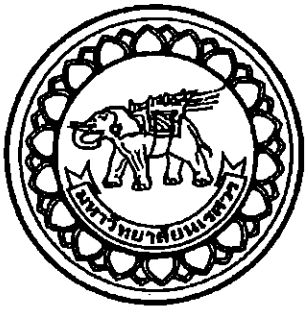


การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

EXPERIMENTAL DESIGN TO STUDY THE PROPERTIES OF THE POLYMER'S BLEND OF POLYPROPYLENE WITH LOCAL NATURAL RUBBER

นางสาวณัฐสุตา แสนประสิทธิ์ รหัส 50360968

นางสาววราภรณ์ ศรประสิทธิ์ รหัส 50381376

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 1551582
เลขเรียกหนังสือ ว.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ณ371 ก 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวณัฐสุดา แสนประสิทธิ์ รหัส 50360968
นางสาววราภรณ์ ศรประสิทธิ์ รหัส 50381376

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	การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวณัฐสุดา แสนประสิทธิ์ รหัส 50360968
	นางสาววราภรณ์ ศรประสิทธิ์ รหัส 50381376
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2553

.....

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น มีจุดมุ่งหมายในการออกแบบการทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ถูกต้องตามหลักการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยทำการศึกษาผลกระทบของค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น โดยทำการเลือกปัจจัย 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป ซึ่งมี 5 ระดับ คือ 100, 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปมี 5 ระดับ คือ 5, 10, 15 และ 20 นาที นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นการทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นจึงเกิดการเกี่ยวพันกันได้ดีทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและค่าความทนทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงและเมื่อเวลาในการอัดขึ้นรูปลดลงจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการได้รับความร้อนในขณะอัดขึ้นรูปเป็นเวลานาน ทำให้ขนาดวัฏภาคของ PP เล็กลงและกระจายตัวได้ดีในวัฏภาคของยาง เป็นผลทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มมาถึงจุดสูงสุดแล้ว หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นจะมีค่าแปรผกผันกับค่าความทนทานต่อแรงดึง ในการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ คือ ค่าความทนทานต่อแรงดึง = $1.945+(0.430\times10^{-3}$อุณหภูมิ) $+(9.950\times10^{-2}$เวลา) $-(0.075\times10^{-2}$อุณหภูมิ*เวลา) และอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่เปลี่ยนไปมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นและการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น = 396.784–(0.500อุณหภูมิ) - (12.792เวลา) + (0.079อุณหภูมิ*เวลา) จากการทำการศึกษาพบว่าชิ้นงานมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำแต่มีค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นสูง จึงเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดหยุ่นสูง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ อาจารย์อาภาภรณ์ จันทร์ปิรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

อาจารย์นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์อดิศักดิ์ ไสยสุข อาจารย์วัฒนชัย เยาวรัตน์ อาจารย์สุชาดา อยู่แก้ว และอาจารย์อิศราวุธ ประเสริฐสังข์ที่กรุณาสละเวลาเป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานนี้

ครูช่างประเทือง โมรารายา ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง และครูช่างวาฤทธิ์ ภมร ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงงาน อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมืออย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงงานนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
ณัฐสุดา แสนประสิทธิ์
วราภรณ์ ศรประสิทธิ์

เมษายน 2554

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินการโครงงาน 3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการโครงงาน 3
1.8 แผนการดำเนินการโครงงาน 3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.2 เทอร์โมพลาสติกอิลาสเมอร์ 5
2.3 ยางธรรมชาติ 6
2.4 พอลิพรอพิลีน 8
2.5 สารเคมีสำหรับยาง 9
2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ 12
2.7 การออกแบบการทดลอง 26
2.8 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง 29
2.9 เครื่องอัดขึ้นรูป 29
2.10 การทดสอบพลาสติกด้วยแรงดึง 30

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 32
3.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การออกแบบการทดลอง 32
3.3 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในโครงงาน 34
3.4 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินโครงงาน 35
3.5 วิธีดำเนินการทดลอง 36
3.6 สรุปผลการทดลอง 42

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 43
4.1 การวิเคราะห์ผลการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม 43
4.2 วิเคราะห์ทางสถิติของค่าทนทานต่อแรงดึง 44
4.3 วิเคราะห์ทางสถิติของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น 50

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 55
5.1 สรุปผลการทดลอง 55
5.2 ข้อเสนอแนะ 57

เอกสารอ้างอิง 58

ภาคผนวก ก 59
ภาคผนวก ข 70
ภาคผนวก ค 72
ภาคผนวก ง 75
ภาคผนวก จ 85

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 88

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์ (Y) กับตัวแปรพยากรณ์ (X) 17

2.2 สมการเส้นตรงของการถดถอยเมื่อ b มีค่าแตกต่างกัน 23

2.3 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก 30

3.1 ภาพแสดงแม่พิมพ์ 35

3.2 ภาพแสดงเครื่องชั่ง 35

3.3 ภาพแสดงเครื่องบดสองลูกกลิ้ง 36

3.4 ภาพแสดงเครื่องอัดขึ้นรูป 36

3.5 แสดงภาพส่วนประกอบในการทดสอบแรงดึง 39

3.6 แสดงภาพมาตรฐาน ASTM D 638 40

4.1 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าความทนทานต่อแรงดึง 45

4.2 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยของค่าความทนทานต่อแรงดึง 47

4.3 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย 48

4.4 กราฟแสดงกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าความทนทานต่อแรงดึง 50

4.5 กราฟแสดงผลของปัจจัยหลักของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น 52

4.6 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย 53

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

MPa	=	mega pascal
kg/cm^2	=	kilogram per spuar centimeter
PP	=	polypropylene
NR	=	natural rubber
rpm	=	revolution per minute
cm	=	centimeter
ASTM D638	=	American Standard
kN	=	kilo newton
mm/min	=	millimeter per minute
ANOVA	=	Analysis of variance
UTM	=	Universal Testing Machine
Phr	=	per hundred rubber
DF	=	Degree of Freedom
SS	=	Sum of Squares
MS	=	Mean Square
F	=	F-Value
P	=	P-value
TPE_s	=	Thermoplastic Elastomer

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณภาพของยางมากขึ้น โดยเฉพาะมีการนำเทอร์โมพลาสติกผสมกับยางในการผลิตพอลิเมอร์ผสม หรือเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers, TPE_s) ซึ่งเป็นการรวมสมบัติของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และสมบัติยืดหยุ่นของยาง (Rubbers) มาไว้ด้วยกัน สามารถเตรียมโดยใช้กับเครื่องมือในการผลิตเทอร์โมพลาสติกทั่วไป ง่ายต่อกระบวนการขึ้นรูปและกระบวนการเตรียม มีขั้นตอนการผลิตน้อยกว่ายางสังเคราะห์ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นจึงมีต้นทุนต่ำและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ จากสมบัติดังกล่าวทำให้ TPE_s เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมาก เช่น ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ รองเท้า และเครื่องใช้ เป็นต้น จึงมีปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้นสูงทุกปี โดยเฉพาะการผลิตเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากวัตถุดิบภายในประเทศเชิงอุตสาหกรรม

เทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้กันมากที่สุดชนิดหนึ่งในทางการค้า คือ พอลิพรอพิลีนด้วยสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนที่ดี น้ำหนักเบา ราคาถูก แต่มีความแข็งและเปราะ ดังนั้นจึงนำยางธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเด่นด้านความเหนียวติดกันที่ดี แข็งแรง ยืดหยุ่น สามารถรับแรงดึงหรือแรงกดอัดได้สูง ความร้อนสะสมในขณะการใช้งานต่ำ เป็นต้น รวมไปถึงขณะนี้ภาคเหนือตอนล่างเริ่มมีการส่งเสริมการปลูกยางธรรมชาติมากขึ้น จึงเป็นที่น่าสนใจในการที่จะนำยางธรรมชาติในภาคเหนือตอนล่างมาทำการทดลอง วิจัย และพัฒนาคุณสมบัติเพื่อเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติในภาคเหนือตอนล่าง

ดังนั้นคณะผู้จัดทำโครงงานวิจัยจึงสนใจเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ของการเบลนด์ (blend) เทอร์โมพลาสติกยางธรรมชาติ (Thermoplastic Natural Rubber, TPNR) ระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) กับยางธรรมชาติ (NR) หรือเรียกว่า PP:NR ซึ่งในขั้นตอนของการเตรียมพอลิพรอพิลีนผสมยางธรรมชาติ มีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:NR ได้แก่ ชนิดของยาง เกรดของยาง ลำดับการผสมสารเคมี สารเคมี (สารเชื่อมโยง สารเร่งการเชื่อมโยง สารกระตุ้น สารตัวเติม) สภาวะในการผสม (อุณหภูมิ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง อัตราส่วนการผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งของเครื่องบดผสม) และการอัดขึ้นรูป (อุณหภูมิ ความดัน เวลา) ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำโครงงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติคืออุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติภายในท้องถิ่น

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์การทดลอง เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเวลาของกระบวนการอัดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมการแสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการของการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ศึกษาอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการของการอัดขึ้นรูปต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติ

1.5.1 ทำการผสมพอลิพรอพิลีน

1.5.1.1 พอลิพรอพิลีน เกรด 700J

1.5.1.2 ยางธรรมชาติในท้องถิ่น (ชนิดยางแผ่นตากแห้ง : ยางดิบเกรด 2)

1.5.1.3 เวลาที่ใช้ในการบดผสมเข้ากันได้ดี

1.5.1.4 ความเร็วที่ใช้ในการบดผสมลูกกลิ้งหน้าต่อหลัง 1:1.2

1.5.1.5 อุณหภูมิที่ใช้ในการบดผสมลูกกลิ้งหน้าต่อหลัง 100-160 องศาเซลเซียส

1.5.1.6 เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 5-20 นาที

1.5.1.7 ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

1.5.1.8 อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 100-160 องศาเซลเซียส

1.5.1.9 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

1.5.1.10 ซัลเฟอร์ (Sulphur)

1.5.1.11 กรดสเตียริก (Stearic Acid)

1.5.2 ทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับยางธรรมชาติ โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Tensile Testing Machine) และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่กรกฎาคม 2553 – เมษายน 2554 เป็นระยะเวลา 9 เดือน

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
1	จัดทำข้อเสนอโครงงาน	←	→								
2	ศึกษาข้อมูลและคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก คือ พอลิพรอพิลีนและยางธรรมชาติ		←	→							
3	ศึกษาระบบการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง			←	→						
4	ดำเนินการทำการทดลอง				←	→					
5	นำชิ้นงานมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกล					←	→				
6	วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ						←	→			
7	สรุปผลการดำเนินงาน จัดทำรายงาน ส่งเอกสารฉบับสมบูรณ์								←	→	

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ ทำการศึกษาการเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน กล่าวคือเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPE_s) เตรียมโดยวิธีการไดนามิควัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนที่อัตราส่วนต่างๆ ในการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนจะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการผสมระหว่างยางธรรมชาติ กับพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) ต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติทางวิทยากระแส สมบัติทางความร้อน และยังรวมไปถึงปัจจัยที่ใช้ในการขึ้นรูป (Processing Conditions) ของการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมโดยใช้เครื่องฉีด (Injection Molding) โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการฉีด (Injection Speed) และอุณหภูมิในการฉีด ต่อสมบัติของชิ้นงานฉีด ได้แก่ ความแข็ง อุณหภูมิการบิดงอ ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา และสมบัติทางกลพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ จะถูกใช้ในการศึกษานี้เพื่อดูผลกระทบต่อสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นด้วย

สุจิรา สารลึก งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติและพอลิพรอพิลีน โดยการเตรียมและสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกระหว่างยางธรรมชาติ (NR) และพอลิพรอพิลีน (PP) หรือเรียกว่า ทีพีเอ็นอาร์ (Thermoplastic Natural Rubber, TPNR) โดยได้เลือกสูตรการผสมระหว่าง NR/PP ที่อัตราส่วน 60/40 โดยน้ำหนัก TPNR สามารถเตรียมได้จากการนำยางธรรมชาติผสมสูตรใส่ในเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้งแล้วนำมาผสมกับ PP ในเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 170 °C และความเร็วรอบโรเตอร์ 50 รอบต่อนาที ด้วยเทคนิคการบดผสมแบบหลอมเหลว (Melt blending) และการเชื่อมโยงกันแบบพลวัต (Dynamic vulcanization) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป และเน้นการศึกษาผลของดรรชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ของ PP ระหว่าง MFI 3.5 และ MFI 10 และปรับปรุงสมบัติของ TPNR โดยใช้สารเชื่อมโยงไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) สารตัดสายโซ่ และสารช่วยผสม คือ ยางธรรมชาติที่ผ่านปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenated Natural Rubber, HNR) โดยจะศึกษาสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า TPNR ที่เตรียมจาก PP MFI 3.5 และปริมาณ DCP 0.3 phr. เป็นสูตรผสมที่เหมาะสมในการเตรียม TPNR และพบว่าการเติมสารตัดสายโซ่ทำให้สมบัติเชิงกลของ TPNR ลดลง จากการศึกษาผลของการเติมสารช่วยผสม HNR พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ยังมอดูลัส และความแข็งกดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น

ยิ้มศิริ ปิยฉัตร โครงงานนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) มาทดแทนการใช้ยางสังเคราะห์แซนโตพรีน (santoprene, SP) โดยคุณสมบัติที่ทำการศึกษาคือ คุณสมบัติทางกลและทางอุณหภูมิ ซึ่งได้แก่ความแข็งแรง (tensile strength) การยืดตัว (% elongation) ความแข็ง (hardness) อุณหภูมิการหลอมตัว (melting temperature, Tm) และอุณหภูมิการเกิดผลึก (crystallinity temperature, Tc) จากการศึกษาพบว่าการใช้ NR เพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะทำให้ได้คุณสมบัติเทียบเท่ายาง SP ได้ ถึงแม้จะทำการวัลคาไนซ์แล้วก็ตาม เนื่องจากยาง SP เป็นยางชนิดเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer: TPE) ซึ่งประกอบไปด้วยยาง Ethylene Propylene Diene Monomer (EDPM) ที่วัลคาไนซ์กระจายตัวอยู่ในแมทตริกของพลาสติกชนิดโพลีโพรพีลีน (Polypropylene, PP) เมื่อนำยาง NR มาผสมกับ PP พบว่าคุณสมบัติเชิงกลดีมาก เมื่อเพิ่มปริมาณ PP จะทำให้ค่าความแข็งแรงและความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ทำให้การยืดตัวมีค่าลดลง ที่อัตราส่วนระหว่าง NR:PP ที่ 90:10 ให้คุณสมบัติทางกลดีที่สุด แต่ทั้งนั้นยังไม่ดีเท่า ยาง SP จึงมีการผสมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ลงไปและพบว่า $CaCO_3$ ที่ความเข้มข้น 10 phr และ 20 phr ทำให้ยางผสมนี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับยาง SP แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการทดแทน SP ด้วยยาง NR

2.2 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer, TPE_s)

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์เป็นการรวมสมบัติของเทอร์โมพลาสติกและยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์มาไว้ด้วยกัน TPE_s มีลักษณะคล้ายยาง นิ่มตัว ยืดหยุ่นได้ แต่สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งคล้ายเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนและกลับมาสู่สถานะของแข็งเมื่อได้รับความเย็น

2.2.1 โครงสร้างของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

ประกอบด้วยสองส่วน คือ

2.2.1.1 ส่วนแข็ง (Hard segment)

ซึ่งเป็นส่วนของเทอร์โมพลาสติกที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิใช้งาน แต่สามารถเป็นของไหลได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิขึ้นรูป ส่วนของแข็งมีความสำคัญในการสร้างบริเวณแข็ง (Rigid region) ที่ทำหน้าที่คล้ายกับการเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical crosslink)

2.2.1.2 ส่วนอ่อน (Soft segment)

มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) คล้ายยาง มีอิสระในการเคลื่อนที่ได้มากกว่าส่วนแข็งและมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ที่ต่ำ ทำให้ TPE_s มีความยืดหยุ่นคล้ายยาง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างต่ำส่วนแข็งทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงทางกายภาพ ยึดให้สายโซ่โมเลกุลที่ยืดหยุ่นของส่วนอ่อนคล้ายโครงสร้างร่างแหสามมิติของยางที่มีการเชื่อมโยงด้วยปฏิกิริยาเคมีหรือวัลคาไนเซชัน แต่ส่วนโครงสร้างส่วนแข็งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงย้อนกลับไปได้เมื่อให้ความร้อน

2.2.2 ชนิดของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPE_s) สามารถแบ่งได้เป็น 6 ประเภท คือ

2.2.2.1 เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyolefin Elastomers, TPO_s)

เป็นพอลิเมอร์ผสมเชิงกลระหว่างพอลิโอเลฟินกับอิลาสโตเมอร์ เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (PP) กับยางเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีนมอนอเมอร์ (Ethylene-Propylene-Diene Monomer, EPDM)

2.2.2.2 เทอร์โมพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Poly (vinyl chloride) Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ผสมของพอลิไวนิลคลอไรด์กับอิลาสโตเมอร์

2.2.2.3 เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyester Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกซึ่งประกอบด้วยส่วนแข็งและส่วนอ่อน โดยส่วนแข็งคือพอลิอัลคิลีนเทอเรพทาเลต และส่วนอ่อนคือพอลิอัลคิลีนอีเทอร์

2.2.2.4 เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic –Polyure thane Elastomer)

เป็นแบบพอลิเมอไรเซชัน แบบที่ขั้นระหว่างไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกับไดไอโซไซยาเนต ส่วนอ่อนจะเป็นแมคโครไกลคอล ซึ่งอาจเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์หรืออีเทอร์ก็ได้ สำหรับส่วนที่แข็งเป็นผลิตผลที่เกิดจากปฏิกิริยาของไกลคอลและไดไอโซยาเนต

2.2.2.5 เทอร์โมพลาสติกพอลิเอไมด์อิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polymide Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบบล็อกที่มีพอลิอีเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์ ส่วนแข็งคือพอลิเอไมด์และส่วนอ่อนเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์

2.2.2.6 เทอร์โมพลาสติกพอลิสไตรีน-ไดอีนอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic – Poly (styrene-diene) Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมมีลักษณะแบบบล็อกที่มีความหนืดหลอมเหลวสูงมาก ส่วนที่เป็นอิลาสโตเมอร์ คือ โมเลกุลที่มีพันธะคู่ ส่วนแข็งคือพอลิสไตรีน

2.3 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) จัดเป็นอิลาสโตเมอร์ (Elastomer) ซึ่งมีสมบัติที่ยืดหยุ่น โดยจะยืดตัวออกมาเมื่อได้รับแรง และสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมเมื่อหยุดให้แรงกระทำ NR สาย

พันธุ์ฮีเวียบราซิลลิซิส (Hevea Braziliensis) เป็นสายพันธุ์ที่สำคัญที่สุด โครงสร้างโมเลกุลของ NR เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรง ประกอบด้วย 2 ธาตุ คือ คาร์บอนและไฮโดรเจน ที่มีหน่วยซ้ำๆ กัน (Repeating unit) เป็น C_5H_8 ที่มีการจัดเรียงตัวลักษณะแบบซีส-1-4-พอลิไอโซพรีน (Cis-1, 4-polyisoprene) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 50,000-3,000,000 กรัม/โมล

การที่ยางเป็นวัสดุที่นิยมใช้ และมีการประยุกต์ใช้งานอย่างมาก เนื่องจากยางมีคุณสมบัติที่เด่น คือ

- มีสมบัติการยืดหด (Elastic) และยืดหยุ่น (Flexible)
- มีความเหนียว (Tough) และแข็งแรง
- มีการซึมผ่านของน้ำและก๊าซต่ำ
- สามารถรับแรงดึงหรือแรงกดอัดได้สูง
- สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างมากเมื่อได้รับแรงกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้อย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยแรง

เนื่องจากในผลิตภัณฑ์ยางมีองค์ประกอบหรือสูตรยาง (Compound formula) แตกต่างกันไป เช่น สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent) สารเร่งการเชื่อมโยง (Accelerators) สารกระตุ้น (Activator) สารตัวเติม (Filter) สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) ฯลฯ ชนิดและปริมาณของสารเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อสมบัติของยาง นอกจากนี้ วิธีและสภาวะการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เช่น อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป มีความสำคัญและมีผลต่อสมบัติของยางเช่นกัน

2.3.1 ยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติก

ยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Natural Rubber, TPNR) เป็นวัสดุที่เกิดจากการผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับยางธรรมชาติ การพัฒนายางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกได้เริ่มจากการผสมยางเอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีนมอนอเมอร์ (Ethylene=Propylene-Diene Monomer, EPDM) กับเทอร์โมพลาสติก ต่อมาได้พัฒนาผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโอเลฟินซึ่งมีเทอร์โมพลาสติกที่เหมาะสมจำนวนมาก จากการวิจัยพบว่ามีการเตรียมและการประเมินคุณค่าของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกเริ่มในช่วงปี พ.ศ. 2503 ณ Malaysian Rubber Producers' Research Association (MRPRA) ในลอนดอน

ยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกได้จัดเป็น TPE_s อีกประเภทหนึ่งที่มีจุดเริ่มต้นมาจากความพยายามค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติอยู่ระหว่างยางและพลาสติก คือ สามารถขึ้นรูปหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกทั่วๆ ไป เช่น การอัดรีด (Extrusion) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การเป่าขึ้นรูป (Blow molding) ซึ่งกระบวนการในการขึ้นรูป TPE_s นั้นมีเพียงขั้นตอนเดียวเมื่อเทียบกับยางเทอร์โมเซตที่ใช้ในขั้นตอนในการขึ้นรูปหลายขั้นตอน

นอกจากนั้นยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติก มีสมบัติพิเศษคือมีสมบัติยืดหยุ่น และสามารถโค้งงอ (Flexibility) มีการกระดอนหรือเด้งตัว (Resilience) ดี มีสมบัติเฉพาะตัวของยาง TPE_s มีค่าความแข็งแรงกดอยู่ในช่วงระหว่างยางกับพลาสติก

ยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติที่เด่นกว่าวัสดุอื่นดังนี้

- มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำจะดีกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิยูริเทน และพวกพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ
- มีความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าพอลิพรอพิลีน
- มีความหนาแน่นต่ำกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิยูรีเทน และมีราคาถูกกว่าพอลิยูรีเทน
- มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่ายางเชื่อมโยง
- สามารถทนทานต่อน้ำมันและสารเคมีได้ดี

จากสมบัติข้างต้นที่กล่าวมา จึงมีการนำยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ได้ดี

2.4 พอลิพรอพิลีน

ในปี พ.ศ. 2497 แนตทา (Natta) ได้นำตัวเร่งที่ซีเกลอร์ (Ziegler) ที่ได้ค้นพบมาใช้ในการเตรียมพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) โดยปรับปรุงรูปแบบของการเร่งและได้ PP ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไป ซึ่งมีผลทำให้สมบัติแตกต่างกันออกไป เช่น ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนที่มีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีน แต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่า และแข็งแรงกว่า ส่วนแบบอื่นๆ เป็นอะแทกติกพอลิพรอพิลีนมีส่วนสัณฐานทำให้ความแข็งแรงน้อยลง โครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ของพอลิพรอพิลีนมีหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะบนโซ่หลักของโมเลกุล (Main chain) PP สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่โมเลกุลหลักได้แก่

- ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic polypropylene)
- ซินดิโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic polypropylene)
- อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene)

สมบัติของพอลิพรอพิลีน

- ความหนาแน่นประมาณ 0.9 กรัม/ลบ.ซม
- มีน้ำหนักเบา
- จุดหลอมเหลวปานกลาง 130-170 องศาเซลเซียส
- ไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
- มีความทนต่อกรดและเบส
- เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี
- มีความเป็นผลึกสูงทำให้มีสมบัติเชิงกลดี

ข้อดีของพอลิพรอพิลีน

- มีความเหนียว
- มีน้ำหนักเบา ราคาถูก
- สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี
- มีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยา
- ทนต่อสารเคมี เช่น กรดและเบส
- ดูดซับน้ำต่ำ
- มีความโค้งงอดีเยี่ยม

ข้อด้อยของพอลิพรอพิลีน

- สลายตัวต่อรังสีอุลตร้าไวโอเลต
- ไม่ทนต่อสภาพแวดล้อม
- ติดไฟง่าย

2.5 สารเคมีสำหรับยาง

สารเคมีที่ผสมลงไปในยางเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีแล้วนี้ยังไม่อาจนำไปใช้งานได้เว้นแต่สารเคมีเหล่านั้นทำปฏิกิริยากับยางก่อน การให้สารเคมีเข้าไปทำปฏิกิริยากับยางสามารถเร่งได้ด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีเรียกว่า ยางไม่คงรูปหรือยางไม่เชื่อมโยง (Green compound หรือ Uncured rubber) ส่วนยางที่สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยางแล้ว เรียกว่า ยางคงรูปหรือยางเชื่อมโยง (Cured compound หรือ Vulcanized rubber หรือ Cured rubber)

การผสมสารเคมีเข้าไปในยางเพื่อแก้ข้อเสียของยาง ซึ่งข้อเสียของยางคือ

- ยางมีคุณสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอิลาสติก สมบัติเป็นพลาสติก คือความสามารถที่ยางพยายามรักษารูปร่างที่ได้เปลี่ยนไปตามแรงกระทำ ส่วนสมบัติเป็นอิลาสติก คือความสามารถที่ยางพยายามรักษารูปร่างเดิมก่อนที่เกิดการเปลี่ยนไปตามแรงกระทำ การที่ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอิลาสติกนี้ ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้งานได้โดยตรง

- ยางเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีอุณหภูมิต่ำ ยางแข็งกระด้างแตกหักได้ง่าย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางนิ่มไหลแปรรูปไป การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้ยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด

- ยางมีความแข็งแรงต่ำ มีความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการสึกหรอได้ต่ำ

- ยางมีราคาแพง การนำยางมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้เนื้อยางล้วนๆ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ถ้าสามารถผสมสารราคาถูกลงไปได้จะทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง

- ยางสามารถละลายได้ในตัวทำละลายหลายชนิดในการใช้งานของยางจึงจำเป็นต้องผสมสารเคมีลงไปเพื่อแก้ข้อเสียเหล่านี้เพื่อทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น ช่วยในการแปรรูป และเพื่อลดต้นทุนการผลิต

2.5.1 สารเชื่อมโยง

วัลคาไนเซชัน (Vulcanization) หรือการเชื่อมโยง (Crosslinking) เป็นสิ่งที่จำเป็นที่สุดอย่างหนึ่งของกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปต่างๆ ของยางไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ถ้ายางไม่ผ่านการทำให้ยางสุกหรือวัลคาไนซ์ เพราะยางไม่แข็งตัว ไม่คงรูป ไหลได้เสียสภาพเหนียวติด (Sticky) ไม่สามารถรับแรงหรือเปลี่ยนรูปร่างอย่างมากได้

ในการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ ต้องนำยางมาทำการเชื่อมโยงหรือการวัลคาไนเซชัน บางครั้งอาจเรียกว่า การทำให้ยางสุก (Curing) หรือทำให้ยางคงรูปได้ การเชื่อมโยงสามารถทำได้โดยการผสมสารเคมี คือ "สารเชื่อมโยง" ได้แก่ กำมะถัน (Sulphur) เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) หรือสารประกอบออกไซด์ของโลหะบางชนิด ที่นิยมใช้สารเร่งการเชื่อมโยง (Accelerators) และสารกระตุ้น (Activators) ผสมเข้ากับยาง แล้วทำให้ได้อุณหภูมิภายหลังการขึ้นรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อุณหภูมิสูงจะทำให้สารเชื่อมโยงต่างๆ เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันเชื่อมโยงโครงสร้างโมเลกุลของยาง เปลี่ยนโครงสร้างจากสายโซ่ตรงให้เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ มีเสถียรภาพรูปร่างและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น การเชื่อมโยงทำให้ยางมีสมบัติเปลี่ยนไปกล่าวคือ

- มีค่าความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น
- มีค่ามอดูลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น
- มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ดีขึ้น
- มีฮิสเตอริซีล (Hyseresis) ลดลง
- มีเซต (Set) หรือมีการเปลี่ยนขนาดถาวรเมื่อได้รับแรงลดลงหรือมีเสถียรภาพของรูปร่างสูงขึ้น
- เปลี่ยนเป็นเทอร์โมเซต ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ทนต่อความร้อน แสงแดด และมีอายุการใช้งานนานขึ้น

2.5.2 สารเร่งการเชื่อมโยง

สารเร่งการเชื่อมโยง (Accelerators) คือสารเคมีที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงให้อัตราเร็วการเชื่อมโยง (Cure rate) เร็วขึ้น และทำให้เวลาเชื่อมโยง (Cure time) สั้นลง การเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้กำมะถันในปริมาณน้อยลง

2.5.3 ชนิดของสารเร่งการเชื่อมโยง

สารเร่งการเชื่อมโยงมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น เวลาเริ่มการเกิดการเชื่อมโยงหรือเวลาสกอร์ช อัตราเร็วในการเชื่อมโยง (Cure rate) เวลาในการเชื่อมโยงสมบูรณ์ ความสามารถในการละลายในยาง ความเป็นพิษ (Toxicity) เป็นต้น ดังนั้นการเลือกชนิดของสารเร่งที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมากต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

ในการใช้งานสารเร่งในอุตสาหกรรมยางอาจใช้สารเร่งมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกัน สารเร่งที่ใช้ปริมาณมากกว่าเป็นสารเร่งหลักหรือ "สารเร่งปฐมภูมิ" (Primary accelerators) ส่วนสารเร่ง

ที่ใช้น้อยกว่าเรียกว่าเป็น "สารเร่งทุติยภูมิ" (Secondary accelerators) หรือคิกเกอร์ (Kickers) สารเร่งทั้งสองอาจเกิดปฏิกิริยาการเสริมกัน หรือเรียกว่า "ปรากฏการณ์ซินเนอร์จิสติก" (Synergistic effects) ทำให้ได้อัตราการเชื่อมโยงที่มากกว่าสารเร่งแต่ละชนิดรวมกัน

มาตรฐาน ASTM ได้แบ่งสารเร่งการเชื่อมโยงเป็น 6 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ซัลฟีนาไมด์ (Sulfenamides)

กลุ่มที่ 2 ไทเอโซล (Thiazoles)

กลุ่มที่ 3 กัวนิดีน (Guanidines)

กลุ่มที่ 4 ไดไทโอคาร์บาเนต (Dithiocarbamates)

กลุ่มที่ 5 ไทยูแรมไดซัลไฟต์ (Thiuram disulfides)

กลุ่มที่ 6 ไทยูแรมชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไดซัลไฟต์ (Thiuram other than - disulfides)

2.5.4 สารกระตุ้น

สารกระตุ้น (Activator) คือสารที่ช่วยเสริมให้สารเร่งการเชื่อมโยงการทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารกระตุ้นอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์เป็นสารกระตุ้นที่สำคัญนิยมใช้คือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ส่วนตะกั่วออกไซด์ (Lead oxide, PbO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxdie, MgO) ก็มีความสำคัญบ้าง สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญนั้นก็คือ พวกกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก (Stearic acid) กรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) และกรดลอริก (Lauric acid) เป็นต้น ซิงค์ออกไซด์ในทางอุตสาหกรรมปริมาณการใช้ซิงค์ออกไซด์ คือ 2-4 phr ได้มีการศึกษาพบว่าปริมาณ ZnO เกิน 4 phr มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการกระตุ้นการเชื่อมโยง นอกจากซิงค์ออกไซด์แล้ว โลหะออกไซด์ตัวอื่นก็อาจใช้เป็นสารกระตุ้นในการวัลคาไนซ์ได้เช่นเดียวกัน

จากการศึกษาพบว่าโลหะออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพพอที่จะเป็นสารกระตุ้นได้ในยางธรรมชาตินั้น สามารถเรียงลำดับความสามารถในการเป็นสารกระตุ้นเรียงจากมากไปหาน้อยได้ตามลำดับนั้นก็คือ ซิงค์ออกไซด์ แคดเมียมออกไซด์ (Cadmium oxid, CdO) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydoxid, $Ca(OH)_2$) และแมกนีเซียมออกไซด์

โดยทั่วไปนิยมใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกระตุ้นในปริมาณตั้งแต่ 3-5 phr แต่ถ้าซิงค์ออกไซด์มีอนุภาคขนาดเล็ก ก็สามารถลดขนาดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้ ซึ่งทำให้ได้ยางที่มีมอดูลัสสูง และได้ยางมีลักษณะโปร่งใส ปริมาณซิงค์ออกไซด์ถ้าใส่เกิน 1 phr ไม่สามารถละลายในยาง และทำให้ยางขาวขุ่นได้ ถ้าใช้ซิงค์ออกไซด์ปริมาณมากกว่า 5 phr ขึ้นไปมักมีจุดมุ่งหมายอื่นนอกจากใช้เป็นสารกระตุ้น คือถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กทำให้ยางมีมอดูลัสสูงขึ้น สามารถรักษารูปทรงขณะทำการเชื่อมโยงในแม่แบบเปิดได้ (Open cure) นอกจากนั้นการใช้ซิงค์ออกไซด์ปริมาณสูง ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางรวดเร็วขึ้นเหมาะแก่การทำยางหนาๆ โดยเฉพาะการเชื่อมโยงแบบใช้อากาศร้อน

2.5.5 กรดไขมัน

นอกจากซิงค์ออกไซด์แล้ว กรดไขมันเป็นสารที่จำเป็นในการใช้เป็นสารกระตุ้นสำหรับสารเร่งการเชื่อมโยงบางตัว โดยเฉพาะพวกไทอาโซล กรดไขมันที่ใช้กันส่วนมากจะเป็นของผสมของกรดอะลิฟาติกอิ่มตัว ที่มีคาร์บอน 12-18 อะตอม ซึ่งประสิทธิภาพของสารกระตุ้นขึ้นกับความยาวโมเลกุล ดังนั้นถ้าโมเลกุลสั้นๆ เช่น กรดคาโพรอิก (Caproic acid) (คาร์บอน 6 ตัว) ที่มีผลในการกระตุ้นน้อยมาก แต่ถ้าโมเลกุลยาวขึ้นแล้วผลการกระตุ้นจะมีมากขึ้น เช่น กรดสเตียริก (คาร์บอน 18 ตัว) ซึ่งมีความสามารถในการกระตุ้นนั้นสูงกว่ากรดคาโพรอิก และกรดเบนฮีนิก (Benhenic acid) (คาร์บอน 22 ตัว) จะมีความสามารถในการกระตุ้นมากกว่ากรดสเตียริก

กรดไขมันที่มีอยู่ในยางธรรมชาติมีปริมาณแตกต่างกันมากซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการเตรียมยาง ดังนั้นโดยทั่วๆ ไปการผสมสารเคมีในยางธรรมชาติทุกครั้งมักใส่กรดสเตียริกประมาณ 1-4 phr เพื่อลดอัตราการเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน

สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบันได้แก่ "ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก" (ZnO/Stcaric acid) เนื่องจากสารมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์ทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็น "ซิงค์สเตียเรต" (Zinc stearate) ซึ่งสามารถละลายได้ในยาง และช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากเป็นซิงค์ไอออน (Zinc ions) ที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

2.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.6.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง หรือ Two-Way ANOVA เป็นวิธีการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่เป็นสิ่งทดลองจำนวน 2 ตัว กับตัวแปรตามเพียง 1 ตัว โดยที่ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีลักษณะเชิงคุณภาพที่จำแนกออกเป็นลำดับหรือประเภทต่างๆ ส่วนตัวแปรตามมีลักษณะเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตาม ตามสมมติฐานการวิจัยที่กำหนดไว้โดยที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง นอกจากจะศึกษาผลของตัวแปรทั้งสองตัวไปพร้อมๆกันแล้ว ยังสามารถศึกษาผลร่วม (Interaction) ระหว่างตัวแปรทั้งสองตัวด้วยว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นตัวหนึ่งนอกจากจะส่งผลต่อตัวแปรตามแล้วยังส่งผลใดๆ ต่อตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอีกตัวหนึ่งหรือไม่

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-Way ANOVA) ตัวแปรอิสระทั้งสองตัวอยู่ในมาตรการวัด Nominal Scales และตัวแปรตามอยู่ในมาตรการวัด Interval Scale ขึ้นไป ในงานวิจัยเชิงทดลองตัวแปรแรกมักจะเรียกว่า องค์ประกอบ A และตัวแปรที่สองมักจะเรียกว่าองค์ประกอบ B ในองค์ประกอบ A จะแบ่งออกเป็น p ระดับ และองค์ประกอบ B จะแบ่งเป็น q ระดับ เราจะเรียกรูปแบบนี้อีกชื่อหนึ่งว่า p x q Factorial Design

สมมติฐาน

H_0 : $a_j = 0$ ทุกค่าของ j (2.1)

H_1 : $a_j \neq 0$ บางค่าของ j

H_0 : $b_k = 0$ ทุกค่าของ k (2.2)

H_1 : $b_k \neq 0$ บางค่าของ k

H_0 : $(ab)_{jk} = 0$ ทุกค่าของ j และ k (2.3)

H_1 : $(ab)_{jk} \neq 0$ บางค่าของ j และ k

$$SS_{TO} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}\right)^2}{npq} \quad (2.4)$$

$$SS_A = \sum_{j=1}^{p} \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}\right)^2}{nq} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}\right)^2}{npq} \quad (2.5)$$

$$SS_B = \sum_{k=1}^{q} \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}\right)^2}{nq} - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}\right)^2}{npq} \quad (2.6)$$

$$SS_{Wcel} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{q} Y_{ijk}^2 - \sum_{j=1}^{p}\sum_{k=1}^{q} \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} Y_{ijk}\right)^2}{n} \quad (2.7)$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{p-1} \quad (2.8)$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{q-1} \quad (2.9)$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(p-1)(q-1)} \quad (2.10)$$

$$MS_{Wcel} = \frac{MS_{Wcel}}{pq(n-1)} \quad (2.11)$$

นำค่าที่ได้มาใส่ลงในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 2.1 การหาค่า F-Test

แหล่งความแปรปรวน	SS	df	MS	F
1. A	SS_A	p-1	MS_A	MS_A / MS_{Wcel}
2. B	SS_B	q-1	MS_B	MS_B / MS_{Wcel}
3. AB	SS_{AB}	(p-1)(q-1)	MS_{AB}	MS_{AB} / MS_{Wcel}
4. Within Cell	SS_{Wcel}	pq(n-1)	MS_{Wcel}	
5. Total	SS_{TO}			

ถ้าค่า F ที่คำนวณมีค่าสูงกว่าค่า F ที่เปิดตารางแสดงว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ

2.6.2 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยประชากร 2 ประชากร หรือ 2 กลุ่ม เช่น เปรียบเทียบยอดขายสินค้า 2 ยี่ห้อ จะใช้สถิติทดสอบ t หรือ Z แต่ถ้าต้องการเปรียบเทียบยอดขายสินค้า 3 ยี่ห้อ การใช้สถิติทดสอบ Z หรือ t จะต้องทำการทดสอบครั้งละ 1 คู่ เช่น ถ้ามี 3 ประชากรจะต้องทดสอบ 3 ครั้ง หรือ 3 คู่ ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (2.12)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_3 \quad (2.13)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_3$$

$$H_0 : \mu_2 = \mu_3 \quad (2.14)$$

$$H_1 : \mu_2 \neq \mu_3$$

จึงมีการนำการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป โดยทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว

สมมติฐานในการทดสอบเป็นดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \qquad (2.15)$$

H_1 : มี $\mu_1 \neq \mu_2$ อย่างน้อย 1 คู่; i, j = 1, 2, 3

ถ้าผลของการทดสอบ คือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ก็จะไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของประชากรใดบ้างที่ต่างกัน อาจจะเป็นประชากรที่ 1 ต่างจาก 2 หรือต่างจาก 3 หรือ 2 ต่างจาก 3 หรือแตกต่างกันทั้ง 3 ประชากรก็ได้ ดังนั้นถ้าผลการทดสอบ คือ ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 จะต้องทำการทดสอบเพิ่มเติมต่อไปว่าประชากรใดบ้างที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน โดยการทดสอบครั้งละคู่ ผลการทดสอบคือ ยอมรับสมมติฐาน H_0 นั้นจะสามารถสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ประชากรไม่แตกต่างกัน จะไม่ต้องทำการทดสอบเพิ่มเติม

2.6.3. หลักของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานซึ่งเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตั้งแต่ค่าของ 3 ประชากร หรือ 3 กลุ่มขึ้นไป คือ การแยกความแปรปรวนหรือความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ความแปรปรวนหรือความผันแปรระหว่างกลุ่มหรือระหว่างประชากร (Between– Group Variability)
- ความแปรปรวนหรือความผันแปรภายในกลุ่มหรือภายในประชากร (Within–GroupVariability) หรือ Total Variability = Between – Group Variability + Within – Group Variability คนละข้อมูลของแต่ละกลุ่มหรือแต่ละประชากรแตกต่างกันทั่วไปปัจจัยหรือตัวแปรที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกันอาจจะมีหลายปัจจัยหรืออาจจะเพียงปัจจัยเดียวหรือการที่ข้อมูลแตกต่างกันเนื่องจากหน่วย ตัวอย่างที่ศึกษาได้รับปัจจัยระดับ

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่ได้รับปัจจัยที่ต่างระดับกันจะทำโดยการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Table) หรือเรียกย่อๆ ว่า ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างระดับปัจจัย โดยตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณและปัจจัยจะต้องเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม

2.6.3.1 ประเภทของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

- การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว หรือ แบบแค่มีปัจจัยเดียว (One – Way ANOVA) การจำแนกข้อมูลด้วยตัวแปรหรือปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวหรือเป็นการวิเคราะห์ความแตกต่างกันของระดับต่างๆ ของปัจจัยที่สนใจนั่นเอง เช่น การคาดว่าปัจจัยที่ทำให้รายได้เฉลี่ย (ตัวแปรเชิงปริมาณ) ต่างกันมีเพียงปัจจัยเดียว คือ อาชีพ (ตัวแปรเชิงกลุ่ม)
- การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายทาง หรือแบบมีอยู่หลายปัจจัย (Multiple – Factors ANOVA) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยการจำแนกหรือแบ่งข้อมูลด้วยปัจจัยตั้งแต่ปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไป และแต่ละปัจจัยก็มีหลายระดับ เช่น ความแตกต่างของ

เงินเดือนเฉลี่ยจะมีอิทธิพลจากสาขาที่จบ เพศ ตำแหน่งงาน เป็นต้น ในที่นี้เงินเดือนเป็นตัวเชิงปริมาณ แต่สาขาที่จบ เพศ และตำแหน่งงานเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม

2.6.3.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยสามารถแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และตัวแปรตาม (Dependent Variable) ผลของการศึกษาจะให้ทราบถึงขนาดของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามและแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ในการวิเคราะห์การถดถอยมักเรียกตัวแปรอิสระว่า ตัวทำนาย (Predictor) หรือตัวกระตุ้น (Stimulus Variable) ส่วนตัวแปรตาม มักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable)

ก. ชนิดของการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยมีหลายชนิดจะขึ้นกับลักษณะของตัวแปรตามรูปแบบความสัมพันธ์และการกำหนดตัวแปรอิสระ (ตัวแปรต้น) ซึ่งโดยทั่วๆ ไปแบ่งการวิเคราะห์การถดถอยได้เป็น 2 ประเภท

ก.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่เป็นตัวแปรอิสระส่วนใหญ่ที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ส่วนตัวแปรตามที่เป็นจะต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณเท่านั้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม สามารถแทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นเชิงเส้น (Linear Model)

ก.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear - Regression) เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่รูปแบบของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามสามารถที่แทนได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear Model) สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเท่านั้นวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น มี 2 แบบ คือ

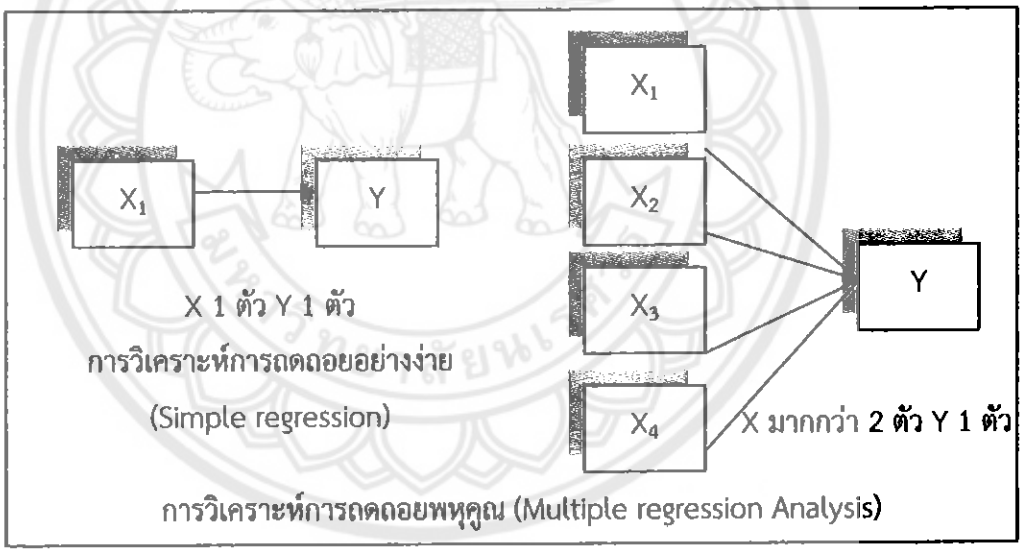
- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายจะประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระเพียง 1 ตัว การวิเคราะห์เป็นการหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองและสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ของค่าตัวแปรตาม เช่น การพยากรณ์ระดับ Carbon monoxide ให้สูบบุหรี่ เมื่อทราบปริมาณการสูบต่อวัน การพยากรณ์น้ำหนักของทารก เมื่อทราบอายุของมารดา การพยากรณ์ผลการสอบปลายภาค เมื่อทราบผลการสอบกลางภาค เป็นต้น

- การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Y) หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ (X) หรือตัวแปรพยากรณ์ หรือตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปเป็นเทคนิคทาง

สถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรมาใช้ในการทำนายโดยเมื่อทราบค่าตัวแปรหนึ่งก็สามารถทำนายอีกตัวแปรหนึ่งได้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้อยู่ในรูปของสมการทำนายสิ่งสำคัญที่ต้องการหาในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ สมการพยากรณ์ในรูปคะแนนเดิม หรือในรูปของคะแนนมาตรฐาน หรือทั้งคู่และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ โดยจะนำเสนอเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นแนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณและในส่วนที่สองจะเป็นการนำเสนอการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณด้วยโปรแกรม R

ก.3 กรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การถดถอย

กรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การถดถอยนั้นก็คือ การวิเคราะห์การถดถอยจะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นหลักและคำตอบที่ต้องการคือ มีตัวแปรใดบ้างที่สามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ที่เราสนใจจะศึกษาและตัวแปรใดพยากรณ์ได้มากน้อยกว่ากัน รวมทั้งส่งผลในทางบวกหรือทางลบ ซึ่งการวิจัยในลักษณะนี้จะต้องอาศัยการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literature) มาอย่างดี และสรุปเป็นกรอบแนวคิดในการวิจัย และนำไปสร้างเครื่องมือตามกรอบแนวคิดที่กำหนดไว้ สามารถเขียนเป็นกรอบแนวคิดดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์ (Y) กับตัวแปรพยากรณ์ (X)

ที่มา : สมบัติ ท้ายเรือคำ. (2545)

2.6.3.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยมีจุดประสงค์ คือ เพื่อสร้างสมการการพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ด้วยกลุ่มตัวแปรพยากรณ์

2.6.3.4 ข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ก. Normality ข้อมูลประชากรจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality) ตรวจสอบได้โดยการดูกราฟ หรือวิธีการทางสถิติ เช่น ใช้ Kolmogorov-Smirnov Test ในกรณีที่ไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากร จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแทน หรือสามารถใช้ Shapiro-Wilk Test ในกรณีที่ทราบหรือไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรก็ได้ แต่กลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดไม่เกิน 50 หรือ Lilliefors Test ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้ปรับปรุงมาจากวิธีของ Kolmogorov-Smirnov แต่จะให้ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบน้อยกว่าวิธีของ Kolmogorov-Smirnov

ข. Liberality ตัวแปรพยากรณ์กับตัวแปรเกณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ตรวจสอบได้โดยใช้วิธีการทางสถิติ เช่น ดูจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r_{xy}

ค. Homoscedasticity ค่าของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีความคงที่ทุกค่าการสังเกต และสามารถตรวจสอบได้โดยการดูจากกราฟ หรือใช้วิธีการทางสถิติ เช่น Non-Constant Variance Score Test หรือ The Spearman Rank-Correlation Test หรือ The Goldfeld and Quardt Test หรือ White's Test

ง. ตัวแปรที่นำมาใช้พยากรณ์ต้องไม่มีปัญหาเรื่อง Multicollinearity หมายถึง ตัวแปรที่นำมาใช้พยากรณ์ไม่ควรมีความสัมพันธ์กันสูง ตรวจสอบได้ด้วยการดูกราฟ หรือด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น ดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r_{xy} หรือดูได้จากค่า variance inflation factors (VIF)

2.6.3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

ก. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คำนวณด้วยสูตรของเพียร์สัน $\left(r_{xy}\right)$

$$r_{xy}=\frac{n\sum XY-\left(\sum X\right)\left(\sum Y\right)}{\sqrt{\left[n\sum X^2-\left(\sum X\right)^2\right]\left[n\sum Y^2-\left(\sum Y\right)^2\right]}} \qquad (2.16)$$

ข. ค่า b หาจากสูตร

$$b_j=\beta_j\frac{S_Y}{S_j} \qquad (2.17)$$

เมื่อ b_j แทน ค่าน้ำหนักคะแนนหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวพยากรณ์ j (ตัวแปรอิสระ) ตัวที่ j ที่ต้องการหาค่าน้ำหนักคะแนน

β_j แทน ค่าน้ำหนักเบต้าของตัวพยากรณ์ที่เป็นตัวแปรอิสระ ตัวที่ j

S_Y แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวเกณฑ์ที่เป็นตัวแปรตาม

S_j แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวพยากรณ์ที่เป็นตัวแปรอิสระตัวที่ j

ค. ค่า β หาจากสูตร

$$\beta_j = b_j \frac{S_j}{S_y} \tag{2.18}$$

ง. สหสัมพันธ์พหุคูณ แทนด้วย R คำนวณหาค่า R โดยใช้สูตร

$$R = \sqrt{\beta_1 r_{1y} + \beta_2 r_{2y} + ... + \beta_p r_{py}} \tag{2.19}$$

จ. การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (หรือสัมประสิทธิ์การถดถอย) ทดสอบโดยใช้สถิติ F จากสูตร

$$F = \frac{R^2 / k_1}{(1-R^2)/(N-k_1-1)} \tag{2.20}$$

เมื่อ F แทน ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ F เพื่อทราบความมีนัยสำคัญของ R

R แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

N แทน จำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่าง

k_1 แทน จำนวนตัวพยากรณ์ (ตัวแปรอิสระ)

ฉ. การทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรที่เพิ่มเข้ามาในสมการการถดถอย มีสูตรการทดสอบนัยสำคัญดังนี้

$$F = \frac{(R^2_{Y.12...l} - R^2_{Y.12...k})/(1-k_2)}{(1-R^2_{Y.12...l})/(N-1-1)} \tag{2.21}$$

เมื่อ F แทน ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบF เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

$R^2_{Y.12...k}$ แทน กำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณสำหรับการถดถอยของ Y บนตัวแปร k ตัว

k_2 แทน จำนวนของตัวพยากรณ์ที่มีจำนวนน้อยกว่า

l แทน จำนวนของตัวพยากรณ์ที่มีจำนวนมากกว่า

ช. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพยากรณ์ (Standard errors of estimate) เขียนแทนด้วยตัวย่อ SE_{est} สูตรในการหา SE_{est} ดังนี้

$$SE_{est} = \sqrt{\frac{SS_{res}}{N - k_2 - 1}} \qquad (2.22)$$

เมื่อ SE_{est} แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์

SE_{res} แทน ผลรวมของกำลังสอง (Sum of Squares)

ซ. หาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Standard errors of coefficients) เขียนแทนด้วยตัวย่อ SE_{bj} สามารถคำนวณได้หลายวิธี สูตรที่นิยม ได้แก่

$$SE_{bj} = \sqrt{\frac{SE_{est}^2}{SS_{xj}\left(1 - R_j^2\right)}} \qquad (2.23)$$

เมื่อ SE_{bj} แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย (ของ b)

SE_{est}^2 แทน กำลังสองของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์

SE_{xj} แทน ผลรวมกำลังสองของค่าความเบี่ยงเบน (Sum of Squares) ของตัวพยากรณ์ตัวที่ j

R_j^2 แทน ตัวกำลังสองสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างตัวพยากรณ์ตัวที่ j

ฌ. การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อทดสอบว่าตัวแปรพยากรณ์แต่ละตัวส่งผลต่อการทำนายตัวเกณฑ์หรือไม่ ทดสอบโดยใช้สูตร

$$t_j = \frac{b_j}{SE_{bj}} \qquad (2.24)$$

เมื่อ t_j แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ t เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

b_j แทน ค่าสัมประสิทธิ์ของการถดถอยของตัวพยากรณ์ที่ j ที่ต้องการจะทดสอบนัยสำคัญ

SE_{bj} แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย

2.6.3.6 เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะเหมือนกับเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย โดยที่สมการความถดถอยเชิงพหุเป็น

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + e \qquad (2.25)$$

เงื่อนไข

- ความคลาดเคลื่อน e เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบปกติ
- ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ นั่นคือ E(e) = 0
- ค่าแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า V(e) = σ_e^2
- eiและej เป็นอิสระต่อกัน ; $i \neq j$ นั่นคือ covariance (ei, ej) = 0 โดยมีเงื่อนไขที่เพิ่มจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายอีก 1 เงื่อนไข คือตัวแปรอิสระ X_i และ X_j ต้องเป็นอิสระต่อกัน

2.6.3.7 การประมาณค่าพารามิเตอร์ของสมการความถดถอยเชิงพหุ

จากสมการของความถดถอยเชิงพหุ ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ k + 1 ตัว คือ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ การประมาณค่า $\beta_0, \beta_1, \beta_2, ..., \beta_k$ จะต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างของ Y, X_1, X_2,..., X_k โดยที่ใช้ตัวอย่างขนาด n

หรือ $\hat{Y}_i = a + b_1 X_{1_i} + b_2 X_{2_i} + ... + b_k X_{k_i}$

โดยที่ $\hat{\beta}_0 = a, \hat{\beta}_1 = b_1, \hat{\beta}_2 = b_2, ..., \hat{\beta}_k = b_k$

ดังนั้น ค่าคลาดเคลื่อนในการประมาณค่า Y_i ด้วย $\hat{Y}_i$ คือ $Y_i - \hat{Y}_i$ = ei หรือเรียกว่า Residual หรือ Error

2.6.3.8 การทดสอบสมการความถดถอยเชิงพหุโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

จากสมการความถดถอยเชิงพหุ $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k + e$

ค่าแปรปรวนของ Y = ค่าแปรปรวนที่เกิดจากอิทธิพลของ X_1, X_2... X_k + ค่าความแปรปรวนอย่างสุ่ม หรือ

$$SST = SSR + SSE$$

โดยที่ SST (Sum Square of Total) คือ ค่าแปรปรวนรวมทั้งหมดของ $Y = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2$

SSR (Sum Square of Regression) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลของ $X_{1...}X_k$

SSE (Sum Square of Error or Sum Square of Residual) คือ ค่าแปรปรวนของ Y เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ หรือเรียกว่าค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม $= \sum\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2$

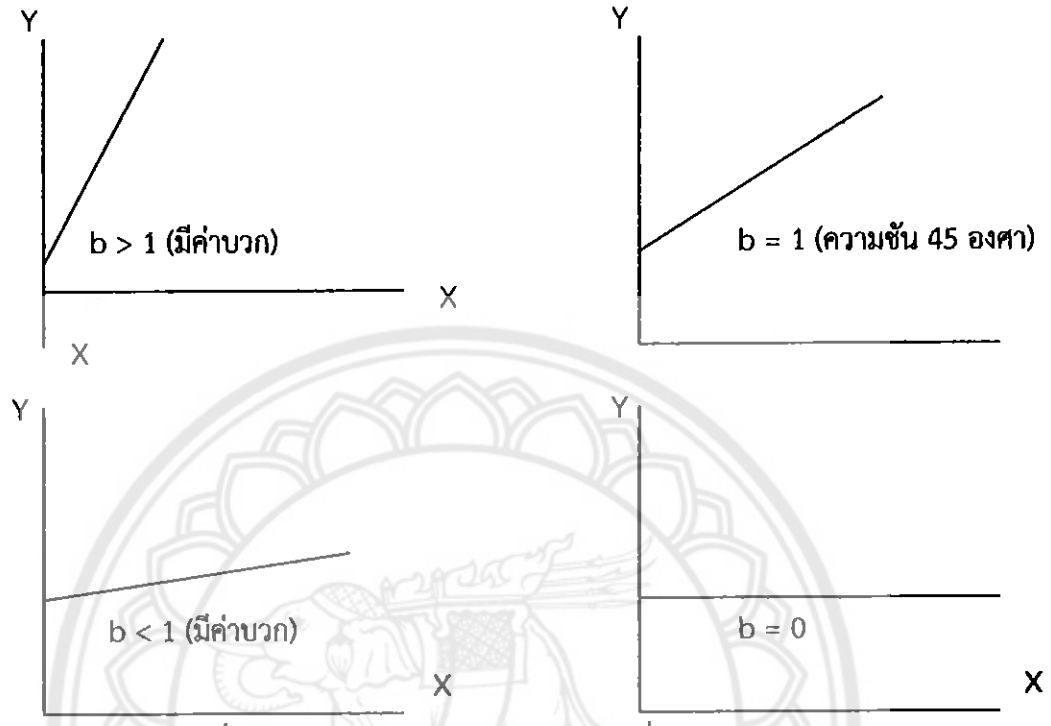
ขั้นตอนการวิเคราะห์

- ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น
- คำนวณค่า r_{xy} ของตัวแปรพยากรณ์กับตัวแปรเกณฑ์
- คัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ความสัมพันธ์สูงสุดกับตัวแปรเกณฑ์เข้าสมการและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R)
- ทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (R) ว่าทดสอบว่าตัวแปรพยากรณ์ที่เข้าในสมการยังคงอยู่ในสมการต่อไปได้หรือไม่ด้วยสถิติ F
- หาค่าน้ำหนักของสองตัวแปรพยากรณ์เพื่อจะนำมาใช้ในการเขียนสมการพยากรณ์ และทำการเปรียบเทียบตัวแปรพยากรณ์ตัวใดพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้ดีกว่า
- ทดสอบค่านัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อจะได้ตรวจสอบว่าตัวแปรพยากรณ์นั้นสามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้หรือไม่ ด้วยสถิติ t
- คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรพยากรณ์ที่เข้าสมการ (SE_b) และทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ (SE_{est})
- คัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่ความสัมพันธ์สูงกับตัวแปรเกณฑ์รองลงมาเข้าสมการและทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลง (R^2 change) ด้วยสถิติ F ถ้า R^2 change ไม่มีนัยสำคัญก็แสดงว่าตัวแปรพยากรณ์ไม่สามารถอยู่ในสมการพยากรณ์ได้ แต่ถ้ามีนัยสำคัญและดำเนินการต่อไปจนกว่าจะไม่มีตัวแปรพยากรณ์ใดเข้าในสมการ

ก. สัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient)

- สัมประสิทธิ์ของการถดถอย (Regression Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์เป็นค่าของ b ที่เป็นความชันของกราฟเส้นตรง ที่เกิดจากสมการเชิงเส้น ถ้าทราบค่าของ b และค่าของ a แล้วก็จะสามารถพยากรณ์ค่าของตัวแปร Y ได้ ซึ่งสรุปได้ดังนี้
  - ถ้า $b > 0$ นั้นแสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย
  - ถ้า $b < 0$ นั้นแสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้า X มีค่าสูงขึ้น ค่าของ Y ก็จะต่ำลง
  - ถ้า b มีค่าใกล้ 0 นั้นแสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย
  - ถ้า $b = 0$ นั้นแสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์เลยเส้นกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรงค่าของ Y จะมีค่าเท่ากับค่าคงที่ (a)

- ถ้า b = 1 นั้นแสดงว่าความชันของเส้นกราฟมีค่าเท่ากับ 45 องศา ค่า X และ Y จะมีค่าเท่ากัน ในกรณีที่ค่าคงที่ a เท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.2 สมการเส้นตรงของการถดถอยเมื่อ b มีค่าแตกต่างกัน
ที่มา : ปารเมศ ชุติมา.(2545)

ข. การวิเคราะห์การถดถอยจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y จากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระ หรือ ตัวแปรต้น X และถ้าทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง (r = Correlation Coefficient) จะสามารถวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ได้โดยไม่ต้องอาศัยค่าคงที่ a และสัมประสิทธิ์การถดถอย b แต่อย่างใด แต่จำเป็นต้องทราบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทั้งสอง จึงสามารถหาค่าพยากรณ์ของตัวแปรตามได้ จากสูตรดังต่อไปนี้

$$Y = \overline{Y} + r\frac{S_Y}{S_X}\left(X - \overline{X}\right) \qquad (2.26)$$

เมื่อ Y = ค่าพยากรณ์ของตัวแปรตาม

$\overline{X}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น

$\overline{Y}$ = ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของตัวแปรตาม

r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัวแปร Y

S_X = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น

S_Y = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม

ค. ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (Standard Error of Estimate)

ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y ที่เกิดจากการกำหนดค่าของตัวแปรอิสระ หรือ ตัวแปรต้น X จากสมการถดถอยที่ได้ จะมีประโยชน์ต่อการพยากรณ์มากเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่รวบรวมมามีการกระจัดกระจายไปจากเส้นกราฟหรือสมการถดถอยมากน้อยเพียงใด ถ้าค่าของตัวแปรตาม Y แต่ละค่าแตกต่างไปจากเส้นกราฟถดถอยที่ประมาณขึ้นมามาก การพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y โดยใช้เส้นกราฟถดถอยหรืออยู่ใกล้ๆ เส้นกราฟถดถอยมากเท่าใด การพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม Y โดยใช้เส้นกราฟถดถอยก็จะถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น

ค่าแตกต่างระหว่างค่าของตัวแปรตาม Y ที่ได้เกิดจากการพยากรณ์กับค่าที่ได้จากการรวบรวม เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน (Error หรือ Residual) ใช้ตัวย่อว่า e โดยที่ e = $Y - Y'$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้จะใช้เป็นตัวพยากรณ์ค่าการกระจายของข้อมูลรอบๆ เส้นกราฟถดถอย สำหรับสถิติที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลรอบๆ เส้นกราฟถดถอย เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (Standard Error of Estimate) ใช้ตัวย่อว่า SEE หรือ $SE_{est.Y}$ ซึ่งเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานชนิดหนึ่งที่เป็นการเบี่ยงเบนของคะแนนพยากรณ์จากคะแนนที่รวบรวมมาได้ ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum\left(Y - Y'\right)^2}{N - k_3 - 1}} \qquad (2.27)$$

เมื่อ SEE = ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

Y' = คะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม

N = จำนวนสมาชิก

k_3 = จำนวนตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นในสมการการถดถอย

คือ $\sum\left(Y - Y'\right)^2$ = ผลรวมกำลังสองของส่วนที่เหลือ (Sum Squares of Residuals) ซึ่งใช้ตัวย่อว่า SSR หรือ SS_{res} ในกรณีของสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งจำนวนตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นเพียงตัวเดียว

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum\left(Y - Y'\right)^2}{N - 2}} \qquad (2.28)$$

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ถ้าแทนค่าผลรวมกำลังสองของส่วนที่เหลือ (SSR) ลงในสูตรที่ผ่านมาจะได้สูตรสำหรับหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ได้ว่า

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{N-2}} \qquad (2.29)$$

นอกจากนี้ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น X กับตัวแปรตาม Y ก็สามารถหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ได้จากสูตรดังนี้

$$SEE = S_Y\sqrt{1-r^2} \qquad (2.30)$$

เมื่อ S_Y = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร Y

r = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X กับตัวแปร Y

ง. สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Deter - mination)

ในการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม สมการถดถอยที่ได้จะสามารถใช้พยากรณ์ค่าของตัวแปรตามได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่าจะส่งผลอย่างไรกับตัวแปรตามหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเป็นผลมาจากอิทธิพลของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นมากน้อยเพียงใด สมการถดถอยที่ได้จะสามารถพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ดีหรือไม่นั้น ย่อมที่จะต้องขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ยกกำลังสอง ใช้ตัวย่อว่า R^2 ดังนั้นสูตรที่ใช้ก็คือ

$$R^2 = \frac{\left(\sum XY - N\overline{XY}\right)^2}{\left(\sum X^2 - N\overline{X}^2\right)\left(\sum Y^2 - N\overline{Y}^2\right)} \qquad \text{หรือ}$$

$$R^2 = \frac{\left(N\sum XY - \left(\sum X\right)\left(\sum Y\right)\right)^2}{\left(N\sum X^2 - \left(\sum X\right)^2\right)\left(N\sum Y^2 - \left(\sum Y\right)^2\right)} \qquad (2.31)$$

เมื่อ R^2 = สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจยิ่งมีค่าใกล้ 1.00 มากเท่าใด ก็แสดงว่าอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ดี เนื่องจากตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้ามีค่าใกล้ 0 นั้นแสดงว่าสมการการถดถอยสามารถอธิบายค่าของตัวแปรตามได้ไม่ดีหรืออาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันน้อย

1551528 2
มร.
ล 37117
2553

2.7 การออกแบบการทดลอง

2.7.1 หลักการพื้นฐาน

ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เพื่อเข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า "การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อที่ว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization), และ บล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดให้ว่า เรพลิเคชัน หมายถึงการทดลองซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น $\bar{y}$ ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า σ^2 คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี n เรพลิเคชัน ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้คือ

$$\sigma\frac{2}{y} = \frac{\sigma^2}{n} \qquad (2.32)$$

ผลในทางปฏิบัติกล่าวคือ ถ้าเรามี n=1 เรพลิเคต และค่าที่ได้จากการทดลอง y_1 = 145 (ใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อน) และ y_2=147 (ใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อน) เราอาจจะไม่สามารถที่จะสรุปอะไรเกี่ยวกับผลของการทดลองทั้งสองนี้ได้ นั่นคืออาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างที่สังเกตได้อาจจะเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ถ้า n มีค่ามากเพียงพอ และความผิดพลาดจากการทดลองมีค่าน้อย ดังนั้นถ้าเราสังเกตได้ว่า $\bar{y}_1 < \bar{y}_2$ เราก็จะสามารถสรุปได้อย่างปลอดภัยว่าการใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อนนั้นจะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อนสำหรับโลหะผสมอะลูมิเนียม

แรนดอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลองแรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ่ง

หลักการพื้นฐานทั้งสามที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทดลองทุกๆ ชนิด ดังนั้นเราอาจจะต้องกล่าวถึงหลักการทั้งสามนี้บ่อยครั้ง เพื่อเป็นการแสดงและเน้นให้เห็นถึงประโยชน์ของหลักการดังกล่าว

2.7.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไรและจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

2.7.2.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา

บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้นขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด

2.7.2.2 เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต

ผู้ทดลองจะต้องเลือกปัจจัยเพื่อที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้

เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

2.7.2.3 เลือกตัวแปรผลตอบ

ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรแน่ใจแล้วว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

2.7.2.4 เลือกการออกแบบการทดลอง

ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้องแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก ในการเลือกการออกแบบที่มีความเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้ในการแรนดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

2.7.2.5 ทำการทดลอง

เมื่อขณะทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้าไม่มีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำให้ใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

2.7.2.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

เราควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีกางทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จำทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.7.2.7 สรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อเราวิเคราะห์ผลของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลอง

เพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.8 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (two roll mill)

เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งเป็นเครื่องบดยางที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูกกลิ้งบีบอัดและบดยางให้โมเลกุลของยางเกิดการขาด ทำให้ขนาดของโมเลกุลยางที่ใหญ่และยาวลดลง ทำให้ยางนิ่มลง และสามารถแปรรูปยางได้และยังจะสามารถนำสารเคมีผสมเข้าไปในยางเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการได้ ขบวนการลดความหนืดของยางโดยใช้เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง เรียกว่า Mastication และการที่จะทำให้ยางนิ่มลงนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเร็วของผิวลูกกลิ้งทั้งสองจะต้องมีความเร็วที่ไม่เท่ากันโดยที่ลูกกลิ้งหน้าจะช้ากว่าลูกกลิ้งหลัง อัตราส่วนความเร็วผิวระหว่างลูกกลิ้งหน้ากับลูกกลิ้งหลังเรียกว่า Friction ratio โดยทั่วไป Friction ration จะอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 4:1 และจะขึ้นกับชนิดของยางที่ใช้บด ในระหว่างการบดออกซิเจนในบรรยากาศจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสายโซ่โมเลกุลของยางที่ขาดออกจากกันไม่ให้รวมตัวกันได้ และอุณหภูมิของลูกกลิ้ง ถ้าอุณหภูมิต่ำ ยางจะแข็งไหลผ่านลูกกลิ้งได้ยากทำให้เกิดการฉีกขาดของสายโซ่โมเลกุลของยางมากขึ้น และในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิสูงยางจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายทำให้ยางนิ่มลงได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน

2.9 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางจากแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้ ข้อมูลของเครื่องอัดที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์จะประกอบด้วยขนาดกำลังของเครื่อง ขนาดของแท่นสำหรับวางแผ่นแม่พิมพ์ ระยะและจัดตำแหน่งในการจับยึดแม่พิมพ์ เป็นต้นข้อมูลเหล่านี้จะใช้สำหรับการคำนวณขนาดแม่พิมพ์และการใส่หูยึดและหูยกให้กับแม่พิมพ์

2.9.1 ชนิดของแม่พิมพ์อัด

การแบ่งชนิดของแม่พิมพ์อัดที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางนั้นสามารถที่จะพิจารณาจากรูปร่างของชิ้นงาน การเลือกเส้นแบ่งแม่พิมพ์ การถอดชิ้นงาน การผลิตแม่พิมพ์และการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะสามารถแบ่งแม่พิมพ์อัดได้ 2 ชนิดคือ

2.9.1.1 แม่พิมพ์อัดชนิด 2 แผ่น

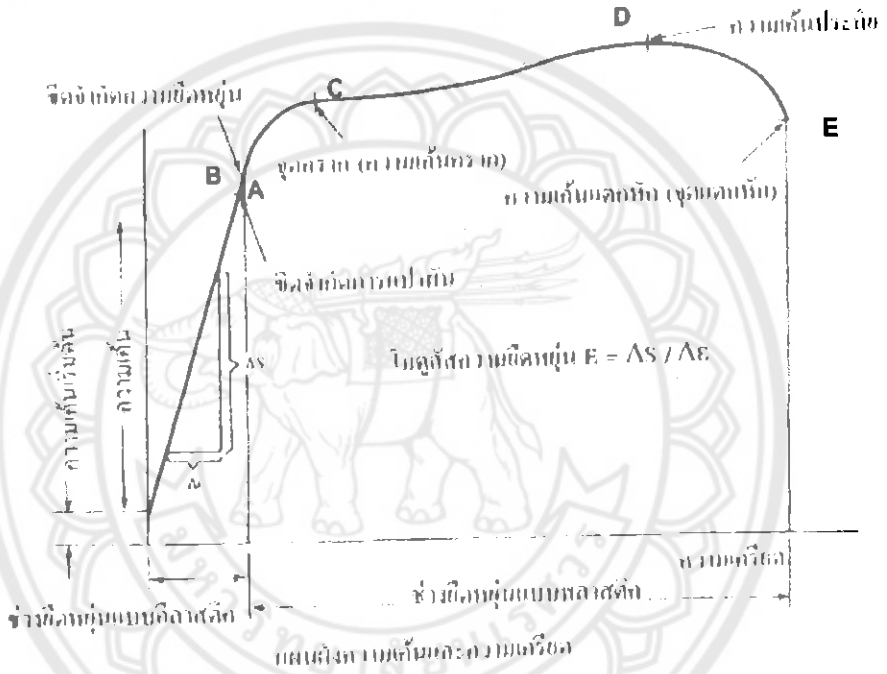
แม่พิมพ์อัดชนิดนี้ส่วนใหญ่นิยมใช้สำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนและมีความหนาของชิ้นงานไม่เกิน 2 มม. เช่น โอริง ปะเก็น เป็นต้น ตัวอย่างแม่พิมพ์ชนิด 2

2.9.1.2 แม่พิมพ์อัดชนิด 3 แผ่น

แม่พิมพ์ชนิดนี้มักจะใช้กับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน ซึ่งหากขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่นจะทำให้การดึงชิ้นงานออกจากเบ้าไม่ได้ นอกจากนี้ยังใช้สำหรับชิ้นงานที่มีความสูงเกิน 20 มม. จากตำแหน่งการเปิดแม่พิมพ์ตัวชิ้นงานที่ผลิตด้วยแม่พิมพ์ชนิดนี้ เช่น ยางครอบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ปะเก็นที่หนาเกิน 20 มม. เป็นต้น

2.10 การทดสอบพลาสติกด้วยแรงดึง (Tension Test)

วิธีการทดสอบโดยนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้าๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้แล้วมา Plot เป็นเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point) ตามรูปที่ 2.1 ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้นๆ มาตรฐานต่างๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial Standard) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย



รูปที่ 2.3 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก

ที่มา : พิชิต. (2538)

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดพบว่าเมื่อเริ่มดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นทดสอบจะค่อยๆ ยืดออกจนถึงจุดๆ หนึ่ง (จุดA) ซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ ทำให้ได้กราฟเส้นตรงตามกฎของฮุค (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่าพิกัดสัดส่วน (Proportional Limit) หรือขีดจำกัดการแปรผันและภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

เมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกิดพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้ง ออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุดๆ หนึ่ง (จุด B) เรียกว่าขีดกำจัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation or Offset) กับวัสดุนั้น เมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยน

รูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุในโลหะหลายชนิด เช่น พวกเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น(บางครั้งอาจจะลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) หรือ Yield Strength ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป และในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุด ที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

หลังจากจุดครากแล้ว วัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อยๆ เพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นประลัย (Ultimate Strength) หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกได้มากๆ ค่าความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่า คำว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือกำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไปจะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้

ที่จุดสุดท้าย (จุด E) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหักหรือขาดออกจากกัน (Fracture) สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้ต่ำกว่าความเค้นสูงสุด เพราะเมื่อเลยจุด D ไป พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบลดลง ทำให้พื้นที่จะต้านทานแรงดึงลดลงด้วย ในขณะที่เรายังคงคำนวณค่าของความเค้นจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าความเค้นจึงลดลง ส่วนโลหะอื่นๆ เช่น โลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Work) มาแล้ว มันจะแตกหักที่จุดความเค้นสูงสุด โดยไม่มีการลดขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง ทำนองเดียวกับพวกวัสดุเปราะ (Brittle Materials) เช่น เซรามิค ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างพลาสติกน้อยมากหรือไม่มีเลย ส่วนกรณีของวัสดุที่เป็นพลาสติกจะแตกหักโดยที่ต้องการความเค้นสูงขึ้น

เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดนี้ นอกจากจะใช้บอกค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ความเค้นสูงสุดและความเค้นประลัยแล้ว ยังจะใช้บอกค่าต่างๆ ได้อีกดังนี้คือ

2.10.1 ความเหนียว ค่าที่ใช้วัดจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percentage Elongation) และการลดพื้นที่ภาคตัดขวาง (Reduction of Area) โดยที่ในทางปฏิบัติเรามักใช้ค่า %El มากกว่า เพราะสะดวกในการวัด ความเหนียวของวัสดุนี้จะเป็นตัวบอกความสามารถในการขึ้นรูปของมัน คือถ้าวัสดุมีความเหนียวดี (%El สูง) ก็สามารถนำไปขึ้นรูป เช่น รีด ตีขึ้นรูป ดึงเป็นลวด ฯลฯ ได้ง่าย แต่ถ้ามีความเหนียวต่ำ (เปราะ, Brittle) ก็จะนำไปขึ้นรูปยากหรือทำไม่ได้ เป็นต้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษารวบรวมข้อมูลจะเป็นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงงานทั้งหมดโดยแหล่งข้อมูลจะได้มาจากหนังสือ งานวิจัยและปริญญานิพนธ์อื่นๆ เป็นหลัก

3.1.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเทอร์โมพลาสติก

ศึกษาคุณสมบัติของพอลิพรอพิลีน ซึ่งจะบอกให้ทราบถึงโครงสร้างและการนำไปใช้งานอย่างไร

3.1.2 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

ศึกษาคุณสมบัติและโครงสร้างของยางธรรมชาติว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร รวมไปถึงแหล่งปลูกยางธรรมชาติในท้องถิ่น

3.1.3 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ศึกษาระบบการทำงานและวิธีใช้งานเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill), เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) และเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.1.4 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รวมถึงคำสั่งในใช้การวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

3.1.5 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ศึกษาการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ 2 ปัจจัย

3.2 การออกแบบการทดลอง

โครงงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น จึงได้ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ที่ 2 ปัจจัย เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบปัจจัย 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปโดยหลักการเลือกปัจจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นและมีการกำหนดปัจจัยดังนี้

3.2.1 การกำหนดปัจจัย

3.2.1.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นจากกระบวนการ มีดังนี้

ก. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป คือ ถ้าใช้อุณหภูมิที่สูงเกินกว่าอุณหภูมิการหลอมตัวจะส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมได้

ข. เวลาในการอัดขึ้นรูป คือ ถ้าเวลาในการอัดขึ้นรูปน้อยจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม

ค. อัตราส่วนที่ใช้ในการผสม คือ ถ้าอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้กระบวนการผสมไม่สมบูรณ์ พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ไม่ดีและใช้เวลานานในการผสม

ง. ระยะเวลาในการผสม คือ ถ้าระยะเวลาในการผสมของพอลิเมอร์ผสมน้อยเกินจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและหากมากเกินไปจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสม

จ. สารผสม คือ การเลือกใช้สารผสมควรจะเลือกสารผสมที่เหมาะสมกับการใช้งานและชนิดของพอลิเมอร์ผสม ถ้าเลือกใช้สารผสมที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลถึงคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้

ฉ. ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง คือ ถ้าความเร็วรอบของลูกกลิ้งสูงไปจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและหากความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมได้ เนื่องจากการผสมพอลิเมอร์ผสมต้องใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เหมาะสมจึงจะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีความเข้ากันได้ดี

3.2.1.2 ปัจจัยที่เลือกใช้ในการทดลอง

สำหรับโครงงานนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 2 ปัจจัยโดยมีหลักการในการพิจารณาดังนี้

ก. อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเหตุผลที่ทำการเลือกอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะเป็นปัจจัยที่สามารถจะควบคุมระดับในการทดลองได้อย่างแม่นยำ โดยทำการปรับระดับของเครื่องอัดขึ้นรูป

ข. เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป เหตุผลที่ทำการเลือกเวลาในการอัดขึ้นรูปมาเป็น
ปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมระดับในการทดลองได้อย่างแม่นยำ โดยทำการปรับระดับของเครื่องอัดขึ้นรูป

3.2.1.3 ปัจจัยที่ไม่เลือกใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ไม่ได้นำมาทำการศึกษาและใช้ในการทดลอง มีการพิจารณาดังนี้

ก. อัตราส่วนของการผสม เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกอัตราส่วนของการผสมของพอลิเมอร์ผสมมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าอัตราส่วนของการผสมจะมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลอย่างแน่นอน จึงไม่เป็นที่น่าสนใจในการนำมาศึกษา

ข. ระยะเวลาในการผสม เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกระยะเวลาในการผสมของพอลิเมอร์ผสมมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเพราะหากผู้จัดทำโครงงานทำการศึกษาและใช้เวลาการผสมที่น้อยหรือมากเกินไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมเข้ากันได้ไม่ดีและเกิดความเสื่อมสภาพได้ นั่นคือ ผลที่ได้จากการทดลองจะไม่ถูกต้องแม่นยำ

ค. สารผสม เหตุผลที่ไม่ทำการเลือกสารผสมในการผสมของพอลิเมอร์ผสมมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเนื่องจากคุณสุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ทำการศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิพรอพิลีนที่มีโมเลกุลต่างกัน ได้ทำการศึกษาแล้ว

ง. ความเร็วรอบของลูกกลิ้งเหตุผลที่ไม่ทำการเลือกความเร็วรอบของลูกกลิ้งมาเป็นปัจจัยในการศึกษาและทดลองเนื่องจากความเร็วรอบของลูกกลิ้งสูงจะส่งผลต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมและหากความเร็วรอบของลูกกลิ้งต่ำจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมได้ เนื่องจากการผสมพอลิเมอร์ผสมต้องใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งที่เหมาะสมจึงจะทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีความเข้ากันได้ดีและถ้าได้ชิ้นงานที่ไม่มีความเข้ากันมาทดสอบก็จะทำให้ได้ค่าจากการทดลองที่คลาดเคลื่อน

โดยกำหนดปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยเป็นตัวควบคุม คือ อัตราส่วนของการผสมกับระยะเวลาในการผสมที่มีกระบวนการที่ง่ายเหมาะสมกับเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่มีและสารผสม คือ สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) สารที่ใช้คือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) สารที่ใช้ผสม คือ กรดสเตียริก (Atearic acid) สารเร่งการเชื่อมโยง (Accelerators) สารที่ใช้คือ ซัลเฟอร์ (Sulphur) และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง คือ 10:12 rpm.

3.2.2 ระดับปัจจัย

3.2.2.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับคือ 100, 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งค่าทั้ง 5 ค่านี้ได้จากการปรับค่าที่แน่นอนจากเครื่องอัดขึ้นรูป เพื่อใช้ศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

3.2.2.2 เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ที่ใช้ในการทดลองมี 5 ระดับคือ 5, 10, 15 และ 20 นาที ซึ่งค่าทั้ง 5 ค่านี้ได้จากการปรับค่าที่แน่นอนจากเครื่องอัดขึ้นรูป เพื่อใช้ศึกษาผลกระทบที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

3.2.3 ขนาดของการทดลอง

ชิ้นงานทดสอบมีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 638 ในการวัดค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น จะทำการวัดค่าโดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ จะทำการวัดค่าทีละชิ้นงานจนชิ้นงานขาด ทำจนครบตามจำนวนชิ้นงานที่ทำการทดลอง

3.2.4 สมมติฐานของการทดลอง

ให้ H_o : อุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

H_1 : อุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

เมื่อ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป = 100, 120, 140 และ 160 องศาเซลเซียส

เวลาในการอัดขึ้นรูป = 5, 10, 15 และ 20 นาที

3.3 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในโครงงาน

3.3.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) เกรด 700 J จากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

3.3.2 ยางธรรมชาติ (ยางพารา) ชนิดยางแผ่นตากแห้ง (ยางดิบเกรด 2) (air-dried sheet rubber) ผลิตจากชาวสวนยางตำบลวังนกแอ่น อ.วังทอง จ.พิษณุโลก

3.3.3 สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) สารที่ใช้คือ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ใช้เพื่อเร่งปฏิกิริยาในการวัลคาไนซ์ของยางให้เร็วขึ้น จากบริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิกกี้เคมีคอลซัพพลาย

3.3.4 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) สารที่ใช้คือ กรดสเตียริก (Atearic acid) ใช้เพื่อให้สารตัวเร่งทำงานดีขึ้น จากบริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิกกี้เคมีคอลซัพพลาย

3.3.5 สารเร่งการเชื่อมโยง (Accelerators) สารที่ใช้คือ ซัลเฟอร์ (Sulphur) เพื่อทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงให้มีอัตราเร็วในการเชื่อมโยงเร็วขึ้น จากบริษัทห้างหุ้นส่วนจำกัด ซิกกี้เคมีคอลซัพพลาย

3.3.6 ถุงมือผ้า

3.3.7 เกียงโป้งสี

3.3.8 ถุงมือหนัง

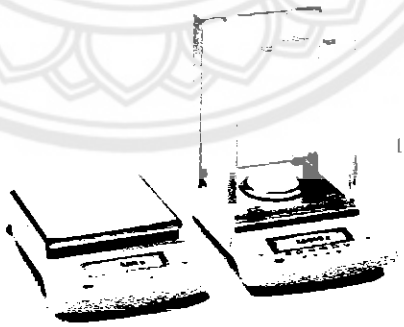
3.3.9 แผ่นพลาสติกใส

3.3.10 แม่พิมพ์ที่มีรูปร่างดัมเบลล์ ASTM D638

รูปที่ 3.1 ภาพแสดงแม่พิมพ์

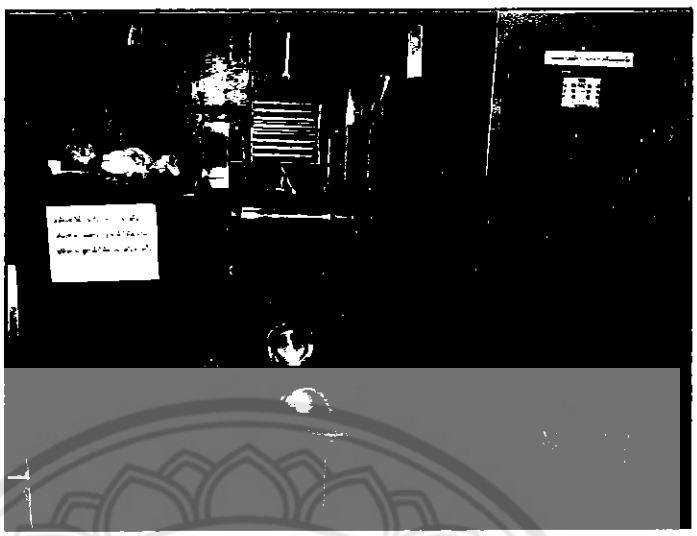
3.4 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินโครงงาน

3.4.1 เครื่องชั่ง



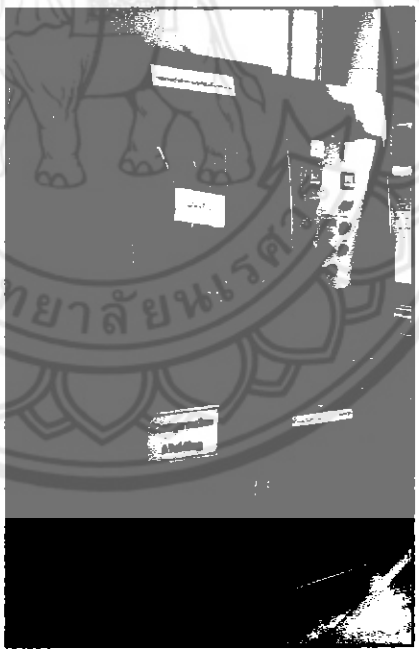
รูปที่ 3.2 ภาพแสดงเครื่องชั่ง

3.4.2 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงเครื่องบดสองลูกกลิ้ง

3.4.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงเครื่องอัดขึ้นรูป

3.4.4 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองนี้มีวิธีดำเนินการทดลองโดยเริ่มหาขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสมสูตร กระบวนการอัดขึ้นรูปและการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

3.5.1 ขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสม

การทดลองนี้จะมีขั้นตอนการศึกษาหาอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน (PP) เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม การเตรียมยางผสมสูตรและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม และวิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลองนี้

3.5.1.1 การศึกษาอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนเพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม

ก. นำเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 100 กรัม

ข. ทำการศึกษาให้ความร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น 80 °C จนถึงอุณหภูมิสูงสุด คือ 180 °C โดยใช้เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) แล้วตั้งค่าอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า:ลูกกลิ้งหลังเท่ากัน ความเร็วลูกกลิ้งหน้า:ลูกกลิ้งหลัง 10:12 rpm. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ค. นำเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) ใส่ลงไปในเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) หลอมละลายได้หมด

หลังจากทำการทดลองการศึกษาหาอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีนเพื่อเตรียมผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 120°C สามารถทำให้เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ ขณะที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 120°C ไม่สามารถทำให้เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (PP) หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้

3.5.1.2 การเตรียมยางผสมสูตรและหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

ทำการเตรียมยางผสมสูตรและหาอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสม โดยศึกษาการผสมเข้ากันได้ดีของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ให้มีลักษณะเรียบ ผิวลื่นเป็นมัน ไม่เกิดการแยกเฟสให้เห็น โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมยางผสมสูตรโดยการนวด NR ก่อนแล้วนำ PP มาผสม

ก. เตรียม PP กับ NR แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่อัตราส่วน 60:40 กรัม และสารผสมคือ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก และกำมะถัน ในอัตราส่วน 0.25:0.5:0.5 กรัม (ปริมาณหน่วย :phr) บดให้ละเอียด

ข. ปรับตั้งกำหนดค่าเครื่องบดสองลูกกลิ้งโดยอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลังเท่ากับ 120°C : 120°C ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 10:12 rpm. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ค. นำ NR ใส่ในเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่ตั้งค่าไว้แล้วทำการนวด NR ให้นิ่มก่อนจึงจะนำ PP มาผสมกับ NR การผสมให้เข้ากันได้ดีจะใช้เวลาไม่เกิน 15 นาทีนับตั้งแต่เวลาเริ่มบด NR หลังจากนั้นจึงนำสารผสมใส่ลงไปดังนี้ กำมะถัน กรดสเตียริกและซิงค์ออกไซด์ ตามลำดับ เมื่อใส่สารผสมครบแล้วทำการบดพอลิเมอร์ผสมนี้ต่อไปอีก 5 นาที เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไม่เกิน 20 นาที ขณะทำการผสมยางทั้งสองเข้าด้วยกันจะใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางของแผ่นชีทในการป้อนเข้าลูกกลิ้งทุกครั้ง คือ เมื่อได้แผ่นชีทออกมา จะพับแผ่นตามทิศทางเครื่อง ในการป้อนครั้งต่อไปจะป้อนทิศทางขวางของแผ่นชีทเข้าเครื่อง การทำเช่นนี้ตลอดการใช้เครื่องบดสองลูกกลิ้ง จะช่วยให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างของลูกกลิ้ง มีการกระจายดีมากขึ้น เมื่อทำการผสมเสร็จแล้วนำออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้งปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง

ตอนที่ 2 การเตรียมยางผสมสูตรโดยใส่ PP ก่อนแล้วตามด้วย NR มาผสม

ก. ใช้วิธีการเดียวกับตอนที่ 1 ข้อ ก. ยกเว้นข้อ ค.

ข. นำ PP หลอมละลายก่อนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม NR ลงไปผสมกับ PP การผสมยางทั้งสองให้เข้ากันได้ดีจะใช้เวลาไม่เกิน 15 นาทีนับตั้งแต่เวลาเริ่มบด NR หลังจากนั้นจึงนำสารผสมใส่ลงไปดังนี้ กำมะถัน กรดสเตียริก และซิงค์ออกไซด์ ตามลำดับ เมื่อใส่สารผสมครบแล้วทำการบดพอลิเมอร์ผสมนี้ต่อไปอีก 5 นาที เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไม่เกิน 20 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เทคนิคการผสมแบบเดิม เมื่อทำการผสมเสร็จแล้วนำออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง แล้วเก็บพอลิเมอร์ผสมไว้ประมาณ 1 วัน ก่อนนำมาทำการอัดขึ้นรูป

ตอนที่ 3 การหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

ก. เตรียม PP กับ NR แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่อัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.1 และชั่งสารผสมในอัตราส่วน 0.25:0.5:0.5 กรัม (ปริมาณ หน่วย : phr)

ข. ทำการผสมยางวิธีเดียวกับตอนที่ 2 ยกเว้น ขั้นตอนในการปรับอุณหภูมิในการผสมของเครื่องบดสองลูกกลิ้ง โดยทำการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : อุณหภูมิลูกกลิ้งหลังของเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ปรับเปลี่ยนเป็น 120°C:120°C, 130°C:130°C, 140°C:140°C, 150°C:150°C และ 160°C:160°C ตามลำดับ เมื่อได้พอลิเมอร์ผสมแล้วจะทำการเก็บพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไว้ประมาณ 1 วัน ก่อนนำมาทำการอัดขึ้นรูป เพื่อศึกษาการรวมเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ผสมและการกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาเป็นแผ่นได้ง่าย โดยจะได้แผ่นพอลิเมอร์ผสมทั้งหมด 36 แผ่น

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของ PP กับ NR

Materials	Blends					
	1	2	3	4	5	6
Polypropylene (PP)	20	30	40	50	60	80
Natural rubber (NR)	80	70	60	50	40	20

3.5.1.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ในการทดลองนี้

ก. เตรียม PP กับ NR แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่อัตราส่วน 20:80 กรัม และสารผสมคือ ซิงค์ออกไซด์ 0.2 กรัม, กรดสเตียริก 0.4 กรัม และกำมะถัน 0.4 กรัม บดให้ละเอียด

ข. ปรับตั้งกำหนดค่าเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งโดยอุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลังเท่ากับ 140 °C:140 °C ความเร็วลูกกลิ้งหน้า : ลูกกลิ้งหลัง 10:12 rpm. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2 mm.

ค. นำ PP หลอมละลายก่อนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม NR ลงไปผสมกับ PP การผสมยางทั้งสองให้เข้ากันได้ดีจะใช้เวลาไม่เกิน 15 นาทีนับตั้งแต่เวลาเริ่มบด NR หลังจากนั้นจึงนำสารผสมใส่ลงไปดังนี้ กำมะถัน กรดสเตียริกและ ซิงค์ออกไซด์ ตามลำดับ เมื่อใส่สารผสมครบแล้วทำการบดพอลิเมอร์ผสมนี้ต่อไปอีก 5 นาที เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมไม่เกิน 20 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เทคนิคการผสมแบบเดิมทำการผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่องบด

20 นาที ให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้เทคนิคการผสมแบบเดิมทำการผสมเสร็จแล้วออกจากเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ปล่อยชิ้นงานให้เย็นตัวลง แล้วเก็บพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไว้ประมาณ 1 วัน ก่อนนำมาทำการอัดขึ้นรูป

3.5.2 กระบวนการอัดขึ้นรูป

เมื่อได้แผ่นพอลิเมอร์ผสมจากขั้นตอนการผสมพอลิเมอร์ผสมแล้วจึงได้ทำการอัดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) มีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

3.5.2.1 เตรียมพอลิเมอร์ผสมที่ทำการผสมมาเรียบร้อย ตัดให้มีขนาด 17 cm. x 2.5 cm. แล้วนำแผ่นพลาสติกใสประกบแม่พิมพ์บนและล่าง หลังจากนั้นนำพอลิเมอร์ที่ตัดเสร็จแล้วมาวางบนแม่พิมพ์

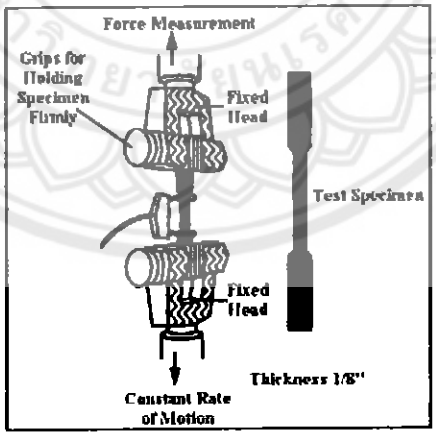
3.5.2.2 เปิดเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

3.5.2.3 ปรับค่าอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบการทดลองจนครบ

3.5.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ในการทดสอบสมบัติเชิงกลในโครงงานนี้ได้ทำการทดสอบ 2 อย่างคือการทดสอบแรงดึง (Tension test) และระยะยืด (Elongation) โดยนำชิ้นงานมาทดสอบแรงดึงโดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D 638 ใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

3.5.3.1 โหลดเซลล์ (Load cell)	5	kN
3.5.3.2 ความเร็วในการดึง (Test Speed)	200	mm./min.



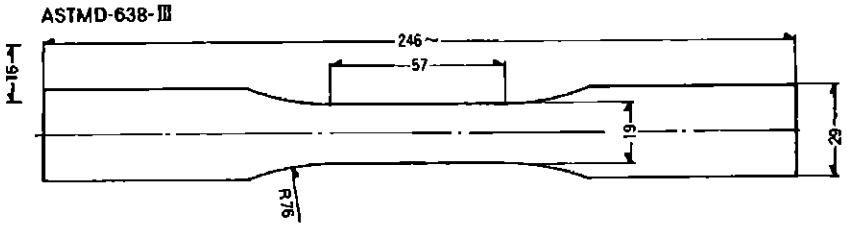
รูปที่ 3.5 แสดงภาพส่วนประกอบในการทดสอบแรงดึง
ที่มา: จันทิมา (2552)

3.5.3.3 วัตถุประสงค์ในการทดสอบแรงดึง

ก. เพื่อทราบพฤติกรรมของพอลิเมอร์ผสมตามขอบเขตที่กำหนดขณะรับแรงดึง

ข. เพื่อฝึกทักษะการทดสอบความแข็งแรงของ พอลิเมอร์ผสม

ค. เพื่อฝึกทักษะการประมวลผลข้อมูลเชิงสถิติ



รูปที่ 3.6 แสดงภาพมาตรฐาน ASTM D 638
ที่มา : จันทิมา (2552)

3.5.3.4 วิธีการทดสอบ

ก. เตรียมชิ้นงานชุดละ 5 ชิ้น บันทึกค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงาน ขีดเส้นทำเครื่องหมายชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน

ข. ติดตั้ง Load cell ขนาด 5 kN พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และฐานเครื่องแล้วต่อสายสัญญาณ Load cell เข้าที่ Crosshead

ค. เปิดสวิทช์เครื่องทดสอบ

ง. จับชิ้นงานเข้ากับหัวจับตัวบนยึดให้แน่น ส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้

จ. ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยึดให้เป็นศูนย์

ฉ. ขันหัวจับล่างให้แน่น

ช. ทำการทดสอบชิ้นงานโดยการดึงจนขาด

ซ. ทำการทดลองจนครบทั้ง 5 ชิ้น ในแต่ละชุดการทดลอง

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกค่าการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

อุณหภูมิ (°C)	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
100	5															
	10															
	15															
	20															
120	5															
	10															
	15															
	20															

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) บันทึกค่าการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

อุณหภูมิ (°C)	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
140	5															
	10															
	15															
	20															
160	5															
	10															
	15															
	20															

ตารางที่ 3.3 บันทึกค่าการทดลองของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น														
		ครั้งที่ 1					ครั้งที่ 2					ครั้งที่ 3				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
100	5															
	10															
	15															
	20															
120	5															
	10															
	15															
	20															
140	5															
	10															
	15															
	20															
160	5															
	10															
	15															
	20															

จากผลการทดสอบแรงดึงและระยะยืดนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ที่สามารถบอกถึงคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้

- ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)
- เปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น (% Elongation)

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

- ตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลที่จะนำมาทำ ANOVA
- วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- วิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

3.6 สรุปผลการทดลอง

ทำการสรุปผลการทดลอง เพื่อดูว่าปัจจัยใดมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาพอลิเมอร์ผสมหรือตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

หลังจากที่ได้ทำการดำเนินงานโครงงานตั้งแต่การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล การออกแบบการทดลอง การหาอุณหภูมิหลอมเหลวของในการผสมพอลิเมอร์ผสม การหาอัตราส่วนผสมกับอุณหภูมิที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมและดำเนินการทดลองเรียบร้อยแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์เชิงสถิติและศึกษาในด้าน

- ความสัมพันธ์ที่สามารถบอกคุณสมบัติเชิงกล
- การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ
- สรุปตารางผลการทดลอง
- วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์ผลการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

ตารางที่ 4.1 ผลการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

อัตราส่วน		อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า:ลูกกลิ้งหลัง (°C)
Polypropylene (PP)	Natural rubber (NR)	120:120 - 160:160
20	80	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมมีการรวมเป็นเนื้อเดียวกัน พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะเรียบ ผิวลื่นเป็นมัน ไม่เกิดการแยกเฟสให้เห็นและสามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาเป็นแผ่นได้ง่าย
30	70	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมมีการรวมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาได้แต่มีบางส่วนที่ยังเหนียวติดลูกกลิ้งไม่สามารถนำออกมาเป็นแผ่นได้
40	60	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดีนักและไม่สามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาได้เพราะพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวติดลูกกลิ้งแน่นมาก
50	50	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดีนักและไม่สามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาได้เพราะพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวติดลูกกลิ้งแน่นมาก

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ผลการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสม

อัตราส่วน		อุณหภูมิลูกกลิ้งหน้า:ลูกกลิ้งหลัง (°C)
Polypropylene (PP)	Natural rubber (NR)	120:120 - 160:160
60	40	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดีนักและไม่สามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาได้ เพราะพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวติดลูกกลิ้งแน่นมาก
70	30	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดีนักและไม่สามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาได้ เพราะพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวติดลูกกลิ้งแน่นมาก
80	20	หลังจากทำการทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมแล้ว จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ไม่ดีนักและไม่สามารถใช้เกียงกรีดพอลิเมอร์ผสมออกมาได้ เพราะพอลิเมอร์ผสมมีความเหนียวติดลูกกลิ้งแน่นมาก

สรุปผล การหาอัตราส่วนผสมกับอุณหภูมิที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนผสมที่ 20:80 กรัม ที่อุณหภูมิ 140°C เป็นกระบวนการที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาทำการทดลอง เพราะพอลิเมอร์ผสมที่ผสมได้นั้น มีการรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะเรียบผิวลื่นเป็นมัน ไม่เกิดการแยกเฟสให้เห็นและสามารถกรีดออกมาเป็นแผ่นได้ง่าย และจากผลการทำการทดลองพบว่า เมื่อทำการอัดขึ้นรูปและทดสอบคุณสมบัติค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ที่ช่วงอุณหภูมิ 160°C ชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปมีลักษณะเป็นสีเข้ม เกิดการไหม้แต่กลับได้ค่าคุณสมบัติที่ดีอาจเนื่องมาจากพอลิพรอพิลีนที่นำมาทำการทดลองได้ใส่สารเติมแต่ง (Additive) จากกระบวนการผลิตของบริษัทมาแล้ว คุณสมบัติของพอลิพรอพิลีนจึงช่วยส่งเสริมให้คุณสมบัติของยางเสื่อมสภาพช้าลง ดังนั้นก่อนที่จะนำชิ้นงานไปใช้งานควรมีการตรวจสอบการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ก่อน

4.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความทนทานต่อแรงดึง

4.1.1 ผลที่ได้จากการทดลอง

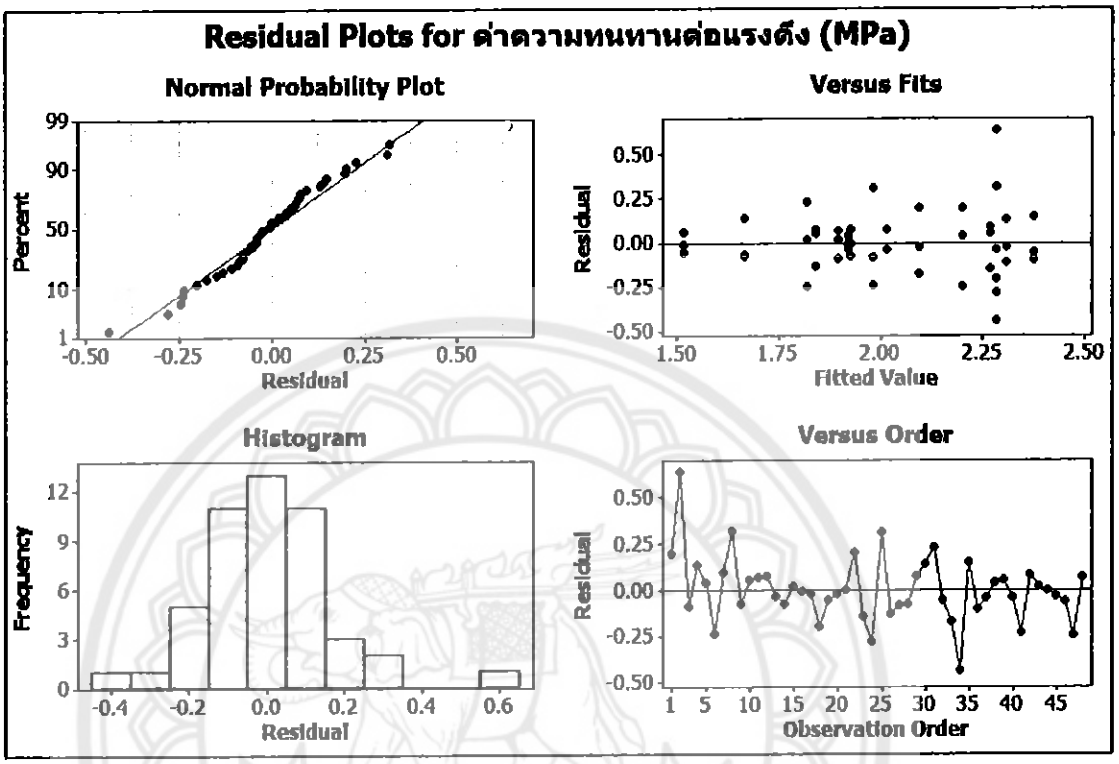
จากตารางที่ จ.1 เป็นค่าของความทนทานต่อแรงดึงที่วัดได้จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM)

4.1.2 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ได้เก็บมานั้น ตามตารางที่ จ.1 จะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งการวิเคราะห์นั้นจะให้ผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นดังนี้

4.1.2.1 การวิเคราะห์ผลจากกราฟ

รูปที่ 4.1 ดังแสดงด้านล่างนี้ เป็นรูปแผนภูมิกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ



รูปที่ 4.1 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าความทนทานต่อแรงดึง

แผนภูมินี้เป็นการนำส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลของค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้จากการเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ดูว่าข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีความน่าเชื่อถือหรือว่าเพียงพอต่อการวิเคราะห์โดยวิธีการปกติหรือว่าจะต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีขั้นสูงกว่า ซึ่งในรูปที่ 4.1 นี้จะแสดงถึงการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

ก) Normal Probability Plot of the Residual เป็นกราฟที่แสดงค่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) ว่ามีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้จากการที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรง และมีการกระจายตัวที่หนาแน่นบริเวณใกล้ๆ ศูนย์ จึงกล่าวได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ

ข) Residuals Versus the Fitted Values เป็นกราฟที่ไว้ใช้ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในแต่ละช่วงของข้อมูลนั้นเป็นอย่างไร ซึ่งควรมีการกระจายตัวใกล้ๆ กันมีรูปแบบที่เห็นได้ชัดเจนลักษณะของกราฟควรมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่าศูนย์

ค) Histogram of the Residuals เป็นกราฟที่ไว้ใช้ตรวจสอบว่าส่วนตกค้างนั้นมีการกระจายตัวที่เป็นปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟฮิสโตแกรมนั้นควรจะมีรูปทรงสมมาตรเป็นรูประฆังคว่ำและมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่าศูนย์

ง) Residuals Versus the Order of the Data เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบดูว่าส่วนตกค้างนั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ ซึ่งบนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใดๆ อย่างชัดเจน ซึ่งควรจะมีการกระจายตัวที่ขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้น จากการวิเคราะห์นี้ จะกล่าวได้ว่าข้อมูลของค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผลที่ถูกต้อง เชื่อถือได้

4.1.2.2 การวิเคราะห์ผลจากค่าที่อ่านได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

จากตารางที่ 4.2 จะเป็นตารางที่แสดงถึงผลการวิเคราะห์ของค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยว่ามีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าความทนทานต่อแรงดึง

ปัจจัย	DF	SS	MS	F	P
อุณหภูมิ	3.000	1.969	0.656	14.390	0.000
เวลา	3.000	0.068	0.022	0.500	0.684
อุณหภูมิ*เวลา	9.000	0.758	0.084	1.850	0.098
Error	32.000	1.459	0.045		
Total	47.000	4.255			

หมายเหตุ DF = Degree of Freedom
SS = Sum of Squares
MS = Mean Square
F = F-Value
P = P-Value

การแปลผลสำหรับการทดลองนี้ จะพิจารณาความน่าจะเป็นทางสถิติหรือเรียกว่าค่าของ P-Value ที่ได้จากการทดสอบ ค่า P-Value คือ ความน่าจะเป็นทางสถิติของพื้นที่ใต้โค้ง (Normal Curve) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

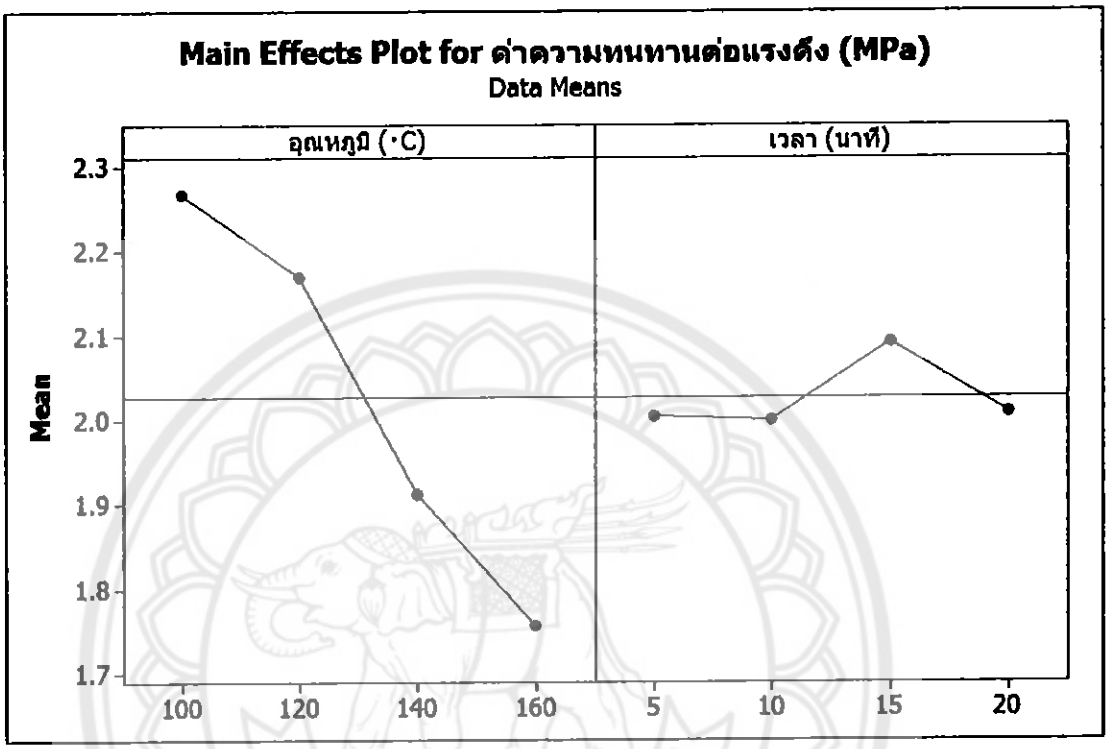
ก) ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 จะยอมรับว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence Interval

ข) ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จะปฏิเสธว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence Interval

ดังนั้น ข้อมูลของค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ได้วิเคราะห์ผ่านกระบวนนี้ จะสรุปได้ว่าปัจจัยอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึง ปัจจัยเวลาในการอัดขึ้นรูปไม่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงและปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปนั้นไม่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึง หรือจะกล่าวว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence Interval หรือไม่

4.1.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก (Main Effects)

Main Effects เป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะได้ดังรูป 4.2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงผลของปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.2 จะสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ คือ Main Effects Plot (data means) for Tensile Strength (MPa) ในการวิเคราะห์นั้นถ้าพิจารณาในส่วนของปัจจัยหลัก (Main Effect) ในส่วนของ

ก) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (Temperature, °C)

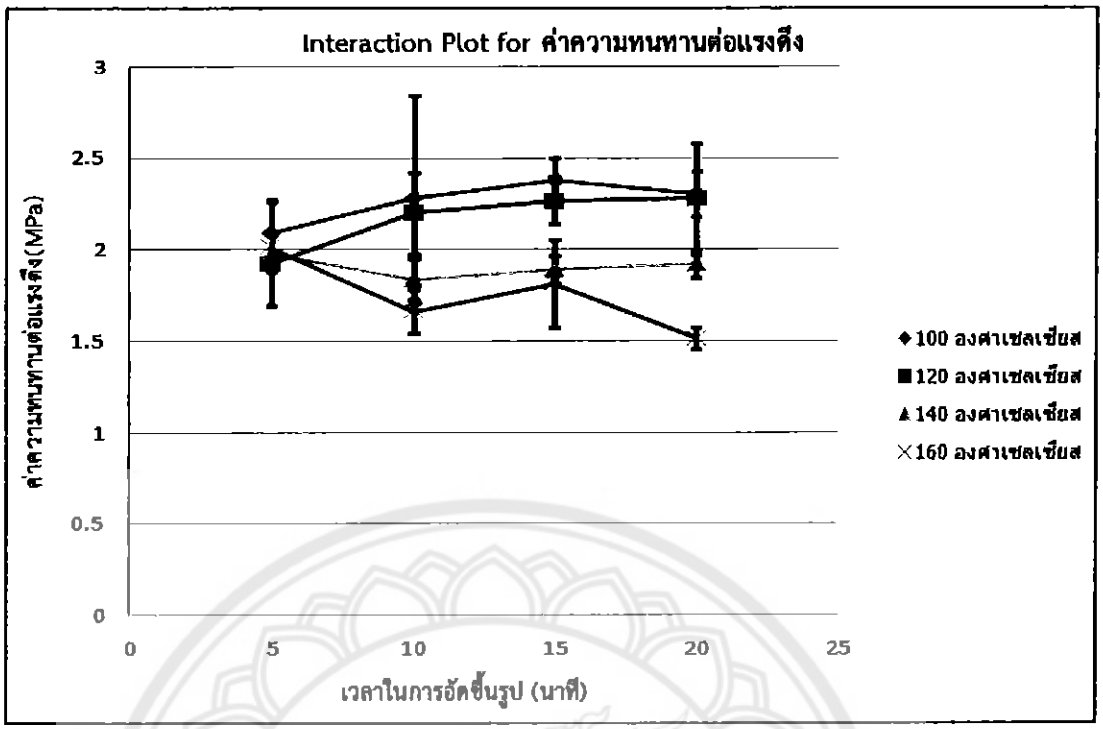
อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ระดับ 100-160 °C จะพบว่า เมื่อทำการวัดค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ 100 °C จะให้ค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง ซึ่งกรณีนี้เราจะสรุปได้ว่าส่วนของปัจจัยอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 °C จะให้ผลค่าความทนทานต่อแรงดึงดีที่สุด

ข) เวลาในการอัดขึ้นรูป (Time, นาที)

เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5-20 นาที จะพบว่าเมื่อทำการวัดค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ 15 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูปจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง ซึ่งกรณีนี้เราจะสรุปได้ว่าส่วนของปัจจัยเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 15 นาที จะให้ผลค่าความทนทานต่อแรงดึงดีที่สุด

4.1.2.4 การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการมีอันตรกิริยา (Interaction)

การมีอันตรกิริยาเป็นผลตอบของปัจจัยหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ จะได้ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

Interaction Plot (data means) for Tensile Strength (MPa) ในการวิเคราะห์อันตรกิริยานั้น ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย นั้นเราจะพิจารณาได้ดังนี้คือ

ก) ในส่วนของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิ (Temperature) กับเวลา (Time) ในการอัดขึ้นรูปนั้นจากแผนภูมิรูปภาพ เราจะกล่าวได้ว่าหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 °C ที่เวลาในการอัดขึ้นรูป 15 นาที จะทำให้ได้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงที่สุดและหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 160 °C ที่เวลาในการอัดขึ้นรูป 20 นาที จะทำให้ได้ค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำที่สุด

ดังนั้น หากพิจารณาในส่วนของค่าความทนทานต่อแรงดึงควรที่จะเลือกอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูป เพื่อที่จะนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม พิจารณาได้ดังนี้

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่ต่ำกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเราเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูปมากกว่า 5 นาทีขึ้นไป จะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 120 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 20 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเราลดเวลาในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าของค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเราเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าของค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 160 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเราเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าของค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง

4.1.2.5 การวิเคราะห์ผลการถดถอยของข้อมูล

ก. การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมโดยมีการกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100°C, 120°C, 140°C และ160°C กับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5, 10, 15 และ 20 นาทีตามลำดับ

การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล คือ อุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ส่งผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึง เมื่อนำค่าความทนทานต่อแรงดึงจากการวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 - 160°C กับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 - 20 นาที ตามลำดับ

Predictor	Coefficients
Constant	1.945
อุณหภูมิ (Temperature, °C)	0.430×10^{-3}
เวลา (Time, นาที)	9.950×10^{-2}
อุณหภูมิ * เวลา	-0.075×10^{-2}
Std. Error of Estimate = 0.208	
R-Square = 65.70%	

จากตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ทำการกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100-160 °C กับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5-20 นาที ตามลำดับ สรุปได้ว่า

ค่า R-Square = 65.70% คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด มีค่าใกล้ 100% แสดงว่าอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้น สมการถดถอยมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

ค่า Std. Error of Estimate = 0.208 คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ตัวแปรผล คือ ค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมจะมีความคลาดเคลื่อนด้วยตัวแปรอิสระอื่นๆ ประมาณ 0.208

จากการคำนวณค่าความถดถอยของตัวแปรอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงจะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ดังสมการที่ 4.1

$$Y = 1.945 + 0.430 \times 10^{-3} X_1 + 9.950 \times 10^{-2} X_2 - 0.075 \times 10^{-2} X_1 X_2 \qquad (4.1)$$

โดยที่ Y = ค่าความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม (MPa)

X_1= อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)

X_2= เวลาในการอัดขึ้นรูป (นาที)

4.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

4.2.1 ผลที่ได้จากการทดลอง

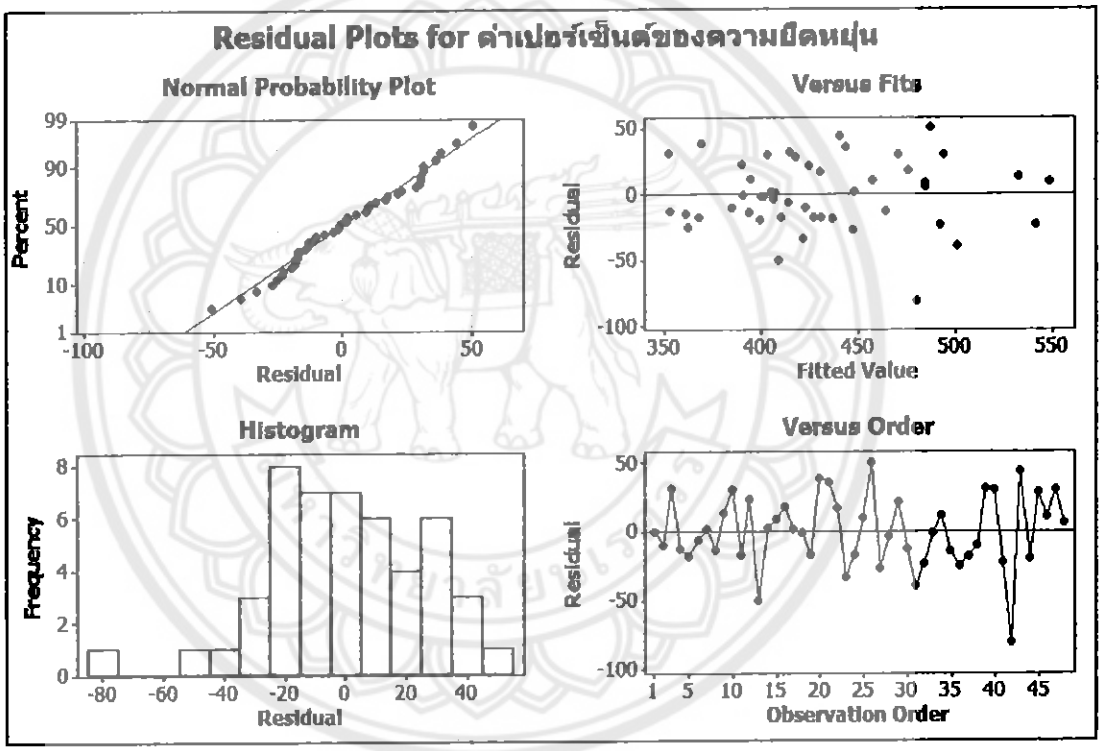
จากตารางที่ จ.2 เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น ซึ่งได้ทำการเก็บค่าทั้งหมด 5 ครั้ง

4.2.2 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ได้เก็บมานั้น ตามตารางที่ จ.2 วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งการวิเคราะห์นั้นจะให้ผลการวิเคราะห์ออกเป็นดังต่อไปนี้

4.2.2.1 การวิเคราะห์ผลจากกราฟ

รูปที่ 4.4 ดังที่แสดงด้านล่างนี้ เป็นรูปแผนภูมิกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ผลของโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ



รูปที่ 4.4 แผนภูมิกราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

แผนภูมินี้เป็นการนำส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นที่ได้จากการเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ดูว่าข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีความน่าเชื่อถือหรือว่าเพียงพอต่อการวิเคราะห์โดยวิธีการปกติ หรือว่าจะต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีขั้นสูงกว่า ซึ่งในรูปที่ 4.1 นี้จะแสดงถึงการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

ก) Normal Probability Plot of the Residual เป็นกราฟที่แสดงค่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) ว่ามีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้จากการที่จุดบนกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรง และมีการกระจายตัวที่หนาแน่นบริเวณใกล้ๆ ศูนย์ จึงกล่าวได้ว่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ

ข) Residuals Versus the Fitted Values เป็นกราฟที่ไว้ใช้ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในแต่ละช่วงของข้อมูลนั้นเป็นอย่างไร ซึ่งควรมีการกระจายตัวใกล้ๆ กันมีรูปแบบที่เห็นได้ชัดเจนลักษณะของกราฟควรมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่าศูนย์

ค) Histogram of the Residuals เป็นกราฟที่ไว้ใช้ตรวจสอบว่าส่วนตกค้างนั้นมีการกระจายตัวที่เป็นปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟฮิสโตแกรมนั้นควรจะมีรูปทรงสมมาตรเป็นรูประฆังคว่ำและมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่าศูนย์

ง) Residuals Versus the Order of the Data เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบดูว่าส่วนตกค้างนั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ ซึ่งบนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใด ๆ อย่างชัดเจน ซึ่งควรจะมีการกระจายตัวที่ขึ้นลงอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้น จากการวิเคราะห์นี้ จะกล่าวได้ว่าข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ผลที่ถูกต้อง เชื่อถือได้

4.2.2.2 การวิเคราะห์ผลจากค่าที่อ่านได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากตารางที่ 4.4 จะเป็นตารางที่แสดงถึงผลการวิเคราะห์ของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยว่ามีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ได้ทำการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าผลการวิเคราะห์ของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

ปัจจัย	DF	SS	MS	F	P
อุณหภูมิ	3.000	60756.000	20252.000	18.830	0.000
เวลา	3.000	8919.000	2973.000	2.760	0.059
อุณหภูมิ*เวลา	9.000	40640.000	4516.000	4.200	0.001
Error	30.000	32273.000	1076.000		
Total	47.000	144732.000			

หมายเหตุ DF = Degree of Freedom
SS = Sum of Squares
MS = Mean Square
F = F-Value
P = P-Value

การแปลผลสำหรับการทดลองนี้จะพิจารณาความน่าจะเป็นทางสถิติหรือเรียกว่าค่า P-Value ที่ได้จากการทดสอบ ค่า P-Value คือ ความน่าจะเป็นทางสถิติของพื้นที่ใต้โค้ง (Normal Curve) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

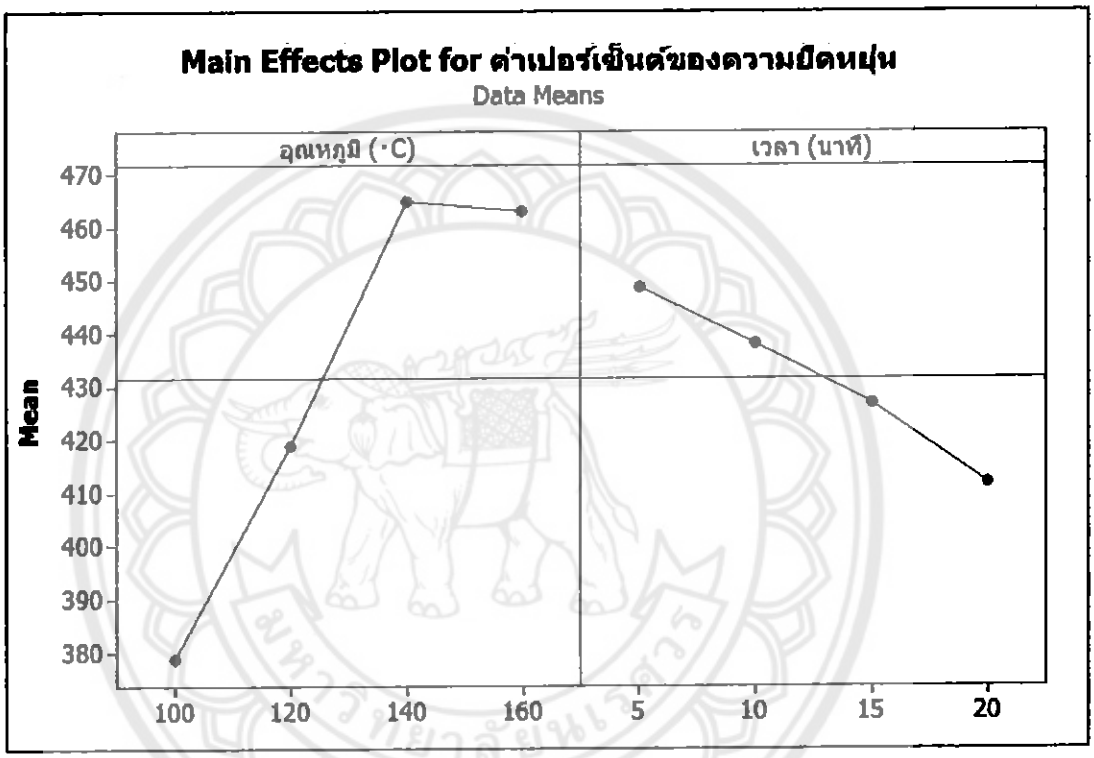
ก) ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 จะยอมรับว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence Interval

ข) ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จะปฏิเสธว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence Interval

ดังนั้น ข้อมูลของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ได้วิเคราะห์ผ่านกระบวนนี้ จะสรุปได้ว่า ปัจจัยอุณหภูมิมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น ปัจจัยเวลาไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นและปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยก็คือ อุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูปนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 95% Confidence Interval หรือมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

4.2.2.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก (Main Effects)

Main Effects เป็นผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยนั้น ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะได้ดังรูป 4.7 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงผลของปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.5 นี้เราจะสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ คือ Main Effects Plot (data means) for %Elongation ในการวิเคราะห์นั้นถ้าพิจารณาในส่วนของปัจจัยหลัก (Main Effect) ในส่วนของ

ก) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (Temperature, °C)

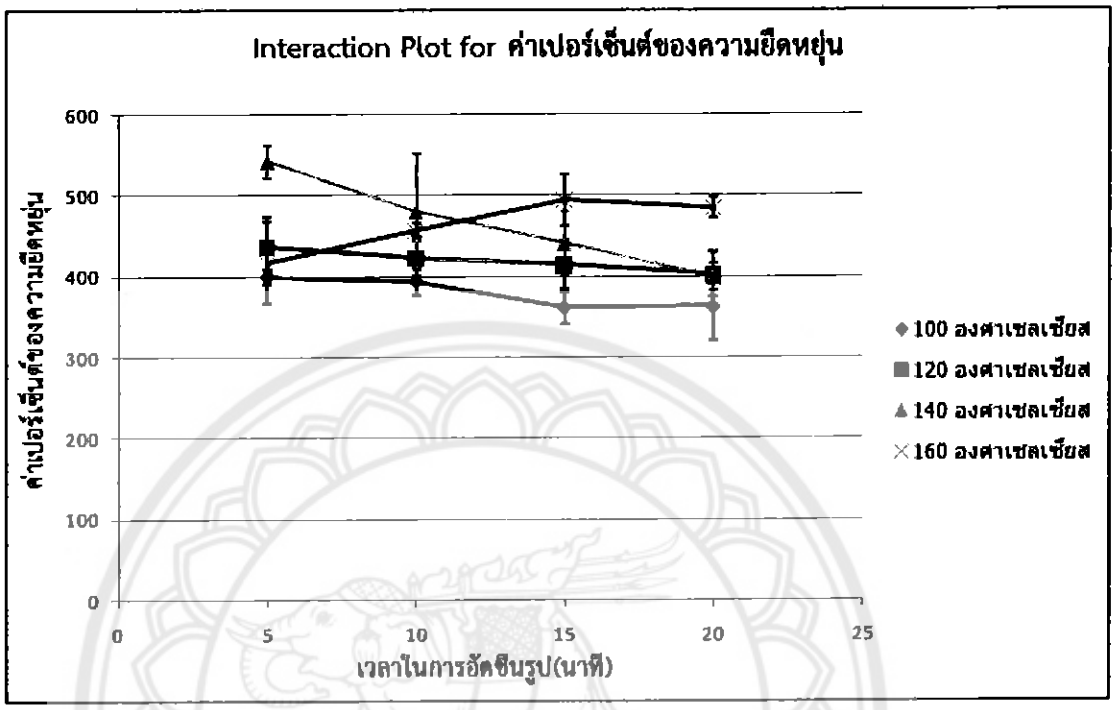
อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ระดับ 100-160 °C จะพบว่าเมื่อทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ 140 °C จะให้ค่าที่สูงกว่าอุณหภูมิระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อลดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นลดลง ซึ่งกรณีนี้เราจะสรุปได้ว่าส่วนของปัจจัยอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140 °C จะให้ผลค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นดีที่สุด

ข) เวลาในการอัดขึ้นรูป (Time, นาที)

เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5-20 นาที จะพบว่าเมื่อทำการวัดค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นที่ 5 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ซึ่งกรณีนี้เราจะสรุปได้ว่าส่วนของปัจจัยเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ผลค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นดีที่สุด

4.2.2.4 การวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการมีอันตรกิริยา (Interaction)

การมีอันตรกิริยาเป็นผลตอบของปัจจัยหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะได้ดังรูป 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

Interaction Plot (data means) for %Elongation ในการวิเคราะห์อันตรกิริยานั้น ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นร่วมกันระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย นั้นเราจะพิจารณาได้ดังนี้คือ

ก) ในส่วนของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิ (Temperature) กับเวลา (Time) นั้นจากแผนภูมิรูปภาพเราจะกล่าวได้ว่าหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140 °C ที่เวลาในการอัดขึ้นรูป 5 นาที จะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นสูงที่สุดและหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 °C ที่เวลาในการอัดขึ้นรูป 15 นาที จะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นต่ำที่สุด

ดังนั้น หากพิจารณาในส่วนของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นควรที่จะเลือกอุณหภูมิและเวลาในการอัดขึ้นรูป เพื่อที่จะนำไปใช้ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน พิจารณาได้ดังนี้

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่ต่ำกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูปจะทำให้ค่าของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นลดลง

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 120 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นลดลง

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่สูงกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูป จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นลดลง

อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 160 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที จะให้ค่าที่ต่ำกว่าเวลาระดับอื่นๆ ดังรูปภาพ ซึ่งหมายความว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูปจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

4.2.2.5 การวิเคราะห์ผลการถดถอยของข้อมูล

ก. การวิเคราะห์การถดถอยของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม โดยมีการกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 - 160 °C กับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 - 20 นาที ตามลำดับ

การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล คือ อุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นการวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จาก**การ**กำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 -160 °C กับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 - 20 นาทีตามลำดับ

Predictor	Coefficients
Constant	396.784
อุณหภูมิ (Temperature, °C)	0.500
เวลา (Time, นาที)	-12.792
อุณหภูมิ * เวลา	0.079
Std. Error of Estimate = 32.799	
R-Square = 77.70%	

จากตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม ที่ได้ทำการกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100 - 160 °C กับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 - 20 นาทีตามลำดับ สรุปได้ว่า

ค่า R-Square = 77.70% คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด มีค่าเข้าใกล้ 100% แสดงว่าอุณหภูมิและเวลามีอิทธิพลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้น สมการถดถอยมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

ค่า Std. Error of Estimate = 32.799 คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ตัวแปรผลคือค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ผสม จะมีความคลาดเคลื่อนด้วยตัวแปรอิสระอื่นๆ ประมาณ 32.799

จากการคำนวณค่าความถดถอยของตัวแปรอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นจะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์เป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ระดับนัยสำคัญที่ 95% ดังสมการที่ 4.2

$$Y = 396.784 - (0.500X_1) - (12.792X_2) + (0.079X_1X_2) \quad (4.2)$$

โดยที่ Y = ค่าความทนทานต่อแรงดึงของ พอลิเมอร์ผสม (MPa)

X_1= อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)

X_2= เวลาในการอัดขึ้นรูป (นาที)

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีความสำคัญต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้อย่างมากเพราะหากใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ต่ำไปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมหลอมเข้ากันได้ไม่ดี ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปในการอัดขึ้นรูปจะทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้ทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ลดลง ดังนั้นในการอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปให้เหมาะสม

เวลาในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องควบคุมให้เหมาะสมกับ พอลิเมอร์ผสม ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเพราะพอลิเมอร์ผสมจะมีช่วงเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปแตกต่างกัน การใช้เวลาที่เหมาะสมให้ผลเช่นเดียวกันกับการใช้อุณหภูมิไม่เหมาะสมคือถ้าใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปน้อยไปทำให้พอลิเมอร์ผสมยังไม่หลอมเข้ากันและหากใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปมากเกินไปพอลิเมอร์ผสมอาจเกิดการเสียคุณภาพได้

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม คือ ค่าความทนทานต่อแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นนั้น จากการดำเนินการวิจัย ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปและเวลาในการอัดขึ้นรูป โดยกำหนดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปไว้ที่ 100 -160 °C และเวลาในการอัดขึ้นรูปไว้ที่ 5-20 นาที เพื่อพิจารณาตัวแปรปัจจัยที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น สามารถสรุปได้ว่า

5.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความทนทานต่อแรงดึง

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปผลการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

สภาวะที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าความทนทานต่อแรงดึง (MPa)
1	100	5	2.92
2	120	20	2.60
3	100	15	2.52
4	120	10	2.40
5	120	15	2.36

จากการดำเนินการวิจัย สามารถเรียงผลการดำเนินการวิจัยที่ดีที่สุด 5 สภาวะ ได้ดังนี้

ก) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที สามารถที่จะให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงได้ดีที่สุด คือ สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 2.92 MPa. ของพอลิเมอร์ผสม

ข) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 120°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 20 นาที สามารถ

ที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 2.60 MPa. ของพอลิเมอร์ผสม

ก) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 15 นาที สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 2.52 MPa. ของพอลิเมอร์ผสม

ข) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 120°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 10 นาที สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 2.40 MPa. ของพอลิเมอร์ผสม

ค) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 120°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 15 นาที สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 2.36 MPa. ของพอลิเมอร์ผสม

ในการทดลองจะพบว่าสภาวะที่ 1 สามารถให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงได้สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากการที่ช่วงของอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปเหมาะสมพอลิเมอร์ผสมสามารถหลอมรวมเข้ากันได้ดีสมบัติค่าความทนทานต่อแรงดึงจึงเพิ่มขึ้น ถ้ามีการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่านี้สมบัติค่าความทนทานต่อแรงดึงก็จะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่สูงมากเกินไปทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสียสภาพทำให้สมบัติค่าความทนทานต่อแรงดึงลดลง ดังนั้นอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมคืออุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 100°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที เพราะพอลิเมอร์ผสมเกิดการผสมเข้ากันได้ดีทำให้สมบัติค่าความทนทานต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้น

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

ตารางที่ 5.2 ตารางสรุปผลการทดลองของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

สภาวะที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น
1	140	5	559.11
2	140	10	538.08
3	160	15	524.85
4	160	20	493.89
5	140	15	485.00

จากการดำเนินการวิจัย สามารถเรียงผลการดำเนินการวิจัยที่ดีที่สุด 5 สภาวะ ได้ดังนี้

ก) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที สามารถที่จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นได้ดีที่สุด คือ สามารถที่จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น 559.11 ของพอลิเมอร์ผสม

ข) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 10 นาที สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 538.08 ของพอลิเมอร์ผสม

ค) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 160°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 15 นาที สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 524.85 ของพอลิเมอร์ผสม

ง) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 160°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 20 นาที สามารถที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 493.89 ของพอลิเมอร์ผสม

จ) อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 15 นาที สามารถ

ที่จะได้ค่าความทนทานต่อแรงดึง 485.00 ของพอลิเมอร์ผสม

ในการทดลองจะพบว่าสภาวะที่ 1 สามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นได้สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากการที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่สูงขึ้นทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติลดลง อาจเนื่องมาจากพอลิเมอร์ผสมเกิดเสื่อมสภาพ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นจึงเกิดการเกี่ยวพันกันได้ดี ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้น รวมไปถึงการที่มีช่วงเวลาในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสม พอลิเมอร์ผสมสามารถหลอมรวมเข้ากันได้ดีสมบัติค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นจึงเพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิกับเวลาในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสมคืออุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปที่ 140°C และเวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที เพราะพอลิเมอร์ผสมเกิดการผสมเข้ากันได้ดีทำให้สมบัติค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (PP) เกรด700 J และยางธรรมชาติ (ยางพารา) ชนิดยางแผ่นตากแห้ง (ยางดิบเกรด 2) มีดังนี้

5.2.1 ควรมีการเติมสารผสมหรือสิ่งที่ช่วยทำให้พอลิเมอร์และยางเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

5.2.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองควรมีการควบคุมอุณหภูมิเครื่องผสมสองลูกกลิ้งและอุณหภูมิเครื่องอัดขึ้นรูปควบคู่ไปกับตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

5.2.3 ระหว่างทำการผสมพอลิเมอร์ผสมและยางธรรมชาติควรมีการรักษาความสะอาดคือ อย่าให้เกิดความสกปรกระหว่างทำการผสมพอลิเมอร์ผสมเพราะถ้ามีสิ่งสกปรกเข้าไปปนเปื้อนจะทำให้ผลการทดลองที่ได้เกิดการคลาดเคลื่อนได้

5.2.4 การศึกษาผลของสารเติมแต่ง (Additives) ต่างๆ ที่ช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่น ศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลหรือความหนืดของแต่ละวัฏภาคที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

5.2.5 ศึกษาถึงการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาโดยใช้เครื่อง Dynamic Mechanical Thermal Analyzer (DMTA)

5.2.6 ศึกษาถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

5.2.7 ศึกษาการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อนของสารตัวอย่างเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทุกช่วงอุณหภูมิโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA)

5.2.8 ควรมีการตรวจสอบความเข้ากันได้ก่อนที่จะนำพอลิเมอร์ผสมไปทำการอัดขึ้นรูป

เอกสารอ้างอิง

บุญธรรม นิธิอุทัย และ ปรีชา ป้องภัย. **คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง I.** 2534. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี (บทความ) http://th.wikipedia.org/wiki/

ปารเมศ ชุติมา. **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่** 1. บริษัทด่านสุทธาการพิมพ์ จำกัด. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พิพัฒน์. พลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 12. กรุงเทพมหานคร. 2538

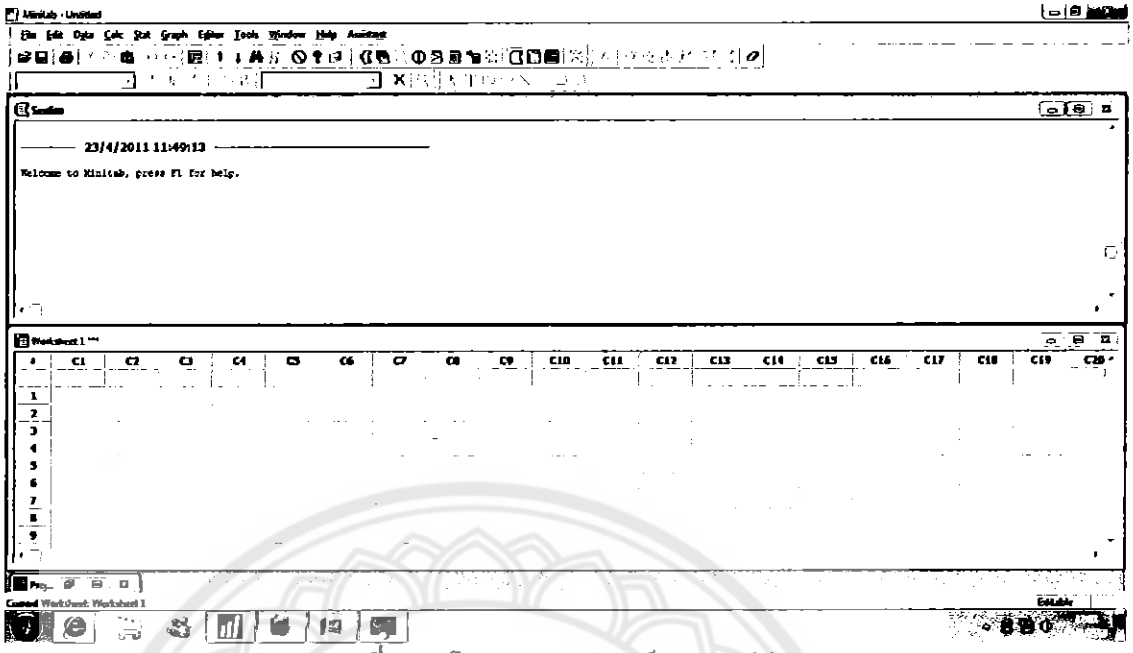
สุจิรา สารลึก. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติและพอลิพรอพิลีน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยบูรพา. 2548

สุพาพร รักสกุลพิวัฒน์. การศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิพรอพิลีนที่มีโมเลกุลต่างกัน. รายงานการวิจัยในวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์. หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2546

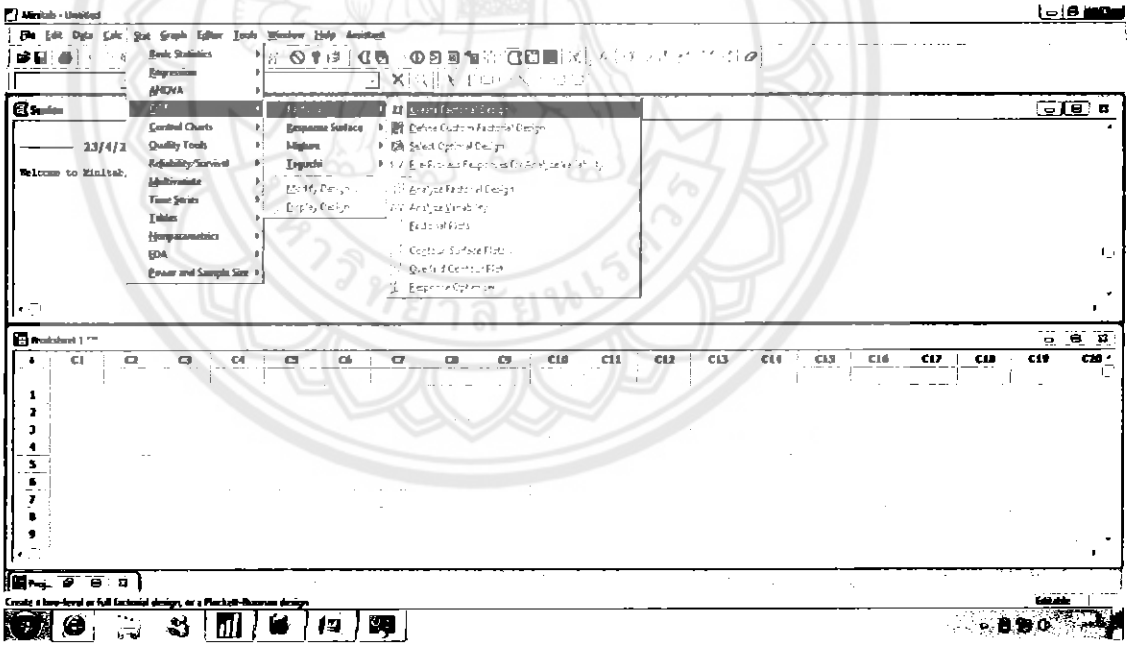
สมบัติ ท้ายเรือคา. (2545). การวิเคราะห์การถดถอยพหุ (MRA) การวิเคราะห์เส้นทาง (PA) และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (FA). วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ปีที่ 8 หน้า 37-46)

ภาคผนวก ก

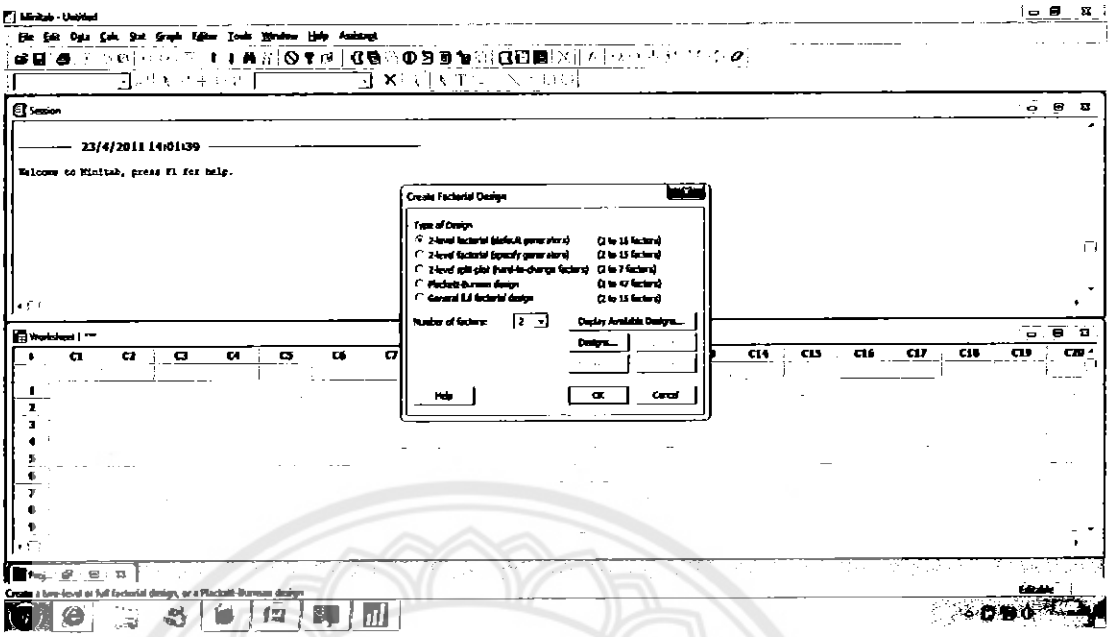
การใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ



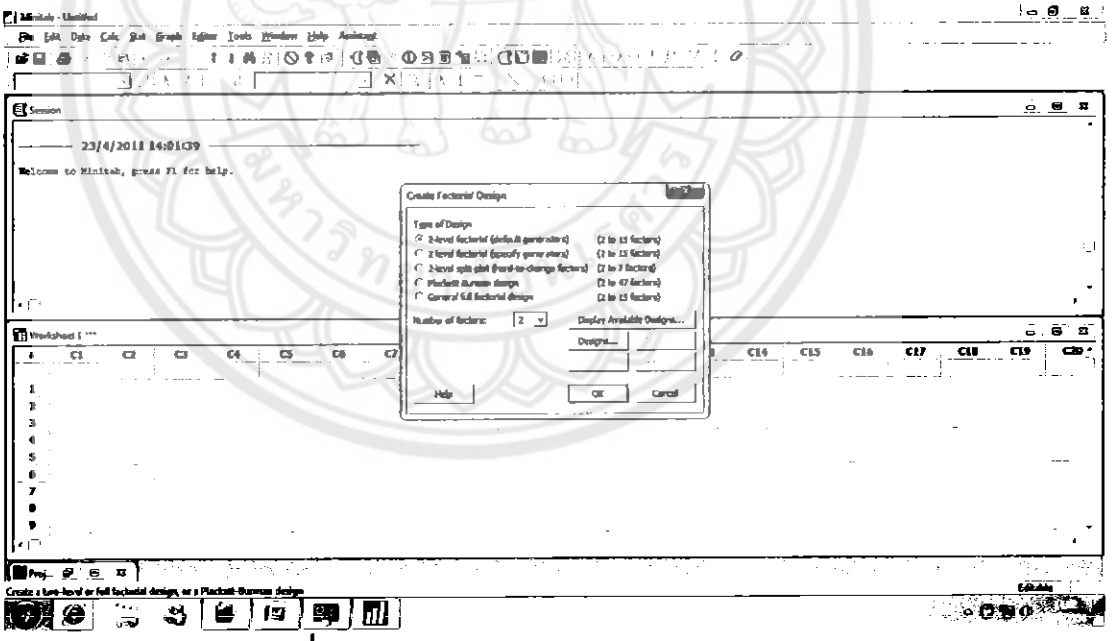
รูปที่ ก.1 โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ



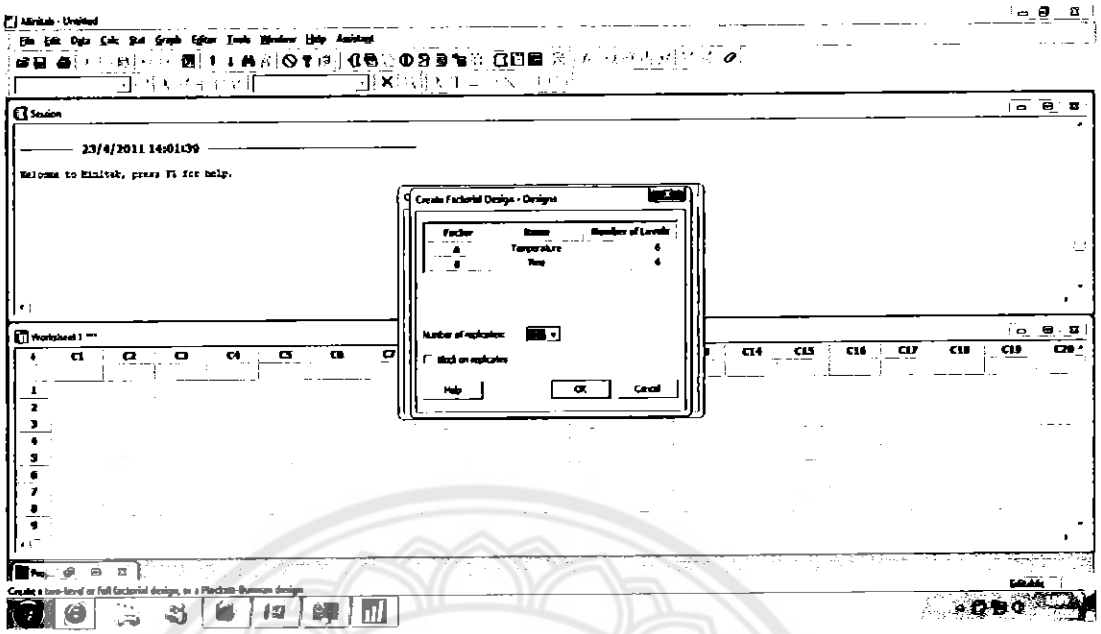
รูปที่ ก.2 การเข้าสู่โปรแกรม



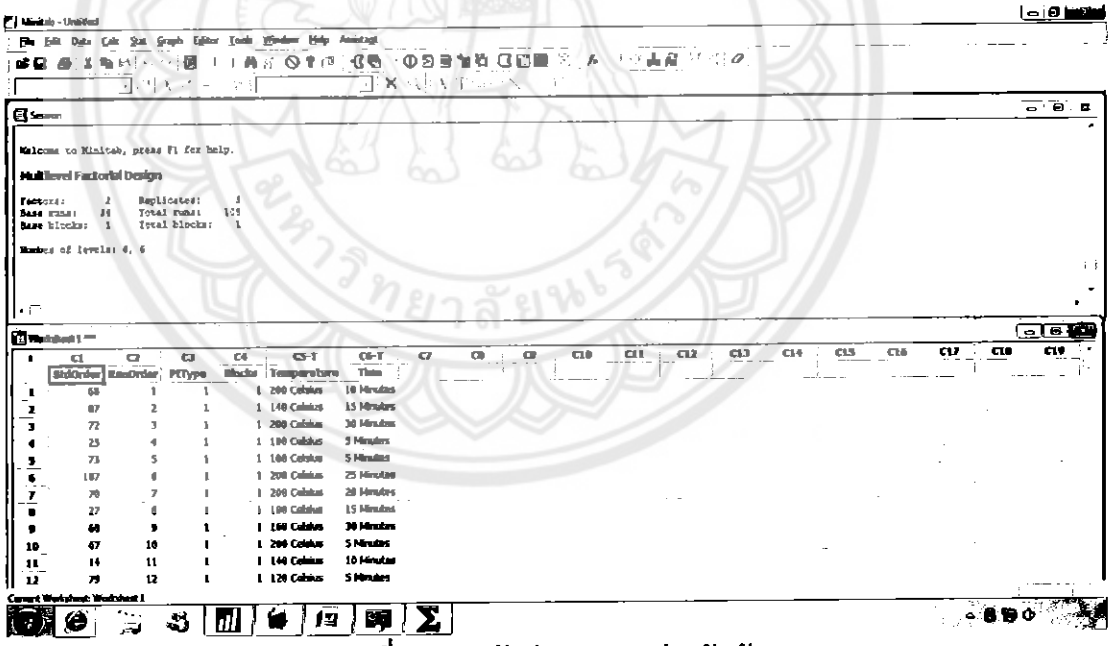
รูปที่ ก.3 การออกแบบการทดลอง



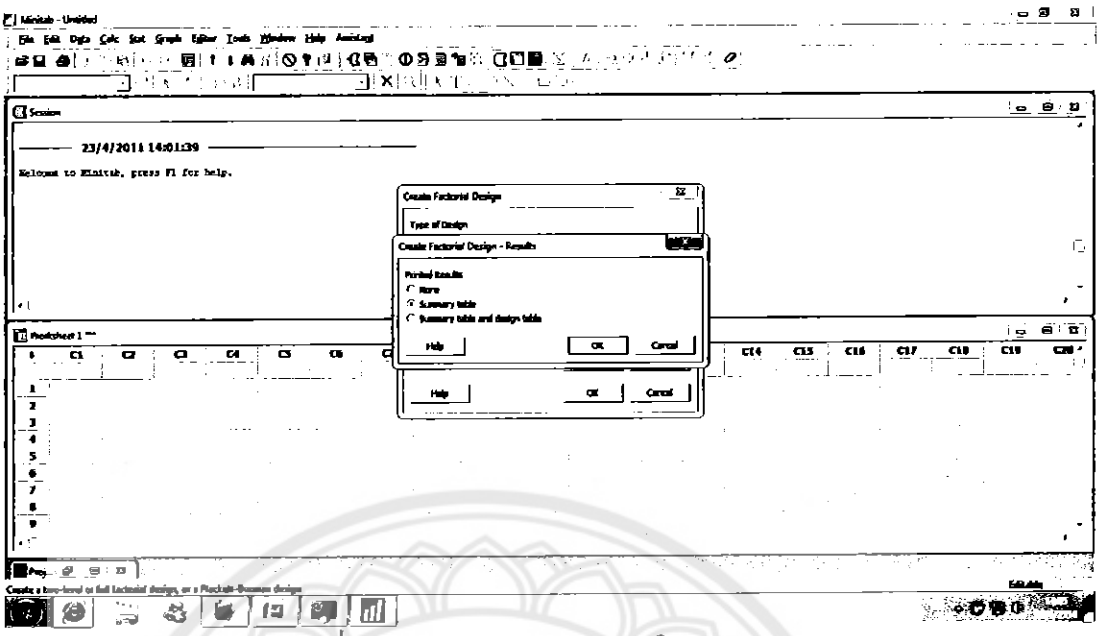
รูปที่ ก.4 การออกแบบแบบ full factorial design



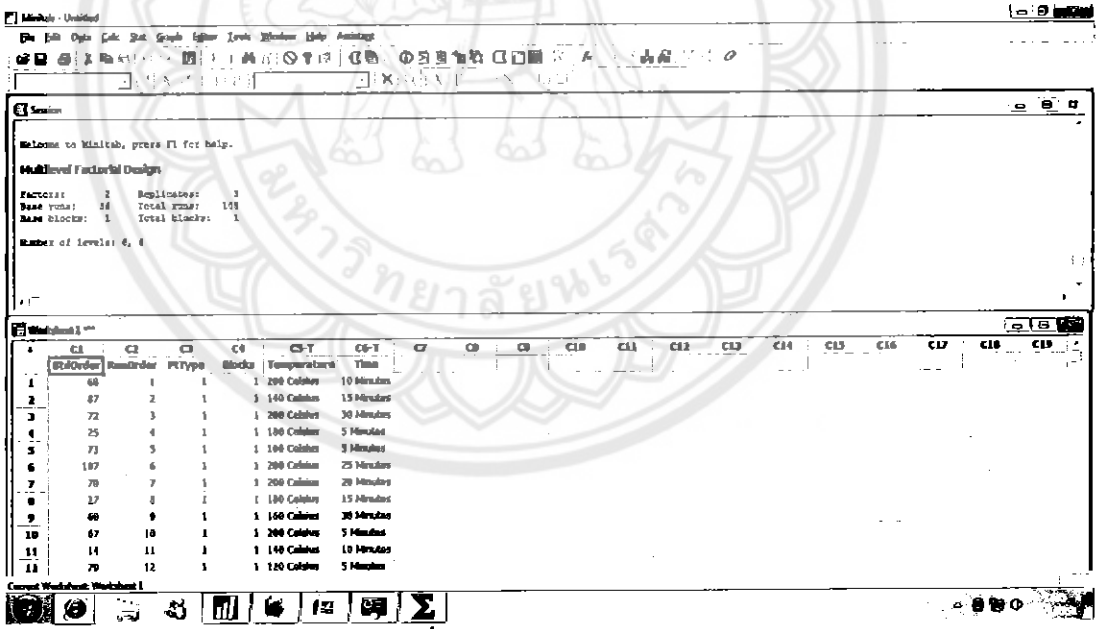
รูปที่ ก.5 จำนวนและระดับของแต่ละปัจจัย



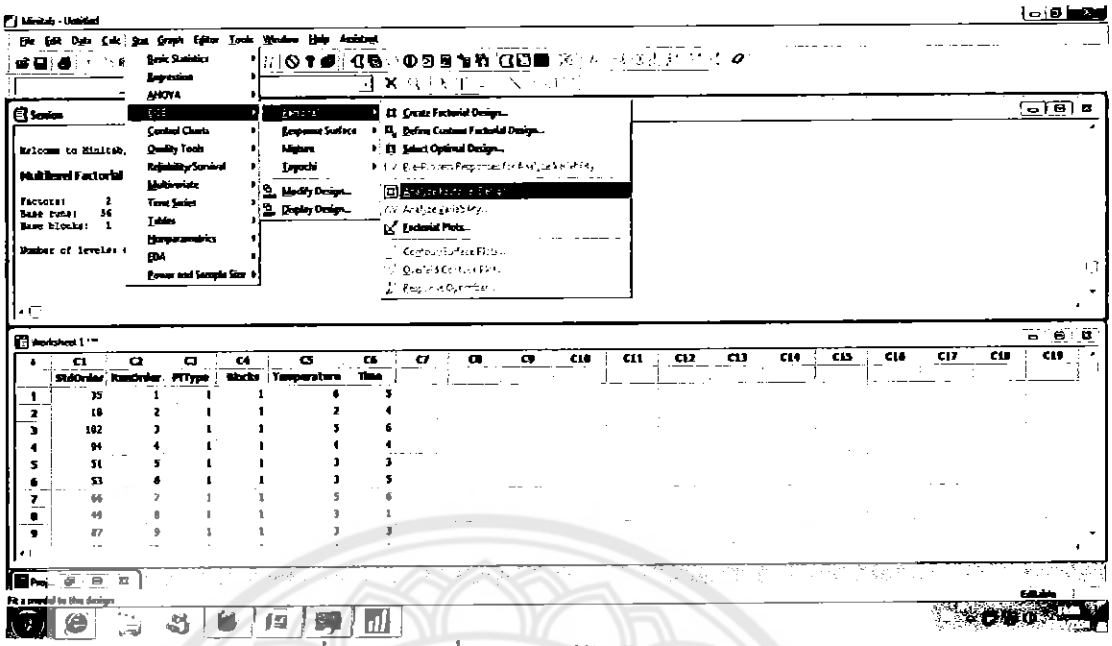
รูปที่ ก.6 ระดับต่างๆ ของแต่ละปัจจัย



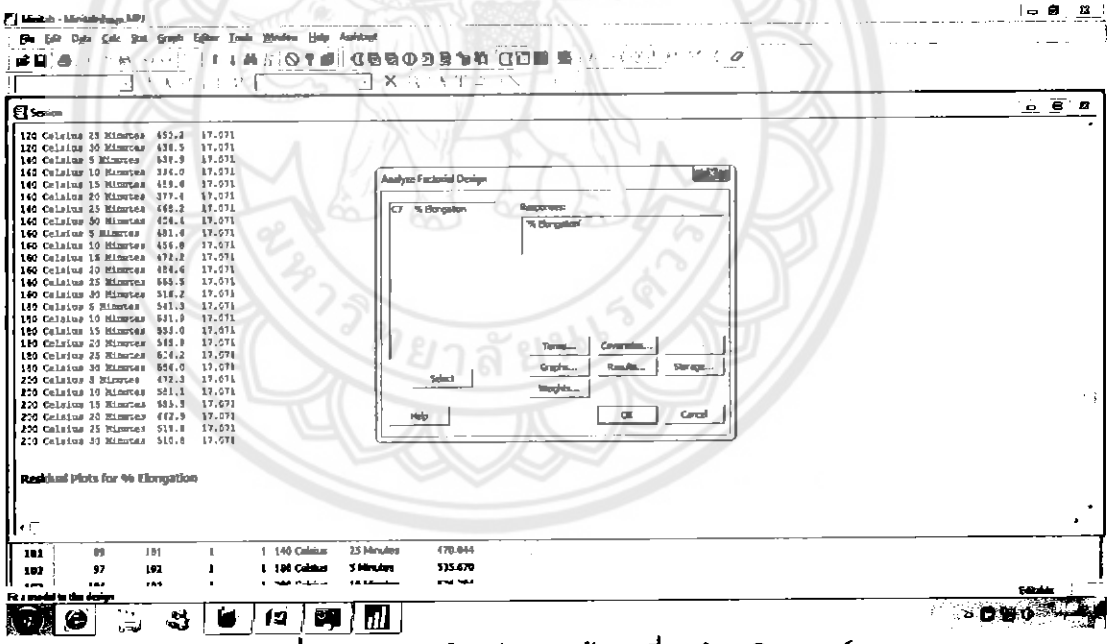
รูปที่ ก.7 การแสดงผลลำดับของในการทดลอง



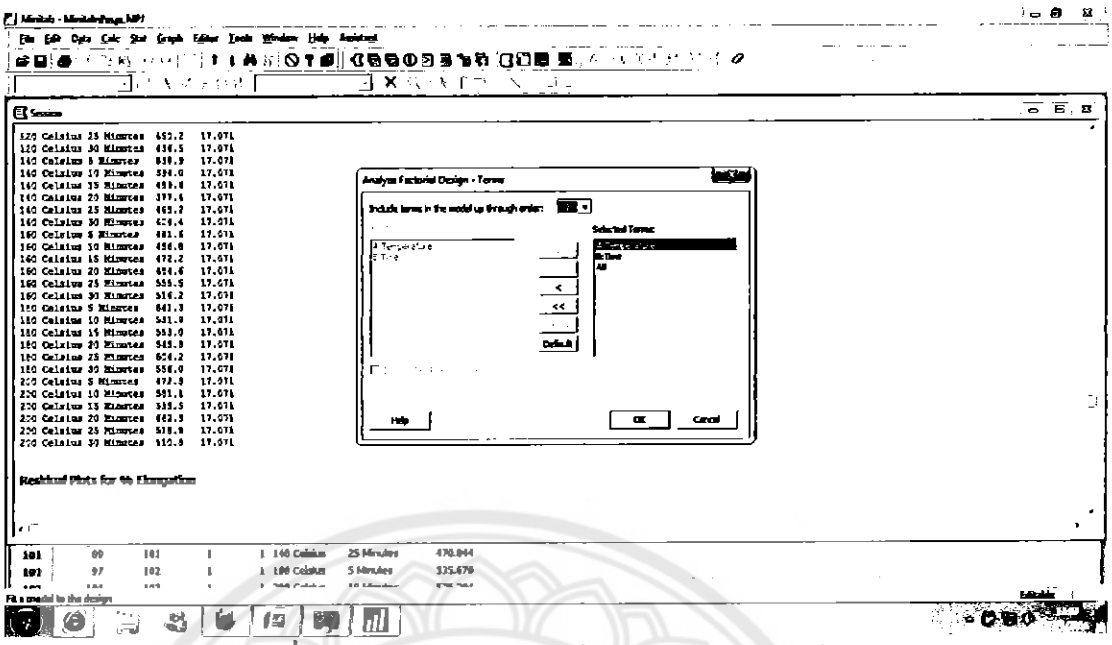
รูปที่ ก.8 ลำดับในการทดลอง



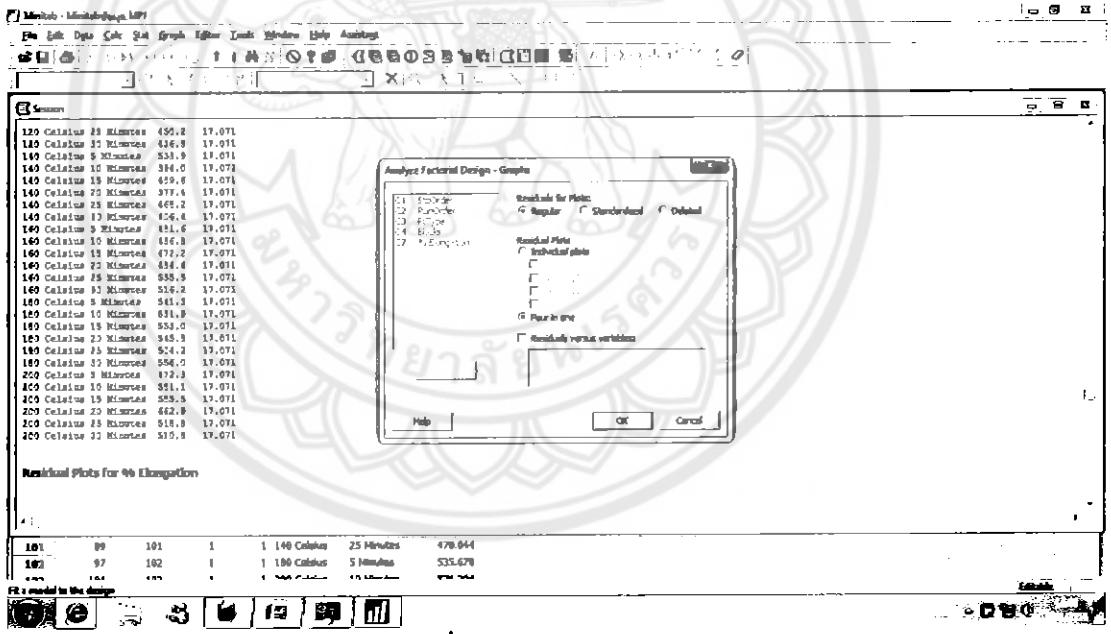
รูปที่ ก.9 การเริ่มวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab



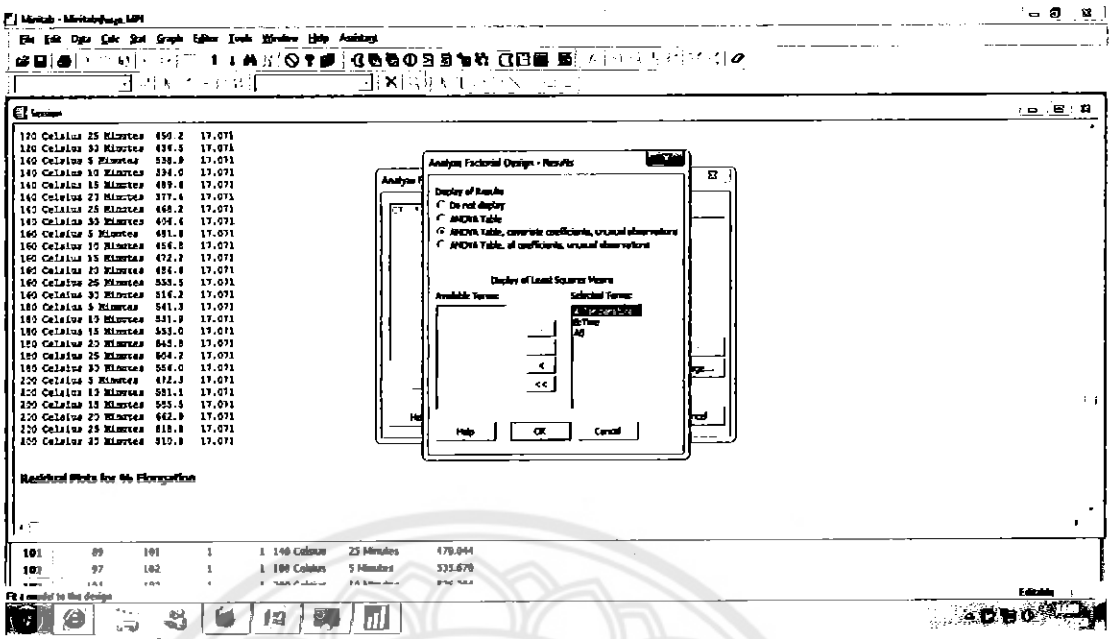
รูปที่ ก.10 การเลือกช่องของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์



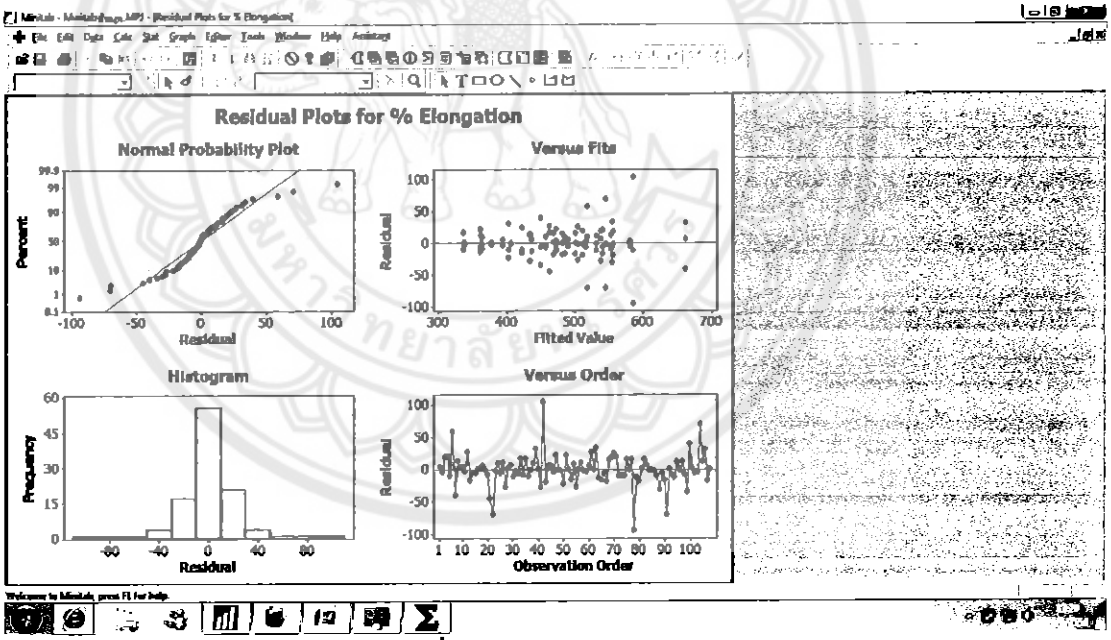
รูปที่ ก.11 การเลือกวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม



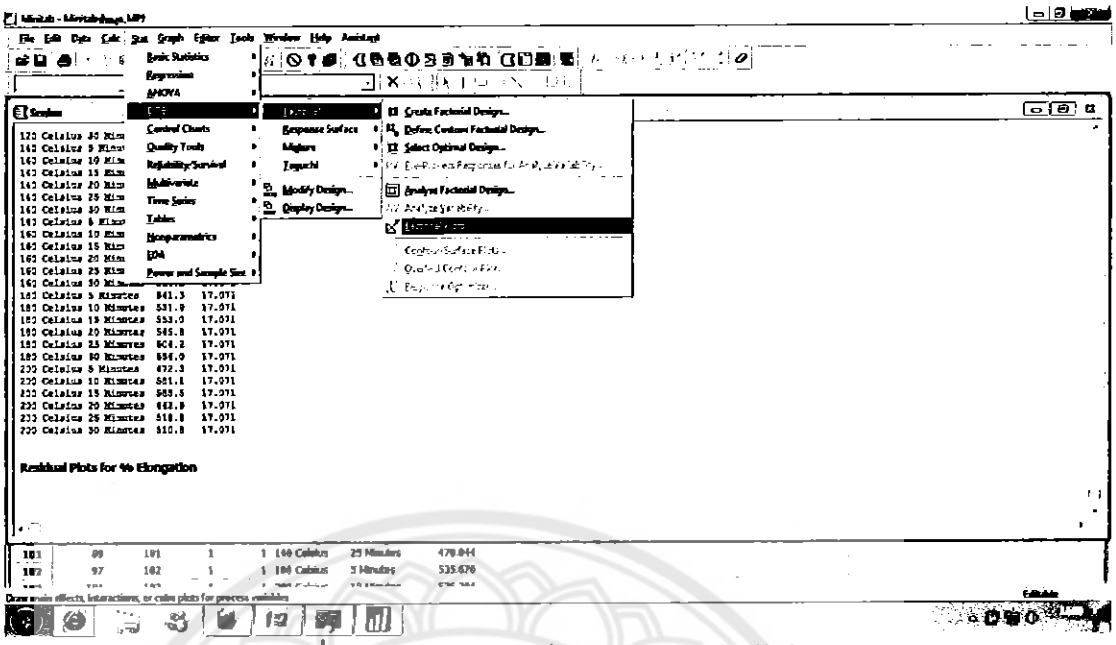
รูปที่ ก.12 การสร้างกราฟ



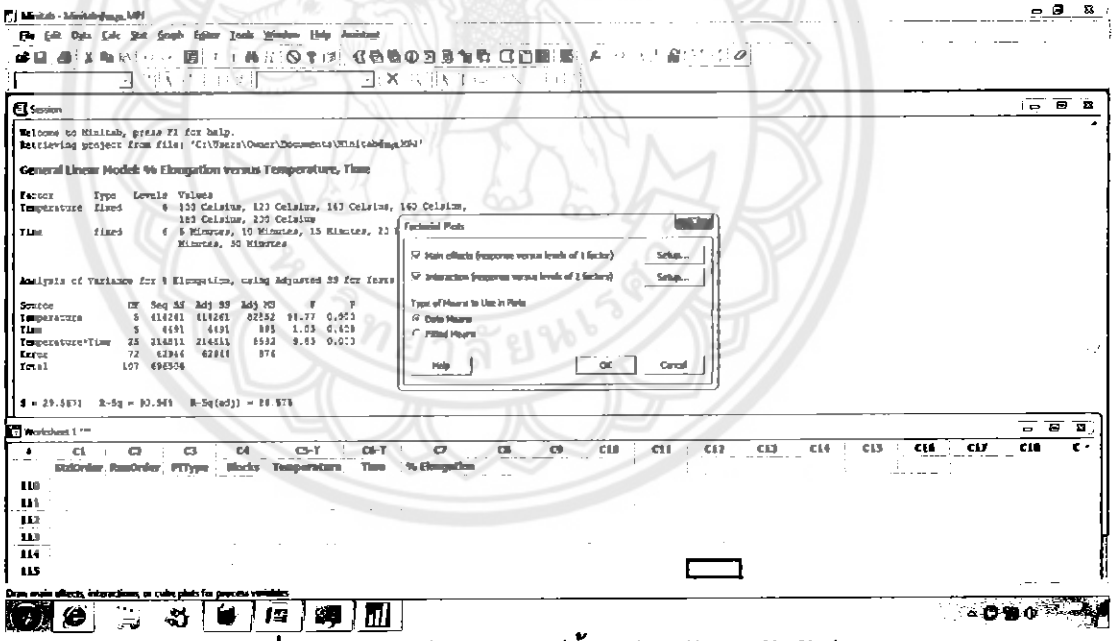
รูปที่ ก.13 การเลือกการแสดงผลของการวิเคราะห์ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม



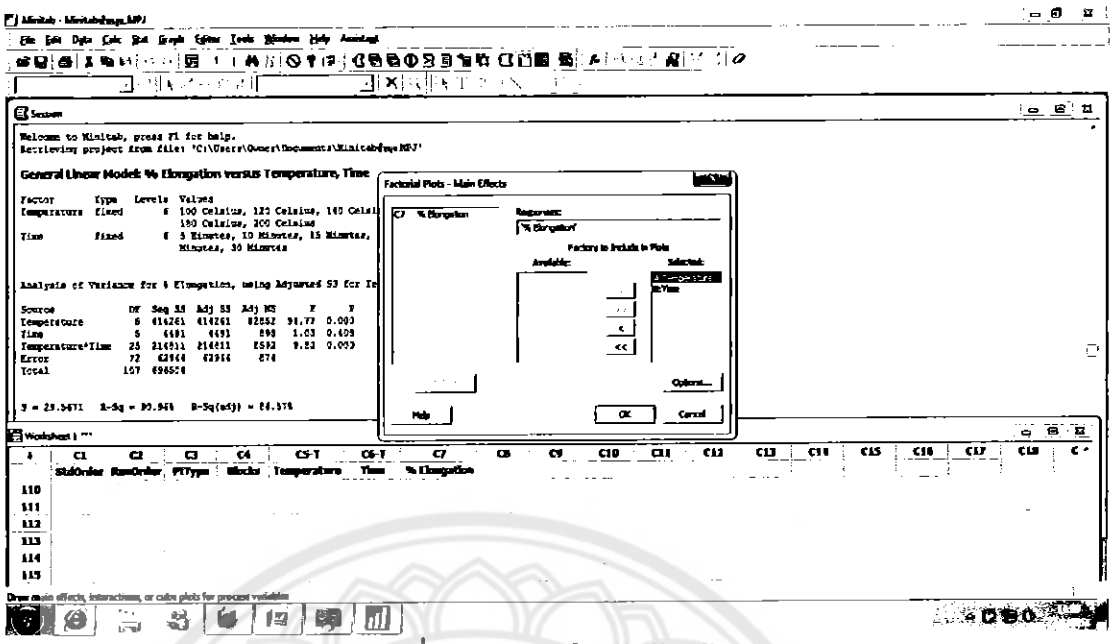
รูปที่ ก.14 ผลการวิเคราะห์



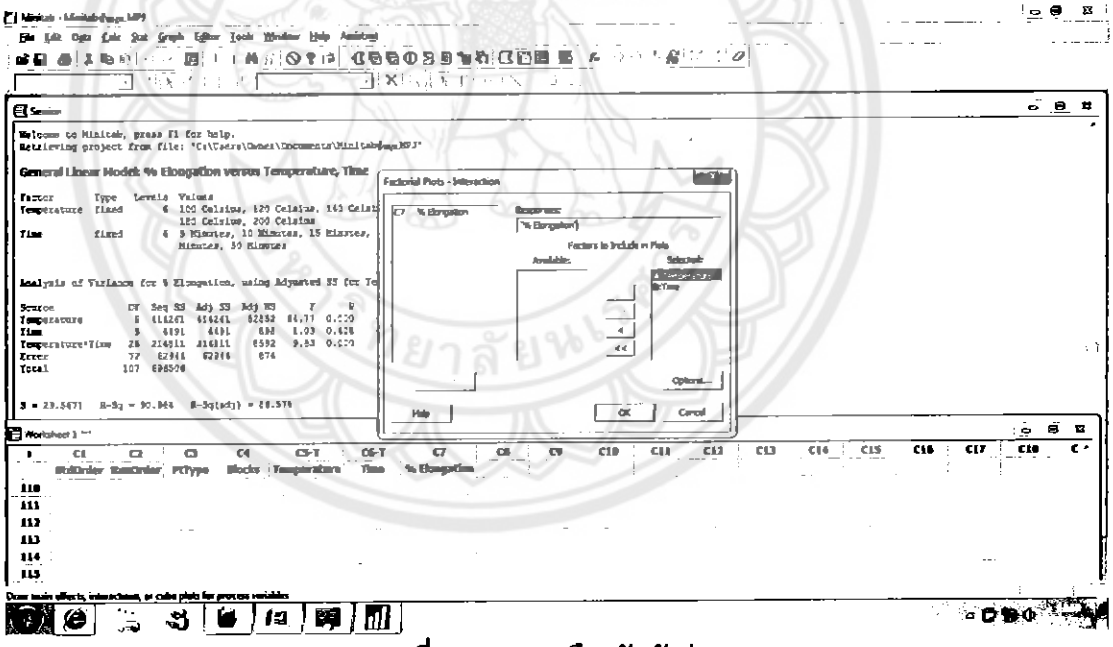
รูปที่ ก.15 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม



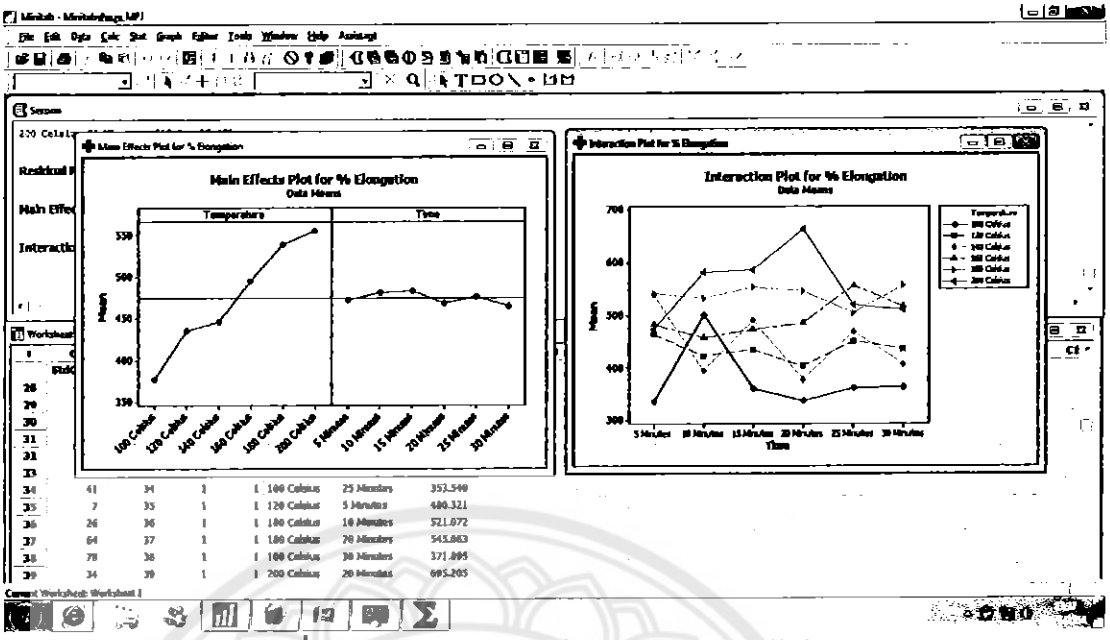
รูปที่ ก.16 การเลือกวิเคราะห์ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม



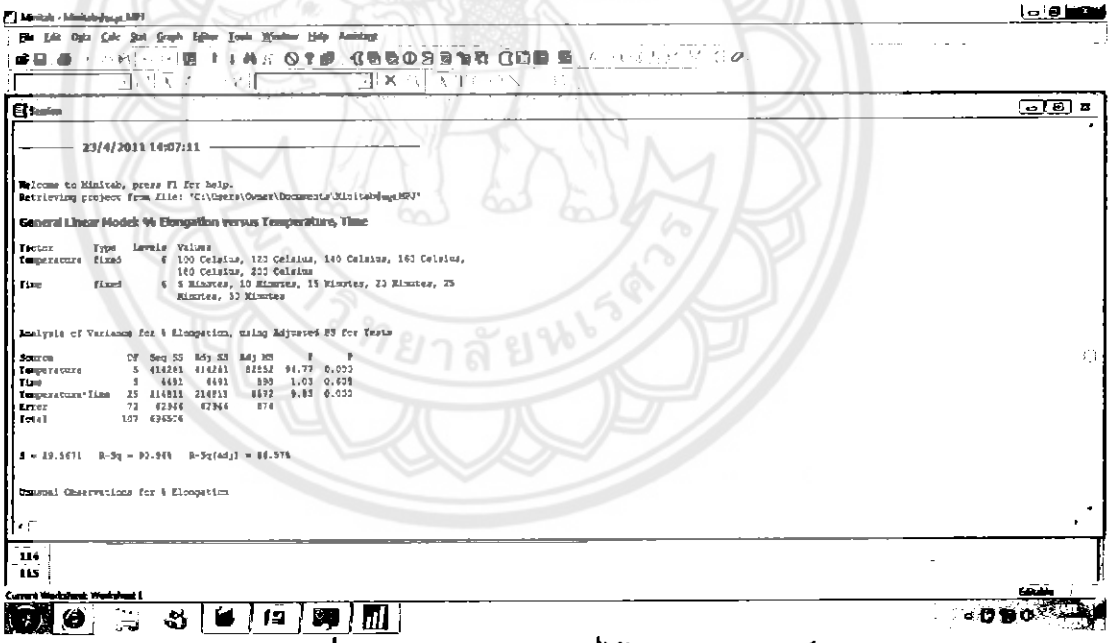
รูปที่ ก.17 การเลือกปัจจัยหลัก



รูปที่ ก.18 การเลือกปัจจัยร่วม



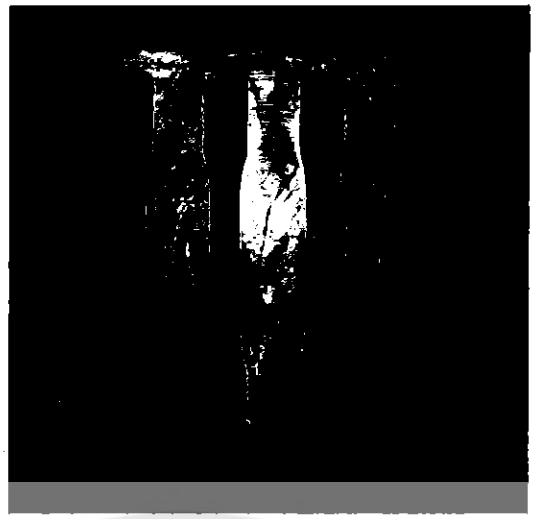
รูปที่ ก.19 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม



รูปที่ ก.20 ตารางแสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์

ภาคผนวก ข

แม่พิมพ์และชิ้นงาน



รูปที่ ข.1 ขนาดของแม่พิมพ์รูปดัมเบลล์ ASTM D638

รูปที่ ข.2 ภาพชิ้นงานเมื่อผ่านการอัดขึ้นรูป

ภาคผนวก ค

วิธีการทดสอบแรงดึง

วิธีการทดสอบแรงดึง

การเตรียมวัสดุอุปกรณ์การทดลอง

- เตรียมชิ้นงานชุดละ 5 ชิ้น บันทึกค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงาน ขีดเส้นทำเครื่องหมาย ชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน
- ติดตั้ง Load cell ขนาด 5 kN. พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และฐานเครื่องแล้วต่อสายสัญญาณ Load cell เข้าที่ Crosshead
- เปิดสวิทช์เครื่องทดสอบ
- จับชิ้นงานเข้ากับหัวจับตัวบนยึดให้แน่น ส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้
- ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยืดให้เป็นศูนย์
- ขันหัวจับล่างให้แน่น
- ทำการทดสอบชิ้นงานโดยการดึงจนขาด
- ทำการทดลองจนครบทั้ง 5 ชิ้น ในแต่ละชุดการทดลอง

ขั้นตอนการใช้เครื่องทดสอบแรงดึง

- การเริ่มสร้างการทดสอบ
  - ให้ทำ Shortcut ที่ Desktop อีก ชื่อ NEXYGEN Plus
  - ให้ดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอน NEXYGEN Plus
  - เริ่มสร้างการทดสอบใหม่ให้เลือกไปที่ Create a New Batch of Tests
  - ตั้งชื่อการทดสอบที่ File name แล้วกดปุ่ม Save
  - เลือกโหมดการทดสอบในที่นี้จะมีให้เลือกอยู่ 6 โหมดการทดสอบให้
  - 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 ถ้ากำหนดแรงและความเร็วมากจนเกินไปจะทำให้ระยะในการรายงานผลสั้นลง แต่ถ้าน้อยเกินไปก็จะทำให้เครื่องอาจจะทำงานเองทั้งๆ ที่ชิ้นงานยังไม่ตึงหรือยังไม่แตะชิ้นงาน เพราะฉะนั้นควรตั้ง Preload ให้เหมาะสมกับการทดสอบแล้วกำหนดให้ Preload เซตค่าเป็นศูนย์ Load, Extension อย่างเดียวหรือทั้งคู่ก็ได้

- ตั้งค่าการรีเทิร์นย้อนกลับ เมื่อทำการทดสอบแรงดึงเสร็จอัตโนมัติมาที่จุดเริ่มต้นเมื่อชิ้นงานขาดแล้วให้คลิกตรงสัญลักษณ์ลูกศรเลี้ยวกลับบนคอนโซล

กำหนดความสูงของชิ้นงาน

- เปิด General Purpose Tension/Compression Test
- เลือกคำว่า Sample Height
- คลิกเลือกคำว่า Use specified Sample Height/Gauge Length คือ การกำหนดระยะ Gauge Length หรือ ความสูงของชิ้นงานลงไปได้เลย เป็นการกำหนดตายตัวไม่มีการเพิ่มหรือลดระยะ Gauge Length

กำหนดพื้นที่ของชิ้นงาน

- เปิด General Purpose Tension/Compression Test
- เลือกคำว่า Sample Area

กำหนดระยะการหยุดของเครื่องเมื่อทำการทดสอบ เป็นการสั่งให้เครื่องไปหยุด ณ ตำแหน่งที่ระบุ

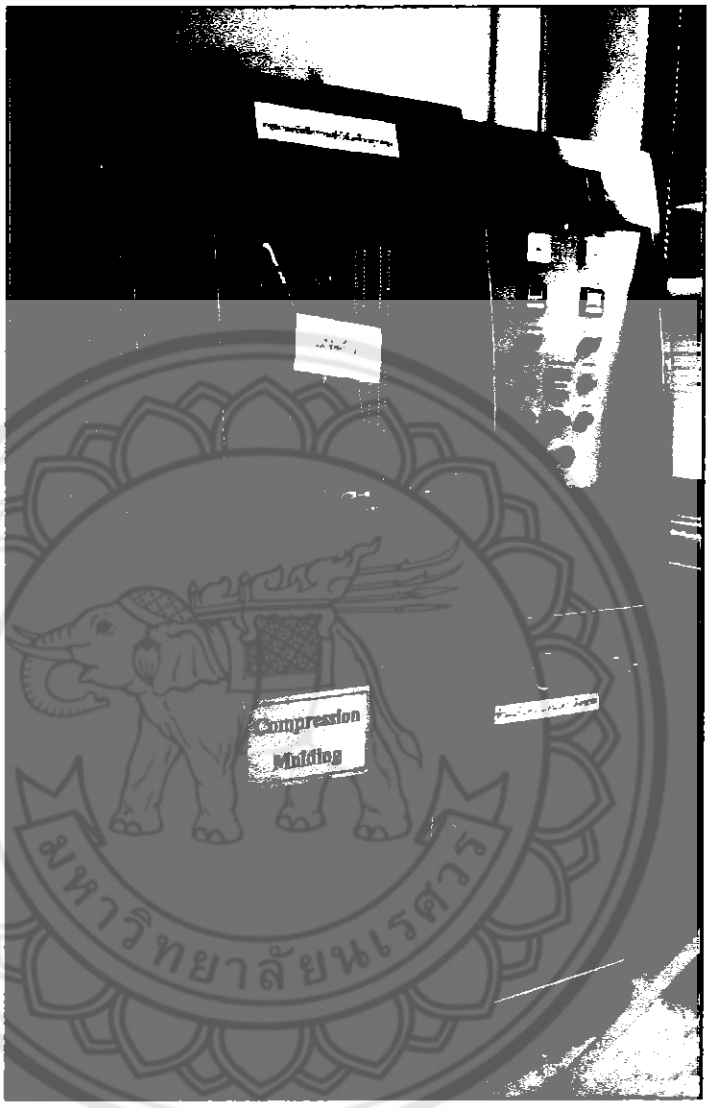
- เปิด General Purpose Tension/Compression Test
- เลือกคำว่า Limits
- ใส่ระยะหยุดที่เราต้องการ

เลือกผลการทดสอบที่ให้ซอฟแวร์คำนวณออกมา แล้วปรากฏอยู่ที่หน้า Results

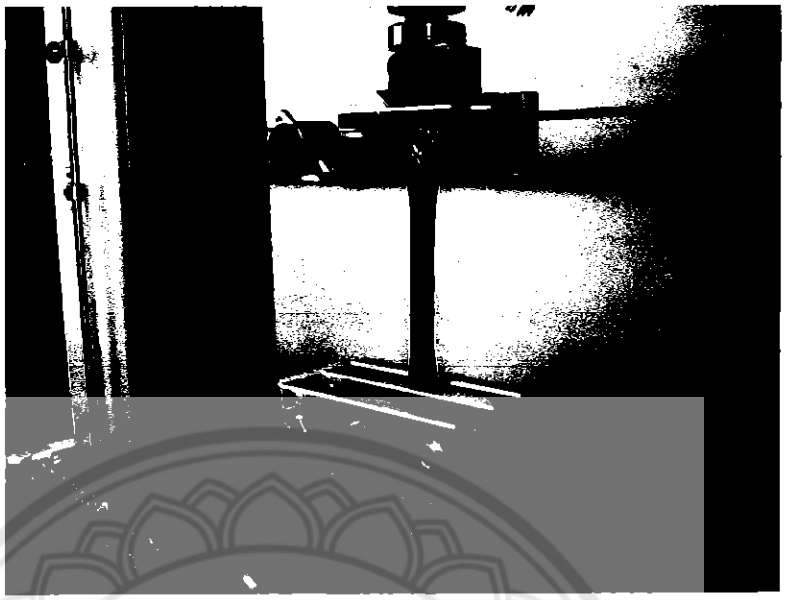
- เปิด General Purpose Tension/Compression Test
- เลือกคำว่า Results
- เลือกตัวแปรค่าที่เราต้องการ คือ Tensile Stength, % Elongation

ภาคผนวก ง

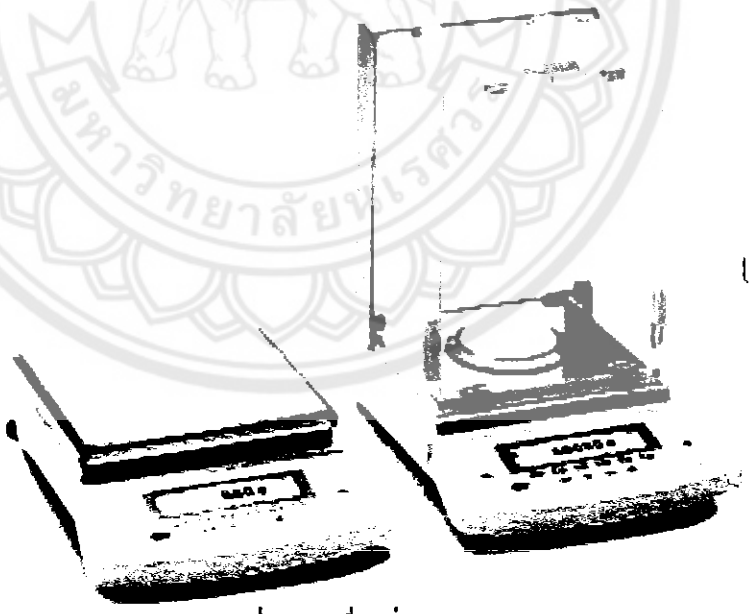
รูปเครื่องจักร



รูปที่ ง.1 เครื่อง Compression Molding

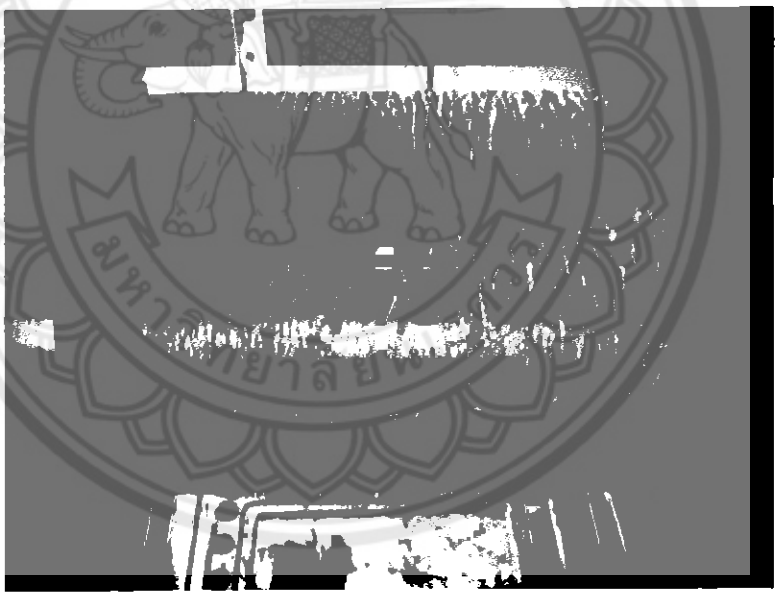


รูปที่ ง.2 เครื่องทดสอบแรงดึง

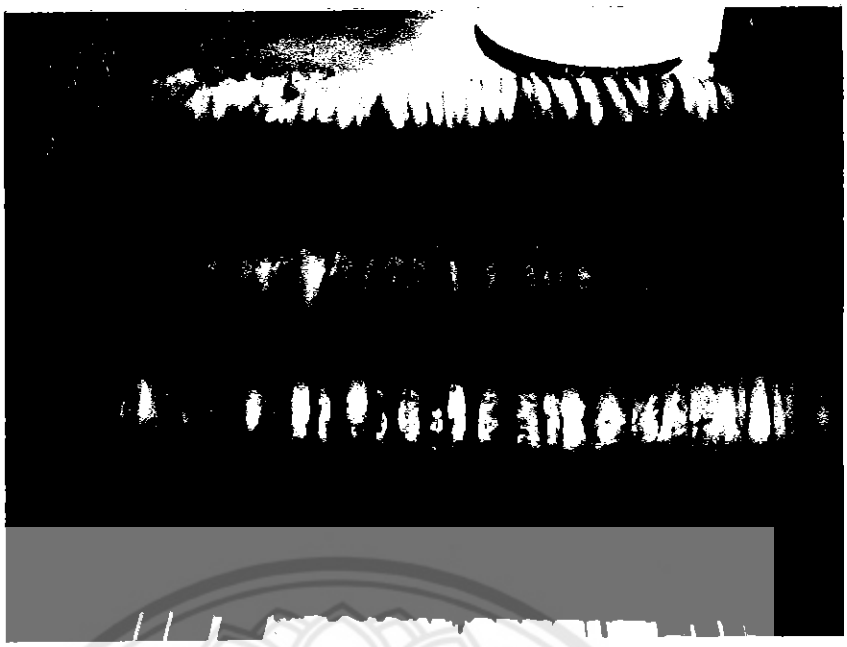


รูปที่ ง.3 เซื่องชั่งดิจิตอล

รูปที่ ง.4 เครื่อง Two roll mill



รูปที่ ง.5 รูประหว่างทำการผสม

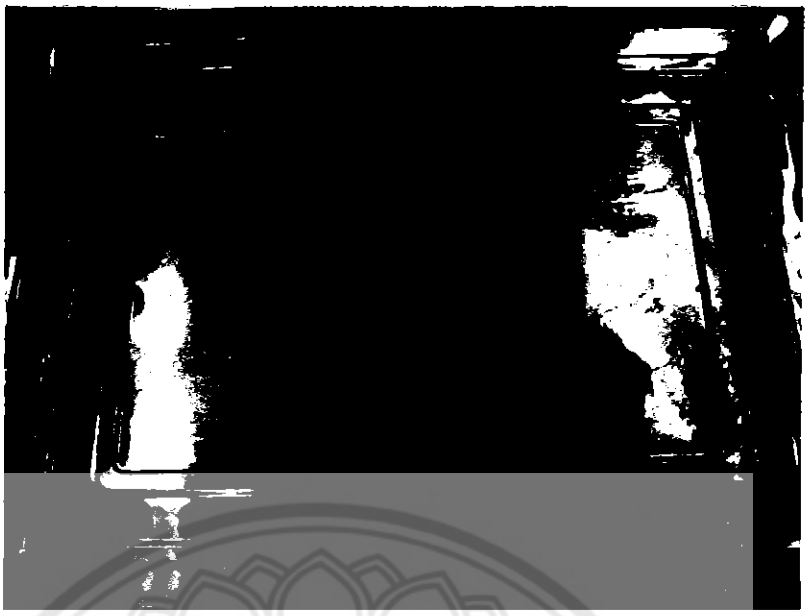


รูปที่ ง.6 รูประหว่างทำการผสม

รูปที่ ง.7 รูประหว่างทำการผสมพร้อมกดออกมาเป็นแผ่น

รูปที่ ง.8 รูปขณะที่กำลังลอกยางออกมาเป็นแผ่นแต่ยังคงติดลูกกลิ้งอยู่

รูปที่ ง.9 รูปขณะที่กำลังลอกยางออกมาเป็นแผ่นโดยไม่ติดลูกกลิ้งเลย

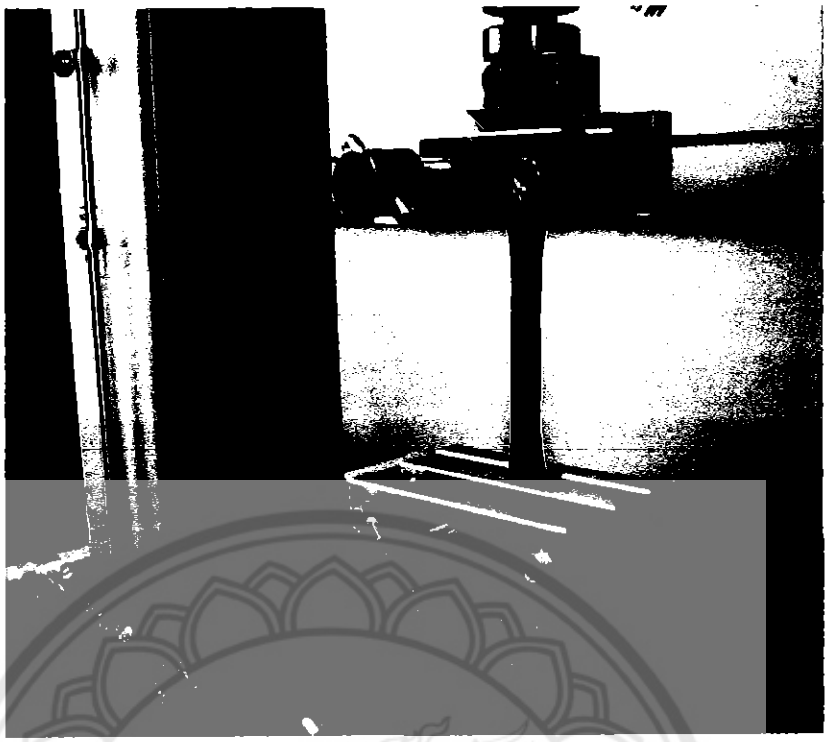


รูปที่ ง.10 ชิ้นงานที่ไม่สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นได้

รูปที่ ง.11 ชิ้นงานที่ไม่สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นได้

รูปที่ ง.12 ชิ้นงานที่สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นได้

รูปที่ ง.13 ชิ้นงานก่อนการทดสอบแรงดึง



รูปที่ ง.14 ภาพแสดงขณะทำการทดสอบแรงดึง

รูปที่ ง.15 รูประหว่างทำการทดสอบแรงดึง

รูปที่ ง.16 ชิ้นงานเปรียบเทียบก่อนดึงและหลังดึงที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 5 นาที

รูปที่ ง.17 ชิ้นงานเปรียบเทียบก่อนดึงและหลังดึงที่อุณหภูมิ 120°C เวลา 5 นาที

รูปที่ ง.18 ชิ้นงานเปรียบเทียบก่อนดึงและหลังดึงที่อุณหภูมิ 140°C เวลา 5 นาที

รูปที่ ง.19 ชิ้นงานเปรียบเทียบก่อนดึงและหลังดึงที่อุณหภูมิ 160°C เวลา 5 นาที

ภาคผนวก จ

ผลการทดลอง

ตารางที่ จ.1 ผลการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าความทนทานต่อแรงดึง (MPa)																	
		ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2						ครั้งที่ 3					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
100	5	2.12	2.03	2.16	2.04	2.13	2.29	2.13	2.08	2.06	2.16	2.10	2.07	2.09	2.12	2.10	2.09	2.06	1.92
	10	2.38	2.07	2.46	2.13	2.39	2.92	2.41	2.20	2.22	2.49	2.28	2.08	2.27	2.31	2.29	2.26	2.19	1.84
	15	2.31	2.40	2.31	2.41	2.34	2.28	2.37	2.35	2.40	2.33	2.35	2.32	2.37	2.31	2.36	2.36	2.38	2.52
	20	2.46	2.26	2.40	2.29	2.37	2.44	2.35	2.35	2.34	2.37	2.33	2.28	2.34	2.38	2.35	2.34	2.32	2.20
120	5	2.12	1.91	2.00	1.93	1.98	1.96	1.95	1.99	1.99	1.96	1.96	1.92	1.97	2.02	1.97	1.98	1.96	1.88
	10	2.16	2.28	2.18	2.23	2.16	1.96	2.13	2.27	2.18	2.14	2.22	2.40	2.20	2.25	2.20	2.23	2.22	2.24
	15	2.15	2.23	2.21	2.26	2.24	2.36	2.30	2.18	2.26	2.27	2.22	2.12	2.24	2.16	2.24	2.22	2.23	2.32
	20	2.42	2.17	2.34	2.25	2.35	2.60	2.40	2.23	2.35	2.37	2.27	2.00	2.32	2.25	2.31	2.27	2.28	2.24
140	5	1.92	2.01	2.04	1.93	1.96	1.90	1.90	2.05	1.86	1.99	2.01	2.29	1.94	2.09	1.96	2.01	1.95	1.74
	10	1.81	1.82	1.81	1.85	1.83	1.89	1.87	1.79	1.87	1.84	1.81	1.71	1.84	1.78	1.84	1.82	1.83	1.91
	15	1.87	1.87	1.88	1.89	1.89	1.96	1.92	1.86	1.90	1.91	1.88	1.81	1.89	1.86	1.89	1.88	1.88	1.91
	20	2.15	1.90	2.00	1.94	2.00	2.00	1.98	1.98	2.02	1.97	1.95	1.85	1.99	2.00	1.98	1.97	1.97	1.92
160	5	1.94	2.03	2.00	2.01	1.99	1.97	1.99	2.01	1.97	2.00	2.01	2.09	1.99	2.01	2.00	2.01	1.99	1.98
	10	1.83	1.69	1.75	1.68	1.71	1.59	1.65	1.78	1.70	1.68	1.72	1.80	1.71	1.80	1.71	1.73	1.71	1.60
	15	1.72	1.81	1.87	1.76	1.80	1.83	1.76	1.85	1.69	1.84	1.83	2.05	1.77	1.88	1.79	1.82	1.77	1.57
	20	1.49	1.52	1.49	1.53	1.51	1.51	1.53	1.50	1.54	1.51	1.50	1.46	1.52	1.48	1.51	1.51	1.52	1.58

ตารางที่ จ.2 ผลการทดลองของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น																	
		ครั้งที่ 1						ครั้งที่ 2						ครั้งที่ 3					
		1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
100	5	402.46	399.60	403.67	396.33	399.15	390.50	400.92	401.92	399.29	402.47	402.70	408.92	401.41	401.93	400.82	400.64	400.76	399.00
	10	399.74	389.50	396.42	391.41	390.85	375.00	393.16	395.22	392.05	399.74	396.03	400.00	393.03	396.00	395.86	394.35	396.98	405.66
	15	352.86	365.00	356.34	363.64	363.64	383.45	360.63	358.08	362.25	352.87	356.99	351.13	360.67	357.20	357.62	359.35	356.35	346.94
	20	368.76	369.80	382.05	346.26	364.45	340.08	371.13	373.52	363.18	368.77	376.84	407.61	374.31	372.20	365.69	367.27	363.31	337.09
120	5	445.11	442.10	455.86	421.62	437.85	409.82	444.76	447.70	437.16	445.12	451.01	480.32	447.59	446.80	440.86	441.72	439.14	418.73
	10	427.64	425.80	433.60	414.30	423.39	407.35	427.31	429.00	423.03	427.64	430.87	447.39	428.89	428.51	425.18	425.63	424.24	412.96
	15	416.05	403.00	402.39	422.34	408.44	406.99	406.38	407.14	410.82	416.05	405.70	388.14	403.91	409.03	413.59	410.62	416.68	446.23
	20	410.06	392.30	398.50	405.98	396.91	380.92	397.85	400.28	399.52	410.06	400.17	393.16	396.21	402.18	404.85	401.59	407.81	434.25
140	5	539.95	548.90	549.30	535.58	545.11	545.98	546.53	546.03	543.49	539.95	547.02	559.11	548.23	544.74	541.61	543.63	539.50	519.28
	10	472.56	506.60	505.74	460.46	493.3	501.76	497.39	494.95	487.33	472.56	498.06	538.08	503.23	490.25	479.59	487.05	471.97	399.73
	15	448.54	424.90	431.38	446.34	431.77	414.08	432.06	434.94	435.39	448.54	434.32	420.68	429.44	437.64	442.09	437.55	446.34	485.00
	20	393.75	404.90	400.55	397.15	402.20	413.17	401.36	399.74	400.61	393.75	399.69	402.98	402.28	398.59	397.15	399.15	395.37	379.67
160	5	437.11	407.60	430.55	407.56	410.19	358.31	418.50	425.07	413.4	437.11	428.21	446.96	418.87	427.01	425.07	421.06	427.79	446.96
	10	458.86	453.10	454.61	458.48	454.82	450.68	454.84	455.52	455.71	458.87	455.35	451.83	454.18	456.19	457.32	456.20	458.36	467.94
	15	493.69	483.60	479.87	504.41	489.10	494.48	485.77	485.71	491.23	493.70	483.75	462.34	483.07	487.49	492.66	489.99	495.61	524.85
	20	481.55	482.50	477.63	489.90	484.04	493.89	481.57	480.55	484.31	481.56	479.37	468.86	480.55	480.88	483.03	482.69	483.66	491.16

ตารางที่ จ.3 ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองของค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าเปอร์เซ็นต์ของความยืดหยุ่น			ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
100	5	390.50	408.92	399.00	399.47	± 9.21
	10	375.00	400.00	405.66	393.55	±16.31
	15	383.45	351.13	346.94	360.50	±19.98
	20	340.08	407.61	337.09	361.59	±39.88
120	5	409.82	480.32	418.73	436.29	±38.39
	10	407.35	447.39	412.96	422.56	±21.68
	15	406.99	388.14	446.23	413.78	±29.64
	20	380.92	393.16	434.25	402.77	±27.94
140	5	545.98	559.11	519.28	541.45	±20.30
	10	501.76	538.08	399.73	479.85	±71.73
	15	414.08	420.68	485.00	439.92	±39.18
	20	413.17	402.98	379.67	398.60	±17.17
160	5	358.31	446.96	446.96	417.41	±51.18
	10	450.68	451.83	467.94	456.81	± 9.65
	15	494.48	462.34	524.85	493.89	±31.26
	20	493.89	468.86	491.16	484.63	±13.73

ตารางที่ จ.4 ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองของค่าความทนทานต่อแรงดึง

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	ค่าความทนทานต่อแรงดึง			ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อน
100	5	2.29	2.07	1.92	2.09	±0.18
	10	2.92	2.08	1.84	2.28	±0.56
	15	2.28	2.32	2.52	2.37	±0.12
	20	2.44	2.28	2.20	2.31	±0.12
120	5	1.96	1.92	1.88	1.92	±0.04
	10	1.96	2.40	2.24	2.20	±0.22
	15	2.36	2.12	2.32	2.27	±0.12
	20	2.60	2.00	2.24	2.28	±0.30
140	5	1.90	2.29	1.74	1.97	±0.28
	10	1.89	1.71	1.91	1.84	±0.11
	15	1.96	1.81	1.91	1.89	±0.07
	20	2.00	1.85	1.92	1.92	±0.07
160	5	1.97	2.09	1.98	2.01	±0.06
	10	1.59	1.80	1.60	1.66	±0.11
	15	1.83	2.05	1.57	1.81	±0.24
	20	1.51	1.46	1.58	1.51	±0.06

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวณัฐสุดา แสนประสิทธิ์
ภูมิลำเนา 55/1 หมู่ 7 ต.วังทอง อ.วังทอง จ. พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา

จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวังทองพิทยาคม จ.พิษณุโลก

- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Saenprasit_Jum@hotmail.com

ชื่อ นางสาววราภรณ์ ศรประสิทธิ์
ภูมิลำเนา 111/2 หมู่ 8 ต. หนองบัว อ. ศรีนคร
จ. สุโขทัย
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีนคร จ.สุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sonprasit_yui31@hotmail.com