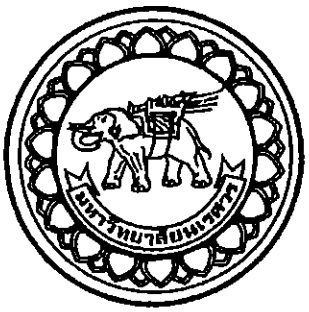


การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

EXPERIMENTAL DESIGN TO STUDY THE PROPERTIES OF THE POLYMER BLEND OF POLY VINYL CHLORIDE WITH LOCAL NATURAL RUBBER

นายไมตรี ศรีธร รหัส 50370899

นายอิทธิพล คงแรต รหัส 50371476

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 27 / ม.ค. / 57
เลขทะเบียน 16548428
เลขเรียกหนังสือ วร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร วร 965 ก 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น**
ผู้ดำเนินโครงการ	นายไมตรี ศรีธร รหัสประจำตัว 50370899
	นายอิทธิพล คงแรต รหัสประจำตัว 50371476
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์)

.....กรรมการ
(ดร.อดิศักดิ์ ไสยสุข)

.....กรรมการ
(ดร.นพวรรณ โม้ทอง)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น
ผู้ดำเนินโครงการ	นายไมตรี ศรีธร รหัสประจำตัว 50370899
	นายอิทธิพล คงแรต รหัสประจำตัว 50371476
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2556

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะทำการศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (เกรดผลิตสายยาง (E1501CLB) Tensile Strength 10.3 MPa, Elongation 150 mm) กับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ให้ถูกหลักตามหลักการออกแบบทดลองทางวิศวกรรมโดยทำการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาของเครื่องอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม โดยทำการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป ที่ 4 ระดับ และปัจจัยเวลาในการอัดขึ้นรูปมี 4 ระดับผลการศึกษาพบว่า การที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นการทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นจึงเกิดการเกี่ยวพันกันได้ดี เป็นผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น รวมถึงขนาดวัฏภาคยางเล็กลงและกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของ PVC ค่าร้อยละของความยืดหยุ่นจึงเพิ่มขึ้น ส่วนเวลาในการอัดขึ้นรูปจะไม่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงและค่าของความยืดหยุ่นซึ่งอาจเป็นเหตุผลมาจากยางธรรมชาติกับ PVC ผสมกันได้ดีก่อนแล้วในช่วงเวลาที่ยังไม่ถึง 5 นาที จากผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยของค่าของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมได้สมการถดถอยคือ $Y = -363 + 3.65X_1$ และได้ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-Square) = 94.3 และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Std. Error of Estimate) = 14.1753 ทำให้สรุปได้ว่าสมการถดถอยนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ที่ร้อยละระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 จากการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ได้จากสมการถดถอยของค่าความยืดหยุ่น สมการถดถอยของค่าความยืดหยุ่นสามารถนำมาใช้งานได้ดีที่ 150 และ 160 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยของค่าร้อยละของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมได้สมการถดถอย คือ $Y = -3.43 + 0.0606X_1$ และได้ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-Square) = 83 และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Std. Error of Estimate) = 0.428835 ที่ร้อยละระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 จากการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ได้จากสมการถดถอยของค่า Tensile จะทำให้ทราบว่า สมการถดถอยของค่าความยืดหยุ่นสามารถนำมาใช้งานได้ดีที่ 150 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานในการให้ความรู้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลและแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนเสียสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือเครื่องทดสอบ และขอขอบคุณ อาจารย์เกตุจันทร์ จำปาไชยศรี ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และคำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ดีเยี่ยมและให้ในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นแรงบันดาลใจและให้กำลังใจที่ทำให้ผู้วิจัยมีความมุมานะในการศึกษาปริญญาตรีครั้งนี้ ผู้วิจัยจะนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์ คุณค่าและประโยชน์จากปริญญานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายไมตรี ศรีธร
นายอิทธิพล คงแรต

มกราคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฉ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 1
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart) 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.2 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ 4
2.3 ยางธรรมชาติ 6
2.4 พอลิไวนิลคลอไรด์ 6
2.5 การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ 8
2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ 8
2.7 การออกแบบการทดลอง 20
2.8 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง 24
2.9 เครื่องอัดขึ้นรูป 24
2.10 การทดสอบพลาสติกด้วยแรงดึง 25

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 27
3.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล 27
3.2 การออกแบบการทดลอง 27
3.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในโครงงาน 30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินโครงงาน 30
3.5 วิธีดำเนินการทดลอง 32
3.6 สรุปผลการทดลอง 36

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 37
4.1 การวิเคราะห์ผลการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม 37
4.2 การวิเคราะห์ผลการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ 37
4.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 38

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการทดลอง 42
5.2 ข้อเสนอแนะ 43

เอกสารอ้างอิง 44
ภาคผนวก ก 45
ภาคผนวก ข 47
ภาคผนวก ค 50
ภาคผนวก ง 58

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ 3
2.1 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง 9
2.2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง 10
3.1 ตารางบันทึกค่าการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง 34
3.2 ตารางบันทึกค่าการทดลองของค่าร้อยละของความยืดหยุ่น 35
4.1 ผลการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ 38
4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Elongation 39
4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Tensile 40

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ลำดับการทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง 11
2.2 แผนภาพแสดงหลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง 21
2.3 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก 25
3.1 ภาพแสดงแม่พิมพ์ 30
3.2 ภาพแสดงเครื่องชั่ง 30
3.3 ภาพแสดงเครื่องบดสองลูกกลิ้ง 31
3.4 ภาพแสดงเครื่องอัดขึ้นรูป 31
3.5 แสดงภาพส่วนประกอบในการทดสอบแรงดึง 32
3.6 แสดงภาพมาตรฐาน JIS K 6732 33
4.1 กราฟแสดงค่าความยืดหยุ่นที่ได้จากการทดลอง 38
4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นที่ได้จากสมการถดถอยและค่าที่ได้จากการทดลอง 39
4.3 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้จากการทดลอง 40
4.4 กราฟเปรียบเทียบความทนทานต่อแรงดึงที่ได้จากสมการถดถอยและที่ได้จากการทดลอง 41

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

MPa	=	Mega Pascal
Kg/cm^2	=	Kilogram Per Squar Centimeter
PVC	=	Polyvinyl Chloride
NR	=	Natural Rubber
ENR	=	Epoxidized Natural Rubber
rpm	=	Revolution Per Minute
cm	=	Centimeter
JIS K 6723	=	Japanese Industrial Standards
kN	=	Kilo Newton
mm/mn	=	Millimeter Per Minute
Anova	=	Analysis of Variance
UTM	=	Universal Testing Machine
Phr	=	Per Hundred Rubber
DF	=	Degree of Freedom
SS	=	Sum of Square
MS	=	Mean Square
F	=	F-Value
P	=	P-Value
TPEs	=	Thermoplastic Elastomer

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันมีการพัฒนาคุณภาพของยางเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะมีการนำเทอร์โมพลาสติกผสมกับยางในการผลิตพอลิเมอร์ผสมเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers TPEs) ซึ่งเป็นการรวมสมบัติข้อดีของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และสมบัติยืดหยุ่นของยาง (Rubbers) มาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำมาผลิตโดยใช้กับเครื่องมือในการผลิตเทอร์โมพลาสติกทั่วไป มีขั้นตอนการผลิตน้อยกว่ายางสังเคราะห์ ง่ายต่อกระบวนการขึ้นรูป นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ผลิตภัณฑ์มีความหลากหลายและมีต้นทุนต่ำ จากสมบัติดังกล่าวจึงทำให้ TPEs เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางมาก เช่น เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันและชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น ดังนั้นความต้องการวัตถุดิบภายในประเทศเพื่อใช้ในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ในเชิงอุตสาหกรรมจึงเพิ่มสูงขึ้นทุกปี

ส่วนพอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride, PVC) เป็นพลาสติกที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีสมบัติที่แข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบา เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี บำรุงรักษาง่ายและเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งอยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก แต่ข้อเสียของ PVC คือ แข็งเปราะ ยืดหยุ่นน้อยและไม่ทนแรงกระแทก จึงมีการนำมาปรับปรุงสมบัติด้านความเหนียวโดยผสมกับยางในปริมาณเล็กน้อย จึงทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำยางพาราในท้องถิ่นมาทำการทดลองและพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลเพื่อเพิ่มมูลค่าของยางพาราในท้องถิ่น

ดังนั้นในคณะผู้จัดทำโครงงานวิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และยางธรรมชาติ (NR) พร้อมด้วยอีกจากหลายๆปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ในขั้นตอนการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ได้แก่ สารเคมี (สารเร่งการเชื่อมโยง สารเชื่อมโยง สารตัวเติม ชนิดของยาง สารกระตุ้น ลำดับการผสมเคมีและเกรดของยาง) สภาวะในการผสม (อุณหภูมิ อัตราส่วนการผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม การอัดขึ้นรูป (ความดันและเวลาอุณหภูมิ) และระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ความเร็วรอบและเวลาของเครื่องผสม) ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำโครงงานวิจัยจึงทำการศึกษาถึงปัจจัยที่ควบคุมได้ง่ายที่มีผลกระทบต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของการผสมยางธรรมชาติกับพอลิไวนิลคลอไรด์คือ อุณหภูมิและเวลาของเครื่อง Compression Molding ซึ่งสามารถปรับตั้งได้ง่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาของเครื่องอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

1.3 ผลลัพธ์ (Output)

ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์การทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาของเครื่องอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติ

1.4 ผลสำเร็จ (Outcome)

สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของเครื่องอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึง

1.5 ขอบเขตของโครงงาน

1.5.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่จะทำการศึกษาคือ Tensile Testing และ Elongation โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Tensile Testing Machine)

1.5.2 อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป 150-180 องศาเซลเซียส เวลาอยู่ในช่วง 5-20 นาที ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.5.3 ใช้ยางธรรมชาติที่มีในท้องถิ่นจังหวัดพิษณุโลก (ชนิดยางแผ่นตากแห้ง : ยางดิบเกรด 2) ใช้พอลิไวนิลคลอไรด์ เกรดผลิตสายยาง (E1501CLB), Properties (Tensile Strength 10.3 MPa Elongation 150 mm)

1.5.4 ใช้อัตราส่วนผสม PVC/NR/ENR เท่ากับ 90/10/10

1.5.5 บดผสมที่เครื่อง Two Roll Mill อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที และความเร็วรอบที่อัตราส่วนลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง 10:12 rpm

1.5.6 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

กรกฎาคม พ.ศ. 2553 – ธันวาคม พ.ศ. 2554

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค.
1	จัดทำข้อเสนอโครงงาน	←		→															
2	ศึกษาข้อมูลและคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกคือ พอลิไวนิล-คลอไรด์และยางธรรมชาติ		←		→														
3	ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง			←		→													
4	ดำเนินการทำการทดลอง					←								→					
5	นำชิ้นงานมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกล										←			→					
6	วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ													←					→
7	สรุปผลการดำเนินงานจัดทำรายงานส่งเอกสาร ฉบับสมบูรณ์																←		→

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของเอกชัย วิมลมาลา ที่ได้ศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และยางอะคริลิค จะพบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการผสมที่ต่ำกว่า 140 องศาเซลเซียส พอลิเมอร์ผสมจะไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากพอลิไวนิลคลอไรด์ยังไม่หลอมละลายแต่เมื่อให้อุณหภูมิในการผสมที่สูงขึ้นจะเริ่มมีการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ส่วนอัตราส่วนในการผสมเมื่อผสมยางอะคริลิคที่ 5 ถึง 10 ร้อยละโดยน้ำหนัก พอลิเมอร์ผสมจะมีโครงสร้างที่ความเข้ากันได้ แต่ถ้าใช้อัตราส่วนในการผสมที่ร้อยละ 20 ถึง 40 พอลิเมอร์ผสมจะมีโครงสร้างที่ไม่เข้ากันแต่จะมีการรับแรงกระแทกที่ดีขึ้นเพราะเกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างผิวที่ดีและอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการกระจายตัวได้ดีที่สุด คือ ใช้ยางอะคริลิคที่ 20 ร้อยละโดยน้ำหนัก สอดคล้องกับอัตราส่วนผสมที่ให้ค่าร้อยละความเหนียวสูงสุด (อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส) และร้อยละ 30 (อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส)

จากงานวิจัยของวันทนา สุขแก้ว ที่ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์โดยการผสมกับยางธรรมชาติการผสมพบว่า การผสม ENR กับ PVC และ NR กับ ENR กับ PVC ในเครื่อง Twin Screw Extruder พบว่าส่วนผสม ENR/PVC ที่ 20/80 และ NR/ENR/PVC ที่ 10/10/90 หรือปริมาณยางประมาณร้อยละ 20 ในพอลิเมอร์ผสม (NR/ENR เท่ากับ 1/1) และใช้ความเร็วรอบของเครื่อง Twin Screw Extruder ที่ 120 rpm อุณหภูมิของ Zone 1, 2, 3 และ 4 เท่ากับ 140, 150, 160 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ให้ค่า Impact Strength สูงสุด (ชิ้นงานที่ทำการทดสอบเตรียมใน Two Roll Mill) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับ PVC พบว่า PVC มีค่า Impact Strength และ Elongation at Break ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมและในทางตรงกันข้ามมีค่า Young's Modulus และ Yield Stress สูงกว่าพอลิเมอร์ผสม แสดงให้เห็นว่า PVC มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ส่วนผลการทดสอบความเข้ากันได้ พบว่า ส่วนผสม NR/ENR/PVC เป็นโครงสร้างที่มีความเข้ากันไม่ได้ (ที่สัดส่วน ENR/NR เท่ากับ 1/1 จะให้คุณสมบัติเชิงกลสูงที่สุดเพราะว่าอนุภาคของยางสามารถกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสมได้ดีที่สุด) ส่วน ENR/PVC เป็นโครงสร้างที่เข้ากันได้

2.2 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer, TPEs)

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์เป็นการรวมสมบัติของเทอร์โมพลาสติกและยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์มาไว้ด้วยกัน เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์มีลักษณะคล้ายยาง นิ่มตัว ยืดหยุ่นได้ แต่สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งคล้ายเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากสามารถหลอมกลายเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อนและกลับมาสู่สถานะของแข็งเมื่อให้ความเย็น

2.2.1 โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ประกอบด้วยสองส่วน คือ

2.2.1.1 ส่วนแข็ง (Hard Segment) เป็นส่วนของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่ใช้งานแต่สามารถเปลี่ยนเป็นของไหลได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิขึ้นรูป

2.2.1.2 ส่วนอ่อน (Soft Segment) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) คล้ายยาง มีอิสระในการเคลื่อนที่ได้มากกว่าส่วนแข็ง ทำให้เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์มีความยืดหยุ่นคล้ายยาง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างต่ำ

2.2.2 ยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติก

ยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Natural Rubber, TPNR) เป็นวัสดุที่เกิดจากการผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับยางธรรมชาติ การพัฒนายางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกได้เริ่มจากการผสมยางเอทิลีน -พรอพิลีน –ไดอีนมอนอเมอร์ (Ethylene-propylene-Dine Monomer, EDPM) กับเทอร์โมพลาสติก ต่อมาได้มีการพัฒนาผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโอเลฟิน ซึ่งมีเทอร์โมพลาสติกที่เหมาะสมจำนวนมาก ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจัดเป็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์อีกประเภทหนึ่งที่มีจุดเริ่มต้นมาจากความพยายามค้นคว้าวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติอยู่ระหว่างยางและพลาสติกคือ สามารถขึ้นรูปหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกทั่วๆ ไป ซึ่งจะมีสมบัติที่เด่นกว่าวัสดุอื่นๆ ดังนี้

2.2.2.1 มีความยืดหยุ่นอยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์กับพอลิยูรีเทนและพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

2.2.2.2 มีความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าพอลิพรอพีลีน

2.2.2.3 มีความหนาแน่นต่ำกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิยูรีเทน และมีราคาถูกกว่าพอลิยูรีเทน

2.2.2.4 มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการเชื่อมโยง

2.2.2.5 สามารถทนทานต่อน้ำและสารเคมีได้ดีสามารถไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ได้ดังนี้ ใช้ทดแทนยางเชื่อมโยงในผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นสูง ใช้แทนพลาสติกที่มีความยืดหยุ่น ใช้ในอุตสาหกรรมด้านใหม่ๆ ใช้เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า และใช้เป็นวัสดุในการผลิตที่ใช้ในอุตสาหกรรม

2.3 ยางธรรมชาติ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราอันดับหนึ่งของโลกโดยมีพื้นที่ปลูกยาง 16.89 ล้านไร่ และในจังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ปลูกยางพารา 145,328 ไร่ และมีพื้นที่ยางพาราที่อายุมากกว่า 6 ปี จำนวน 2,675 ไร่ ซึ่งมีจำนวนพื้นที่ปลูกมากที่สุดในภาคเหนือ ยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติที่มีแหล่งกำเนิดสำคัญคือต้นยางพารา ซึ่งเป็นพืชอุตสาหกรรมและสำคัญยิ่งของประเทศไทยและภูมิภาคอาเซียน ยางพารามีชื่อทางเคมีว่า Polyisoprene มีสมบัติที่เด่นคือยืดหยุ่น จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Elastomers แต่ยังมีจุดอ่อนคือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะไปตามอุณหภูมิ คือโมเลกุลขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ยางนิ่มลงและโมเลกุลหดตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำทำให้ยางแข็งขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ยางธรรมชาติจัดเป็นอิลาสโตเมอร์ ซึ่งมีสมบัติยืดหยุ่นโดยจะยืดตัวออกเมื่อได้รับแรง และสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมเมื่อหยุดให้แรงกระทำ ยางธรรมชาติสายพันธ์ฮีเวียร์บราซิลลิซิส (Hevea Braziliensis) เป็นสายพันธ์ที่สำคัญที่สุด โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง ประกอบด้วย 2 ธาตุ คือ คาร์บอนและไฮโดรเจนที่มีหน่วยซ้ำๆ กัน (Repeating Unit) เป็น C_5H_8 ที่มีการจัดเรียงตัวแบบซีส-1,4-พอลิไอโซพรีน (Cis-1,4-polyisoprene) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 50,000-30,00,000 กรัมต่อโมล

2.3.1 ยางมีสมบัติที่เด่น คือ

2.3.1.1 มีสมบัติการยืดหด

2.3.1.2 มีความเหนียวและแข็งแรง

2.3.1.3 มีการซึมผ่านของน้ำและก๊าซต่ำ

2.3.1.4 สามารถรับแรงดึงหรือแรงกดอัดได้สูง

2.3.1.5 สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้

2.4 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride, PVC)

กระบวนการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ได้ถูกบันทึกไว้ตั้งแต่ปี 1872 แต่ยังคงทำการทดลองอยู่เพียงในห้องปฏิบัติการมากว่า 50 ปี เนื่องจากมีปัญหาในด้านอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต พอลิไวนิลคลอไรด์เป็นที่รู้จักเริ่มแรกในปี 1928 ภายใต้สิทธิบัตรของบริษัทคาร์ไบด์และคาร์บอนเคมิคอล บริษัทอีไอดูปองท์ (E.I. du pont de Nemours and Company : USA) และ สถาบันไอจีฟาร์เบน (I.G. Farben industrial : Germany) ต่อมาในปี 1930 บริษัทบีเอฟกู๊ดริช (B.F. Goodrich Chemical : USA) ได้ค้นพบทางเลือกในการพัฒนาสมบัติในด้านการทนความร้อนของพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยการผสมกับสารที่มีจุดเดือดสูง เช่น ไตรโทลิลฟอตเฟส (Tritolyl Phosephate) ซึ่งจะให้ผลต่างจากการใช้โคพอลิเมอร์ และส่งผลให้มีการวิจัยและพัฒนาพอลิไวนิลคลอไรด์ในปริมาณมากขึ้นเพื่อใช้ผลิตเป็นฉนวนในสายเคเบิล และแม้ว่าสงครามโลกสิ้นสุดลงแล้วปริมาณการผลิตพอลิไวนิลคลอไรด์ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

2.4.1 โครงสร้างโมเลกุลของ PVC

PVC จัดเป็นพลาสติกสังเคราะห์ที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางมากในปัจจุบัน เพราะ PVC ไม่ถูกกัดกร่อนด้วยสารเคมี ไม่ละลายในตัวทำละลายชนิดมีขั้ว ไม่ติดไฟ และมีค่าคงที่ไดอิเล็ค-ตริกสูง จากโครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของ PVC จะเห็นว่ามีอะตอมใหญ่ของคลอรีนต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอมในโครงสร้างของ PVC จึงส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของ PVC มีความสามารถในการ Pack ตัวเข้าหากันเพื่อเกิดผลึกได้น้อย (Steric Hindrance Effect) PVC จึงเป็น Semi-Crystalline Polymer ที่มีความเป็นผลึกอยู่ประมาณร้อยละ 5-10

2.4.2 การขึ้นรูป PVC เพื่อนำไปใช้งาน

PVC นั้นสามารถนำมาขึ้นรูปได้หลายเทคนิค เช่นกระบวนการอัดรีด (Extrution) การฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding) การเป่าขึ้นรูปในแม่พิมพ์ (Blow Molding) และการรีดให้เป็นแผ่น (Calendering) เป็นต้น ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของผลิตภัณฑ์สูตรของส่วนผสมในสารที่นำมาขึ้นรูป และเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป PVC จะอยู่ในช่วงที่ PVC เปลี่ยนพฤติกรรมจากแข็งเปราะเป็นยางและนิ่มขึ้น แต่ยังไม่หลอมเหลว 140-250 องศาเซลเซียส (สามารถขึ้นรูป PVC ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของ PVC ได้เนื่องจากมีการเติม Plasticizer ลงไปซึ่งช่วยให้ PVC อ่อนตัวลง) ดังนั้น สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงขึ้นอยู่กับระดับการหลอมตัวเข้าหากัน (Gelation หรือ Fusion) ของอนุภาค PVC

2.4.3 การใช้งานในด้านต่างๆของ PVC

2.4.3.1 ด้านอาหาร เครื่องอุปโภคและบริโภค อันได้แก่ ขวดน้ำมันพืช ขวดน้ำดื่ม ฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ภาชนะ กล่องบรรจุ ฝาจีบ อุปกรณ์สำนักงาน ฯลฯ

2.4.3.2 คุณสมบัติเด่นของผลิตภัณฑ์พีวีซี ทางด้านความคงทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ มีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม และสามารถใช้ทดแทนงานไม้ในบ้านและนอกบ้านได้ดี พีวีซีจึงเหมาะสำหรับการใช้งานกับปัจจัยที่ ที่อยู่อาศัย ได้อย่างหลากหลาย ได้แก่ กรอบประตูหน้าต่าง กรอบสำหรับตกแต่ง บานประตู ฝาผนังบ้าน ฝ้าเพดาน แผ่นปูพื้น วอลเปเปอร์ กระเบื้องยางที่ใช้แทนไม้ปาเก้ แผ่นลอนใสมุงหลังคา รางน้ำฝน ท่อแข็งและข้อต่อ ตลอดจนเครื่องสุขภัณฑ์ ชุดรับแขก โซฟา ฯลฯ และเนื่องจากพีวีซีมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ไม่ก่อให้เกิดการลุกลามของไฟ จึงยังสามารถใช้ประโยชน์กับงานด้านที่เกี่ยวกับไฟฟ้า ได้แก่ ฉนวนและปลอกนอกหุ้มสายไฟฟ้าชนิดต่างๆ ท่อร้อยสายไฟฟ้าและโทรศัพท์ ฉนวนหุ้มสายโทรศัพท์ และปลั๊กเสียบสายไฟฟ้า

2.4.3.3 เครื่องนุ่งห่ม อันได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องหนัง เสื้อผ้า ชุดหนังเทียม รองเท้า ถุงมือ ซึ่งถือว่าเป็นการทดแทนหนังแท้ซึ่งมาจากการฆ่าสัตว์ และยังรวมไปถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ กระเป๋าเอกสาร กระเป๋าแฟชั่นสำหรับสุภาพสตรี และเครื่องสำหรับประดับตกแต่งสำหรับสุภาพสตรี

2.4.3.4 วงการแพทย์ เช่น ชุดสายดูดน้ำคร่ำเด็กแรกเกิด หน้ากากออกซิเจน ถุงมือแพทย์ บรรจุภัณฑ์สำหรับยา ถุงบรรจุเวชภัณฑ์ที่ให้ผู้ป่วยทางเส้นเลือด ท่อสำหรับถ่ายเลือด นอกจากนี้ยังใช้ทำแผ่นปูพื้นในห้องผ่าตัดที่ต้องการมาตรฐานด้านอนามัยสูงสุด ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้ ถือว่าเป็นปัจจัยที่ 4 คือ ยารักษาโรค ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์ต่างๆ ที่ถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งต่อชีวิตของมวลมนุษย์

2.5 การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสม

2.5.1 จุดประสงค์ของการเติมสารช่วยผสม ก็เพื่อเหตุผลหลัก 3 ประการ ได้แก่

2.5.1.1 เพื่อช่วยลดแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมโดยสารช่วยผสมจะทำหน้าที่คล้ายกับสารลดแรงตึงผิว (Emulsifier) ทำให้อนุภาคของพอลิเมอร์ที่กระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์หลักมีขนาดเล็กลง

2.5.1.2 เพื่อช่วยคงสภาพ (Stabilisation) ของสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างกระบวนการผลิตขึ้นรูปโดยสารช่วยผสมจะช่วยหน่วงไม่ให้พอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมเกิดการรวมตัวเข้า (Coalescence) ด้วยกันเอง

2.5.1.3 เพื่อช่วยปรับปรุงแรงยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างเฟสทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ลักษณะการเติมสารช่วยผสมสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

Reactive Compatibilization การจะเติมสารช่วยผสมลงไปทำปฏิกิริยาทางเคมีกับพอลิเมอร์ตัวใดตัวหนึ่งที่ต้องการผสมเราเรียกสารช่วยผสมชนิดนั้นว่า Reactive Compatibilizer โดยสารช่วยผสมชนิดนี้จะเข้าไปสร้างพันธะขึ้นระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ทั้งสองจึงทำให้สมบัติเชิงกล เช่น ความเหนียวของพอลิเมอร์ผสมดีขึ้น

Compatibilizer การเติมสารช่วยผสมใส่เข้าไปในพอลิเมอร์ผสมโดยสารช่วยผสมนี้จะเข้าไปเกิดพันธะทางกายภาพกับพอลิเมอร์ผสมเท่านั้นซึ่งสารช่วยผสมนี้จะทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวระหว่างพอลิเมอร์ผสมจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีแรงยึดเกาะระหว่างผิวที่ดีขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มที่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จะใช้ยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดร์เป็น Compatibilizer ระหว่าง PVC กับ NR

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.6.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต้นเพียง 1 ตัวที่มีต่อตัวแปรตาม หากต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต้นตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป (ที่มีมาตรวัดเป็น Norminal หรือ Ordinal) ที่มีต่อตัวแปรตาม (ที่มีมาตรวัดเป็น Interval หรือ Ratio) จะเรียก

การวิเคราะห์นี้ว่า Multifactor ANOVA สำหรับในที่นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีที่มีตัวแปรต้น 2 ตัว ซึ่งเรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomized Block Design : RBD) และแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) ในงานวิจัยที่ออกแบบงานวิจัยลักษณะการวางแผนการทดลอง (Experimental Design) ได้อีกด้วย

ตารางที่ 2.1 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

		Factor B					
		1	2	.....	C	รวม	ค่าเฉลี่ย
FACTOR A	1	X_{111} X_{112} ... X_{11n}	X_{121} X_{122} ... X_{12n}		X_{1c1} X_{1c2} ... X_{1cn}	$T_{1.}$	$\bar{X}_{1.}$
	2	X_{211} X_{212} ... X_{21n}	X_{221} X_{222} ... X_{22n}		X_{2c1} X_{2c2} ... X_{2cn}	$T_{2.}$	$\bar{X}_{2.}$
	.. .. ..			X_{ij1} X_{ij2} ... X_{ijn}		$T_{i.}$	$\bar{X}_{i.}$
	r	X_{r11} X_{r12} ... X_{r1n}			X_{rc1} X_{rc2} ... X_{rcn}	$T_{r.}$	$\bar{X}_{r.}$
	รวม	$T_{.1}$	$T_{.2}$	$T_{.j}$	$T_{.c}$	T	
	เฉลี่ย	$\bar{X}_{.1}$	$\bar{X}_{.2}$	$\bar{X}_{.j}$	$\bar{X}_{.c}$		$\bar{X}$

X_{ijk} คือ ค่าของข้อมูลตัวที่ k ที่ระดับ i ของ Factor A และที่ระดับ j ของ Factor B

$T_{i.}$ คือ ผลรวมของข้อมูลที่ระดับ i ของ Factor A (องค์ประกอบ A)

$T_{.j}$ คือ ผลรวมของข้อมูลที่ระดับ j ของ Factor B (องค์ประกอบ B)

T คือ ผลรวมทั้งหมด

$\bar{X}_{i.}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ระดับ i ของ Factor A (องค์ประกอบ A)

$\bar{X}_{.j}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ระดับ j ของ Factor B (องค์ประกอบ B)

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

2.6.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

ตารางที่ 2.2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

แหล่งความแปรผัน	df	SS	MS	F
Factor A	r-1	SS_A	$MS_A=SS_A/r-1$	MS_A/MS_E
Factor B	c-1	SS_B	$MS_B=SS_B/c-1$	MS_B/MS_E
AB	(r-1)(c-1)	SS_{AB}	$MS_{AB}=SS_{AB}/(r-1)(c-1)$	MS_{AB}/MS_E
Error	rc(n-1)	SS_E	$MS_E=SS_E/rc(n-1)$	
รวม	rcn-1	SS_t		

ก. การคำนวณ SS_A, SS_B, SS_{AB}, SS_E และ SS_t

$$SS_t = \sum_i \sum_j \sum_k X_{ijk}^2 - \frac{T^2}{rcn} \quad (2.1)$$

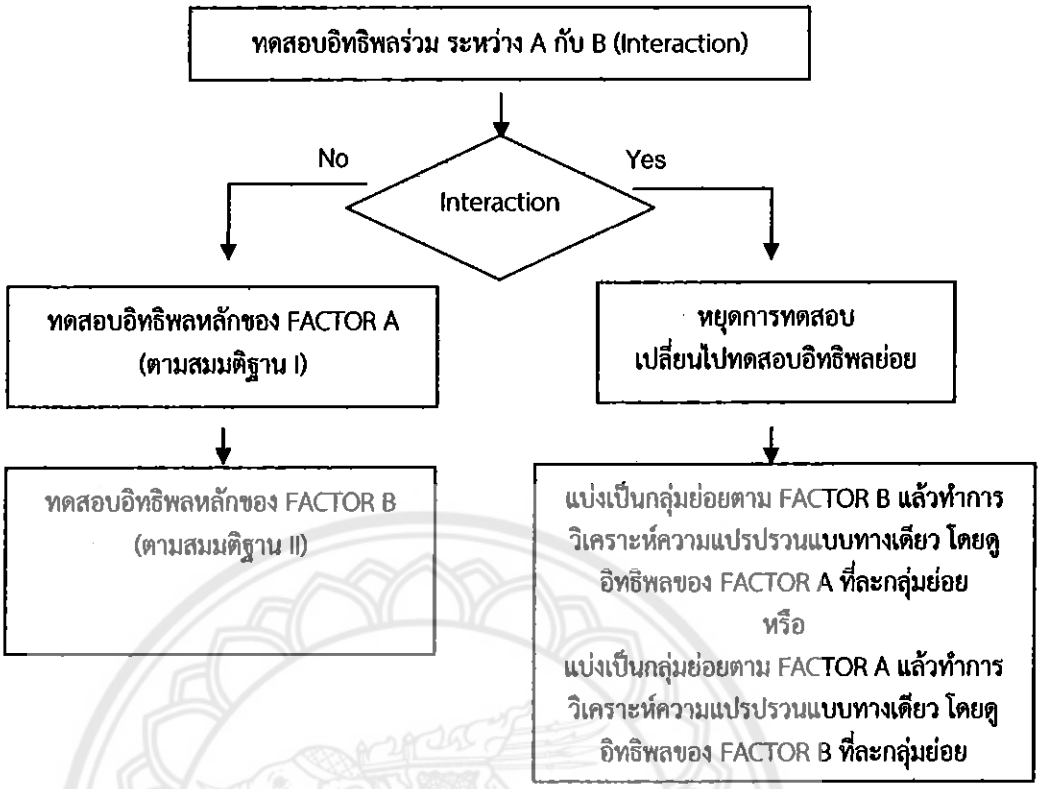
$$SS_A = \sum_i \frac{T_{i.}^2}{cn} - \frac{T^2}{rcn} \quad (2.2)$$

$$SS_B = \sum_j \frac{T_{.j}^2}{rn} - \frac{T^2}{rcn} \quad (2.3)$$

$$SS_{AB} = \sum_i \sum_j \frac{T_{ij}^2}{n} - \frac{T^2}{rcn} - SS_A - SS_B \quad (2.4)$$

$$SS_E = SS_t - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.5)$$

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีองค์ประกอบ A กับ B จะทดสอบอิทธิพลร่วมก่อนว่ามีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ หากองค์ประกอบทั้งสองไม่มีอิทธิพลร่วม แสดงว่าองค์ประกอบทั้งสองเป็นอิสระจากกันจะทำการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main Effect) ต่อไป แต่หากองค์ประกอบทั้งสองมีอิทธิพลร่วมก็จะทำให้ความสำคัญในการศึกษาอิทธิพลหลักลดน้อยลงไปแต่ผู้วิจัยจะสนใจทดสอบอิทธิพลย่อยต่อไปและในการรายงานผลควรแสดงกราฟแสดงอิทธิพลร่วมไว้ด้วยจะช่วยให้สรุปเห็นชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งมีลำดับการทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางดังนี้



รูปที่ 2.1 ลำดับการทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

ที่มา : km.nurse.cmu.ac.th

ข. สถิติที่ใช้ทดสอบ

ข.1 สำหรับองค์ประกอบ A

$$F = \frac{MS_A}{MS_E} \; ; \; df=r-1,rc(n-1) \qquad (2.6)$$

ข.2 สำหรับองค์ประกอบ B

$$F = \frac{MS_B}{MS_E} \; ; \; df = c-1,rc(n-1) \qquad (2.7)$$

ข.3 สำหรับอิทธิพลร่วม ระหว่างองค์ประกอบ A กับ B

$$F = \frac{MS_{AB}}{MS_E} \; ; \; df = (r-1)(c-1),rc(n-1) \qquad (2.8)$$

ในทุกการทดสอบสมมติฐาน

จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า F ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $F_{\alpha,v1,v2}$ จากตารางเมื่อ v_1 และ v_2 คือ Degree of Freedom ในการทดสอบนั้นๆ

ค. การทดสอบสมมติฐาน มี 2 แบบ

ค.1 การทดสอบแบบด้านเดียว (One-Sided Test)

- สมมติฐานรอง H_1 ใช้เครื่องหมาย > หรือ < เช่น H_1: μ > 50 psi

- พื้นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 หรือเขตวิกฤต จะมีเพียงด้านเดียว

- ในกรณีที่สมมติฐานรอง H_1 ใช้เครื่องหมาย > พื้นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 จะอยู่ทางด้านขวามือของรูปกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็น เช่น H_0 : $\mu \leq$ 50 psi, H_1 : μ > 50 psi ในกรณีที่สมมติฐานรอง H_1 ใช้เครื่องหมาย < พื้นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 จะอยู่ทางด้านซ้ายมือของรูปกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็น

ค.2 การทดสอบแบบสองด้าน (Two-Sided Test)

-ในกรณีที่สมมติฐานรอง H_1 ใช้เครื่องหมาย $\neq$ พื้นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 จะอยู่ทั้งสองด้าน

ง. ค่า P-Value และการคำนวณ

P-Value คือ ระดับนัยสำคัญที่น้อยที่สุด หรือโอกาสที่น้อยที่สุดที่จะสามารถปฏิเสธสมมตติฐานหลักได้ในการทดสอบสมมติฐาน เมื่อสมมติฐานหลักนั้นถูกต้อง (P-Value= min $\{\alpha i\}$)

1-(P-Value) คือ ระดับความเชื่อมั่นที่แท้จริงและสะดวกเนื่องจากไม่ต้องมีตารางสถิติของตัวทดสอบอยู่ข้างกาย และตัดปัญหาการเปิดตารางที่ผิด ที่สำคัญ คือ โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติทั่วไปจะคำนวณค่านี้ให้โดยอัตโนมัติ ที่สำคัญคือ ต้องทราบว่าในการสรุปผลนั้น "จะทำการปฏิเสธ H0 เมื่อค่า P-Value<α" เท่านั้นไม่ต้องคำนึงถึงเครื่องหมายใน H1 เนื่องจากจะใช้ในการคำนวณ P-Value มาก่อนแล้วนั่นเอง

จ. การคำนวณค่า P -Value แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะตามรูปแบบการทดสอบสมมติฐานรองคือ

จ.1 กรณีทดสอบทางเดียว(H1 :> หรือ <)

P-Value = P (ตัวทดสอบที่ใช้ (เครื่องหมายตาม H1; > , <) ค่าสถิติที่คำนวณได้

จ.2 กรณีทดสอบสองทาง (H1 : $\neq$)

P-Value = 2 * P (ตัวทดสอบที่ใช้ $\{>,<\}$ค่าที่คำนวณได้

เครื่องหมายใน { } กำหนดตามตำแหน่งของค่าที่คำนวณได้ กล่าวคือ
ถ้าค่าตกอยู่ด้านซ้ายของค่ามัธยฐานของการแจกแจง ใช้เครื่องหมาย " < "
ถ้าค่าตกอยู่ด้านขวาของค่ามัธยฐานของการแจกแจง ใช้เครื่องหมาย " > "

2.6.2 วิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2ตัวขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และตัวแปรตาม (Dependent Variable)

ผลของการศึกษาจะให้ทราบถึง

ขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตามและ

แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ในการวิเคราะห์การถดถอย มักเรียกตัวแปรอิสระว่าตัวทำนาย (Predictor) หรือตัวแปรกระตุ้น (Stimulus Variable) ส่วนตัวแปรตามมักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable)

2.6.2.1 วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย

ก. ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ในกลุ่มตัวแปรอิสระหลายๆ ตัวนั้น ตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ตัวใดมีความสัมพันธ์สูง ตัวใดมีความสัมพันธ์น้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์ เพื่อที่จะสามารถคาดการณ์ได้ว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากที่สุด เช่น ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักทารกแรกเกิดกับอายุ น้ำหนัก และส่วนสูงของมารดา

ข. ต้องการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายตัวแปรตาม โดยรูปแบบจำลองดังกล่าวอยู่ในลักษณะสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น ศึกษาปริมาณการใช้ยาที่ส่งผลต่อความดันโลหิต

ค. ต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระบางตัวที่มีผลต่อตัวแปรตามโดยควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ ให้คงที่ เช่น ศึกษาอิทธิพลของความวิตกกังวลที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อควบคุมระยะเวลาในการทำงานติดต่อกันให้คงที่

ง. ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทำนายตัวแปรตาม โดยอาจมีแบบจำลองจำนวนมากให้ตัดสินใจ

จ. ต้องการทราบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับทำนายนั้นจะมีประสิทธิภาพในการทำนายได้อย่างคงเส้นคงวาหรือไม่ เมื่อนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายต่างๆ กัน

2.6.2.2 ชนิดของการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย มีหลายชนิด ขึ้นกับลักษณะของตัวแปรตามรูปแบบความสัมพันธ์ และการกำหนดตัวแปรอิสระ (ตัวแปรต้น) ซึ่งโดยทั่วไปแบ่งการวิเคราะห์การถดถอยได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่ตัวแปรอิสระส่วนใหญ่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ส่วนตัวแปรตามเป็นจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear Model)

ข. การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear Regression) เป็นการวิเคราะห์การถดถอย ที่รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non – Linear Model)

2.6.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณและสมการถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งของการวิจัยที่มีความสำคัญมาก เพราะการเลือกใช้สถิติที่เหมาะสมเป็นเรื่องยากโดยเฉพาะสำหรับนักวิจัยใหม่แต่ปัจจุบันปัญหาลดน้อยลงเนื่องจากมีเอกสารตำราให้ค้นมากมายรวมทั้งมีโปรแกรมสำเร็จรูปให้เลือกใช้ได้หลากหลายซึ่งจะช่วยลดเวลาที่ต้องวิเคราะห์เองด้วยมือรวมทั้งลดโอกาสที่จะคำนวณผิดอีกด้วย ปัญหาจึงเหลือเพียงการเลือกใช้สถิติเหมาะสมกับงานวิจัยเท่านั้น

2.6.3.1 สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation)

ความหมายสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวและความสัมพันธ์นี้จะบอกให้ทราบว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับใด สหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation) เขียนแทนด้วยตัวย่อ R หรือย่อชนิดเต็มรูปเป็น $R_{Y,\ 12...k}$ (เมื่อ k แทนจำนวนตัวพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระ สหสัมพันธ์พหุคูณช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงที่สุดระหว่างกลุ่มของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามนั้นเป็นสหสัมพันธ์อย่างง่าย (แบบ Product-moment) ระหว่าง Y กับคะแนนพยากรณ์ Y ซึ่งเป็น Linear Combination ของกลุ่มตัวพยากรณ์ X

ก. ลักษณะการแจกแจงที่แสดงถึงลักษณะสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว (เฉพาะสหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง) มี 3 อย่าง ดังนี้

ก.1 สหสัมพันธ์เชิงบวก (Positive Correlations) ซึ่งหมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มหรือลดลงอีกตัวแปรหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปด้วย

ก.2 สหสัมพันธ์เชิงลบ (Negative Correlations) หมายถึง เมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ

ก.3 สหสัมพันธ์เป็นศูนย์ (Zero Correlations) หมายถึง ตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

กรณีตัวอย่างที่นำเสนอไปข้างต้น เป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ซึ่งเรียกว่า สหสัมพันธ์ (Correlation) แต่ถ้าเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป จะเรียกชื่อเฉพาะว่า สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation)

ข. การแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถแปลงคะแนนได้ 4 ประการ ได้แก่

ข.1 ปริมาณของค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์

ข.2 ทิศทางของความสัมพันธ์ว่าสัมพันธ์กันทางบวกหรือทางลบ

ข.3 มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยการทดสอบสมมติฐาน

ข.4 สัมพันธ์กันเท่าไร เป็นการบอกความมากน้อยของความสัมพันธ์ ซึ่งอาจกำหนดได้ดังนี้

ค่าสหสัมพันธ์ความหมาย 0.85 – 1.00 มีความสัมพันธ์มากที่สุด

0.71 – 0.84 มีความสัมพันธ์มาก

0.51 – 0.70 มีความสัมพันธ์น้อย

0.00 – 0.50 มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด

ค. การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีหลายแบบขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลของตัวแปรว่าจัดอยู่ในสเกลใด ในที่นี้จะใช้สูตรพื้นฐานในการคำนวณ

$$R^2 = \beta_1 r_{y1} + \beta_2 r_{y2} + \ldots + \beta k\, r_{y\,k} \qquad (2.9)$$

เมื่อ R^2 แทน กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

β_1 แทน ค่าน้ำหนักเบต้าหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยในรูปของคะแนนมาตรฐานของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k ตามลำดับ r_{y1} , r_{y2} , r_{yk} แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (ตัวเกณฑ์) กับตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึง k

K แทน จำนวนตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์)

ง. สมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณจะช่วยให้ได้สมการพยากรณ์เชิงเส้นตรงในรูปคะแนนดิบ ดังนี้

$$Y' = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \ldots + b_kX_k \qquad (2.10)$$

เมื่อ Y' แทน คะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม (ตัวเกณฑ์)

a แทน ค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปแบบคะแนนดิบ

$b_1,...b_k$ แทน ค่าน้ำหนักคะแนนหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k ตามลำดับ

$X_1,...X_k$ แทน คะแนนของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k

k แทน จำนวนตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์)

การเขียนสมการในรูปคะแนนดิบจะต้องทราบค่า a และ b เพื่อนำมาแทนค่าในสมการค่า a จากสูตร

$$a = \bar{x} - b_1\bar{x} - b_2\bar{x} - ... - b_k\bar{x}_k \qquad (2.11)$$

เมื่อ a แทน ค่าคงที่สำหรับสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ

Y แทน ค่าเฉลี่ยสำหรับตัวแปรตาม

$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_k$ แทน ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ (ตัวแปรพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึง k ตามลำดับ

b_1, b_2, b_k แทน ค่าน้ำหนักของตัวแปรอิสระ (ตัวแปรพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึง k ตามลำดับ

k แทน จำนวนตัวแปรอิสระ (ตัวแปรพยากรณ์)

ค่า b หาจากสูตร

$$b_j = \frac{S_y}{S_j} \qquad (2.12)$$

เมื่อ b_j แทน ค่าน้ำหนักคะแนนหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ j ที่ต้องการหาค่าน้ำหนัก

β_j แทน ค่าน้ำหนักเบต้าของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ j

S_y แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม (ตัวเกณฑ์)

S_j แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระ (ตัวแปรพยากรณ์)

สัมประสิทธิ์การถดถอย (b) เป็นค่าที่ชี้ถึงว่า เมื่อตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) (X) ตัวนั้นเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยจะทำให้ตัวแปรตรา (ตัวเกณฑ์) (คะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม) เปลี่ยนแปลงไป b หน่วย

2.6.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป กับตัวแปรตาม 1 ตัว เช่น ต้องการพยากรณ์ผลการเรียนของนักศึกษาแผนกคอมพิวเตอร์ (Y) โดยใช้ตัวพยากรณ์ 3 ตัว ประกอบด้วยความสนใจของผู้เรียน (X_1) ความรู้พื้นฐานของผู้เรียน (X_2) และคุณภาพการสอนของผู้สอน (X_3) เป็นต้น ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนั้นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation Coefficient) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นจำนวนทั้ง 3 ตัวกับตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นใด สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณจะต้องหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ของตัวแปรตาม (Y) และขั้นตอนต่อไปก็จะหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน รวมทั้งหาค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม

ก. การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ มีข้อตกลงเบื้องต้น (Assumptions) ที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่

ก.1 คะแนน Y มีการแจกแจงเป็นแบบปกติในแต่ละค่าของ X ข้อตกลงนี้ไม่คำนึงถึง X จะมีการกระจายเป็นโค้งปกติหรือไม่ก็ตาม แต่ขอให้ y เป็นโค้งปกติก็แล้วกัน ข้อตกลงนี้มีประโยชน์ในการทดสอบนัยสำคัญของค่าสถิติต่างๆ เพราะการทดสอบค่า R หรือ b นั้นเกี่ยวพันกับค่าและในการทดสอบนัยสำคัญของสถิติเหล่านี้ ก็อาศัย F หรือ t เป็นสำคัญ

ก.2 คะแนน Y มีความแปรปรวนเท่ากันที่แต่ละจุด X

ก.3 ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ (e) มีการแจกแจงเป็นแบบปกติและเป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดโดยบังเอิญ (Random) พร้อมกับมีความแปรปรวนเท่ากันทุกจุดของ X

ข. วิธีการคัดเลือกตัวแปร

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการ เพื่อให้สมการสมารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้สูงสุด มีวิธีการคัดเลือกตัวแปรหลายวิธีในที่นี้จะได้นำเสนอ 4 วิธี ดังนี้

ข.1 วิธีการเลือกแบบคัดเลือกเข้า (Enter Selection) วิธีการนี้จะเป็นการเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าสมการด้วยการวิเคราะห์เพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นการคัดเลือกโดยใช้วิจารณญาณของผู้วิจัยเองว่า จะคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ใดบ้างเข้าสมการ เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์มาศึกษา เมื่อคัดเลือกและเก็บข้อมูลแล้ว ทำการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อนและใช้สถิติพื้นฐานโดยเฉพาะค่าความแปรปรวนหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรพยากรณ์และระหว่างตัวแปรพยากรณ์ด้วยกันในการคัดเลือกควรคัดเลือกตัวแปรที่มีความแปรปรวนมาก ๆ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรพยากรณ์มีค่าสูง ๆ และมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ แต่ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ด้วยกันมีค่าน้อยและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อคัดเลือกแล้วจะใช้ตัวแปรพยากรณ์ทุกตัวที่เลือกวิเคราะห์พร้อมๆ กัน ทุกตัวแปรเข้าสมการหมด

ข.2 วิธีการเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection) วิธีการนี้จะเป็นการเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อน ส่วนตัวแปรที่เหลือจะมีการคำนวณหาสหสัมพันธ์แบบแยกส่วน (Partial Correlation) โดยเป็นความสัมพันธ์เฉพาะตัวแปรที่เหลือตัวนั้นกับตัวแปรตาม โดยขจัดอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ออก ถ้าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็จะนำเข้าสมการต่อไป จะทำแบบนี้จนกระทั่งสหสัมพันธ์แบบแยกส่วนระหว่างตัวแปรอิสระที่ไม่ได้นำเข้าสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะหยุดการคัดเลือกและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

ข.3 วิธีการเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection) วิธีการนี้เป็นการนำตัวแปรพยากรณ์ทั้งหมดเข้าสมการ จากนั้นก็จะค่อยๆ ขจัดตัวแปรพยากรณ์ออกทีละตัว โดยจะหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตาม เมื่อขจัดตัวแปรพยากรณ์อื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะขจัดออกจากสมการแล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์แต่ละตัวกับตัวแปรตาม เมื่อขจัดตัวแปรอิสระอื่นๆ ออกแล้วพบว่า มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือก และได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

ข.4 วิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) การคัดเลือกแบบนี้เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีการคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ทั้งแบบก้าวหน้าและแบบถอยหลังเข้าด้วยกัน ในขั้นแรกจะเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อนจากนั้นก็จะทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่ามีตัวแปรใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในการสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection) และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่าตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการตัวใดมีโอกาสที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้ในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ถูกคัดออกจากสมการและไม่มีตัวแปรใดที่จะถูกนำเข้าสมการกระบวนการก็จะยุติและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะต้องคำนวณหาค่า a และ b_1 b_2 ... b_k เพื่อนำมาแทนค่าลงในสมการ โดยถือหลักการที่ว่าค่า b ทุกตัวต้องเป็นค่าที่ทำให้สมการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยที่สุด นอกจากจะหาค่า a และ b แต่ละตัวแล้ว ควรทดสอบความนัยสำคัญของค่า b แต่ละตัวด้วย

ค. การวิเคราะห์การถดถอยโดยใช้เมตริกซ์

สมมติให้ข้อมูลประกอบด้วยตัวแปรอิสระ K ตัว ข้อมูลสำหรับการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณมีลักษณะดังนี้

ค่าสังเกตที่ I	y	x1	x2	...	xk
1	y1	x11	x12	...	x1k
2	y2	x21	x22	...	x2k
N	yn	xn1	xn2	...	xnk

จากรูปแบบการถดถอยที่มีตัวแปรอิสระ k เราอาจเขียนให้สอดคล้องกับข้อมูลของตัวอย่าง ได้ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i 1 + \beta_2 X_i 2 + ... + \beta X_i k + \epsilon_i \quad , i=1, 2, ..., n \qquad (2.13)$$

จากสมการข้างต้น อาจเป็นในรูปของเมตริกซ์ คือ

$$Y = \beta X + \epsilon \qquad (2.14)$$

เมื่อ

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ .... \\ Y_n \end{pmatrix} \qquad \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ ... \\ \beta_k \end{pmatrix}$$

และ $$\epsilon = \begin{pmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \epsilon_3 \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & ... & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & ... & X_{2k} \\ .. & .... & .... & ... & ..... \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & ... & X_{nk} \end{pmatrix}$$

หา $\beta = (X'x)^{-1} X'y$ (2.15)

โดยที่

Y คือ เวกเตอร์ขนาด (nx1) ของค่าสังเกต

X คือ เมตริกซ์ขนาด (nxp) ของตัวแปรอิสระ

β คือ เวกเตอร์ขนาด (px1) ของสัมประสิทธิ์การถดถอย

ϵ คือ เวกเตอร์ขนาด (nx1) ของความคลาดเคลื่อน

P คือ จำนวนพารามิเตอร์ในฟังก์ชันถดถอย ดังนั้น P = k+1

ง. ตัวแบบสมการถดถอยเชิงพหุคูณที่มีอันตรกิริยา (Interaction)

สามารถนำผลกระทบร่วมในรูปแบบถดถอยได้ในเทอมของ Cross Product มีตัวแบบการถดถอยคือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i 1 + \beta_2 X_i 2 + \beta_3 X_i 1 X_i 2 + \epsilon_i \qquad (2.16)$$

สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธีของเมตริกซ์

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ .... \\ Y_n \end{pmatrix} \qquad \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_{12} \end{pmatrix}$$

$$X = \begin{array}{c} \begin{matrix} \quad X_1 & \quad X_2 & \quad X_1X_2 \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & X_{11}*X_{12} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & X_{21}*X_{22} \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & X_{n1}*X_{n2} \end{pmatrix} \end{array}$$

$$\beta = (X'x)^{-1} X'y \qquad (2.17)$$

2.7 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design or Experiments)

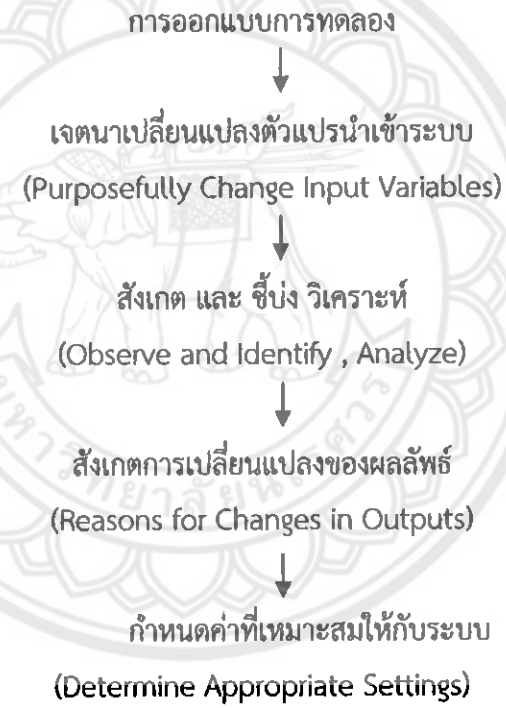
การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ

การทดลอง (Experiments) หมายถึง สิ่งที่จัดทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจโดยผู้ทำการศึกษาในสาขานั้นๆ

การออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษาเพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆที่ก่อให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) หรือตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้" (Design Variable or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า "ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables Factors)

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ควบคุม เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและบันทึกไว้เพื่อเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงหลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง

ที่มา: ประไพศรี (2551)

2.7.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

2.7.2.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา

บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้น ขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิดในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลอื่นๆจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด

2.7.2.2 เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต

ผู้ทดลองจะต้องเลือกปัจจัยเพื่อที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงและกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎีมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบได้ว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรจะเลือกขอบเขตใหม่ความ กว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขต ลงมาให้แคบลงได้

2.7.2.3 เลือกตัวแปรผลตอบ

ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรแน่ใจแล้วว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่าอะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

2.7.2.4 เลือกการออกแบบการทดลอง

ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้องแล้วขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก ในการเลือกการออกแบบที่มีความเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่างจำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้ในการแรนดอมไมเซชั่นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ในการเลือกการออกแบบเราจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลาในการทดลองทาง วิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อสิ่งที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

2.7.2.5 ทำการทดลอง

เมื่อขณะทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้าไม่มีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำให้ใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

2.7.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

เราควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการและสามัญสำนึกจะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.7.2.7 สรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อเราวิเคราะห์ผลของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.7.2.8 2k Full Factorial Experiment

การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Experiment ชนิด 2k เป็นการศึกษา 2 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมีจำนวน k ระดับ ประโยชน์ของการทดลองซ้ำสามารถสามารถนำตาราง ANOVA มาวิเคราะห์ร่วมได้ ลักษณะการทดลองแบบนี้เรียกว่า ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination : tc)

ก. ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ก.1 สามารถที่จะประมาณอิทธิพลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของหลายปัจจัย

ก.2 ประหยัดเวลาเพราะสามารถประมาณอิทธิพลแต่ละปัจจัย และยังประมาณอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้

ก.3 สรุปผลได้กว้างขวาง

ข. อิทธิพลหรือทรีทเมนต์ที่เกิดขึ้นในการทดลองแฟคทอเรียลมี 3 ประเภท คือ

ข.1 อิทธิพลเดี่ยว หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองที่ระดับปัจจัยหนึ่งเมื่อระดับปัจจัยอื่นเปลี่ยนแปลง

ข.2 อิทธิพลหลัก หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองเมื่อระดับ

ของปัจจัยนั้นเปลี่ยนแปลง ซึ่งก็คือค่าเฉลี่ยของอิทธิพลเดี่ยวของปัจจัยนั่นเอง

ข.3 อิทธิพลร่วม หมายถึง ความแตกต่างระหว่างผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งต่อการเปลี่ยนระดับของปัจจัยอื่น

ตัวแบบทางสถิติ

$$x_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad ; \qquad (2.18)$$

x_{ijk} คือ ค่าสังเกตจากหน่วยทดลองที่ k ซึ่งได้รับปัจจัย A ที่ระดับ i และปัจจัย B ที่ระดับ j

μ คือ ค่าเฉลี่ยประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของระดับที่ i ของปัจจัย A

β_j คือ อิทธิพลของระดับที่ j ของปัจจัย B

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของระดับที่ i ของ A และระดับปัจจัย j ของ B

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนของ x_{ijk}

2.8 เครื่องบดยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งเป็นเครื่องบดยางที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูกกลิ้งบีบอัดและบดยางให้โมเลกุลของยางเกิดการขาดทำให้ขนาดของโมเลกุลยางที่ใหญ่และยาวลดลง ทำให้ยางนิ่มลงและสามารถแปรรูปยางได้และยังสามารถนำสารเคมีผสมเข้าไปในยางเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการได้ ขบวนการลดความหนืดของยางโดยใช้เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง เรียกว่า Mastication และการที่จะทำให้ยางนิ่มลงนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเร็วของลูกกลิ้งทั้งสองจะต้องมีความเร็วที่ไม่เท่ากันโดยที่ลูกกลิ้งหน้าจะช้ากว่าลูกกลิ้งหลัง อัตราส่วนความเร็วระหว่างลูกกลิ้งหน้ากับลูกกลิ้งหลังเรียกว่า Friction Ratio โดยทั่วไป Friction Ration จะอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 4:1 และจะขึ้นกับชนิดของยางที่ใช้บดในระหว่างการบดออกซิเจนในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลของยางที่ขาดออกจากกันไม่ให้รวมตัวกันได้ และอุณหภูมิของลูกกลิ้ง ถ้าอุณหภูมิต่ำยางจะแข็งไหลผ่านลูกกลิ้งได้ยากทำให้เกิดการฉีกขาดของสายโซ่โมเลกุลของยางมากขึ้นและในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิสูงยางจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้ยางนิ่มลงได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน

2.9 เครื่องอัดขึ้นรูป

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจากแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้ข้อมูลของเครื่องอัดที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์จะประกอบด้วยขนาดกำลังของเครื่องขนาดของแท่นสำหรับวางแผ่นแม่พิมพ์ระยะและจัดตำแหน่งในการจับยึดแม่พิมพ์ เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะใช้สำหรับการคำนวณขนาดแม่พิมพ์ และการใส่หูยึดและหูยกให้กับแม่พิมพ์

2.9.1 ชนิดของแม่พิมพ์

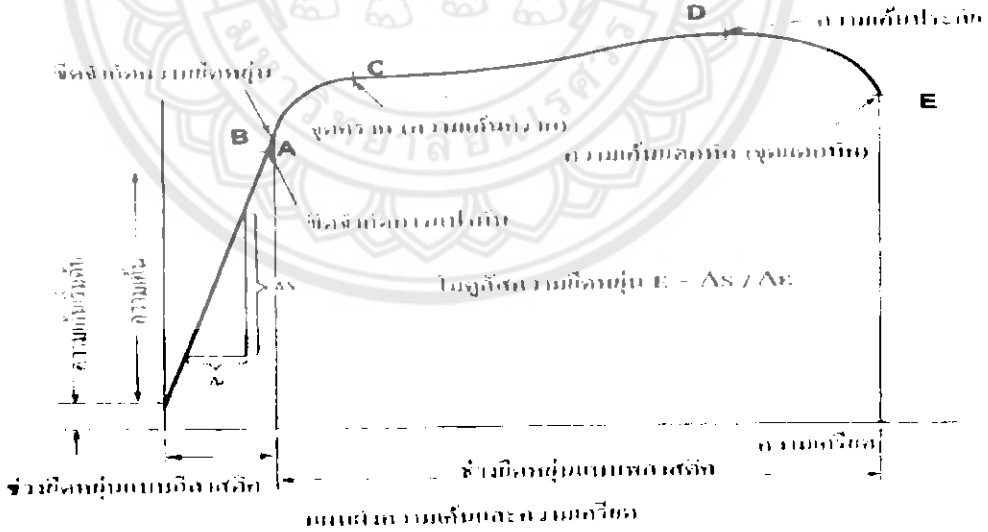
การแบ่งชนิดของแม่พิมพ์อัดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางนั้นสามารถที่จะพิจารณาจากรูปร่างของชิ้นงาน การเลือกเส้นแบ่งแม่พิมพ์ การถอดชิ้นงาน การผลิตแม่พิมพ์และการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งแม่พิมพ์อัดได้ 2 ชนิดคือ

2.9.1.1 แม่พิมพ์ชนิด 2 แผ่น

2.9.1.2 แม่พิมพ์อัดชนิด 3 แผ่น

2.10 การทดสอบพลาสติกด้วยแรงดึง (Tension Test)

วิธีการทดสอบโดยนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้าๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้แล้วมา Plot เป็นเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point) ตามรูปที่ 2.3 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่างๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้นๆ มาตรฐานต่างๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐาน ASTM (American Society of Testing and Material), BS (British Standards), JIS (Japan Industrial Standards) หรือแม้แต่ มอก (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย



รูปที่ 2.3 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก

ที่มา : พิชิต. (2538)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดพบว่าเมื่อเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นทดสอบจะค่อยๆ ยืดออกจนถึงจุดๆ หนึ่ง (จุด A) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ทำให้ได้กราฟเส้นตรงตามกฎของฮุค (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความ

เค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) หรือขีดจำกัดการแปรผันและภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิมเมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกิดพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุดๆหนึ่ง (จุด B) ซึ่งจะเรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดๆ นี้จะเป็นจุดที่กำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้นเมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร (Plastic Deformation) จึงทำให้ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น Low Carbon Steel เหล็กชนิดนี้จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะลดลง) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูปและในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหายหลังจากจุดครากแล้ววัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อยๆ เพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นประลัย (Ultimate Strength) หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกได้มากๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยคำว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุหรือกำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไปจะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้ที่จุดสุดท้าย (จุด E) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหักหรือขาดออกจากกัน (Fracture) สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้ต่ำกว่าความเค้นสูงสุดเพราะเมื่อเลยจุด D ไป พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบลดลงทำให้พื้นที่จะต้านทานแรงดึงลดลงด้วย ในขณะที่เรายังคงคำนวณค่าของความเค้นจาก พื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าความเค้นจึงลดลง ส่วนโลหะอื่นๆ เช่น โลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Work) มาแล้ว มันจะแตกหักที่จุดความเค้นสูงสุด โดยไม่มีการลดขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางทำนองเดียวกับพวกวัสดุเปราะ (Brittle Materials) เช่น เซรามิค ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างพลาสติกน้อยมากหรือไม่มีเลย ส่วนกรณีของวัสดุที่เป็นพลาสติกจะแตกหักโดยที่ต้องการความเค้นสูงขึ้นเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนี้ นอกจากจะใช้บอกค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ความเค้นสูงสุดและความเค้นประลัยแล้ว ยังจะใช้บอกค่าต่างๆ ได้อีกดังนี้คือ

2.10.1 ความเหนียว ค่าที่ใช้วัดจะบอกเป็นร้อยละการยืดตัว (Percentage Elongation) และการลดพื้นที่ภาคตัดขวาง (Reduction of Area) โดยที่ในทางปฏิบัติเรามักใช้ค่าร้อยละ El มากกว่า เพราะสะดวกในการวัดความเหนียวของวัสดุนี้จะเป็นตัวบอกความสามารถในการขึ้นรูปของมัน คือถ้าวัสดุมีความเหนียวดี (ร้อยละ El สูง) ก็สามารถนำไปขึ้นรูป เช่น รีด ตีขึ้นรูป ดึงเป็นลวด ฯลฯ ได้ง่าย แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ (เปราะ, Brittle) ก็จะนำไปขึ้นรูปยากหรือทำไม่ได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษารวบรวมข้อมูลจะเป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงงานทั้งหมดโดยแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ได้มาจากหนังสืองานวิจัยและปริญญานิพนธ์อื่นๆ เป็นหลัก

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติก

ศึกษาคุณสมบัติของพอลิไวนิลคลอไรด์ซึ่งจะบอกให้ทราบถึงโครงสร้างและการนำไปใช้งานอย่างไร

3.1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

ศึกษาคุณสมบัติและโครงสร้างของยางธรรมชาติว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร ซึ่งรวมไปถึงแหล่งปลูกยางธรรมชาติในท้องถิ่น

3.1.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ศึกษาระบบการทำงานและวิธีใช้งานเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) และเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.1.4 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รวมถึงคำสั่งโปรแกรมในใช้การวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

3.1.5 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ศึกษาการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ 2 ปัจจัย

3.2 การออกแบบการทดลอง

โครงงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่นจึงได้ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ 2 ปัจจัย เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบปัจจัย 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิกับ

เวลาในการอัดขึ้นรูปโดยหลักการเลือกปัจจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่นและมีการกำหนดปัจจัยดังนี้

3.2.1 การกำหนดปัจจัย

3.2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่นจากกระบวนการผลิต มีดังนี้

ก.อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป คือ ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินกว่าอุณหภูมิการหลอมตัวจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมได้

ข. เวลาในการอัดขึ้นรูป คือ ถ้าเวลาในการอัดขึ้นรูปน้อยจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

ค. อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม คือ ถ้าอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลให้กระบวนการผสมไม่สมบูรณ์ พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ไม่ดีและใช้เวลานานในการผสม

ง. ระยะเวลาในการผสม คือ ถ้าระยะเวลาในการผสมของพอลิเมอร์ผสมน้อยเกินจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและหากมากเกินไปจะทำพอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพ

จ. สารผสม คือ การเลือกใช้สารผสมควรจะเลือกสารผสมที่เหมาะสมกับการใช้งานและชนิดของพอลิเมอร์ผสม ถ้าเลือกใช้สารผสมที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลถึงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้

ฉ. ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ถ้าความเร็วรอบของลูกกลิ้งสูงไปจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและหากความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำจะทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพได้เนื่องจากการผสมพอลิเมอร์ผสมต้องใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เหมาะสมจึงจะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดี

3.2.1.2 ปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลอง

สำหรับโครงงานนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 2 ปัจจัยโดยมีหลักการในการพิจารณาดังนี้

ก. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป เหตุผลที่ทำการเลือกอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะเป็นปัจจัยที่สามารถจะควบคุมระดับในการทดลองได้อย่างแม่นยำโดยทำการปรับระดับอุณหภูมิของเครื่องอัดขึ้นรูป

ข. เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป เหตุผลที่ทำการเลือกเวลาในการอัดขึ้นรูปมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมระดับในการทดลองได้อย่างแม่นยำโดยทำการปรับระดับของเวลาเครื่องอัดขึ้นรูป

3.2.1.3 ปัจจัยที่ไม่เลือกใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ไม่ได้นำมาทำการศึกษาและใช้ในการทดลอง จะมีการพิจารณาดังนี้

ก. อัตราส่วนของการผสม เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกอัตราส่วนของการผสมของพอลิเมอร์ผสมมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าอัตราส่วนของการผสมจะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลอย่างแน่นอนจึงไม่เป็นที่น่าสนใจในการนำมาศึกษา

ข. ระยะเวลาในการผสม เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกระยะเวลาในการผสมของพอลิเมอร์ผสมมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะหากผู้จัดทำโครงงานทำการศึกษาและใช้เวลาการผสมที่น้อยหรือมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ไม่ดีและเกิดความเสื่อมสภาพได้นั่นคือจะทำให้ผลที่ได้จากการทดลองไม่มีความถูกต้องแม่นยำ

ค. ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกความเร็วรอบของลูกกลิ้งมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเนื่องจากความเร็วรอบของลูกกลิ้งสูงจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและหากความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมได้เนื่องจากการผสมพอลิเมอร์ผสมต้องใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เหมาะสมจึงจะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีความเข้ากันได้ดีและถ้าได้ชิ้นงานที่ไม่มีความเข้ากันมาทดสอบก็จะทำให้ได้ค่าจากการทดลองที่คลาดเคลื่อน

ง. สารผสม เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกสารผสมในการผสมของพอลิเมอร์ผสมมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเนื่องจากคุณวันทนา สุขแก้วได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติต้านทานแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์โดยการผสมกับยางธรรมชาติแล้ว โดยกำหนดปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยเป็นตัวควบคุม คือ อัตราส่วนของการผสมกับระยะเวลาในการผสมที่มีกระบวนการที่ง่ายเหมาะสมกับเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่มีอยู่และใช้สารช่วยผสมคือ ยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดร์

3.2.2 ระดับปัจจัย

3.2.2.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ที่ใช้ในการทดลองมี 4 ระดับคือ 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าทั้ง 4 ค่านี้ได้จากการปรับค่าที่แน่นอนจากเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อใช้ศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่น

3.2.2.2 เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับคือ 5, 10, 15 และ 20 นาที ซึ่งค่าทั้ง 5 ค่านี้ได้จากการปรับค่าที่แน่นอนจากเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อใช้ศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่น

3.2.3 ขนาดของการทดลอง

ชิ้นงานทดสอบมีขนาดตามมาตรฐาน JIS K 6723 ในการวัดค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่นจะทำการวัดค่าโดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์จะทำการวัดค่าทีละชิ้นงานจนชิ้นงานขาด ทำจนครบตามจำนวนชิ้นงานที่ทำการทดลอง

3.2.4 สมมติฐานของการทดลอง

Ho : อุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่น

H1 : อุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าร้อยละของความยืดหยุ่น

เมื่อ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 นาที

3.3 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในโครงงาน

3.3.1 พอลิไวนิลคลอไรด์ เกรดผลิตสายยางE1501CLB จากบริษัทไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์

3.3.2 ยางธรรมชาติ (ยางพารา) ชนิดยางแผ่นตากแห้ง (ยางดิบเกรด 2) (Air-Dried Sheet Rubber) ผลิตจากชาวสวนยางตำบลวังนกแอ่น อ.วังทอง จ.พิษณุโลก

3.3.3 ENR 50

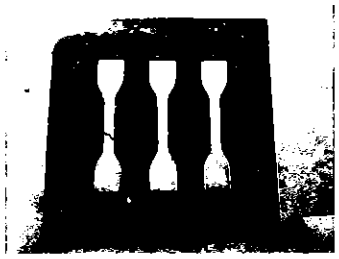
3.3.4 ถุงมือผ้า

3.3.5 เกียง

3.3.6 ถุงมือหนัง

3.3.7 แผ่นพลาสติกใส

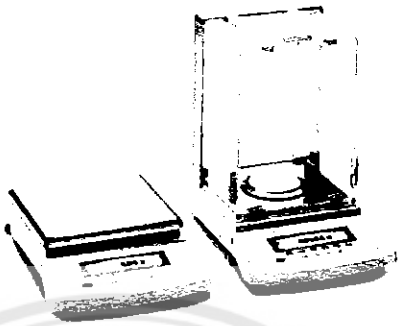
3.3.8 แม่พิมพ์ที่มีรูปร่างดัมเบลล์ JIS K 6723



รูปที่ 3.1 ภาพแสดงแม่พิมพ์

3.4 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินโครงงาน

3.4.1 เครื่องชั่ง



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงเครื่องชั่ง

3.4.2 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

รูปที่ 3.3 ภาพแสดงเครื่องบดสองลูกกลิ้ง

3.4.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

รูปที่ 3.4 ภาพแสดงเครื่องอัดขึ้นรูป

3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้มีวิธีดำเนินการทดลองโดยเริ่มหาขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสมสูตรกระบวนการอัดขึ้นรูปและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

3.5.1 การผสมพอลิเมอร์

3.5.1.1 ชั่งน้ำหนัก NR 10 กรัมแล้วนำไปบดที่เครื่อง Two Roll Mill อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการบด 5 นาที จนยางติดลูกกลิ้ง

3.5.1.2 ชั่ง PVC 90 กรัม แล้วนำไปเทบดผสมกับยางที่เครื่อง Two Roll Mill อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10 นาที จน PVC เริ่มหลอมละลายเข้ากับยาง

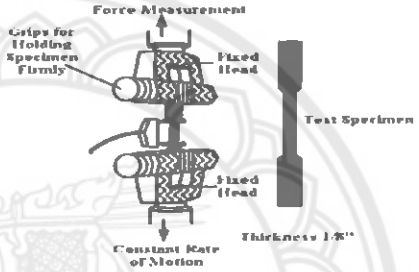
3.5.1.3 นำยาง ENR ชั่ง 10 กรัม ตัดเป็นชิ้นเล็กๆเทผสมลงไปที่เครื่อง Two Roll Mill พร้อมกับ ขั้นตอนที่ 3.5.1.2 ขณะทำการผสมยางเข้าด้วยกันจะใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางของแผ่นชีทในการป้อนเข้าลูกกลิ้งทุกครั้ง คือ เมื่อได้แผ่นชีทออกมาจะพับแผ่นตามทิศทางเครื่องในการป้อนครั้งต่อไปจะป้อนทิศทางขวางของแผ่นชีทเข้าเครื่องการทำเช่นนี้ตลอดการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้งจะช่วยให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างของลูกกลิ้งทำให้ยางมีการกระจายตัวดีมากขึ้น เมื่อทำการผสมเสร็จแล้วนำออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้งปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

3.5.2 ศึกษาอุณหภูมิของเครื่อง Compression Molding

ใช้พอลิเมอร์ที่ผสมได้จากเครื่อง Two Roll Mill ตัดเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำไปวางในแม่พิมพ์ทำการปรับอุณหภูมิและเวลาของเครื่อง Compression Molding

3.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ในการทดสอบสมบัติเชิงกลในโครงงานนี้ได้ทำการทดสอบ 2 อย่างคือ การทดสอบแรงดึง (Tension Test) และระยะยืด (Elongation) โดยนำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึงโดยปฏิบัติตามมาตรฐาน jis k 6723 ใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้ โหลดเซลล์ขนาด 10 กิโลนิวตัน และความเร็วในการดึง 200 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 3.5 แสดงภาพส่วนประกอบในการทดสอบแรงดึง

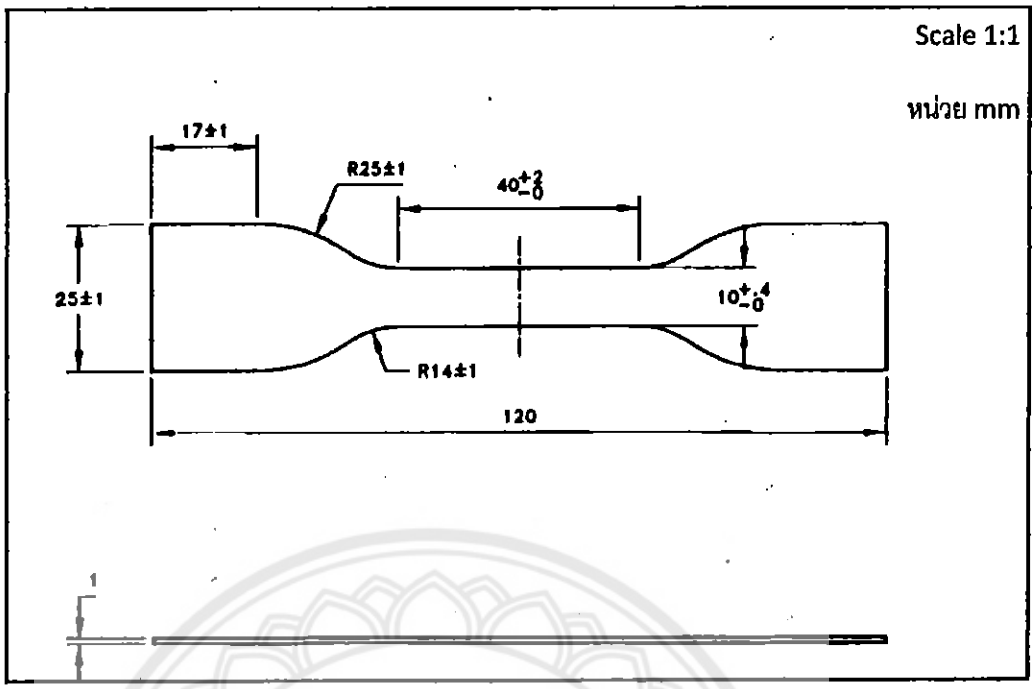
ที่มา:จันทิมา (2552)

3.5.3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบแรงดึง

ก. เพื่อทราบพฤติกรรมของพอลิเมอร์ผสมตามขอบเขตที่กำหนดขณะรับแรงดึง

ข. เพื่อฝึกทักษะการทดสอบความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสม

ค. เพื่อฝึกทักษะการประมวลผลข้อมูลเชิงสถิติ



รูปที่ 3.6 แสดงภาพมาตรฐาน JIS K 6723

ที่มา : วันทนา สุขแก้ว (2543)

3.5.3.2 วิธีการทดสอบ

ก. เตรียมชิ้นงานชุดละ 5 ชิ้น บันทึกค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงานขีดเส้นทำเครื่องหมายชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน

ข. ติดตั้ง Load Cell ขนาด 10 กิโลนิวตันพร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และ ฐานเครื่องแล้วต่อสายสัญญาณ Load Cell เข้าที่ Crosshead

ค. เปิดสวิทซ์เครื่องทดสอบ

ง. จับชิ้นงานเข้ากับหัวจับตัวบนยึดให้แน่นส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้

จ. ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยืดให้เป็นศูนย์

ฉ. ขันหัวจับล่างให้แน่น

ช. ทำการทดสอบชิ้นงานโดยการดึงจนขาด

ซ. ทำการทดลองจนครบทั้ง 5 ชิ้น ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกค่าการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

อุณหภูมิ (องศา)	เวลา (นาที)	ค่าความทนทานต่อแรงดึง (MPa)														
		ครั้งที่ 1					ครั้งที่ 2					ครั้งที่ 3				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
150	5															
	10															
	15															
	20															
160	5															
	10															
	15															
	20															
170	5															
	10															
	15															
	20															
180	5															
	10															
	15															
	20															

ตารางที่ 3.2 บันทึกค่าการทดลองของค่าร้อยละของความยืดหยุ่น

อุณหภูมิ (องศา)	เวลา (นาที)	ค่าร้อยละของความยืดหยุ่น (มิลลิเมตร)														
		ครั้งที่ 1					ครั้งที่ 2					ครั้งที่ 3				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
150	5															
	10															
	15															
	20															
160	5															
	10															
	15															
	20															
170	5															
	10															
	15															
	20															
180	5															
	10															
	15															
	20															

จากผลการทดสอบแรงดึงและระยะยืดนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาความสมพันธ์ที่สามารถบอกถึงคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ร้อยละของความยืดหยุ่น (% Elongation)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

วิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

3.6 สรุปผลการทดลอง

ทำการสรุปผลการทดลองเพื่อดูว่าปัจจัยใดมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาพอลิเมอร์ผสมหรือตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ต่อไป

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

หลังจากที่ได้ทำการดำเนินงานโครงงานตั้งแต่การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลการออกแบบการทดลอง การหาอุณหภูมิหลอมเหลวของในการผสมพอลิเมอร์ผสม การหาอัตราส่วนผสมกับอุณหภูมิที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมและดำเนินการทดลองเรียบร้อยแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์เชิงสถิติและศึกษาในด้านต่างๆ ดังนี้

ความสัมพันธ์ที่สามารถบอกถึงคุณสมบัติเชิงกล

การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ

สรุปตารางผลการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ผลการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

ในงานวิจัยนี้ใช้สัดส่วนผสมเดียวคือ PVC/ENR/NR เท่ากับ 90/10/10 เพราะคุณวันทนา สุขแก้ว ได้ทำการศึกษาแล้วว่าปริมาณยางที่นำมาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ที่จะทำให้มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดคือ ปริมาณ NR/ENR ต้องเท่ากับ 1/1 โดยน้ำหนัก

4.2 การวิเคราะห์ผลการหาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์

จากการทดลองผสมพอลิเมอร์พบว่าที่อุณหภูมิ 130 – 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลาผสม 15 นาที เนื่องจากคุณวันทนา สุขแก้ว ได้ทำการศึกษาแล้วว่าเมื่อใช้เครื่อง Two Roll Mill ผสมพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางธรรมชาติใช้เวลา 15 นาที จะให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด และผลจากตาราง 4.1 จึงใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 170 องศาเซลเซียส ใช้ผสมพอลิเมอร์ ทุกๆครั้งในการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์

อุณหภูมิของเครื่อง Two Roll Mill (องศาเซลเซียส)	ลักษณะของแผ่นชีทที่ได้
130 -150	พอลิเมอร์ผสมยังไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากมองเห็นเม็ดพอลิไวนิลคลอไรด์ยังไม่หลอมละลาย
160	ยังไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเนื่องจากมองเห็นการแยกเฟสอย่างชัดเจนมีลักษณะเป็นลูกคลื่น
170	พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียวกันมองเห็นแผ่นชีทพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสีเหมือนยางธรรมชาติ
180-190	ได้แผ่นชีทมีสีดำไหม้ปนสีคล้ายๆ ยางธรรมชาติลอกออกมาเป็นแผ่นไม่ได้เพราะเหนียวติดลูกกลิ้ง

4.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

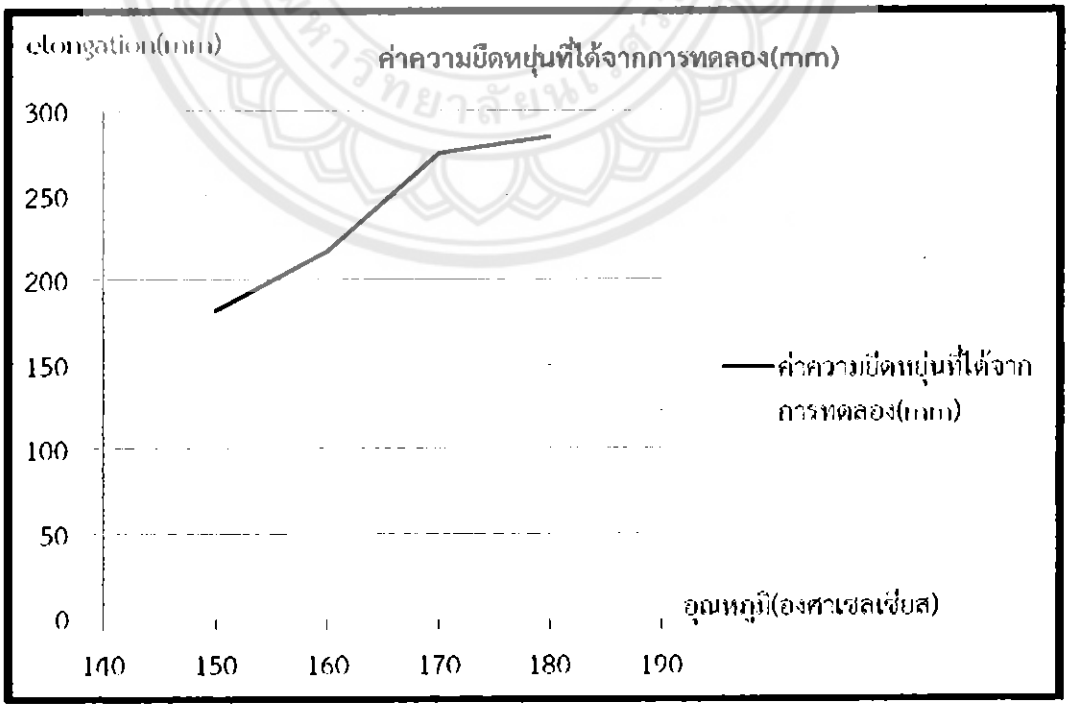
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยของค่า Elongation

ปัจจัย	DF	SS	MS	$F_{คำนวณ}$	$F_{ตาราง}$
อุณหภูมิ	3	24325.4	8108.46	48.49	9.276
เวลา	3	840.7	280.22	1.69	9.276
Error	9	1492.6	165.84		
Total	15	26658.6			

จากตาราง ANOVA ของค่า Elongation

จากค่า $F_{ตาราง}$ ของปัจจัยอุณหภูมิ จะเห็นว่าค่าน้อยกว่า $F_{คำนวณ}$ แสดงว่า **อิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อค่า** Elongation

จากค่า $F_{ตาราง}$ ของปัจจัยเวลา จะเห็นว่าค่ามากกว่า $F_{คำนวณ}$ แสดงว่า **อิทธิพลของเวลาไม่มีผลต่อค่า** Elongation



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความยืดหยุ่นที่ได้จากการทดลอง

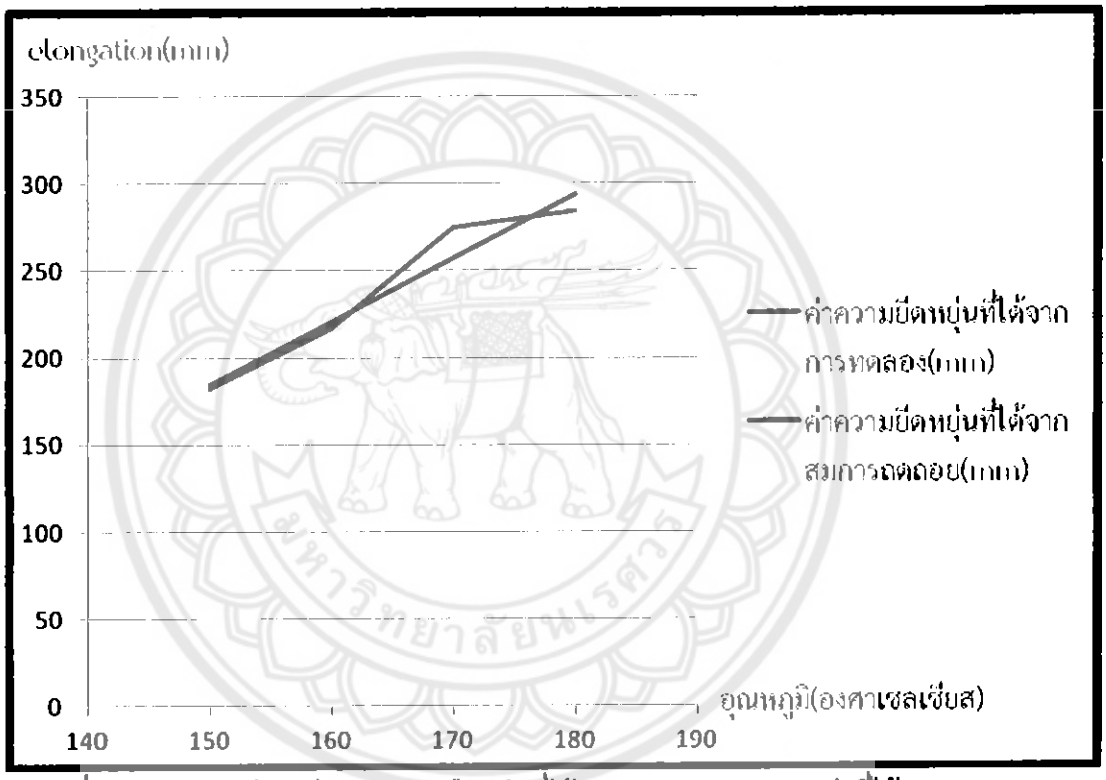
สมการถดถอยที่ได้คือ

$$Y = - 363 + 3.65*X1 \quad (4.1)$$

Y = ค่าความยืดหยุ่น (mm)

X_1 = อุณหภูมิ (°C)

ได้ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-Square) = 94.3 และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Std. Error of Estimate) = 14.1753 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด มีค่าเข้าใกล้ร้อยละ 100 แสดงว่า สมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบค่าความยืดหยุ่นที่ได้จากสมการถดถอยและค่าที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน -2.31) และที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน -3.962) กราฟมีความใกล้เคียงกันมากจนทับซ้อนกันส่วนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน 17.16) และที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน -9.31)

สรุปได้ว่า สมการถดถอยของค่าความยืดหยุ่นสามารถนำมาใช้งานได้ดีที่สุด คือ ที่ 150 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส เนื่องจากกราฟทับซ้อนกัน (ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ชิ้นงานที่ได้มีสีคล้ายยางธรรมชาติทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองแตกต่างจากค่าที่ได้จากสมการถดถอย เนื่องจากยางสามารถกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของ PVC) ซึ่งจะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า Elongation จะสูงขึ้นเนื่องจากยางสามารถกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของ PVC

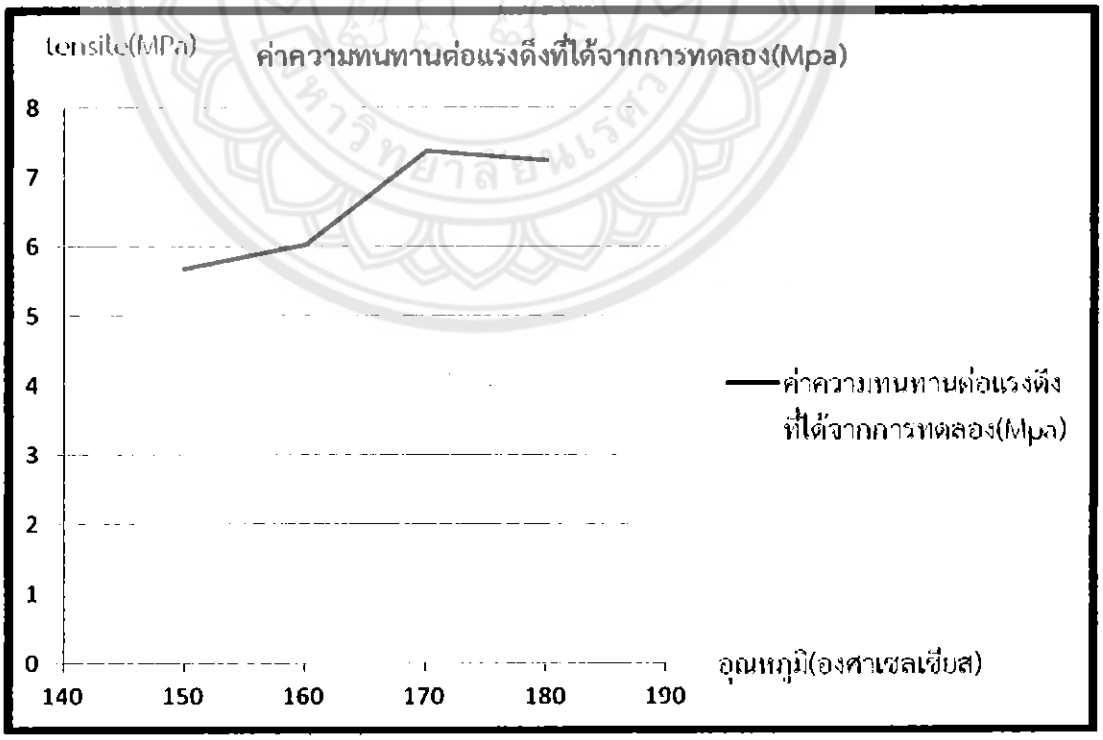
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า Tensile

ปัจจัย	DF	SS	MS	$F_{คำนวณ}$	$F_{ตาราง}$
อุณหภูมิ	3	8.82521	2.94174	50.67	9.276
เวลา	3	0.36837	0.12279	2.12	9.276
Error	9	0.52250	0.05806		
Total	15				

จากตาราง ANOVA ของค่า Tensile

จากค่า $F_{ตาราง}$ ของปัจจัยอุณหภูมิ จะเห็นว่า ค่าน้อยกว่า $F_{คำนวณ}$ แสดง**ว่า อิทธิพลของอุณหภูมิมีผลต่อค่า** Tensile

จากค่า $F_{ตาราง}$ ของปัจจัยเวลา จะเห็นว่า ค่ามากกว่า $F_{คำนวณ}$ แสดงว่า **อิทธิพลของเวลาไม่มีผล** ต่อค่า Tensile



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้จากการทดลอง

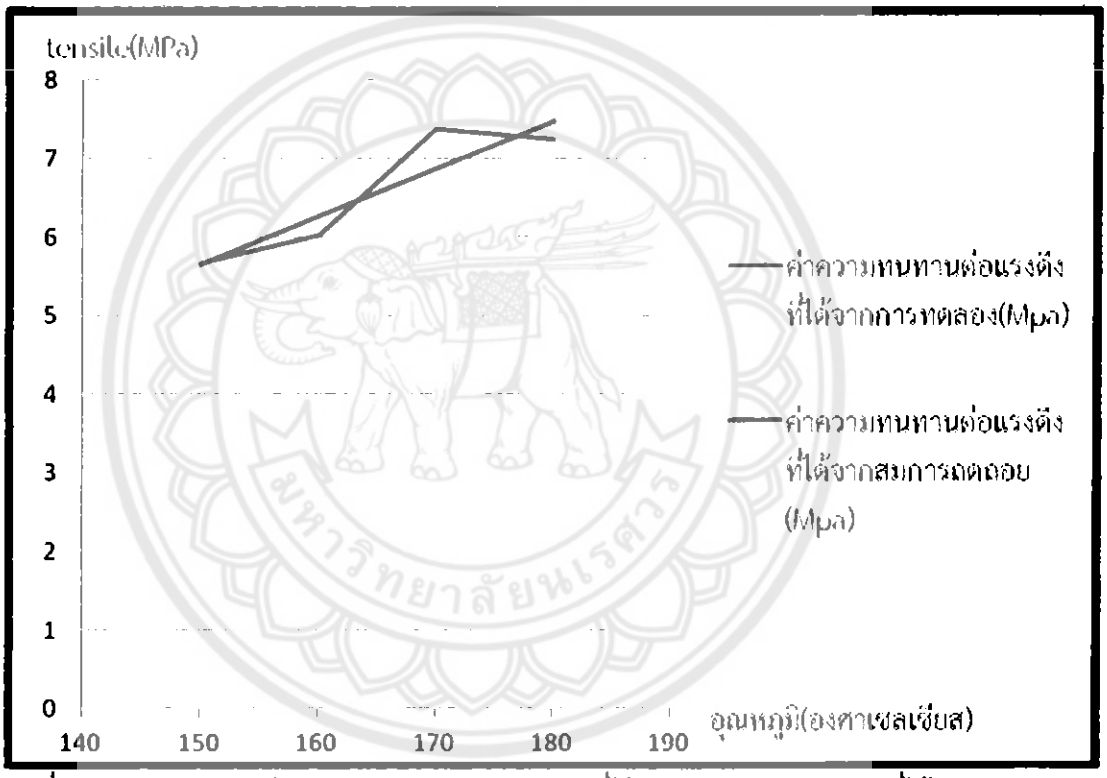
สมการถดถอยที่ได้คือ

$$Y = -3.43 + 0.0606X_1 \quad (4.2)$$

Y = Tensile (MPa)

X_1 = อุณหภูมิ (°C)

ได้ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-Square) = 83 และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Std. Error of Estimate) = 0.428835 ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด มีค่าเข้าใกล้ร้อยละ 100 แสดงว่า สมการถดถอยที่ได้มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้จากสมการถดถอยและที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน 0.0125) และที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน 0.0225) และที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน 0.0325) และที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส (กราฟมีค่าแตกต่างกัน 0.0425) สรุปได้ว่า สมการถดถอยของค่าความทนทานต่อแรงดึงสามารถนำมาใช้งานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากกราฟทับกันและชิ้นงานที่ 150 องศาเซลเซียส ยางยังไม่สามารถหลอมรวมกับ PVC ได้ดีเพราะอุณหภูมิต่ำทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ดีทำให้ค่า Tensile ต่ำ ส่วนในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปค่า Tensile มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากยางและ PVC สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ดี

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากตาราง ANOVA ของค่า Elongation (ตารางที่ 4.2) สำหรับองค์ประกอบของอุณหภูมิได้ค่า $F_{คำนวณ} > F_{ตาราง}$ จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 และองค์ประกอบของเวลาได้ค่า $F_{คำนวณ} < F_{ตาราง}$ จึงปฏิเสธ H_1 ยอมรับ H_0 สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลต่อค่า Elongation ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และการเปลี่ยนแปลงของเวลาไม่มีผลต่อค่า Elongation ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยของค่า Elongation ของพอลิเมอร์ผสม ได้สมการถดถอย คือ Y = - 363 + 3.65X1 และได้ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-Square) = 94.3 และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Std. Error of Estimate) = 14.1753 ทำให้สรุปได้ว่าสมการถดถอยนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ได้จากสมการถดถอยของค่าความยืดหยุ่น สมการถดถอยของค่าความยืดหยุ่นสามารถนำมาใช้งานได้ดี คือ ที่ 150 องศาเซลเซียส และ160 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่า Elongation จะสูงขึ้นเนื่องจากยางสามารถกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของ PVC

จากตาราง ANOVA ของค่า Tensile (ตารางที่ 4.4) สำหรับองค์ประกอบของอุณหภูมิได้ค่าของ $F_{คำนวณ} > F_{ตาราง}$ ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 และองค์ประกอบเวลาได้ค่า $F_{คำนวณ} < F_{ตาราง}$ ปฏิเสธ H_1 ยอมรับ H_0 สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีผลต่อค่า Tensile ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการเปลี่ยนแปลงของเวลาไม่มีผลต่อค่า Tensile ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยของค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมได้สมการถดถอย คือ Y = - 3.43 + 0.0606X_1 และได้ค่าร้อยละสัมประสิทธิ์การกำหนด (R-Square) = 83 และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Std. Error of Estimate) = 0.428835 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการเปรียบเทียบกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่ได้จากสมการถดถอยของค่า Tensile ทำให้ทราบว่า สมการถดถอยของค่า Tensile สามารถนำมาใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และที่ 150 องศาเซลเซียส ยางยังไม่สามารถหลอมรวมกับ PVC ได้ดีเนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้ไม่สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ดีทำให้ค่า Tensile ต่ำ ส่วนในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปค่า Tensile มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากยางและ PVC สามารถยึดเหนี่ยวกันได้ดี

อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีความสำคัญต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้อย่างมากเพราะหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ต่ำไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมหลอมเข้ากันได้ไม่ดีในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปสูงเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ลดลง ดังนั้นในการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์เป็นชิ้นงานจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปให้เหมาะสม

การทดลองในการดำเนินการวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป และเวลาในการอัดขึ้นรูป โดยกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปไว้ที่ 150–180 องศาเซลเซียส และเวลาในการอัดขึ้นรูปไว้ที่ 5-20 นาที สรุปได้ว่า พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีค่าความทนต่อแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นจะสูงขึ้นเพราะเมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นจะทำให้พอลิเมอร์หลอมรวมกันได้ดี ในส่วนของปัจจัยเวลาในช่วง 5-20 นาที จะไม่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าความยืดหยุ่น อาจเป็นเพราะพอลิเมอร์ทั้งสองสามารถหลอมรวมกันได้ดีก่อนเวลา 5 นาที แล้ว

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) เกรดผลิตสายยาง (E1501CLB) และยางธรรมชาติ (ยางพารา) ชนิดยางแผ่นตากแห้ง (ยางดิบเกรด 2) มีดังนี้

5.2.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองควรมีการควบคุมอุณหภูมิเครื่องผสมสองลูกกลิ้งและอุณหภูมิเครื่องอัดขึ้นรูปควบคู่ไปกับตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ระหว่างทำการผสมพอลิเมอร์ผสมและยางธรรมชาติควรมีการรักษาความสะอาดไม่ให้เกิดความสกปรกเพราะหากมีสิ่งสกปรกเข้าไปปนเปื้อนจะทำให้ผลการทดลองที่ได้เกิดการคลาดเคลื่อนได้สูงมาก

5.2.3 การศึกษาผลของสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ที่ช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิต

5.2.4 ศึกษาถึงการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาโดยใช้เครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

5.2.5 ศึกษาถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

5.2.6 ควรทดลองศึกษาปัจจัยของช่วงอุณหภูมิและช่วงเวลาที่แคบลง

เอกสารอ้างอิง

Uitenham, L.C. and Geil, P.H. (1981). "Processing, Morphology and Properties of PVC", **Journal of Macromolecule Science – Physics**, B Vol. 20, No. 4, pp. 593-622.

Wypych, J. (1986). Poly (vinyl chloride) Stabilization. **Chapman & Hall**. New York.

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (3 กุมภาพันธ์ 2552). **สมบัติของเทอร์โมพลาสติก.** สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2554, จาก http://km.nurse.cmu.ac.th/fonoffice/DocLib1/lesson_08A.doc.

จันทร์ฉาย ทองปิ่นและคณะ. (2551). **ผลของสถาปัตยกรรมของพอลิเอธิลีนที่มีผลต่อกลไกการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวของพอลิไวนิลคลอไรด์.** ทบวงมหาวิทยาลัยและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว).

นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล. (2537). **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

บริษัทวีนิไทยจำกัด. (23 มีนาคม 2553). **พีวีซีกับปัจจัยทั้ง5.** สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2554, จาก http://www.vinythai.co.th/serving5basicneeds.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และคณะ. (2551). **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.

วันทนา สุขแก้ว. (2543). **การปรับปรุงสมบัติต้านแรงกระแทกของพอลิไวนิลคลอไรด์โดยการผสมกับยางธรรมชาติ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมสาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยี-วัสดุ คณะพลังงานวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุภาพร บัวแก้วและคณะ. (2553). **ข้อมูลวิชาการยางพารา2553.** สถาบันวิจัยยางกรมวิชาการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

อิทธิพล แจ้งชัด. (2542). **เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการเมอร์.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกชัย วิมลมาลา. (2543). **การเตรียมและศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับยางอะคริลิค.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาคผนวก ก

รูปที่ ก.1 ขนาดของแม่พิมพ์รูปดัมเบลล์ JIS K 6723

รูปที่ ก.2 ภาพชิ้นงานเมื่อผ่านการอัดขึ้น

ภาคผนวก ข
วิธีการทดสอบแรงดึง

ข.1 วิธีการทดสอบแรงดึง

การเตรียมวัสดุอุปกรณ์การทดลอง

- เตรียมชิ้นงานชุดละ 5 ชิ้น บันทึกค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงานขีดเส้นทำเครื่องหมาย ชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน

- ติดตั้ง Load cell ขนาด 10 kN. พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และฐานเครื่องแล้วต่อสายสัญญาณ Load cell เข้าที่ Crosshead

- เปิดสวิทช์เครื่องทดสอบ

- จับชิ้นงานเขากับหัวจับตัวบนยึดให้แน่น ส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้

- ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยึดให้เป็นศูนย์

- ขันหัวจับล่างให้แน่น

- ทำการทดสอบชิ้นงานโดยการดึงจนขาด

- ทำการทดลองจนครบทั้ง 5 ชิ้น ในแต่ละชุดการทดลอง

ขั้นตอนการใช้เครื่องทดสอบแรงดึง

- การเริ่มสร้างการทดสอบ

- ให้ทำ Shortcut ที่ Desktop อีกชื่อ NEXYGEN Plus

- ให้ดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอน NEXYGEN Plus

- เริ่มสร้างการทดสอบใหม่ให้เลือกไปที่ Create a New Batch of Tests

- ตั้งชื่อการทดสอบที่ File name แล้วกดปุ่ม Save

- เลือกโหมดการทดสอบในที่นี้จะมีให้เลือกอยู่ 6 โหมดการทดสอบ

- เลือกใช้การทดสอบที่ Tension or Compression Test จากนั้นกด Finish

การเลือกโหมดการทดสอบ

โหมด Tension/Compression Test

- Basic Settings

- กำหนดทิศทางการทดสอบแรงดึง (Tension) หรือกด (Compression) เลือกใช้งานที่ฟังก์ชั่น Preload/stress กำหนด Load และ Speed ที่เหมาะสมกับการทดสอบ Load และ Speed จะมีผลกับการทดสอบ คือ ถ้ากำหนดแรงและความเร็วมากจนเกินไปจะทำให้ระยะในการรายงานผลสั้นลงแต่ถ้าน้อยเกินไปก็จะทำให้เครื่องอาจจะทำงานเองทั้งๆ ที่ชิ้นงานยังไม่ตั้งหรือยังไม่แตะชิ้นงาน เพราะฉะนั้นควรตั้ง Preload ให้เหมาะสมกับการทดสอบแล้วกำหนดให้ Preload เซตค่าเป็นศูนย์ Load, Extension อย่างเดียวหรือทั้งคู่ก็ได้

- ตั้งค่าการรีเทิร์นย้อนกลับเมื่อทำการทดสอบแรงดึงเสร็จอัตโนมัติมาที่จุดเริ่มต้นเมื่อชิ้นงานขาดแล้วให้คลิกตรงสัญลักษณ์ลูกศรเลี้ยวกลับบนคอนโซลกำหนดความสูงของชิ้นงาน

- เปิด General Purpose Tension/Compression Test

- เลือกคำว่า Sample Height

- คลิกเลือกคำว่า Use specified Sample Height/Gauge Length คือ การกำหนดระยะ Gauge Length หรือ ความสูงของชิ้นงานลงไปได้เลยเป็นการกำหนดตายตัวไม่มีการเพิ่มหรือลดระยะ Gauge Length

กำหนดพื้นที่ของชิ้นงาน

- เปิด General Purpose Tension/Compression Test

- เลือกคำว่า Sample Area

กำหนดระยะการหยุดของเครื่องเมื่อทำการทดสอบเป็นการสั่งให้เครื่องไปหยุด ณ ตำแหน่งที่ระบุ

- เปิด General Purpose Tension/Compression Test

- เลือกคำว่า Limits

- ใส่ระยะหยุดที่เราต้องการ

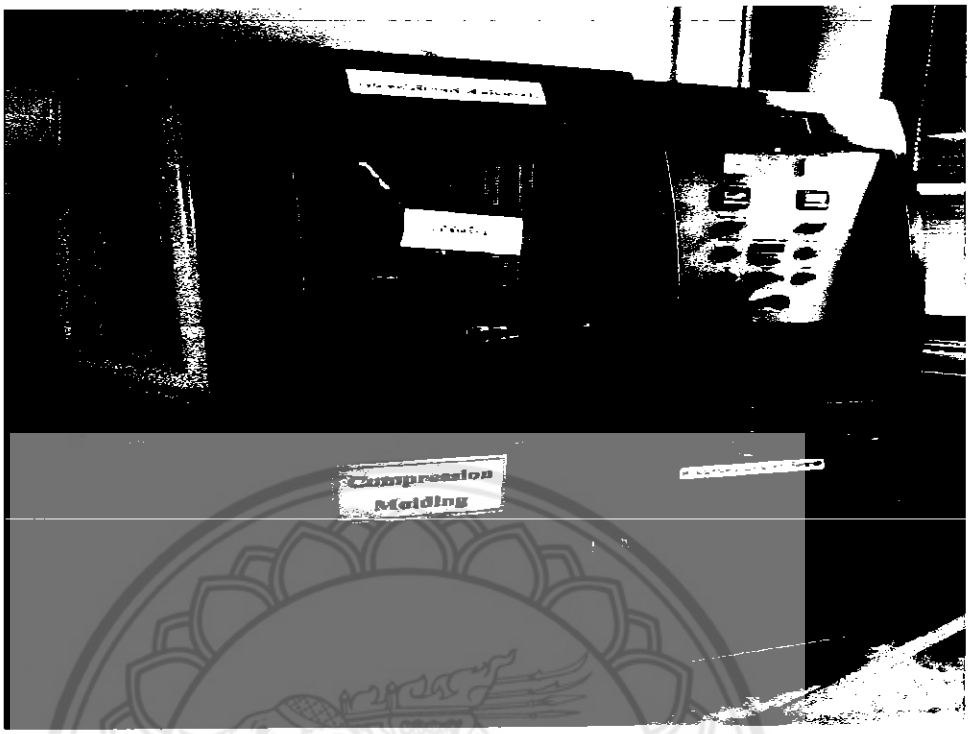
เลือกผลการทดสอบที่ให้ซอฟแวร์คำนวณออกมา แล้วปรากฏอยู่ที่หน้า Results

- เปิด General Purpose Tension/Compression Test

- เลือกคำว่า Results

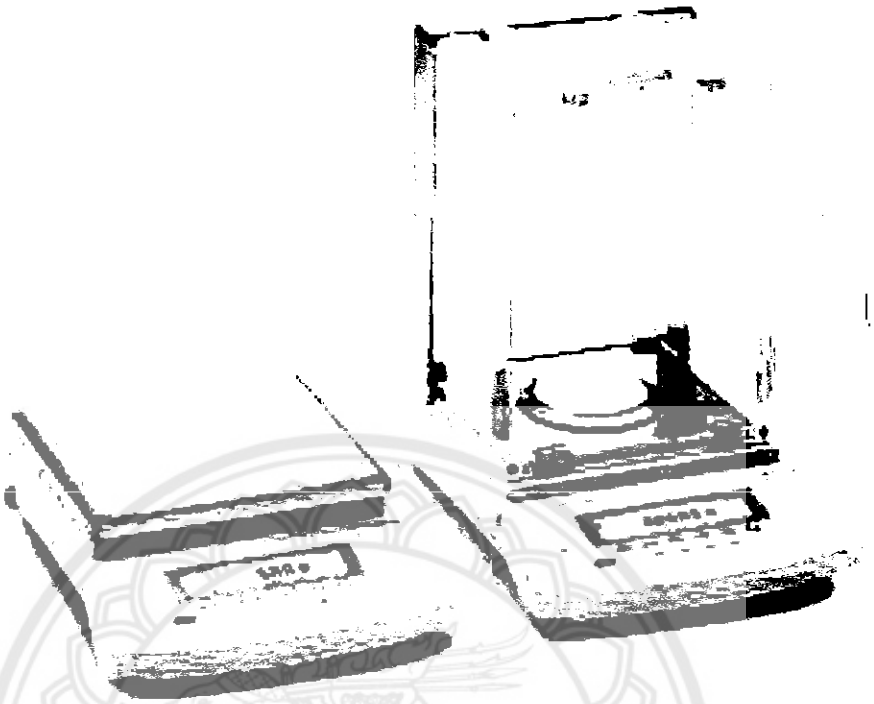
- เลือกตัวแปรค่าที่เราต้องการ คือ Tensile Stength, % Elongation

ภาคผนวก ค
รูปเครื่องจักร



รูปที่ ค.1 เครื่อง Compression Molding

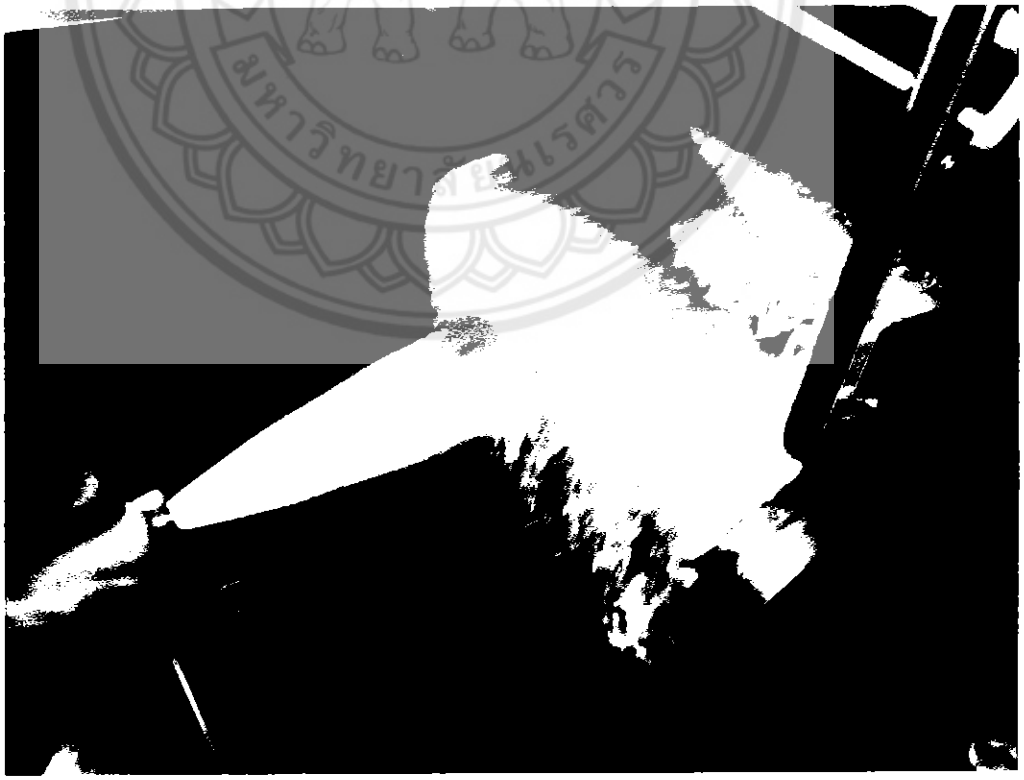
รูปที่ ค.2 เครื่องทดสอบแรงดึง



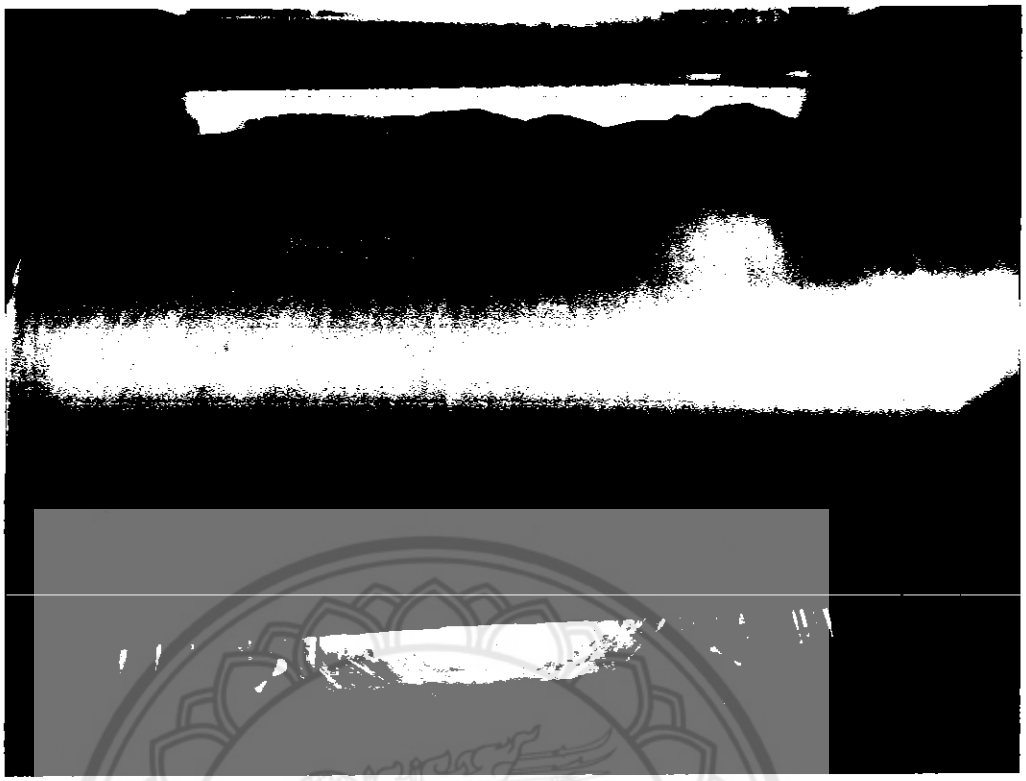
รูปที่ ค.3 เชื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ ค.4 เครื่อง Two roll mill

รูปที่ ค.5 รูประหว่างทำการนวดยางธรรมชาติ

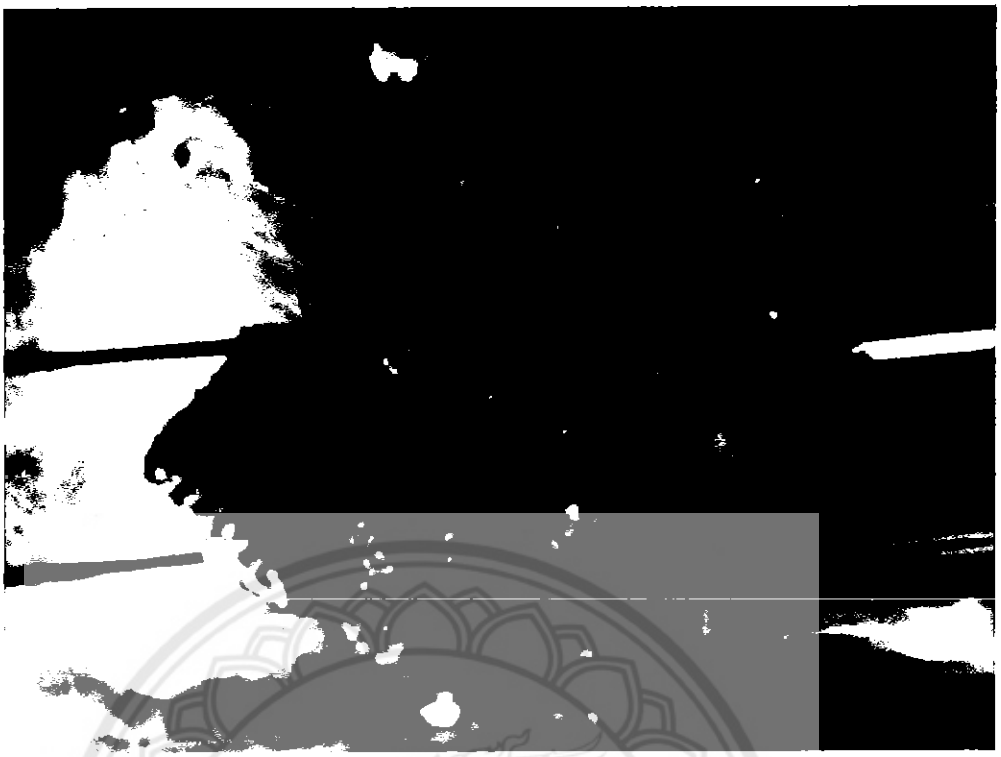


รูปที่ ค.6 รูประหว่างการผสมพอลิเมอร์



รูปที่ ค.7 รูประหว่างทำการผสมพร้อมกรีดออกมาเป็นแผ่น

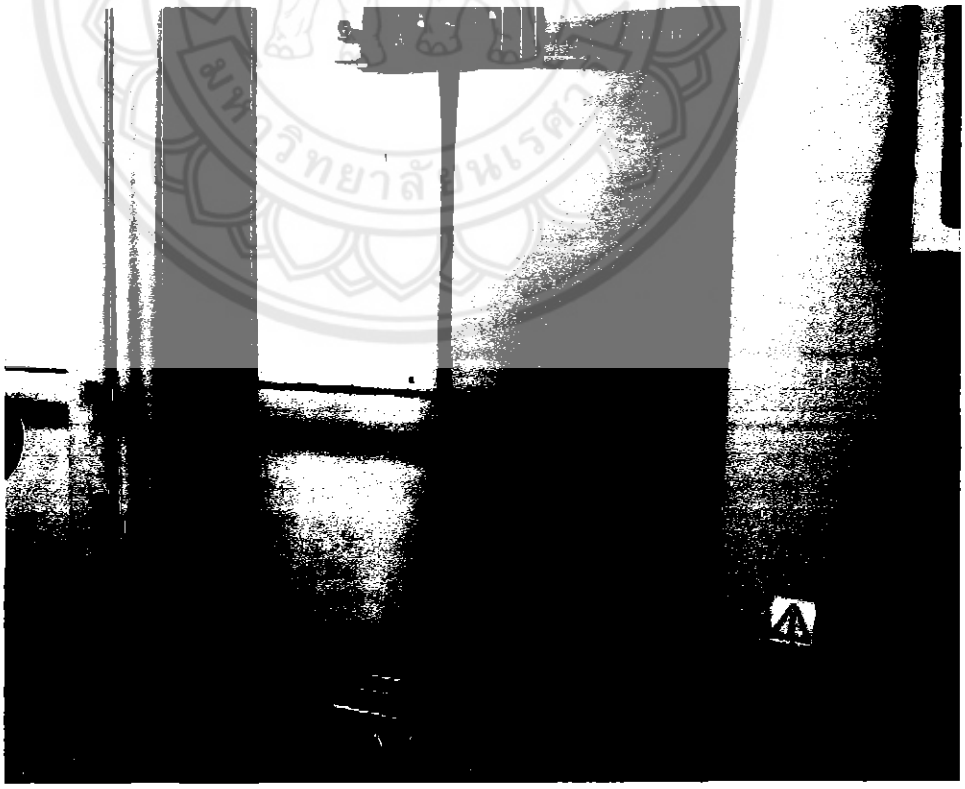
รูปที่ ค.8 รูปขณะที่กำลังลอกยางออกมาเป็นแผ่นแต่ยางติดลูกกลิ้ง



รูปที่ ค.9 รูปพอลิเมอร์ผสมที่ลอกออกมาไม่เป็นแผ่นเพราะติดลูกกลิ้ง

รูปที่ ค.10 ชิ้นงานที่สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นได้

รูปที่ ค.11 ชิ้นงานที่ผ่านการอัดขึ้นรูปก่อนการนำมาทดสอบแรงดึง



รูปที่ ค.12 ภาพแสดงขณะทำการทดสอบแรงดึง

รูปที่ ค.13 รูประหว่างทำการทดสอบแรงดึง

ภาคผนวก ง

ผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ผลการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

ปัจจัย		ผลการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง (MPa)																	
		ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2						ครั้งที่ 3					
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
150	5	5.309	6.123	5.443	5.542	5.651	5.614	6.111	5.103	4.406	6.002	6.357	5.596	6.551	6.117	4.772	6.402	6.221	6.013
150	10	5.112	5.775	6.233	5.451	6.761	5.866	5.763	5.416	6.213	5.231	4.501	5.425	5.453	6.609	4.413	5.089	4.793	5.271
150	15	4.103	5.225	6.534	5.384	5.376	5.324	5.911	6.095	5.875	5.643	5.126	5.730	5.045	5.682	5.232	5.991	5.897	5.569
150	20	5.183	5.435	6.283	5.315	6.561	5.755	5.773	6.105	6.163	5.468	6.715	6.045	5.853	6.745	6.273	5.137	5.121	5.826
160	5	5.145	5.556	6.396	6.402	5.731	5.846	5.905	6.049	5.776	5.995	5.058	5.757	5.265	5.167	6.046	6.252	5.008	5.548
160	10	6.977	5.487	6.349	6.701	5.067	6.116	6.041	4.591	5.559	5.403	5.544	5.428	6.011	5.032	6.454	5.791	5.501	5.758
160	15	5.993	5.535	7.298	6.051	6.156	6.207	7.078	6.075	6.476	5.071	6.256	6.191	6.193	5.575	6.998	6.801	6.026	6.319
160	20	6.003	5.303	6.927	6.155	7.254	6.328	6.763	7.045	6.123	5.809	5.554	6.259	5.093	6.335	7.235	6.695	7.214	6.514
170	5	6.736	6.755	7.903	7.878	7.151	7.285	7.196	6.655	6.403	7.198	6.051	6.701	7.077	6.065	7.603	7.008	7.036	6.958
170	10	8.033	6.205	6.354	7.901	8.764	7.451	8.142	7.614	7.934	6.501	6.964	7.431	7.305	6.085	7.754	7.301	6.864	7.062
170	15	8.803	7.998	8.727	8.551	7.006	8.217	7.945	7.088	8.665	7.891	6.156	7.549	7.345	8.668	8.605	7.091	7.756	7.893
170	20	6.867	7.009	7.103	7.175	7.642	7.159	6.997	7.093	7.923	7.045	8.149	7.441	7.507	7.993	6.523	6.945	7.745	7.343
180	5	6.264	7.556	7.113	7.842	7.761	7.307	6.434	7.633	6.613	7.232	6.221	6.827	7.534	7.056	8.563	7.432	6.631	7.443
180	10	6.695	6.341	7.309	8.561	7.041	7.189	7.092	6.249	8.509	7.662	8.107	7.524	7.091	7.341	6.934	6.761	5.967	6.819
180	15	6.993	6.535	7.188	7.061	7.106	6.977	7.203	6.635	6.998	7.957	8.486	7.456	7.193	7.935	6.708	6.751	6.456	7.009
180	20	6.623	7.345	7.463	7.891	7.119	7.288	7.343	8.515	7.032	8.655	6.654	7.640	7.743	6.945	7.989	6.855	7.494	7.405

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

ปัจจัย		ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น (mm)																	
อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2						ครั้งที่ 3					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
150	5	167.534	130.675	175.897	170.421	165.731	162.052	207.004	187.890	162.776	149.992	175.038	176.540	187.065	146.067	162.446	169.552	175.008	168.028
150	10	161.823	190.341	180.590	145.890	177.865	171.302	188.001	179.391	145.559	187.063	197.555	179.514	178.111	181.731	179.854	188.891	197.001	185.118
150	15	131.990	163.210	179.998	202.145	170.356	169.540	180.778	189.985	132.478	214.976	210.356	185.715	120.093	155.575	189.998	154.101	170.026	157.959
150	20	131.153	122.045	164.230	183.908	195.879	159.443	153.663	152.045	176.123	198.009	187.554	173.479	155.693	139.545	164.235	178.695	187.334	165.100
160	5	157.966	163.876	180.993	218.078	207.051	185.593	204.096	239.655	219.493	188.098	203.551	210.979	190.777	203.655	259.693	208.098	266.031	225.651
160	10	203.129	128.860	237.512	201.701	191.664	192.573	234.925	189.415	219.854	192.501	198.964	207.132	194.905	216.985	200.254	197.401	191.964	200.302
160	15	220.103	148.711	221.127	198.451	249.076	207.494	203.445	200.988	251.665	276.991	177.456	222.109	223.345	160.668	221.665	209.991	217.456	206.625
160	20	180.487	199.309	200.791	212.045	207.542	200.035	186.907	177.993	194.223	172.945	201.049	186.623	246.907	209.093	194.223	192.945	167.845	202.203
170	5	216.895	225.556	207.213	199.542	264.434	222.728	267.534	209.333	248.113	220.132	185.221	226.067	179.534	278.556	204.663	269.432	285.731	243.583
170	10	290.875	260.909	279.009	298.749	228.441	271.597	289.092	220.249	281.209	250.462	274.367	263.076	249.991	206.341	151.234	277.761	169.067	210.879
170	15	299.642	266.809	308.887	257.761	290.356	284.691	260.903	276.535	284.098	284.557	273.086	275.836	203.993	246.535	279.908	250.851	284.356	253.129
170	20	294.967	289.535	287.456	301.897	288.598	292.491	242.043	244.215	267.232	288.355	257.554	259.880	285.943	279.045	294.883	258.355	270.494	277.744
180	5	202.340	245.100	237.871	251.349	217.188	230.770	167.534	279.333	198.113	290.132	295.221	246.067	202.534	198.556	304.663	279.432	285.731	254.183
180	10	318.123	285.710	299.043	301.194	276.441	296.102	289.092	290.249	301.209	280.462	254.367	283.076	289.991	276.341	251.234	207.761	259.067	256.879
180	15	280.190	292.681	279.870	283.961	279.191	283.179	290.903	236.535	284.098	294.557	293.086	279.836	283.993	286.535	229.908	210.851	294.356	261.129
180	20	264.570	259.010	263.885	266.724	244.919	259.822	242.043	274.215	267.232	268.355	297.554	269.880	285.943	279.045	254.883	298.355	270.494	277.744