่อนำ NR ผสมกับ ULDPE ในอัตราส่วน 70/30 60/40 และ 50/50 (wt/wt) ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง วัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์ภายในเครื่องอัด นำ

แผ่นชีทที่ตัดเป็นชิ้นงาน เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM NR ถูกผสมกับ SBA ภายใต้วิธีการผสมจนถึงการเตรียมเป็นชิ้นงานเพื่อทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่นเดียวกับยางผสม NR/ULDPE ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของยางผสมทั้งสองชนิดนี้ ซึ่งพบว่ายางผสม NR/ULDPE มีสมบัติเชิงกลด้านดึงยืด ความต้านทานต่อการฉีกขาด และคุณสมบัติเชิงกลด้านดึงยืดหลังจากได้รับความร้อน และออกซิเจน ดีกว่ายางผสม NR/SBR แต่มีความต้านทานต่อการขัดถู และความต้านทานต่อการหักงอต่ำกว่า ค่าความหนืดมูนนี และค่าความกระดอนของยางผสมทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ NR ภายในท้องถิ่น เพื่อวิเคราะห์การทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และเวลาของกระบวนการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE และ NR เพื่อหาค่าความทนต่อแรงดึง

3.1 ศึกษา และรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ศึกษา และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ LDPE และ NR

ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของ LDPE และ NR อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของ LDPE เพื่อใช้ในการผสม LDPE ในเครื่อง Two-roll mill

3.1.2 ศึกษาการออกแบบการทดลอง

ศึกษาการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง และศึกษาการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อคำนวณหาค่าความทนต่อแรงดึงที่ดีที่สุด และหาผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยอุณหภูมิ และเวลา

3.1.3 ศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ศึกษาการวิเคราะห์ความแปรปรวน และวิเคราะห์การถดถอย เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ว่าปัจจัยอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงหรือไม่ และศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูป

3.2 การออกแบบการทดลอง

3.2.1 กำหนดปัจจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของการอัดขึ้นรูปคืออุณหภูมิ และเวลาของการผสมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง อัตราส่วนของ LDPE กับ NR สารที่ใช้ในการผสม และอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูป สำหรับโครงงานนี้ได้เลือกกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความทนต่อแรงดึง และสามารถควบคุมและกำหนดค่าได้ ส่วนปัจจัยอื่นๆเป็นปัจจัยที่ควบคุม และกำหนดได้ยาก

3.2.2 ระดับปัจจัย

3.2.2.1 อุณหภูมิ ที่ใช้ในการทดลองมี 6 ระดับ คือ 100, 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส

3.2.2.2 เวลา ที่ใช้ในการทดลองมี 6 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที

3.2.3 ขนาดการทดลอง

แม่พิมพ์ (mold) ขนาด 15 X 15 มิลลิเมตร ตัดเป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) จากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด(มหาชน)

3.3.2 ยางธรรมชาติชนิดแผ่นยางตากแห้ง ผลิตจากชาวสวนยางตำบลวังนกแอ่น อ.วังทอง จ. พิษณุโลก

3.2.3 กรดสเตียริก (Stearic acid; SA) จากบริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิกกี้เคมีคอลซัพพลาย

3.2.4 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) จากบริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิกกี้เคมีคอลซัพพลาย

3.2.5 กำมะถัน (Sulohur; S) จากบริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิกกี้เคมีคอลซัพพลาย

3.4 วัสดุ และอุปกรณ์

3.4.1 วัสดุ และอุปกรณ์การผสม LDPE กับ NR ในเครื่อง Two-roll mill

3.4.1.1 ถุกมือผ้า

3.4.1.2 เกียง

3.4.1.3 เครื่องชั่ง

3.4.1.4 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

3.4.1.5 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

รูปที่ 3.1 เครื่องชั่ง

รูปที่ 3.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

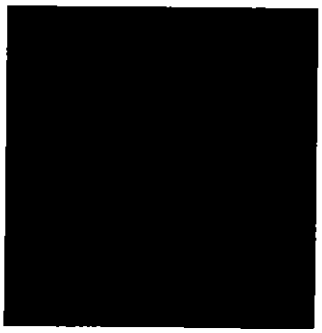
3.4.2 วัสดุ และอุปกรณ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูป

3.4.2.1 ถุงมือหนัง

3.4.2.2 แผ่นพลาสติกใส

3.4.2.3 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

3.4.2.4 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)



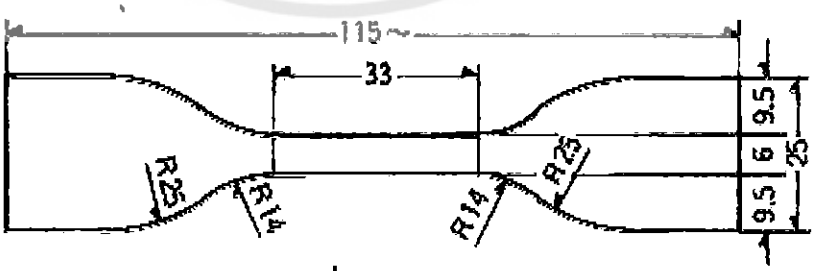
รูปที่ 3.4 แม่พิมพ์ ใช้สำหรับอัดขึ้นรูป

รูปที่ 3.5 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)

3.5 การทดสอบแรงดึง (Tension test)

3.5.1 กำหนดสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้ (ASTM D412)

ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ (Gauge length) 33 มิลลิเมตร
Load cell ที่ใช้ 5 กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบต่อ 1 การทดลอง 5 ชิ้นงาน



รูปที่ 3.6 ASTM D412

ที่มา : http://www1.odn.ne.jp/aal63880/CUTTER01-E.htm

3.5.2 วิธีการทดสอบ

3.5.2.1 ทำการวัดค่าความกว้าง และความหนาของชิ้นงานใส่ในตารางที่ออกแบบไว้ 1 การทดลองต่อ 5 ชิ้นงาน ขีดเส้นกำหนดเครื่องหมายชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน

3.5.2.2 ติดตั้ง Load cell ขนาด 5 kN. พร้อมกับหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead กับฐานเครื่อง จากนั้นต่อสายสัญญาณ Load cell เข้ากับ Crosshead

3.5.2.3 เปิดเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

3.5.2.4 นำชิ้นงานใส่เข้ากับหัวจับเพื่อตั้งระยะยึด

3.5.2.5 ตั้งค่าเครื่องให้เป็นศูนย์เพื่อตั้งค่าระยะยึด

3.5.2.6 นำชิ้นงานทำการทดสอบค่า โดยใส่ชิ้นงานในหัวจับ แล้วทำการขันหัวจับให้แน่น

3.5.2.7 ทำการทดสอบชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 3.7 จนชิ้นงานขาด

รูปที่ 3.7 ขณะเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ดึงชิ้นงาน

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 ตอนที่ 1

ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPEกับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

3.6.1.1 เตรียม LDPE กับ NR แล้วนำไปชั่งในอัตราส่วน 40 : 60 กรัม

3.6.1.2 ผสม LDPE กับ NR ในเครื่อง Two-roll mill ด้วยเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า 150 องศาเซลเซียส และลูกกลิ้งหลัง 135 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

3.6.1.3 นำ LDPE หลอมละลายก่อนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม NR ลงไปผสมกับ LDPE เป็นเวลา 20 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยระหว่างการบดผสมยางทั้งสองเข้าด้วยกัน จะใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางของแผ่นชีทในการป้อนเข้าลูกกลิ้งทุกครั้ง คือ เมื่อได้แผ่นชีทออกมา จะพับแผ่นตามทิศทางเครื่อง ในการป้อนครั้งต่อไปจะป้อนทิศทางขวางของแผ่นชีทเข้าเครื่อง การทำเช่นนี้ตลอดการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง จะช่วยให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างของลูกกลิ้ง มีการกระจายดีมากขึ้น

3.6.1.4 นำแผ่นชีทยางผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลงการนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 $mm.^2$

3.6.1.5 นำชิ้นงานที่ตัดเสร็จแล้วมาวางในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 ใส่ในเครื่อง Compression molding ที่ตั้งค่าไว้โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^2 ทำการอัดขึ้นรูป โดยทำการทดลองอุณหภูมิ ที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ คือ 100, 120, 140, 160 และ180 องศาเซลเซียส เวลา ที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที

3.6.1.6 นำแม่พิมพ์ที่ประกบเรียบร้อยแล้วใส่ในเครื่อง Compression molding ที่ตั้งค่าไว้

หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ทั้ง 25 การทดลอง ทำการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังรูปที่ 3.7 นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางที่ออกแบบไว้

1551598
ส.
ด7350
2553

3.6.2 ตอนที่ 2

ศึกษาวิธีการทดลองที่เหมาะสมของ LDPEกับ NR (ใส่สารผสม)

3.6.1.1 แบบการทดลองที่ 1

ก. เตรียม LDPE กับ NR แล้วนำไปชั่งในอัตราส่วน 40 : 60 กรัมเตรียมสารเคมี คือ ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก และกำมะถัน นำไปบดให้ละเอียดในภาชนะ(แยกบดทีละชนิด) นำมาชั่งในอัตราส่วน 6 : 1.2 : 2.4 กรัม

ข. นำซิงค์ออกไซด์มาผสมกับกรดสเตียริกที่บดแล้วในอัตราส่วน 6 : 1.2 กรัม ผสมในบีกเกอร์โดยใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

ค. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 70 องศาเซลเซียส : 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ง. นำ NR ที่เตรียมไว้ในข้อ ก มานวดในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ในข้อ ค เป็นเวลา5 นาที โปรยซิงค์ออกไซด์กับกรดสเตียริกที่ผสมกันแล้วลงไปในเครื่องใช้เวลาในการผสมให้เข้ากัน5 นาที แล้วเติมกำมะถันที่บดแล้วลงไป โดยใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 15 นาที

จ. นำแผ่นยางที่ผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

ฉ. ตั้งค่าเครื่อง Compression molding โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^3 อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ช. นำแผ่นยางที่เย็นตัวแล้วในข้อ จ มาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.5 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำการอัดขึ้นรูป

ซ. นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ ช ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

ฌ. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ญ. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ฎ. นำ LDPE ใส่ในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ แสดงดังรูปที่ 3.2 จน LDPE ละลายหมด ใช้เวลา 5 นาที

ฏ. แล้วนำแผ่นยางที่ได้ในข้อที่ ฌ ใส่ลงไปในเครื่องTwo-roll mill ผสมกับ LDPE ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ฐ. นำแผ่นชีทยางผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลงการนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 mm.

ฑ. ตั้งค่าเครื่อง Compression molding โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^3 อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ฒ. นำแผ่นชีทยางในข้อที่ ฐ มาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้นหนึ่ง

ณ. นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นชีทยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ ฒ ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

ด. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ต. ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412 แสดงดังรูปที่ 3.6 จำนวน 5 ชิ้น

3.6.1.2 แบบการทดลองที่ 2

ก. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อที่ ก–จ ของแบบการทดลองที่ 1

ข. นำแผ่นยางที่ผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

ค. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ง. นำ LDPE ใส่ในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ แสดงดังรูปที่ 3.2 จน LDPE ละลายหมด ใช้เวลา 5 นาที

จ. แล้วนำแผ่นยางที่ได้ในข้อที่ ข ใส่ลงไปในเครื่อง Two-roll mill ผสมกับ LDPE ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ฉ. นำแผ่นชีทยางผสมเสร็จแล้วในข้อที่ จ ออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลงการนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 mm. จำนวน 1 ชิ้น

ช. ตั้งค่าเครื่อง Compression molding โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^3 อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ซ. นำแผ่นชีทยางในข้อที่ ฉ มาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำการอัดขึ้นรูป

ฌ. นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นซีทยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ ช ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่อง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

ญ. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ฎ. ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412 แสดงดังรูปที่ 3.6 จำนวน 5 ชิ้น

3.6.1.3 แบบการทดลองที่ 3

ก. เตรียม LDPEกับ NR แล้วนำไปชั่งในอัตราส่วน 40 : 60 กรัม

ข. เตรียมสารเคมี คือ ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก และกำมะถัน นำไปบดให้ละเอียดในภาชนะ(แยกบดทีละชนิด) นำมาชั่งในอัตราส่วน 6 : 1.2 : 2.4 กรัม

ค. นำซิงค์ออกไซด์มาผสมกับกรดสเตียริกที่บดแล้วในอัตราส่วน 6 : 1.2 กรัม ผสมในบีกเกอร์โดยใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

ง. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 70 : 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

จ. นำ NR มานวดในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ ใช้เวลานวดยาง 5 นาที

ฉ. นำ NR ที่นวดเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill

ช. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ซ. นำ LDPE ใส่ในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ จน LDPE ละลายหมด ใช้เวลา 5 นาที

ฌ. แล้วนำแผ่นยางที่ได้ในข้อที่ ฉ ใส่ลงไปในเครื่อง Two-roll mill ผสมกับ LDPE ใช้เวลาในการผสม 5 นาที

ญ. ใส่ซิงค์ออกไซด์กับกรดสเตียริกที่ผสมกันแล้วลงไปในเครื่อง Two-roll mill ใช้เวลาในการผสมให้เข้ากัน 5 นาที

ฎ. เติมกำมะถันที่บดแล้วลงไปในเครื่อง Two-roll mill ผสมเข้าด้วยกัน ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ฏ. นำแผ่นซีทยางออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง จากนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 mm. จำนวน 1 ชิ้น

ฐ. ตั้งค่าเครื่อง Compression molding โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^3 อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ฑ. นำแผ่นซีทยางที่ได้ในข้อ ฏ ใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้แสดงดังรูปที่ 3.4 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์ แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้น

ฒ. นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นซีทยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ ฑ ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

ณ. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ด. ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412 แสดงดังรูปที่ 3.6 จำนวน 5 ชิ้น

หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ทั้ง 3 แบบการทดลอง ไปทำการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังรูปที่ 3.7 นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางที่ออกแบบไว้ ทำการเลือกแบบการทดลอง

3.6.3 ตอนที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

3.6.3.1 ตอนที่ 3.1

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPEกับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ก. เตรียม LDPE กับ NR แล้วนำไปชั่งในอัตราส่วน ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางอัตราส่วนของ LDPE กับ NR

Materials	Blends						
	1	2	3	4	5	6	7
Low-density Polyethylene (LDPE)	0	20	40	50	60	80	100
Natural rubber (NR)	100	80	60	50	40	20	0

ข. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 70 : 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ค. นำ NR ที่เตรียมไว้ในข้อ ก มานวดในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ในข้อ ข เป็นเวลา 5 นาที

ง. นำแผ่นยางที่นวดเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

จ. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ฉ. นำ LDPE ใส่ในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ แสดงดังรูปที่ 3.2 จน LDPE ละลายหมด ใช้เวลา 5 นาที

ช. แล้วนำแผ่นยางที่ได้ในข้อที่ ง ใส่ลงไปในเครื่อง Two-roll mill ผสมกับ LDPE ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ซ. นำแผ่นชีทยางผสมเสร็จแล้วในข้อที่ ช ออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง จากนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 mm^2. จำนวน 1 ชิ้น

ฌ. ตั้งค่าเครื่อง Compression molding โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^3 อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ญ. นำแผ่นซีทยางในข้อที่ ช มาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำการอัดขึ้นรูป

ฎ. นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นซีทยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ ญ ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

ฏ. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ฐ. ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412 แสดงดังรูปที่ 3.6 จำนวน 5 ชิ้น

ทำการทดลองทั้งหมด 7 ครั้งตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ทั้ง 7 การทดลอง ทำการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังรูปที่ 3.7 นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางที่ออกแบบไว้

3.6.3.2 ตอนที่ 3.2

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ก. เตรียม LDPE กับ NR แล้วนำไปชั่ง และเตรียมสารเคมี คือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) , กรดสเตียริก (Stearic; SA) และกำมะถัน (Sulohur; S) ในอัตราส่วน แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางสารผสม

Materials	Blends						
	1	2	3	4	5	6	7
Low-density Polyethylene (LDPE)	0	20	40	50	60	80	100
Natural rubber (NR)	100	80	60	50	40	20	0
Zinc oxide (ZnO)	1	8	6	5	4	2	0
Stearic (SA)	2	1.6	1.2	1	0.8	0.4	0
Sulohur (S)	4	3.2	2.4	2	1.6	0.8	0

ข. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 70 : 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ค. นำ NR ที่เตรียมไว้ในตารางที่ 3.2 มานวดในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ในข้อ 2 เป็นเวลา 5 นาที โปรยซิงค์ออกไซด์กับกรดสเตียริกที่ผสมกันแล้วลงไปในเครื่องใช้เวลาในการผสมให้เข้ากัน 5 นาที แล้วเติมกำมะถันที่บดแล้วลงไป โดยใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 15 นาที

ง. นำแผ่นยางที่ผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

จ. ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ฉ. นำ LDPE ใส่ในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ แสดงดังรูปที่ 3.2 จน LDPE ละลายหมด ใช้เวลา 5 นาที

ช. แล้วนำแผ่นยางที่ได้ในข้อที่ ง ใส่ลงไปในเครื่อง Two-roll mill ผสมกับ LDPE ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ซ. นำแผ่นซีทยางผสมเสร็จแล้วในข้อที่ ช ออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลงจากนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 mm^2. จำนวน 1 ชิ้น

ฌ. ตั้งค่าเครื่อง Compression molding โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^3 อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

ญ. นำแผ่นซีทยางในข้อที่ ช มาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้นหนึ่ง

ฎ. นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นซีทยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ ญ ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

ฏ. นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ฐ. ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412 แสดงดังรูปที่ 3.6 จำนวน 5 ชิ้น

ทำการทดลองทั้งหมด 7 ครั้งตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 3.2 หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ทั้ง 7 การทดลอง ทำการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง(Tensile strength) แสดงดังรูปที่ 3.7 นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางที่ออกแบบไว้

3.6.4 ตอนที่ 4

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR เลือกแบบการทดลองที่ 2

3.6.4.1 เตรียม LDPE กับ NR แล้วนำไปชั่งในอัตราส่วน 40 : 60 กรัม

3.6.4.2 เตรียมสารเคมี คือ ซิงค์ออกไซด์, กรดสเตียริก และกำมะถัน นำไปบดให้ละเอียดในภาชนะ(แยกบดทีละชนิด) นำมาชั่งในอัตราส่วน 6 : 1.2 : 2.4 กรัม

3.6.4.3 นำซิงค์ออกไซด์มาผสมกับกรดสเตียริกที่บดแล้วในอัตราส่วน 6 : 1.2 กรัม ผสมในบีกเกอร์โดยใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน

3.6.4.4 ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 70 : 60 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

3.6.4.5 นำ NR ที่เตรียมไว้ในข้อ 3.6.4.1 มานวดในเครื่องTwo-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ในข้อ 3.6.4.4 เป็นเวลา 5 นาที โปรยซิงค์ออกไซด์กับกรดสเตียริกที่ผสมกันแล้วลงไปในเครื่องใช้เวลาในการผสมให้เข้ากัน 5 นาที แล้วเติมกำมะถันที่บดแล้วลงไป โดยใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 15 นาที

3.6.4.6 นำแผ่นยางที่ผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

3.6.4.7 ตั้งค่าเครื่อง Two-roll mill โดยตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : อุณหภูมิลูกกลิ้งหลัง 115 : 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 11 : 13.2 mm^2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

3.6.4.8 นำ LDPE ใส่ในเครื่อง Two-roll mill ที่ตั้งค่าไว้ แสดงดังรูปที่ 3.2 จน LDPE ละลายหมด ใช้เวลา 5 นาที

3.6.4.9 แล้วนำแผ่นยางที่ได้ในข้อที่ 3.6.4.2 ใส่ลงไปในเครื่องTwo-roll mill ผสมกับ LDPE ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

3.6.4.10 นำแผ่นชีทยางผสมเสร็จแล้วในข้อที่ 3.6.4.9 ออกจากเครื่อง Two-roll mill ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลงจากนั้นตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 15 x 15 mm^2. จำนวน 1 ชิ้น

3.6.4.11 นำชิ้นงานที่ตัดเสร็จแล้วมาวางในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 ใส่ในเครื่อง Compression molding ที่ตั้งค่าไว้โดยใช้ความดัน 600 kg/cm^2 ทำการอัดขึ้นรูป โดยทำการทดลองอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ คือ 100, 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที

3.6.4.12 นำแผ่นชีทยางในข้อที่ 3.6.4.10 มาใส่ในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ แสดงดังรูปที่ 3.4 นำแผ่นใสประกบแม่พิมพ์แล้วนำแผ่นอลูมิเนียมประกบอีกชั้นหนึ่ง

3.6.4.13 นำแม่พิมพ์ที่ใส่แผ่นชีทยางเรียบร้อยแล้วในข้อที่ 3.6.4.12 ใส่ลงไปในเครื่อง Compression molding เพื่อทำการอัดขึ้นรูป ใช้เวลา 10 นาที จากนั้นนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่อง ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นตัว

3.6.4.14 นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

3.6.4.15 ตัดชิ้นงานให้เป็นรูปมาตรฐาน ASTM D412 แสดงดังรูปที่ 3.6 จำนวน 5 ชิ้น

หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองทั้ง 25 การทดลอง นำมาทำการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แสดงดังรูปที่ 3.7 นำค่าที่ได้บันทึกลงในตารางที่ออกแบบไว้

3.7 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

3.7.1 วิเคราะห์ความแปรปรวน

เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ และเวลาที่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงหลังการอัดขึ้นรูป และวิเคราะห์กราฟที่แสดงผลการทดลองของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม

3.7.2 วิเคราะห์การถดถอยเชิงข้อมูล

เพื่อศึกษาว่าอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลกระทบต่อค่าความทนต่อแรงดึงหรือไม่ และหาสมการถดถอยเพื่อหาค่าความทนต่อแรงดึงที่พยากรณ์เปรียบเทียบกับค่าความทนต่อแรงดึงที่ทำการทดลอง

3.8 สรุปผลการทดลอง

นำผลที่ได้มาสรุปผลการทดลองว่าอุณหภูมิ และเวลามีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงหรือไม่ และนำค่าความทนต่อแรงดึงที่พยากรณ์เปรียบเทียบกับค่าความทนต่อแรงดึงที่ทำการทดลองแล้วสรุปผล

บทที่ 4
ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

จากการทำการทดลองนี้เพื่อศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปว่ามีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติ โดยนำการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการทดลองซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลค่าความทนต่อแรงดึงในการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการผสม LDPE กับ NR ในอัดขึ้นรูป

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลค่าความทนต่อแรงดึงในการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	พอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (กรัม)	ยางธรรมชาติ (กรัม)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)

4.2 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

จากโครงงานนี้ได้ทำการเก็บข้อมูล และทำการทดลอง 4 ขั้นตอน ซึ่งได้ผลการทดลอง และค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ ดังนี้

4.2.1 ตอนที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม(ไม่ใส่สารผสม)

ตอนที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPEกับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

จากการทำการทดลองตอนที่ 1 ได้ทดสอบแรงดึงทั้งหมด 125 ชิ้นงาน ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึงแสดงดังที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR **(ไม่ใส่สารผสม)**

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
100	5	2.8456
100	10	3.5536
100	15	3.7252
100	20	3.6246
100	25	3.4700
120	5	4.1370
120	10	4.3142
120	15	4.3090
120	20	4.8582
120	25	4.7394
140	5	4.9340
140	10	5.1126
140	15	4.9750
140	20	4.5590
140	25	4.6596
160	5	3.8714
160	10	4.6460

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
160	15	4.4810
160	20	3.9570
160	25	3.5866
180	5	4.1740
180	10	4.0916
180	15	3.1640
180	20	2.8920
180	25	2.4518

การทดสอบความแปรปรวนของปัจจัย คือ อุณหภูมิ และเวลา ที่ส่งผลต่อค่า**ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น**

โดยทำการพิจารณาค่านัยสำคัญ (Sig.) **หรือ** ค่า P-Value

ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ค่านัยสำคัญมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α=0.05)

ถ้ายอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ค่านัยสำคัญมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α=0.05)

การทดสอบสมมติฐาน ในการศึกษาปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูป**ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง** LDPE กับ NR มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงหรือไม่

- ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัย A (อุณหภูมิ)

  H_0 คือ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

  H_1 คือ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

- ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัย B (เวลา)

  H_0 คือ เวลาในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

  H_1 คือ เวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

- **ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัย A*B (อุณหภูมิ และเวลา)**

  H_0 คือ อุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

  H_1 คือ อุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ปัจจัย	DF	SS	MS	F	P
อุณหภูมิ	4	41.8241	10.4560	197.2000	0.0000
เวลา	4	4.2789	1.0697	20.1800	0.0000
อุณหภูมิ*เวลา	16	16.3993	1.0250	19.3300	0.0000
Error	100	5.3022	0.0530		
Total	124	67.8045			

หมายเหตุ DF = Degree of Freedom

SS = Sum of Squares

MS = Mean Squares

F = F-Value

P = P-Value

การทดสอบสมมติฐานมีกระบวนการตัดสินใจของความน่าจะเป็นทางสถิติหรือที่เรียกว่า P-Value ดังนี้

ปัจจัย A

- ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ **ความแปรปรวนของอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมของ LDPE กับ NR**

ปัจจัย B

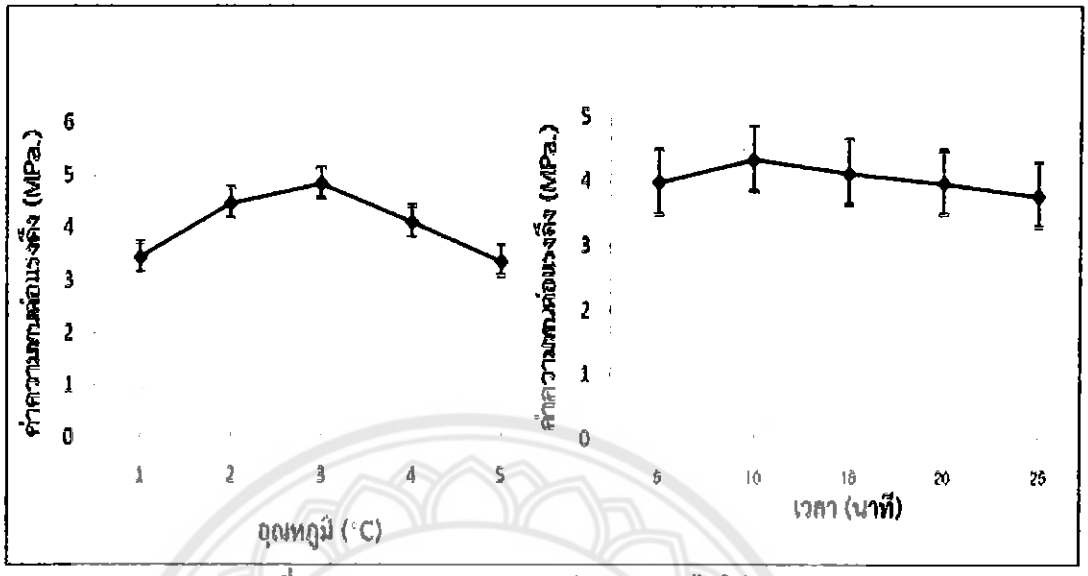
- ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ **ความแปรปรวนของเวลาในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมของ LDPE กับ NR**

ปัจจัยร่วม A*B (อุณหภูมิและเวลา)

- **ค่านัยสำคัญ = 0.000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมของ LDPE กับ NR**

จากตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR (ใส่สารผสม) พบว่าปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิ และเวลา มีค่า P-Value = 0.0000 และปัจจัยร่วม มีค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 ให้ปฏิเสธ H_0 ดังนั้นปัจจัยหลัก คืออุณหภูมิกับเวลา มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง และปัจจัยร่วมอุณหภูมิและเวลามีผลกระทบร่วมกัน

4.2.1.1 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก (Main Effects)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลของปัจจัยหลัก (ไม่ใส่สารผสม)

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของปัจจัยหลักคืออุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูป (ไม่ใส่สารผสม) วิเคราะห์ผลได้ดังนี้

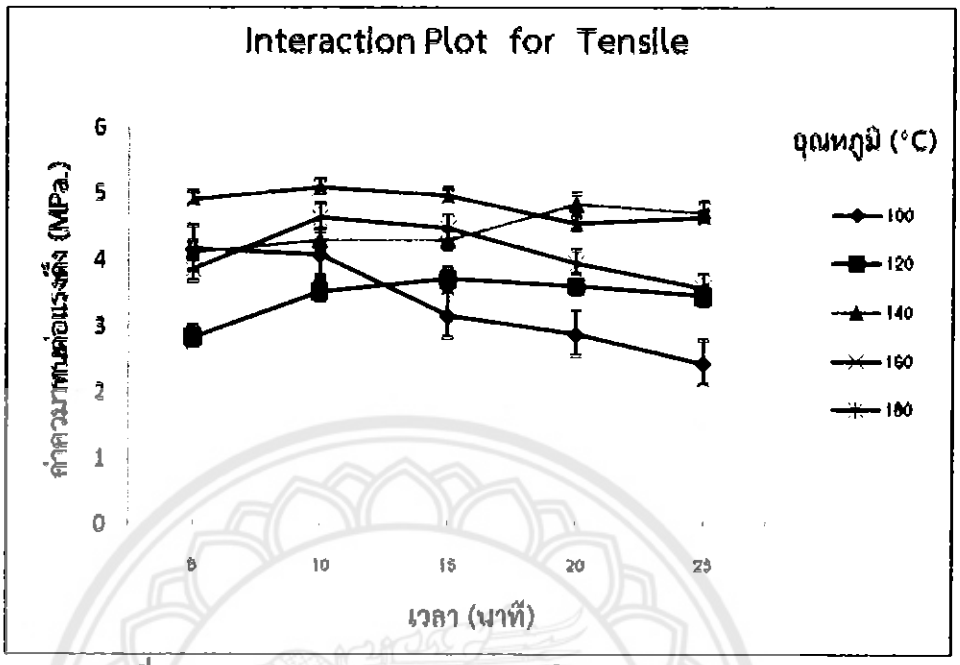
ปัจจัยอุณหภูมิ

เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึง พบว่าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส - 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 140 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง

ปัจจัยเวลา

เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึง พบว่าเวลา 5 - 25 นาที เวลาที่ 10 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มเวลาสูงกว่า 10 นาที จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง

4.2.1.2 วิเคราะห์ของปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction)

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของปัจจัยร่วม คืออุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูป (ไม่ใส่สารผสม) ซึ่งผลที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย พบว่า อุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 10 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด และที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 25 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงที่ต่ำที่สุด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาของค่าความทนต่อแรงดึงแล้ว อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมจะนำไปใช้กับชิ้นงาน พิจารณาได้ดังนี้

อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลามากกว่า 5 นาที ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 25 นาที ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง ดังนั้นใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความทนต่อแรงดึงสูง

อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลา 10 ถึง 20 นาทีจะได้ค่าความทนต่อแรงดึงที่สูงขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 25 นาทีทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง

อุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปตั้งแต่ 5 ถึง 10 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงที่สูงขึ้นและเมื่อใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 15 นาที ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง ซึ่งในอุณหภูมิระดับที่ 140 องศาเซลเซียส ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุดในการทดสอบ

อุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลา 10 นาที ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปตั้งแต่ 15 นาทีขึ้นไป ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง ดังนั้นใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 10 นาที ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความทนต่อแรงดึงสูง

อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลา 5 นาทีจะได้ค่าความทนต่อแรงดึงที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ คือ เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูปทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง

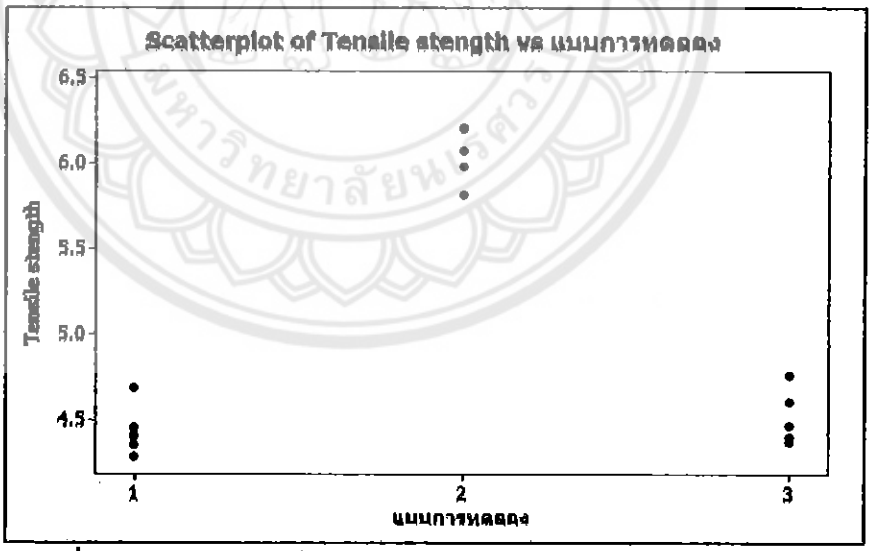
4.2.2 ตอนที่ 2 ศึกษาวิธีการทดลอง

ตอนที่ 2 ศึกษาวิธีการทดลองที่เหมาะสมของ LDPEกับ NR (ใส่สารผสม)

Descriptive Statistics: Tensile stength

Variable	แบบการทดลอง	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Maximum
Tensile stength	1	5	4.4506	0.0681	0.1523	4.2990	4.6980
	2	5	6.0678	0.0736	0.1645	5.8260	6.2220
	3	5	4.5370	0.0725	0.1621	4.3860	4.7770

รูปที่ 4.3 ผลค่าเฉลี่ยของค่าความทนต่อแรงดึง ในวิธีการทดลอง 3 วิธี (ใส่สารผสม)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความทนต่อแรงดึง ในวิธีการทดลอง (ใส่สารผสม)

จากผลการการทดลองพบว่าแบบการทดลองทั้ง 3 แบบ มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด คือ แบบการทดลองที่ 2 ดังนั้น เลือกแบบการทดลองที่ 2 ในตอนที่ 3 เพราะว่าแบบการทดลองที่ 2 เหมาะสมต่อการทดลอง

4.2.3 ตอนที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ตอนที่ 3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPEกับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ตารางที่ 4.5 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของอัตราส่วน LDPE ต่อ NR (ไม่ใส่สารผสม)

LDPE(กรัม)	NR(กรัม)	ค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
0	100	0.3434
20	80	1.6390
40	60	5.1126
50	50	5.6630
60	40	7.1730
80	20	7.8180
100	0	9.8660

จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPEกับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ตอนที่ 3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPEกับ NR (ใส่สารผสม)

ตารางที่ 4.6 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของอัตราส่วน LDPE ต่อ NR (ใส่สารผสม)

LDPE(กรัม)	NR(กรัม)	ค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
0	100	0.6420
20	80	1.8006
40	60	5.9862
50	50	6.6230
60	40	7.4414
80	20	8.0640
100	0	9.9760

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ LDPE ต่อ NR (ใส่สารผสม)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความทนต่อแรงดึงระหว่างอัตราส่วนของ LDPE กับ NR ไม่ใส่สารผสมกับที่ใส่สารผสม พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงระหว่างอัตราส่วนของ LDPE กับ NR ที่ใส่สารผสมมีค่ามากกว่า ดังนั้นสารผสมทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น

4.2.4 ตอนที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม(ใส่สารผสม)

ตอนที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ตารางที่ 4.7 ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ลำดับที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
1	140	10	6.0550
2	100	15	5.3542
3	100	20	5.6492
4	100	20	5.7200
5	100	5	4.1132
6	180	15	7.9250
7	160	10	8.1028
8	100	10	4.3482
9	140	20	7.5770
10	120	10	5.0234
11	160	15	9.1650
12	100	5	4.1260
13	120	20	6.9564
14	120	20	6.9838
15	160	5	7.5520
16	100	15	5.4100
17	140	10	6.0678
18	120	5	4.4460
19	140	20	7.3760
20	180	25	9.7530
21	120	15	6.8030

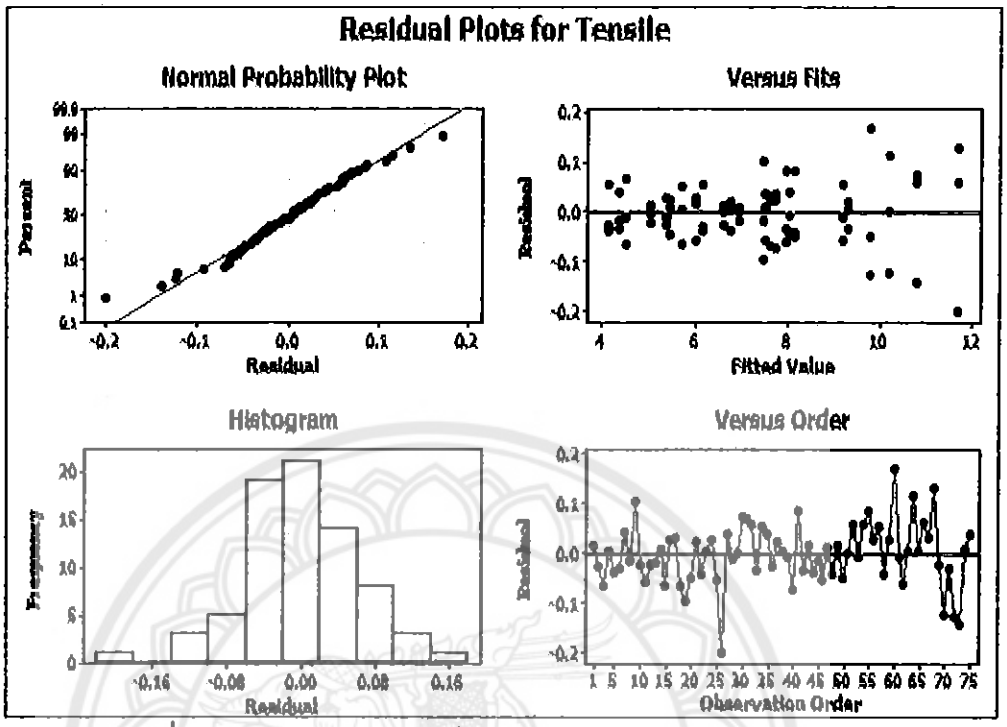
ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ลำดับที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
22	120	25	8.1300
23	180	20	10.2190
24	160	5	7.6460
25	140	15	7.4690
26	160	20	11.5080
27	100	25	7.7850
28	120	5	4.5010
29	120	20	6.9752
30	160	25	10.8900
31	120	5	4.5800
32	160	15	9.2790
33	140	25	9.2870
34	100	20	5.7670
35	100	10	4.4052
36	180	5	6.1526
37	140	25	9.3424
38	120	15	6.7860
39	160	15	9.2130
40	100	25	7.6740
41	120	25	8.2548
42	120	15	6.7458
43	180	10	6.6348
44	180	5	6.1436
45	140	20	7.4546
47	140	15	7.5346
46	140	10	5.9832
48	140	5	5.4020
49	120	10	5.0608
50	120	25	8.1222

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) ตารางผลของค่าเฉลี่ยค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ลำดับที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
51	120	10	5.0436
52	160	25	10.8740
53	100	15	5.3720
54	180	5	6.2382
55	180	15	8.0428
56	140	5	5.4712
57	100	5	4.2062
58	160	10	8.0182
59	100	25	7.7730
60	180	25	9.9730
61	160	10	8.0532
62	180	15	7.8970
63	180	10	6.6234
64	180	20	10.3310
65	140	25	9.3246
66	160	20	11.7720
67	160	5	7.6504
68	160	20	11.8420
69	180	10	6.5960
70	180	20	10.0930
71	100	10	4.3332
72	180	25	9.6770
73	160	25	10.6740
74	140	5	5.4548
75	140	15	7.5610

4.2.4.1 วิเคราะห์ผลจากกราฟ



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าความทนต่อแรงดึง

จากกราฟที่แสดงส่วนที่ตกค้างของข้อมูลของค่าความทนต่อแรงดึงทดสอบสมมติฐาน ในการศึกษาปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาของค่าความทนต่อแรงดึง LDPE กับ NR (ใส่สารผสม) หลังการอัดขึ้นรูป ทำการวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

- Normality Probability Plot เพื่อตรวจดูลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นแบบปกติ การที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรงแสดงว่าค่าส่วนที่ตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

- Histogram of the Residuals เพื่อตรวจดูลักษณะการกระจายตัวที่ไม่ปกติ ฮิสโตแกรมควรจะมีรูปทรงสมมาตร และเป็นรูประฆังคว่ำ มีการกระจายรอบค่าศูนย์ และมีจุดโด่งหลายจุด

- Residuals Versus the Fitted Value เพื่อตรวจดูการกระจายตัวของค่าส่วนที่ตกค้างในแต่ละย่านของข้อมูล ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นโค้ง และลักษณะของกราฟควรมีการกระจายแบบสุ่มรอบค่า 0 ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.5 มีการกระจายตัวรอบค่า 0

- Residuals versus order เพื่อตรวจดูว่าค่าส่วนที่ตกค้างขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ ซึ่งที่แสดงในรูปที่ 4.5 กราฟไม่ปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆอย่างชัดเจน ซึ่งควรมีการกระจายตัวที่ขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้นข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของการผสม LDPE กับ NR (ใส่สารผสม) หลังการอัดขึ้นรูปในกราฟส่วนที่ตกค้างแบบ Four-in-one ได้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้ ซึ่งแสดงผลตามลักษณะของการตรวจสอบสมมติฐานทางสถิติ ทั้ง 4 ข้อ

การทดสอบความแปรปรวนของปัจจัย คือ อุณหภูมิ และเวลา ที่ส่งผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

โดยทำการพิจารณาค่านัยสำคัญ (Sig.) หรือ ค่า P-Value

ถ้าปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ค่านัยสำคัญมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α=0.05)

ถ้ายอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) ค่านัยสำคัญมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α=0.05)

การทดสอบสมมติฐาน ในการศึกษาปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงหรือไม่

- ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัย A (อุณหภูมิ)
  H_0 คือ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง
  H_1 คือ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง
- ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัย B (เวลา)
  H_0 คือ เวลาในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง
  H_1 คือ เวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง
- ตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัย A*B (อุณหภูมิและเวลา)
  H_0 คือ อุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง
  H_1 คือ อุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าความทนต่อแรงดึงของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม) หลังการอัดขึ้นรูป

ปัจจัย	DF	SS	MS	F	P
อุณหภูมิ	4	148.1360	37.0340	6575.5900	0.0000
เวลา	4	139.9900	34.9980	6214.0200	0.0000
อุณหภูมิ*เวลา	16	15.5060	0.9690	172.0800	0.0000
Error	50	0.2820	0.0060		
Total	74	303.9140			

หมายเหตุ DF = Degree of Freedom

SS = Sum of Squares

MS = Mean Squares

F = F-Value

P = P-Value

การทดสอบสมมติฐานมีกระบวนการตัดสินใจของความน่าจะเป็นทางสถิติหรือที่เรียกว่า P-Value ดังนี้

ปัจจัย A

- ค่านัยสำคัญ = 0.0000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมของ LDPE กับ NR

ปัจจัย B

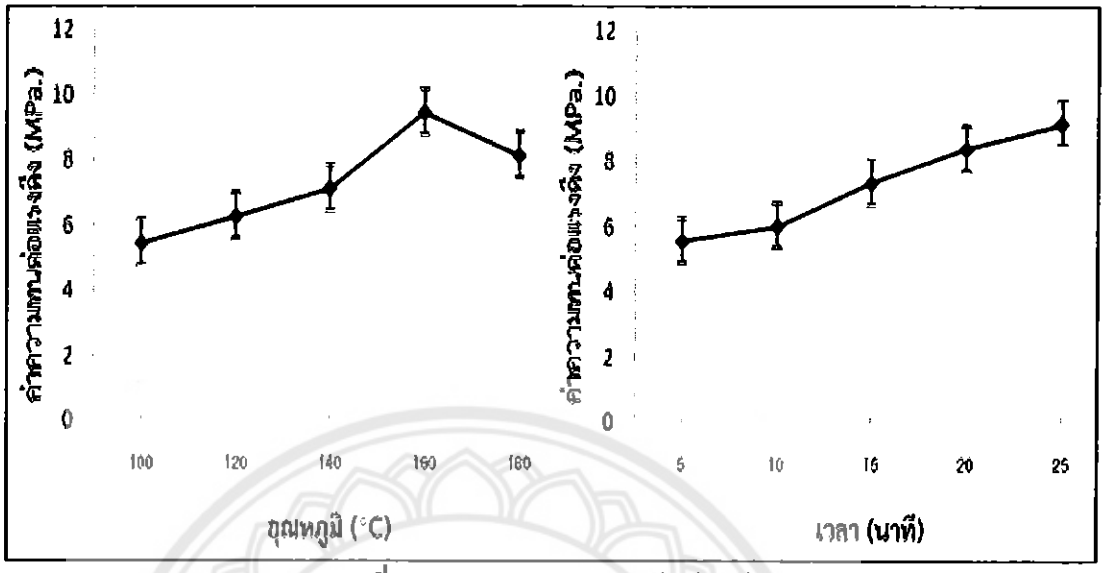
- ค่านัยสำคัญ = 0.0000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ความแปรปรวนของเวลาในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมของ LDPE กับ NR

ปัจจัยร่วม A*B (อุณหภูมิและเวลา)

- ค่านัยสำคัญ = 0.0000 < 0.05 จึง ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ความแปรปรวนของอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมของ LDPE กับ NR

จากตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ว่าของค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR (ใส่สารผสม) พบว่าปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิ และเวลา มีค่า P-Value = 0.00 และปัจจัยร่วม มีค่า P-Value = 0.0000 ซึ่งถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 ให้ปฏิเสธ H_0 ดังนั้นปัจจัยหลัก คืออุณหภูมิกับเวลา มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึง และปัจจัยร่วมอุณหภูมิ และเวลามีผลกระทบร่วมกัน

4.2.4.2 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก (Main Effects)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.6 แสดงผลของปัจจัยหลักคืออุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูป (ใส่สารผสม) วิเคราะห์ผลได้ดังนี้

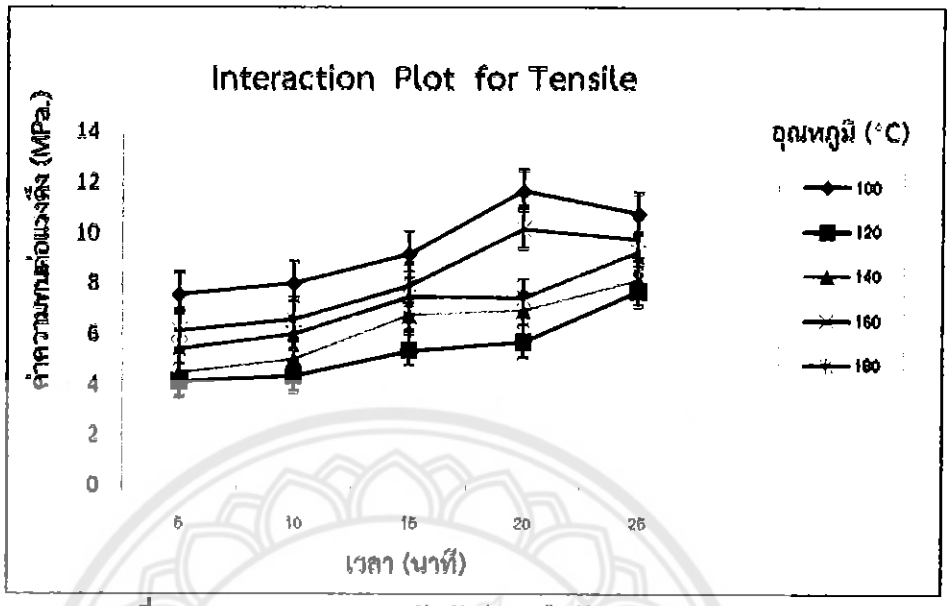
ปัจจัยอุณหภูมิ

ใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100, 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียสเมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึง พบว่าอุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงกว่า 160 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง

ปัจจัยเวลา

ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบแรงดึง พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูป ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้นตามลำดับ

4.2.4.3 วิเคราะห์ของปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction)



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยา (Interaction)

จากรูปที่ 4.7 แสดงผลของปัจจัยร่วม คืออุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูป (ใส่สารผสม) ซึ่งผลที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย พบว่า อุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 5 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงที่ต่ำที่สุด

ดังนั้นเมื่อพิจารณาของค่าความทนต่อแรงดึงแล้ว อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมจะนำไปใช้กับชิ้นงาน มีดังนี้

อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปมากกว่า 5 นาทีขึ้นไป ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามเวลาในการอัดขึ้นรูป เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิทุกระดับพบว่าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ให้ค่าความทนต่อแรงดึงต่ำที่สุด

อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปมากกว่า 5 นาทีขึ้นไป ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามเวลาในการอัดขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปมากกว่า 5 นาทีขึ้นไป ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามเวลาในการอัดขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าสูงกว่าการใช้เวลาระดับอื่นๆ และเมื่อใช้เวลา 25 นาทีทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงเมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิทุกระดับพบว่าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด

อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที ให้ค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าสูงกว่าการใช้เวลาระดับอื่นๆ เมื่อใช้เวลา 25 นาทีทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลง

เวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอัดขึ้นรูป คือ ใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20 นาที ซึ่งให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด

การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

กำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100, 120, 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความถดถอย

Preditor	Coefficients
Constant	-0.4170
อุณหภูมิ (Tempereture , องศาเซลเซียส)	0.0347
เวลา (Time , นาที)	0.1160
อุณหภูมิ*เวลา	0.0005

Std. Error of Estimate = 0.8863

R-Square = 81.6%

จากตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนต่อแรงดึง สรุปได้ว่า

ค่า R-Square = 81.6% หรือ 0.8160 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ ที่แสดงถึงสัดส่วน จากค่า R-Squared (R^2) มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าสมการที่ประมาณเหมาะสมที่ใช้นำไปใช้งาน

ค่า Std. Error of Estimate คือค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ตัวแปร ดังนั้น Std. Error of Estimate มีค่าความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงประมาณ 0.8863

จากการวิเคราะห์การถดถอยของอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูป ทำให้ได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังสมการที่ 4.1

$$Y = -0.4200 + 0.0347X_1 + 0.1160X_2 - 0.0005X_1X_2 \quad (4.1)$$

โดยที่ Y = ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)

X_1 = อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)

X_2 = เวลาในการอัดขึ้นรูป (นาที)

ทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึง เมื่อแทนของไปในสมการที่ 4.1 และค่าความทนต่อแรงดึงที่วัดค่าได้จากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ว่าแตกต่างกันหรือไม่

ตัวอย่างเมื่อแทนค่าในสมการ

- อุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

  จากสมการ จะได้ -0.4200 +0.0347(140) + 0.1160(10) + 0.0005(140*10) เท่ากับ 6.2980

- อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที

  จากสมการ จะได้ -0.4200 +0.0347(100) + 0.1160(15) + 0.0005(100*15) เท่ากับ 5.5400

- อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

  จากสมการ จะได้ -0.4200 +0.0347(100) + 0.1160(20) + 0.0005(100*20) เท่ากับ 6.3700

- อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที

  จากสมการ จะได้ -0.4200 +0.0347(100) + 0.1160(5) + 0.0005(100*5) เท่ากับ 3.8800

- อุณหภูมิที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

  จากสมการ จะได้ -0.4200 +0.0347(120) + 0.1160(10) + 0.0005(120*10) เท่ากับ 5.5040

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างค่าที่วัดจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

ลำดับที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
1	140	100	6.0550
2	100	15	5.3542
3	100	20	5.6492
4	100	5	4.1132
5	120	10	5.0234

สรุปผล เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึงแล้ว ปรากฏว่าค่าความทนต่อแรงดึงมีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก ดังนั้นสมการถดถอยที่ได้เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมด สามารถนำมาสรุปได้ดังนี้

ทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติปัจจัยอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูปของค่าความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR พบว่าปัจจัยอุณหภูมิ และเวลามีผลทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูป และปัจจัยอุณหภูมิและเวลามีผลกระทบร่วมกัน ซึ่งเวลาที่เหมาะสมในการใช้อัดขึ้นรูปชิ้นงาน คือ ใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เวลาที่ 20 นาที จะได้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดในกระบวนการทดลองในครั้งนี้ เมื่อได้นำผลมาวิเคราะห์การถดถอย และได้สมการถดถอย ดังนี้

$$Y = -0.42 + 0.0347X_1 + 0.116X_2 - 0.00054X_1X_2 \qquad (4.1)$$

โดยที่ Y = ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)

X_1 = อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)

X_2 = เวลาในการอัดขึ้นรูป (นาที)

ซึ่งสมการถดถอยที่ได้เมื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนน้อย ดังนั้น สมการถดถอยที่ได้เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

5.2 ปัญหา และแนวทางแก้ไข

ข้อเสนอแนะจากการศึกษาเรื่องความแตกต่างของค่าความทนต่อแรงดึงก่อน และหลังในการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง LDPE กับ NR ภายในท้องถิ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาปัจจัยอุณหภูมิ และเวลาในการอัดขึ้นรูป มีดังนี้

5.2.1. ศึกษาสมบัติความทนต่อแรงดึง และความสามารถในการขึ้นรูปของ LDPE กับ NR ที่เตรียมได้

5.2.2. ควรมีการเลือกใช้อุปกรณ์ที่ตรงกับชนิด และประเภทของงาน เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.3. ควรหาวิธีการในการผสม LDPE กับ NR ให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอมากกว่านี้ เพื่อลดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง

5.2.4. ศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพิ่มเติม เพื่อนำมาใช้ให้เกิดความรู้ และความเข้าใจมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ณัฐศิริ ศรีสิทธิพันธกุล และสุชีวิน สังกะมิลินท์. **การจำแนกลักษณะของการผสมเข้ากันได้ของไนลอน-6 อะคริโลไนตริล บิวทาไดอีนสไตรีน และพอลิโอลิฟินที่ใช้แล้ว.** โครงงานพิเศษ, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.

ดร.วราภรณ์ ตันรัตนกุล และคนอื่นๆ. **"ยางผสมชนิดใหม่: ยางธรรมชาติผสมโพลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก."** รายงานการวิจัยในสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์, หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540

นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล. **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์.** คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.

พรพรรณ นิธิอุทัย,สารเคมีสำหรับยาง,ภาควิชาเทคโนโลยีการยาง และพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,มหาวิทยาลัยสางขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2528.

รองศาสตราจารย์ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และคณะ. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.** กรุงเทพฯ :บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2551.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. **ยางธรรมชาติ : การผลิต และการใช้งาน.** สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.). กรุงเทพฯ. 2549.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. **การออกสูตรยาง และกระบวนการผลิต.** ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง, กรมวิชาการเกษตร, 2541.

สุพิชญ์ ปัญญาวัฒนพงศ์. **"เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ."** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

อิทธิพล แจ้งชัด. **เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์.** คณะวิทยาศาสตร์,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542.

ภาคผนวก ก
ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ตารางค่าความทนต่อแรงดึง

ตอนที่ 1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ตารางที่ ก.1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน (mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	100	5	6	2	2.8830
2	100	5	6	2	2.7450
3	100	5	6	2	2.8310
4	100	5	6	2	3.1090
5	100	5	6	2	2.6600
1	100	10	6	2	3.2960
2	100	10	6	2	3.4340
3	100	10	6	2	3.4930
4	100	10	6	2	3.7710
5	100	10	6	2	3.6890
1	100	15	6	2	3.8750
2	100	15	6	2	3.7580
3	100	15	6	2	3.6110
4	100	15	6	2	3.7020
5	100	15	6	2	3.6800
1	100	20	6	2	3.5270
2	100	20	6	2	3.6620
3	100	20	6	2	3.5830
4	100	20	6	2	3.6010
5	100	20	6	2	3.7500
1	100	25	6	2	3.2540
2	100	25	6	2	3.5360

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน (mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
3	100	25	6	2	3.5190
4	100	25	6	2	3.4330
5	100	25	6	2	3.6080
1	120	5	6	2	4.0850
2	120	5	6	2	3.9390
3	120	5	6	2	4.4670
4	120	5	6	2	4.2660
5	120	5	6	2	3.9280
1	120	10	6	2	4.0430
2	120	10	6	2	4.4430
3	120	10	6	2	4.5730
4	120	10	6	2	4.3840
5	120	10	6	2	4.1280
1	120	15	6	2	4.2460
2	120	15	6	2	4.5840
3	120	15	6	2	4.3190
4	120	15	6	2	3.9590
5	120	15	6	2	4.4390
1	120	20	6	2	4.7030
2	120	20	6	2	5.0020
3	120	20	6	2	4.8750
4	120	20	6	2	4.9070
5	120	20	6	2	4.8040
1	120	25	6	2	4.9330
2	120	25	6	2	4.9940
3	120	25	6	2	4.5620
4	120	25	6	2	4.6170

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน (mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
5	120	25	6	2	4.5910
1	140	5	6	2	4.9900
2	140	5	6	2	4.3670
3	140	5	6	2	5.2070
4	140	5	6	2	5.2180
5	140	5	6	2	4.8860
1	140	10	6	2	4.9900
2	140	10	6	2	5.1280
3	140	10	6	2	5.2070
4	140	10	6	2	5.2970
5	140	10	6	2	4.9410
1	140	15	6	2	5.0200
2	140	15	6	2	4.8970
3	140	15	6	2	4.9350
4	140	15	6	2	5.1370
5	140	15	6	2	4.8860
1	140	20	6	2	4.7280
2	140	20	6	2	4.5820
3	140	20	6	2	3.9650
4	140	20	6	2	4.8910
5	140	20	6	2	4.6290
1	140	25	6	2	4.8140
2	140	25	6	2	4.6740
3	140	25	6	2	4.8190
4	140	25	6	2	4.5120
5	140	25	6	2	4.4790
1	160	5	6	2	3.7270

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน (mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
2	160	5	6	2	3.8740
3	160	5	6	2	4.0450
4	160	5	6	2	3.7270
5	160	5	6	2	3.9840
1	160	10	6	2	4.2110
2	160	10	6	2	4.8900
3	160	10	6	2	4.7570
4	160	10	6	2	4.5820
5	160	10	6	2	4.7880
1	160	15	6	2	4.6790
2	160	15	6	2	4.5980
3	160	15	6	2	4.4460
4	160	15	6	2	4.1380
5	160	15	6	2	4.5440
1	160	20	6	2	3.9510
2	160	20	6	2	4.1590
3	160	20	6	2	3.4270
4	160	20	6	2	3.9960
5	160	20	6	2	4.2510
1	160	25	6	2	3.3630
2	160	25	6	2	3.8460
3	160	25	6	2	3.7150
4	160	25	6	2	3.5460
5	160	25	6	2	3.4630
1	180	5	6	2	4.4670
2	180	5	6	2	4.1550
3	180	5	6	2	3.8060

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา(นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน (mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
4	180	5	6	2	3.9690
5	180	5	6	2	4.4750
1	180	10	6	2	4.2310
2	180	10	6	2	4.0920
3	180	10	6	2	3.9990
4	180	10	6	2	4.0510
5	180	10	6	2	4.0850
1	180	15	6	2	3.4070
2	180	15	6	2	3.1880
3	180	15	6	2	3.4780
4	180	15	6	2	2.8740
5	180	15	6	2	2.8710
1	180	20	6	2	3.2310
2	180	20	6	2	3.0920
3	180	20	6	2	2.9990
4	180	20	6	2	3.0510
5	180	20	6	2	2.0850
1	180	25	6	2	2.3640
2	180	25	6	2	2.4840
3	180	25	6	2	2.5130
4	180	25	6	2	2.7320
5	180	25	6	2	2.1660

ภาคผนวก ข

ศึกษาวิธีการทดลองที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR

ตอนที่ 2 ศึกษาวิธีการทดลองที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR

ตารางที่ ข.1 แบบการทดลองที่ 1

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน(mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
1	140	10	6	2	4.4190
2	140	10	6	2	4.4710
3	140	10	6	2	4.6980
4	140	10	6	2	4.3660
5	140	10	6	2	4.2990

ตารางที่ ข.2 แบบการทดลองที่ 2

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน(mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
1	140	10	6	2	6.2220
2	140	10	6	2	5.8260
3	140	10	6	2	5.9940
4	140	10	6	2	6.2100
5	140	10	6	2	6.0870

ตารางที่ ข.3 แบบการทดลองที่ 3

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน(mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง(MPa.)
1	140	10	6	2	4.4840
2	140	10	6	2	4.6220
3	140	10	6	2	4.3860
4	140	10	6	2	4.4160
5	140	10	6	2	4.7770

ภาคผนวก ค
ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR

ตอนที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR

ตารางที่ ค.1 ตอนที่ 3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	LDPE(กรัม)	NR(กรัม)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	140	10	0	100	0.2820
2	140	10	0	100	0.1190
3	140	10	0	100	0.5360
4	140	10	0	100	0.3550
5	140	10	0	100	0.4250
1	140	10	20	80	1.5860
2	140	10	20	80	1.9740
3	140	10	20	80	1.1900
4	140	10	20	80	1.8360
5	140	10	20	80	1.6070
1	140	10	40	60	4.9900
2	140	10	40	60	5.1280
3	140	10	40	60	5.2070
4	140	10	40	60	5.2970
5	140	10	40	60	4.9410
1	140	10	50	50	5.2310
2	140	10	50	50	5.4520
3	140	10	50	50	5.9840
4	140	10	50	50	5.6390
5	140	10	50	50	6.0070
1	140	10	60	40	6.9600
2	140	10	60	40	7.6640
3	140	10	60	40	7.2490
4	140	10	60	40	6.8850
5	140	10	60	40	7.1090

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) ตอนที่ 3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR (ไม่ใส่สารผสม)

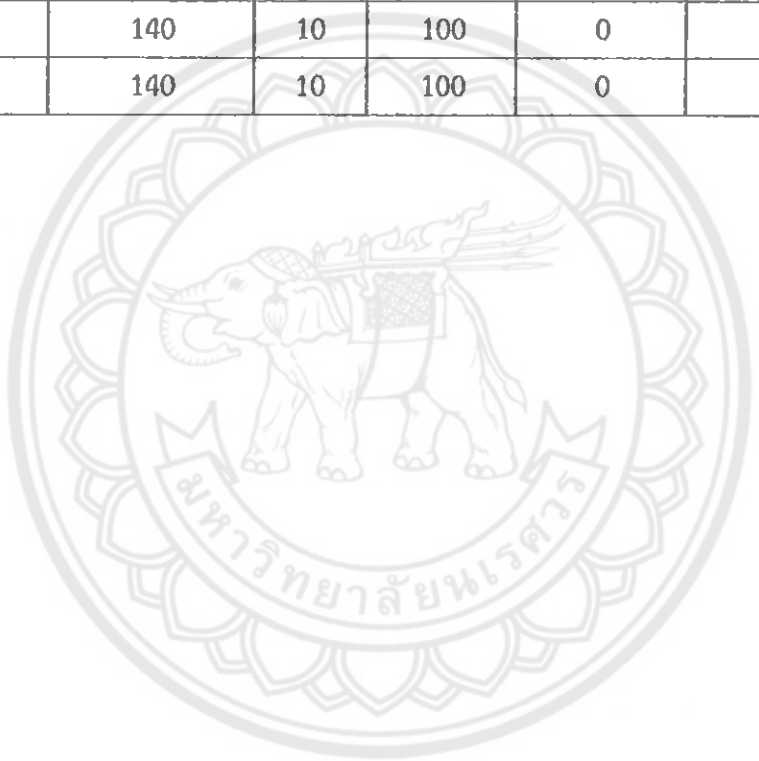
ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	LDPE(กรัม)	NR(กรัม)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	140	10	80	20	7.4260
2	140	10	80	20	7.9620
3	140	10	80	20	7.8560
4	140	10	80	20	7.6800
5	140	10	80	20	8.1660
1	140	10	100	0	9.7770
2	140	10	100	0	9.5430
3	140	10	100	0	9.3130
4	140	10	100	0	10.3820
5	140	10	100	0	10.3130

ตารางที่ ค.2 ตอนที่ 3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	LDPE (กรัม)	NR(กรัม)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	140	10	0	100	0.7340
2	140	10	0	100	0.5830
3	140	10	0	100	0.5730
4	140	10	0	100	0.6870
5	140	10	0	100	0.6240
1	140	10	20	80	1.9190
2	140	10	20	80	1.7530
3	140	10	20	80	1.8980
4	140	10	20	80	1.8050
5	140	10	20	80	1.6280
1	140	10	40	60	5.8640
2	140	10	40	60	5.9360
3	140	10	40	60	5.7840
4	140	10	40	60	6.3220
5	140	10	40	60	6.0250
1	140	10	50	50	6.7150
2	140	10	50	50	6.8190
3	140	10	50	50	6.9570
4	140	10	50	50	6.4200
5	140	10	50	50	6.2040
1	140	10	60	40	7.2770
2	140	10	60	40	7.6310
3	140	10	60	40	7.3230
4	140	10	60	40	7.5110
5	140	10	60	40	7.4650
1	140	10	80	20	8.4380
2	140	10	80	20	8.2500

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ตอนที่ 3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	LDPE (กรัม)	NR(กรัม)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
3	140	10	80	20	8.4440
4	140	10	80	20	7.8660
5	140	10	80	20	7.3230
1	140	10	100	0	9.6130
2	140	10	100	0	9.7740
3	140	10	100	0	9.6240
4	140	10	100	0	9.6120
5	140	10	100	0	11.2550



ภาคผนวก ง
ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ใส่สารผสม)

ตอนที่ 4 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR ใส่สารผสม (ครั้งที่ 1)

ตารางที่ ง.1 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 1)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	100	5	6	2	4.0270
2	100	5	6	2	4.1580
3	100	5	6	2	4.0230
4	100	5	6	2	4.1490
5	100	5	6	2	4.2090
1	100	10	6	2	4.2410
2	100	10	6	2	4.2580
3	100	10	6	2	4.4500
4	100	10	6	2	4.4110
5	100	10	6	2	4.3810
1	100	15	6	2	5.2140
2	100	15	6	2	5.1900
3	100	15	6	2	5.5400
4	100	15	6	2	5.3410
5	100	15	6	2	5.4860
1	100	20	6	2	5.7630
2	100	20	6	2	5.4910
3	100	20	6	2	5.9380
4	100	20	6	2	5.3800
5	100	20	6	2	5.6740
1	100	25	6	2	7.9230
2	100	25	6	2	7.7760
3	100	25	6	2	7.9800
4	100	25	6	2	7.4340
5	100	25	6	2	7.2560

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 1)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	120	5	6	2	4.0410
2	120	5	6	2	4.2180
3	120	5	6	2	4.6550
4	120	5	6	2	4.3470
5	120	5	6	2	4.9710
1	120	10	6	2	5.0240
2	120	10	6	2	4.9840
3	120	10	6	2	5.1220
4	120	10	6	2	4.9910
5	120	10	6	2	5.0970
1	120	15	6	2	6.5860
2	120	15	6	2	6.8320
3	120	15	6	2	6.8610
4	120	15	6	2	6.9400
5	120	15	6	2	6.7110
1	120	20	6	2	7.0200
2	120	20	6	2	6.9200
3	120	20	6	2	6.9980
4	120	20	6	2	7.0010
5	120	20	6	2	6.8430
1	120	25	6	2	8.4270
2	120	25	6	2	8.1640
3	120	25	6	2	7.8170
4	120	25	6	2	8.2450
5	120	25	6	2	7.9990
1	140	5	6	2	5.3370
2	140	5	6	2	5.4210

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 1)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
3	140	5	6	2	5.3610
4	140	5	6	2	5.4720
5	140	5	6	2	5.6830
1	140	10	6	2	6.2220
2	140	10	6	2	5.8260
3	140	10	6	2	5.9940
4	140	10	6	2	6.2100
5	140	10	6	2	6.0870
1	140	15	6	2	7.3570
2	140	15	6	2	7.8690
3	140	15	6	2	7.6450
4	140	15	6	2	7.4430
5	140	15	6	2	7.4910
1	140	20	6	2	7.5990
2	140	20	6	2	7.4250
3	140	20	6	2	7.6120
4	140	20	6	2	7.0050
5	140	20	6	2	7.2370
1	140	25	6	2	9.3830
2	140	25	6	2	9.0060
3	140	25	6	2	9.3930
4	140	25	6	2	9.2510
5	140	25	6	2	9.4020
1	160	5	6	2	7.6730
2	160	5	6	2	7.8760
3	160	5	6	2	7.5750
4	160	5	6	2	7.8700

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 1)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
5	160	5	6	2	7.2370
1	160	10	6	2	7.9800
2	160	10	6	2	7.9910
3	160	10	6	2	8.0590
4	160	10	6	2	8.0210
5	160	10	6	2	8.2150
1	160	15	6	2	8.6450
2	160	15	6	2	9.1780
3	160	15	6	2	9.4030
4	160	15	6	2	9.4560
5	160	15	6	2	9.1410
1	160	20	6	2	11.2500
2	160	20	6	2	12.5790
3	160	20	6	2	11.3850
4	160	20	6	2	11.5890
5	160	20	6	2	12.0590
1	160	25	6	2	10.8360
2	160	25	6	2	10.7390
3	160	25	6	2	11.4710
4	160	25	6	2	10.6320
5	160	25	6	2	10.7740
1	180	5	6	2	6.1530
2	180	5	6	2	6.0060
3	180	5	6	2	6.1140
4	180	5	6	2	6.2860
5	180	5	6	2	6.1590
1	180	10	6	2	6.5000

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 1)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
2	180	10	6	2	6.4980
3	180	10	6	2	6.3810
4	180	10	6	2	6.7490
5	180	10	6	2	6.8520
1	180	15	6	2	7.4490
2	180	15	6	2	7.9840
3	180	15	6	2	7.8510
4	180	15	6	2	8.2510
5	180	15	6	2	8.0890
1	180	20	6	2	10.4740
2	180	20	6	2	10.4450
3	180	20	6	2	10.1470
4	180	20	6	2	9.9860
5	180	20	6	2	10.0420
1	180	25	6	2	9.2540
2	180	25	6	2	9.8320
3	180	25	6	2	9.6450
4	180	25	6	2	10.0350
5	180	25	6	2	10.0010

ตารางที่ ง.2 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 2)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	100	5	6	2	4.1470
2	100	5	6	2	4.1960
3	100	5	6	2	4.1250
4	100	5	6	2	4.0450
5	100	5	6	2	4.1170
1	100	10	6	2	4.3860
2	100	10	6	2	4.3780
3	100	10	6	2	4.3750
4	100	10	6	2	4.4770
5	100	10	6	2	4.4100
1	100	15	6	2	5.2780
2	100	15	6	2	5.1820
3	100	15	6	2	5.4700
4	100	15	6	2	5.3750
5	100	15	6	2	5.5550
1	100	20	6	2	5.8250
2	100	20	6	2	5.7100
3	100	20	6	2	5.8230
4	100	20	6	2	5.7360
5	100	20	6	2	5.7410
1	100	25	6	2	7.9210
2	100	25	6	2	7.8120
3	100	25	6	2	7.9020
4	100	25	6	2	7.5980
5	100	25	6	2	7.6320
1	120	5	6	2	4.1250
2	120	5	6	2	4.2800
3	120	5	6	2	4.7120
4	120	5	6	2	4.5210
5	120	5	6	2	4.8650
1	120	10	6	2	4.9320

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 2)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
2	120	10	6	2	4.9750
3	120	10	6	2	5.1870
4	120	10	6	2	4.9120
5	120	10	6	2	5.1110
1	120	15	6	2	6.6320
2	120	15	6	2	6.7250
3	120	15	6	2	6.9200
4	120	15	6	2	6.8100
5	120	15	6	2	6.6420
1	120	20	6	2	7.2010
2	120	20	6	2	6.8340
3	120	20	6	2	7.1020
4	120	20	6	2	6.9870
5	120	20	6	2	6.7950
1	120	25	6	2	8.4010
2	120	25	6	2	8.2310
3	120	25	6	2	7.9520
4	120	25	6	2	7.9230
5	120	25	6	2	8.1040
1	140	5	6	2	5.1060
2	140	5	6	2	5.5840
3	140	5	6	2	5.2650
4	140	5	6	2	5.3450
5	140	5	6	2	5.7120
1	140	10	6	2	6.1010
2	140	10	6	2	5.9380
3	140	10	6	2	5.8200
4	140	10	6	2	5.9220
5	140	10	6	2	6.1350
1	140	15	6	2	7.4550
2	140	15	6	2	7.7930

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 2)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
3	140	15	6	2	7.5820
4	140	15	6	2	7.5120
5	140	15	6	2	7.3310
1	140	20	6	2	7.6520
2	140	20	6	2	7.3450
3	140	20	6	2	7.6470
4	140	20	6	2	7.2650
5	140	20	6	2	7.3640
1	140	25	6	2	9.4230
2	140	25	6	2	9.2540
3	140	25	6	2	9.3970
4	140	25	6	2	9.1250
5	140	25	6	2	9.5130
1	160	5	6	2	7.7220
2	160	5	6	2	7.6590
3	160	5	6	2	7.5340
4	160	5	6	2	7.8010
5	160	5	6	2	7.5360
1	160	10	6	2	7.8320
2	160	10	6	2	8.0250
3	160	10	6	2	8.0970
4	160	10	6	2	8.0120
5	160	10	6	2	8.1250
1	160	15	6	2	8.7770
2	160	15	6	2	8.9230
3	160	15	6	2	9.5010
4	160	15	6	2	9.6650
5	160	15	6	2	9.2010
1	160	20	6	2	11.1020
2	160	20	6	2	11.8550
3	160	20	6	2	11.2030

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 2)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
4	160	20	6	2	11.4590
5	160	20	6	2	11.9220
1	160	25	6	2	10.2560
2	160	25	6	2	10.6540
3	160	25	6	2	10.9920
4	160	25	6	2	10.6750
5	160	25	6	2	10.7920
1	180	5	6	2	6.2030
2	180	5	6	2	5.9890
3	180	5	6	2	6.2040
4	180	5	6	2	6.2220
5	180	5	6	2	6.1450
1	180	10	6	2	6.4120
2	180	10	6	2	6.5410
3	180	10	6	2	6.5780
4	180	10	6	2	6.6850
5	180	10	6	2	6.9010
1	180	15	6	2	7.9630
2	180	15	6	2	7.9820
3	180	15	6	2	7.8710
4	180	15	6	2	8.1000
5	180	15	6	2	8.2980
1	180	20	6	2	10.1000
2	180	20	6	2	10.3570
3	180	20	6	2	10.0040
4	180	20	6	2	10.0230
5	180	20	6	2	9.9820
1	180	25	6	2	9.1250
2	180	25	6	2	9.4560
3	180	25	6	2	9.6780
4	180	25	6	2	10.0120

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 2)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
5	180	25	6	2	10.1120

ตารางที่ ง.3 ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 3)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
1	100	5	6	2	4.2010
2	100	5	6	2	4.0070
3	100	5	6	2	4.4310
4	100	5	6	2	4.2000
5	100	5	6	2	4.1920
1	100	10	6	2	4.1680
2	100	10	6	2	4.3020
3	100	10	6	2	4.2450
4	100	10	6	2	4.5260
5	100	10	6	2	4.4250
1	100	15	6	2	5.2010
2	100	15	6	2	5.2350
3	100	15	6	2	5.6380
4	100	15	6	2	5.4370
5	100	15	6	2	5.5390
1	100	20	6	2	5.8410
2	100	20	6	2	5.5780
3	100	20	6	2	6.0100
4	100	20	6	2	5.2980
5	100	20	6	2	5.8710
1	100	25	6	2	8.0120
2	100	25	6	2	7.9150
3	100	25	6	2	7.9920
4	100	25	6	2	7.9740
5	100	25	6	2	7.0340
1	120	5	6	2	4.3520
2	120	5	6	2	4.1020
3	120	5	6	2	4.8520
4	120	5	6	2	4.6820
5	120	5	6	2	4.9100
1	120	10	6	2	4.9800

ตารางที่ ง.3 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 3)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
2	120	10	6	2	4.9120
3	120	10	6	2	5.2360
4	120	10	6	2	5.0980
5	120	10	6	2	5.0780
1	120	15	6	2	6.7120
2	120	15	6	2	6.8030
3	120	15	6	2	6.8520
4	120	15	6	2	7.0230
5	120	15	6	2	6.6250
1	120	20	6	2	7.1480
2	120	20	6	2	6.8020
3	120	20	6	2	7.0820
4	120	20	6	2	7.0010
5	120	20	6	2	6.8430
1	120	25	6	2	8.3850
2	120	25	6	2	8.5260
3	120	25	6	2	8.1240
4	120	25	6	2	8.1750
5	120	25	6	2	8.0640
1	140	5	6	2	5.2540
2	140	5	6	2	5.5520
3	140	5	6	2	5.5360
4	140	5	6	2	5.6020
5	140	5	6	2	5.4120
1	140	10	6	2	5.9620
2	140	10	6	2	6.0120
3	140	10	6	2	5.8980
4	140	10	6	2	5.9780
5	140	10	6	2	6.4250
1	140	15	6	2	7.4860
2	140	15	6	2	7.9230

ตารางที่ ง.3 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 3)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
3	140	15	6	2	7.4120
4	140	15	6	2	7.3200
5	140	15	6	2	7.2040
1	140	20	6	2	7.8930
2	140	20	6	2	7.9200
3	140	20	6	2	7.5420
4	140	20	6	2	7.1440
5	140	20	6	2	7.3850
1	140	25	6	2	9.2740
2	140	25	6	2	9.1680
3	140	25	6	2	9.4090
4	140	25	6	2	9.3740
5	140	25	6	2	9.3980
1	160	5	6	2	7.8210
2	160	5	6	2	7.9210
3	160	5	6	2	7.7220
4	160	5	6	2	7.2860
5	160	5	6	2	7.0120
1	160	10	6	2	8.0210
2	160	10	6	2	8.1470
3	160	10	6	2	8.0630
4	160	10	6	2	8.1240
5	160	10	6	2	8.1590
1	160	15	6	2	8.9530
2	160	15	6	2	9.0750
3	160	15	6	2	9.5870
4	160	15	6	2	9.5030
5	160	15	6	2	9.2750
1	160	20	6	2	11.6520
2	160	20	6	2	11.7500
3	160	20	6	2	11.8020

ตารางที่ ง.3 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 3)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
4	160	20	6	2	11.4090
5	160	20	6	2	12.5980
1	160	25	6	2	10.6520
2	160	25	6	2	10.8690
3	160	25	6	2	11.4930
4	160	25	6	2	10.8260
5	160	25	6	2	10.5290
1	180	5	6	2	6.0420
2	180	5	6	2	6.0910
3	180	5	6	2	6.2030
4	180	5	6	2	6.4980
5	180	5	6	2	6.3570
1	180	10	6	2	6.5840
2	180	10	6	2	6.5230
3	180	10	6	2	6.4250
4	180	10	6	2	6.8530
5	180	10	6	2	6.7890
1	180	15	6	2	7.5120
2	180	15	6	2	8.0420
3	180	15	6	2	8.0010
4	180	15	6	2	7.8030
5	180	15	6	2	8.1260
1	180	20	6	2	10.5680
2	180	20	6	2	10.6710
3	180	20	6	2	10.3580
4	180	20	6	2	10.1570
5	180	20	6	2	9.9030
1	180	25	6	2	9.6420
2	180	25	6	2	9.9230
3	180	25	6	2	9.9320
4	180	25	6	2	10.2680

ตารางที่ ง.3 (ต่อ) ศึกษาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการผสม LDPE กับ NR (ครั้งที่ 3)

ชิ้นงานที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (min)	ความกว้างของชิ้นงาน(mm.)	ความหนาของชิ้นงาน (mm.)	ค่าความทนต่อแรงดึง (MPa.)
5	180	25	6	2	10.1020

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวศุภัทธนันท์ รักพงษ์

ภูมิลำเนา 117/5 หมู่ 6 ต.หัวเมือง อ.สอง จ.แพร่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนร้องกวางอนุสรณ์ จ.แพร่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Supattanan_meaw@hotmail.com