

การลดของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยวิธีซิกซ์ ซิกมา



นางสาวกุศลิน กิจพงษ์นิกร

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Defect Reduction in Blown film process by Six Sigma approach



Miss Kusalin Kitpongnikorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University



กุศลิน กิจพงษ์นิกร : การลดของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยวิธีซิกซ์ ซิกมา (Defect Reduction in Blown film process by Six Sigma approach) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
 หลัก: ผศ. ดร.นภัตสวงศ์ โอสถศิลป์, 234 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยมุ่งเน้นลดของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนาบางในแนวขวางเครื่องจักร งานวิจัยนี้ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เริ่มจาก 1) ระบุนิยามปัญหา ซึ่งพบว่าของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์มประเภทเจล ยับ และหนาบางมีส่วนที่สูง สำหรับการผลิตถุงพลาสติกขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว ขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร และ  $40 \times 24$  นิ้ว มีสัดส่วนของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ร้อยละ 11.03 1.26 และ 3.60 ของปริมาณการผลิต ตามลำดับ 2) ระบุการวัด ทำการประเมินระบบการตรวจสอบพบว่ามี ความแน่นอนและเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ 3) ระบุการหาสาเหตุของปัญหา ในขั้นแรกทำการระดมสมองโดยใช้แผนผังก้างปลาพบว่ามี 22 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนาบาง จากนั้นนำไปคัดกรองด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผล ทำให้เหลือเพียง 9 ปัจจัย ที่นำไปศึกษาต่อ 4) ระบุการปรับปรุงกระบวนการ ดำเนินการปรับปรุง 2 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ 4.1) การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลาง เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยด้วยวิธีการทางสถิติ และหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย พบว่าค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว ได้แก่ อุณหภูมิกระบอบกสูบส่วนต้น  $220$  °C อุณหภูมิกระบอบกสูบกลาง  $212$  °C อุณหภูมิกระบอบกสูบท้าย  $217$  °C อุณหภูมิหน้าแปลน  $220$  °C อุณหภูมิหัวตาย  $216$  °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน  $50$  kW สำหรับขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร ได้แก่ อุณหภูมิกระบอบกสูบส่วนต้น  $220$  °C อุณหภูมิหน้าแปลน  $224$  °C อุณหภูมิหัวตาย  $216$  °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน  $35$  kW และสำหรับขนาด  $40 \times 24$  นิ้ว ได้แก่ อุณหภูมิหน้าแปลน  $224$  °C อุณหภูมิหัวตาย  $222$  °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน  $24$  kW 4.2) การสร้างวิธีปฏิบัติงาน และในขั้นตอนสุดท้าย 5) ระบุควบคุมกระบวนการ ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการปรับปรุงและจัดทำแผนควบคุมเพื่อรักษาคุณภาพหลังการปรับปรุงกระบวนการ ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่าสามารถลดของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์มสำหรับข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนาบางของถุงพลาสติก ขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว จากร้อยละ 11.03 เหลือเพียงร้อยละ 0.39 ขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร จากร้อยละ 1.26 เหลือเพียงร้อยละ 0.50 ขนาด  $40 \times 24$  นิ้ว จากร้อยละ 3.60 เหลือเพียงร้อยละ 0.42 พบว่ามีมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ 259,256 บาทต่อปี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

# # 5770127621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: BLOWN FILM EXTRUSION, CENTRAL COMPOSITE DESIGN, SIX SIGMA, DEFECT REDUCTION, POLYPROPYLENE

KUSALIN KITPONGNIKORN: Defect Reduction in Blown film process by Six Sigma approach. ADVISOR: ASST. PROF.NAPASSAVONG OSOTHSILP, 234 pp.

This research aims to reduce waste from the production of defects from gel or dark specks, wrinkles and uneven thickness defect Transverse Direction (TD) of machine that occur in the film blowing process. This research applied Six Sigma methodology which composed of five phases. Phase I: plastic bags of size 30 x (6 + 2 + 2) inches 80x240 mm. and 40x24 inches had high defectives rate due to these three defects totaling of 11.03, 1.26 and 3.60 percent of the production volume respectively. Phase II: Measures Phase, the accuracy and precision of the inspection system were analyzed and found that it was acceptable. Phase III: Analyze Phase, 22 potential factors affecting these defects were listed out using brainstorming technique and Fishbone diagram. Next 9 factors were selected to be studied further using the Cause and Effect matrix. Phase IV: Improvement phase, two improvement approaches were performed. First the design of experiments technique was applied to prove for significance of factors and find the optimal setting. Second, quality procedure and work instructions were created. Phase V: Control Phase, confirmatory experiment was performed and control plan was set up to the maintain quality level after improvement. After improvement, the defective rate due to these three defects was reduced from 11.03 percent to 0.39 percent in 30 x (6 + 2 + 2) inches size, 1.26 percent to 0.50 percent in 80x240 mm. size and 3.60 percent to 0.42 percent in 40x24 inches size. This improvement leads to the loss saving of 259,256 baht per year.

Department: Industrial Engineering      Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2017

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเอาใจใส่เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันท์ฉิไชย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานผลิตในกรณีศึกษาที่ได้ให้คำแนะนำและสนับสนุนการใช้อุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงสถานที่ในการดำเนินการจัดทำวิจัย จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดูตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบพระคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่านที่ผู้วิจัยค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 .....	20
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา.....	2
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	4
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	10
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	10
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.7 ขั้นตอนในการดำเนินงาน.....	10
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย.....	12
บทที่ 2 .....	14
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma).....	14
2.2 การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา.....	18
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเป่า.....	31
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	36
2.5 สรุปการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40

บทที่ 3 .....	41
ระยษณียามปัญห (Define Phase) .....	41
3.1 คีษากระบวนการผลิต .....	41
3.2 การกำหนดสภาพปัญหา .....	43
3.3 การคัดเลือกรายการสินค้าเพื่อนำมาคีษา .....	44
3.4 การคัดเลือกเครื่องเป่าที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	68
3.5 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย .....	72
3.6 การจัดตั้งคณะทำงาน.....	72
3.7 สรุประยษณียามปัญหา .....	73
บทที่ 4 .....	75
ระยษการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase).....	75
4.1 การประเมินความมั่นและเที่ยงของระบบการตรวจสอบของเสีย .....	75
4.2 สรุประยษการตรวจวัดปัญหา .....	78
บทที่ 5 .....	79
ระยษการหาสาเหตุหลักของปัญหา (Analyze Phase).....	79
5.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาจากแผนผังก้างปลา .....	79
5.2 การคัดกรองสาเหตุของปัญหา.....	88
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหของแต่ละสาเหตุหลัก .....	92
5.4 สรุผลระยษการหาสาเหตุหลักของปัญหา .....	95
บทที่ 6 .....	97
ระยษปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Phase) .....	97
6.1 การออกแบบการทดลอง.....	97
6.1.1 การทดลองสำหรับถุพลาสติกขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว.....	97



6.1.2 การทดลองสำหรับถุงพลาสติกขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร.....	129
6.1.3 การทดลองสำหรับถุงพลาสติกขนาด 40 x 24 นิ้ว.....	162
6.2 การสร้างวิธีปฏิบัติงาน.....	193
6.3 สรุปผลระยะการปรับปรุงกระบวนการ.....	195
บทที่ 7 .....	197
ระยะควบคุมคุณภาพหลังการปรับปรุง (Control Phase).....	197
7.1 การควบคุมการผลิตถุงพลาสติก.....	197
7.1.1 แนวทางการควบคุม.....	197
7.1.2 ข้อมูลหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	198
7.2 สรุปผลระยะควบคุมคุณภาพหลังการปรับปรุง.....	203
บทที่ 8 .....	205
บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	205
8.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา.....	205
8.2 บทสรุประยะการวัดปัญหา.....	206
8.3 บทสรุประยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา.....	206
8.4 บทสรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ.....	207
8.5 บทสรุประยะควบคุมคุณภาพหลังการปรับปรุง.....	208
8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	208
8.7 ข้อเสนอแนะ.....	208
รายการอ้างอิง.....	212
ภาคผนวก.....	217
ภาคผนวก ก.....	218

การให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และ หนาบาง .....	218
ภาคผนวก ข .....	221
ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการ.....	221
ภาคผนวก ค .....	225
การควบคุมคุณภาพ.....	225
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	234



## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. 1 ปริมาณสินค้าสำเร็จรูป และร้อยละสินค้าสำเร็จรูป ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด .....	4
ตารางที่ 1. 2 ปริมาณสินค้าสำเร็จรูป ปริมาณของเสีย และร้อยละของของเสีย .....	5
ตารางที่ 1. 3 ปริมาณของเสียจำแนกตามกระบวนการ.....	6
ตารางที่ 1. 4 ปริมาณของเสียในกระบวนการเป่า จำแนกตามลักษณะของเสีย .....	7
ตารางที่ 1. 5 ประเภทของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์ม.....	9
ตารางที่ 1. 6 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย .....	12
ตารางที่ 2. 1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level .....	17
ตารางที่ 2. 2 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ (Faster and Brettner, 1992).....	22
ตารางที่ 2. 3 ค่า $\alpha$ กรณีของการทดลองแบบส่วนประสมกลางเมื่อจำนวนปัจจัยเป็น 2-6.....	30
ตารางที่ 2. 4 ขั้นตอนการผลิตถุงพลาสติกแบบเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion) .....	34
ตารางที่ 3. 1 กำลังการผลิตในแต่ละเดือนโดยแบ่งตามชนิดของเม็ดพลาสติก.....	44
ตารางที่ 3. 2 ปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ .....	46
ตารางที่ 3. 3 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 80 ไมครอน.....	49
ตารางที่ 3. 4 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกุ่ม 80 x 240 มิลลิเมตร.....	52
ตารางที่ 3. 5 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 40 ไมครอน.....	55
ตารางที่ 3. 6 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกุ่ม 40 x 24 นิ้ว.....	58
ตารางที่ 3. 7 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 30 ไมครอน.....	62

ตารางที่ 3. 8 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกุ่ม 30 x (6+2+2) นิ้ว.....	64
ตารางที่ 3. 9 รุ่นที่สามารถผลิตได้ในแต่ละเครื่องจักร.....	68
ตารางที่ 3. 10 จำนวนของเสียในแต่ละเครื่องจักร.....	69
ตารางที่ 3. 11 Project Charter .....	74
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การยอมรับของระบบการตรวจสอบของเสีย.....	77
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบของเสีย .....	77
ตารางที่ 5. 1 แสดงร้อยละของของเสียแต่ละประเภท และค่าน้ำหนักของปัญหาประเภทเจล ยับ และหนาบาง.....	88
ตารางที่ 5. 2 เมตริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แสดงระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุและปัญหา .....	89
ตารางที่ 5. 3 ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อปัญหา เจล ยับ และหนาบาง.....	91
ตารางที่ 5. 4 แนวทางการแก้ไขในแต่ละสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง .....	92
ตารางที่ 6. 1 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้า.....	98
ตารางที่ 6. 2 ผลการทดลองเรียงตาม Standard Order จากโปรแกรม Minitab.....	99
ตารางที่ 6. 3 ร้อยละของเสียแต่ละประเภทก่อนปรับปรุงกระบวนการ.....	127
ตารางที่ 6. 4 รายละเอียดการกำหนดเป้าหมายของตัวแปรตอบสนอง .....	128
ตารางที่ 6. 5 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงกระบวนการ.....	128
ตารางที่ 6. 6 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้า.....	130
ตารางที่ 6. 7 ผลการทดลองเรียงตาม Standard Order จากโปรแกรม Minitab.....	131
ตารางที่ 6. 8 ร้อยละของเสียแต่ละประเภทก่อนปรับปรุงกระบวนการ.....	160
ตารางที่ 6. 9 รายละเอียดการกำหนดเป้าหมายของตัวแปรตอบสนอง .....	160
ตารางที่ 6. 10 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงกระบวนการ .....	161
ตารางที่ 6. 11 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้า .....	163

ตารางที่ 6. 12 ผลการทดลองเรียงตาม Standard Order จากโปรแกรม Minitab.....	164
ตารางที่ 6. 13 ร้อยละของเสียแต่ละประเภทก่อนปรับปรุงกระบวนการ.....	191
ตารางที่ 6. 14 รายละเอียดการกำหนดเป้าหมายของตัวแปรตอบสนอง.....	191
ตารางที่ 6. 15 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงกระบวนการ.....	192
ตารางที่ 7. 1 ผลเปรียบระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ.....	201
ตารางที่ 7. 2 สัดส่วนของข้อบกพร่องแต่ละประเภทเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง กระบวนการ.....	202
ตารางที่ 7. 3 ปริมาณการผลิตโดยเฉลี่ยต่อปีและสัดส่วนของเสียหลังปรับปรุงกระบวนการในแต่ละ รุ่น.....	203
ตารางที่ 8. 1 ผลการเปรียบเทียบค่าการปรับตั้งเครื่องจักรแบบ Hierarchical Model กับ Non- Hierarchical Model.....	210



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1. 1 โครงสร้างองค์กร (Organization Chart).....	2
รูปที่ 1. 2 กระบวนการผลิตถุงพลาสติกและฟิล์มเคลือบ .....	4
รูปที่ 1. 3 กราฟแสดงร้อยละของเสียต่อปริมาณการผลิต ในเดือนมิถุนายน 2558 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559 .....	6
รูปที่ 1. 4 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียในแต่ละกระบวนการ .....	7
รูปที่ 1. 5 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียจากกระบวนการเป่า จำแนกตามลักษณะของ เสีย.....	8
รูปที่ 2. 1 เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) .....	15
รูปที่ 2. 2 การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3 ซิกมา (Breyfogel,2001).....	16
รูปที่ 2. 3 การกระจายแบบปกติ และการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย $1.5\sigma$ (Breyfogel,2001).....	16
รูปที่ 2. 4 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผลของกระบวนการผลิตที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน.....	25
รูปที่ 2. 5 การออกแบบเชิงแพคทอเรียลที่ไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยระหว่างปัจจัย (A)..	27
รูปที่ 2. 6 แบบการทดลองผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิวที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนปัจจัย 2- 10 ปัจจัยและจำนวนการทดลองที่สอดคล้อง.....	29
รูปที่ 2. 7 ส่วนประกอบของเครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก (Blow Film Extrusion) .....	33
รูปที่ 2. 8 เครื่องเอกทูดเดอร์ (Extruder).....	34
รูปที่ 3. 1 เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก .....	42
รูปที่ 3. 2 เครื่องพิมพ์แบบ Gravure.....	42
รูปที่ 3. 3 เครื่องตัดถุงพลาสติก.....	43
รูปที่ 3. 4 แผนภาพแสดงปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนโดยจำแนกตามชนิดของเม็ดพลาสติก .	45
รูปที่ 3. 5 แผนภาพพาเรโตของปริมาณการผลิตของรุ่นความหนาขนาดต่างๆ .....	47

รูปที่ 3. 6 แผนภาพพาราโตนแสดงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นของรุ่นความหนาขนาดต่างๆ .....	48
รูปที่ 3. 7 แผนภาพพาราโตนแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอน .....	51
รูปที่ 3. 8 แผนภาพพาราโตนแสดงปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ .....	52
รูปที่ 3. 9 ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร .....	53
รูปที่ 3. 10 สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร .....	54
รูปที่ 3. 11 สัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องในรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร .....	54
รูปที่ 3. 12 พาราโตนแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 40 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ .....	57
รูปที่ 3. 13 พาราโตนแสดงปริมาณของเสียของการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ที่ขนาดความหนา 40 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ .....	58
รูปที่ 3. 14 ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 40 x 24 นิ้ว .....	60
รูปที่ 3. 15 สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 40 x 24 นิ้ว .....	60
รูปที่ 3. 16 สัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องในรุ่น 40 x 24 นิ้ว .....	61
รูปที่ 3. 17 พาราโตนแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 30 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ .....	63
รูปที่ 3. 18 พาราโตนแสดงปริมาณของเสียของการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ที่ขนาดความหนา 30 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ .....	64
รูปที่ 3. 19 ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว .....	66
รูปที่ 3. 20 สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว .....	67
รูปที่ 3. 21 สัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องในรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว .....	67
รูปที่ 3. 22 จำนวนข้อบกพร่องประเภทเจลในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร .....	70
รูปที่ 3. 23 จำนวนข้อบกพร่องประเภทยับในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร .....	70
รูปที่ 3. 24 จำนวนข้อบกพร่องประเภทหนาบางในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร .....	71

รูปที่ 3. 25 จำนวนข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابางในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร .....	71
รูปที่ 5. 1 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเสียประเภทเจล .....	80
รูปที่ 5. 2 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเสียประเภทยับ .....	83
รูปที่ 5. 3 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเสียประเภทหนابาง.....	86
รูปที่ 5. 4 กราฟคะแนนแสดงระดับความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนابาง .....	91
รูปที่ 6. 1 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1).....	102
รูปที่ 6. 2 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1) .....	102
รูปที่ 6. 3 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2).....	103
รูปที่ 6. 4 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2).....	104
รูปที่ 6. 5 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนابาง (Y3).....	105
รูปที่ 6. 6 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนابาง (Y3).....	105
รูปที่ 6. 7 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall).....	106
รูปที่ 6. 8 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall) .....	107
รูปที่ 6. 9 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1).....	112
รูปที่ 6. 10 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทยับ (Y2).....	116
รูปที่ 6. 11 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทหนابาง (Y3).....	120
รูปที่ 6. 12 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนابาง (Yall).....	125
รูปที่ 6. 13 กราฟแสดงค่าของระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย ที่จะส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนابางน้อยที่สุด.....	128
รูปที่ 6. 14 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1).....	133
รูปที่ 6. 15 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2) .....	133
รูปที่ 6. 16 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนابาง (Y3).....	134



รูปที่ 6. 17 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1_T).....	135
รูปที่ 6. 18 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1_T).....	135
รูปที่ 6. 19 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2_T).....	136
รูปที่ 6. 20 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2_T).....	137
รูปที่ 6. 21 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3_T)....	138
รูปที่ 6. 22 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3_T).....	138
รูปที่ 6. 23 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall).....	139
รูปที่ 6. 24 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall).....	140
รูปที่ 6. 25 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1_T).....	144
รูปที่ 6. 26 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทยับ (Y2_T).....	149
รูปที่ 6. 27 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3_T).....	153
รูปที่ 6. 28 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall).....	158
รูปที่ 6. 29 กราฟแสดงค่าของระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย ที่จะส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด.....	161
รูปที่ 6. 30 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1).....	166
รูปที่ 6. 31 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1).....	166
รูปที่ 6. 32 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2).....	167
รูปที่ 6. 33 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2).....	168
รูปที่ 6. 34 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3).....	169
รูปที่ 6. 35 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3).....	169
รูปที่ 6. 36 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของรวม (Yall).....	170
รูปที่ 6. 37 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall).....	171
รูปที่ 6. 38 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1).....	175

รูปที่ 6. 39 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทยับ (Y2).....	180
รูปที่ 6. 40 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3).....	184
รูปที่ 6. 41 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall).....	189
รูปที่ 6. 42 กราฟแสดงค่าของระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย ที่จะส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด.....	192
รูปที่ 6. 43 ขั้นตอนการจัดทำวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม .....	194
รูปที่ 7. 1 แผนภูมิควบคุมในแต่ละวัน.....	200
รูปที่ 7. 2 แผนภูมิควบคุมจำนวนของในแต่ละวัน.....	200
รูปที่ 7. 3 แผนภูมิควบคุมจำนวนของในแต่ละวัน.....	201



## บทที่ 1

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกนับเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเศรษฐกิจไทย สามารถนำรายได้เข้าประเทศด้วยมูลค่าการส่งออกรวม (ทั้งเม็ดพลาสติกและผลิตภัณฑ์สินค้าพลาสติก) กว่า 12,500 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ (สำนักพัฒนาการค้าและธุรกิจการเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, มิถุนายน 2557) อุตสาหกรรมพลาสติกจึงจัดว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ระบบเศรษฐกิจของประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท อีกทั้งยังเป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมต่อระหว่างอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกับอุตสาหกรรมต่อเนื่องนานาประเภท โดยการแปรรูปที่ต้องใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นวัตถุดิบก็สำเร็จรูปหรือเป็นส่วนประกอบในการผลิต อาทิ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2557 พบว่ามีอุตสาหกรรมพลาสติกทั่วประเทศอยู่ประมาณ 4,800 โรงงาน (สำนักพัฒนาการค้าและธุรกิจการเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, มิถุนายน 2557) โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ กลุ่มโรงงานเป่าพลาสติก และ กลุ่มโรงงานฉีดพลาสติก โดยผลิตภัณฑ์ก็จะเป็นพวกถุงพลาสติก กะละมัง ขวด ซาม เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกในประเทศไทยได้รับผลกระทบจากปัญหาเศรษฐกิจทำให้ต้นทุนเม็ดพลาสติกมีค่าสูงขึ้น อีกทั้งค่าแรงงานยังปรับตัวสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นตาม ซึ่งส่งผลให้เสียเปรียบด้านการแข่งขันกับคู่แข่งในต่างประเทศ อาทิ เช่น จีน ลาว เวียดนาม เป็นต้น เนื่องจากประเทศเหล่านี้มักมีค่าแรงงานที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีปัญหาในเรื่องสภาวะการแข่งขันอย่างรุนแรง เนื่องจากในประเทศไทยมีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกมากมาย ทำให้มีการขายตัดราคากัน และมีการลดต้นทุนการผลิตลง โดยการลดคุณภาพวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของสินค้าสำเร็จรูปลดลง

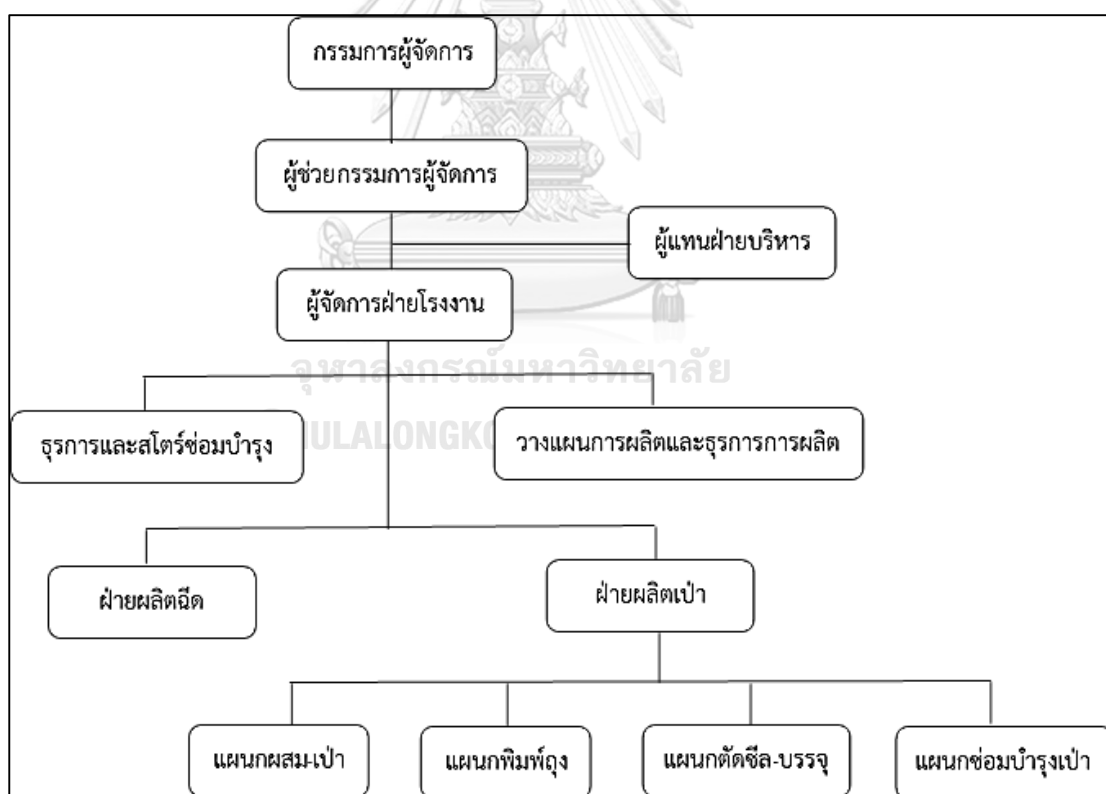
จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกต้องมีการปรับตัวเพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดได้ในสภาวะปัจจุบัน โดยพยายามหาแนวทางในการการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียลงนั้นก็นับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้

## 1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกและวัสดุห่อหุ้มประเภทพลาสติก ดำเนินกิจการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ด้วยทุนจดทะเบียน 45 ล้านบาท โดยมีรูปแบบการผลิตแบบทำตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (make to order)

จากรูปที่ 1.1 จะเป็นลักษณะโครงสร้างองค์กร โดยผู้แทนฝ่ายบริหารจะดูแลในส่วนทรัพยากรมนุษย์ และการพัฒนาองค์กร และ ผู้จัดการฝ่ายโรงงานก็จะเป็นผู้ดูแลงานในส่วนของการผลิตทั้งหมด ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การผลิตเป่า และ การผลิตฉีด แต่ในงานวิจัยนี้จะครอบคลุมเฉพาะในส่วนของการผลิตเป่า ดังนั้นข้อมูลดังต่อไปนี้จะกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลในส่วนของการผลิตเป่าเท่านั้น

### 1.1.1 โครงสร้างองค์กร (Organization Chart)



รูปที่ 1. 1 โครงสร้างองค์กร (Organization Chart)

### 1.1.2 ผลิตรภัณฑ์

ผลิตรภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา ได้แก่

1. ถุงและถุงพิมพ์พลาสติกชนิดและรูปแบบต่างๆ (Bag and Pouch in various materials and shapes)
2. ฟิล์มเคลือบ (Laminated film)

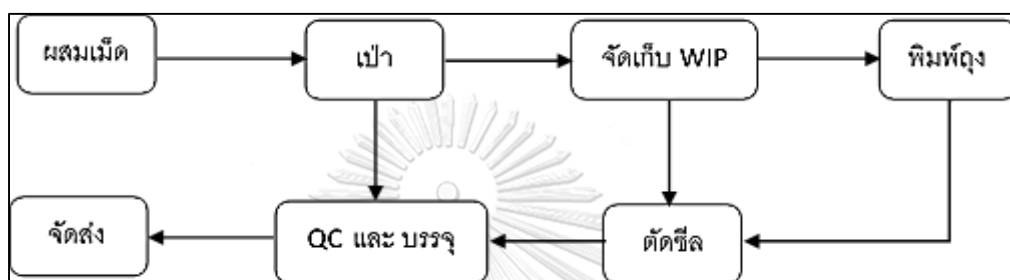
### 1.1.3 ชนิดของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิต

1. PP (Polypropylene)
2. PE (Polyethylene) โดยถูกนำมาผสมกันระหว่าง 2 ประเภท ดังนี้
  - 1) LDPE (Low Density Polyethylene)
  - 2) LLDPE (Linear Low Density Polyethylene)
3. HDPE (High Density Polyethylene)

### 1.1.4 กระบวนการผลิต

1. ทำการผสมเม็ดพลาสติก โดยพนักงานจะทำการชั่งตวงเม็ดพลาสติกตามสูตรที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่อยู่หน้างาน แล้วนำมาเข้าเครื่องบดผสมเม็ดพลาสติกเพื่อให้หลอมรวมออกมามีสูตรที่ได้กำหนดไว้
2. นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากข้างต้นมาเข้าเครื่องเป่าฟิล์ม และทำการเป่าฟิล์มออกมา จากนั้นผ่านการอัดรีดจนได้แผ่นฟิล์มออกมาในลักษณะเป็นม้วนฟิล์ม ซึ่งในระหว่างการผลิตจะมีการสุ่มตรวจชิ้นงานเป็นระยะเมื่อได้ลักษณะชิ้นงานที่เป็นม้วนฟิล์มแล้ว จะทำการตรวจสอบความหนาบริเวณต้นม้วนและปลายม้วนก่อนจะนำไปสู่กระบวนการถัดไปโดยขึ้นอยู่กับรูปแบบของผลิตรภัณฑ์ว่าต้องมีการพิมพ์ลวดลายบนถุงหรือไม่
3. นำม้วนฟิล์มที่ได้ไปผ่านกระบวนการพิมพ์ พิมพ์โลโก้หรือตัวอักษร ตามความต้องการของลูกค้า แต่หากรูปแบบผลิตรภัณฑ์ที่ต้องการไม่ต้องการมีการพิมพ์ ก็จะนำม้วนฟิล์มที่ได้เข้าสู่กระบวนการตัดเลย

4. เมื่อทำการพิมพ์เสร็จแล้วก็จะนำมาเข้าเครื่องตัด โดยจะตัดตามรูปแบบและขนาด ที่ลูกค้าต้องการ หากมีการซีลหรือเจาะรู ก็จะทำในกระบวนการตัดนี้
5. เมื่อเสร็จสิ้นการตัดแล้วจะนำไปตรวจสอบคุณภาพ (QC) โดยจะทำการตรวจสอบ 100% เมื่อทำการตรวจสอบแล้วผ่านเกณฑ์คุณภาพก็จะทำการบรรจุ
6. หลังจากทำการบรรจุเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะมีการรอเพื่อจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป



รูปที่ 1. 2 กระบวนการผลิตถุงพลาสติกและฟิล์มเคลือบ

## 1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในส่วนของกระบวนการผลิตเป่าของโรงงานกรณีศึกษาจะมีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติก และฟิล์มเคลือบ ซึ่งทำการสำรวจข้อมูลปริมาณการผลิตตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 พบข้อมูลดังตาราง 1.1

ตารางที่ 1. 1 ปริมาณสินค้าสำเร็จรูป และร้อยละสินค้าสำเร็จรูป ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณสินค้าสำเร็จรูป (กิโลกรัม)	ร้อยละสินค้าสำเร็จรูป
ถุงพลาสติก	2,880,994	98.11
ฟิล์มเคลือบ	55,471	1.89
รวม	2,936,465	100.00

จากตารางที่ 1.1 พบว่า กระบวนการผลิตถุงพลาสติกมีร้อยละของปริมาณสินค้าสำเร็จรูปร้อยละ 98.11 และกระบวนการผลิตฟิล์มเคลือบมีร้อยละของปริมาณสินค้าสำเร็จรูปร้อยละ 1.89 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ชนิดถุงพลาสติกจัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์หลักเนื่องจากมีสัดส่วนการผลิตสูงมาก ดังนั้นในการปรับปรุงลดสัดส่วนของเสียจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิตถุงพลาสติกเท่านั้น

กระบวนการผลิตถุงพลาสติกของโรงงานกรณีศึกษาจะเริ่มตั้งแต่ กระบวนการเป่า กระบวนการพิมพ์ และกระบวนการตัด ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลปริมาณของเสียของโรงงานกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1. 2 ปริมาณสินค้าสำเร็จรูป ปริมาณของเสีย และร้อยละของของเสีย  
ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559

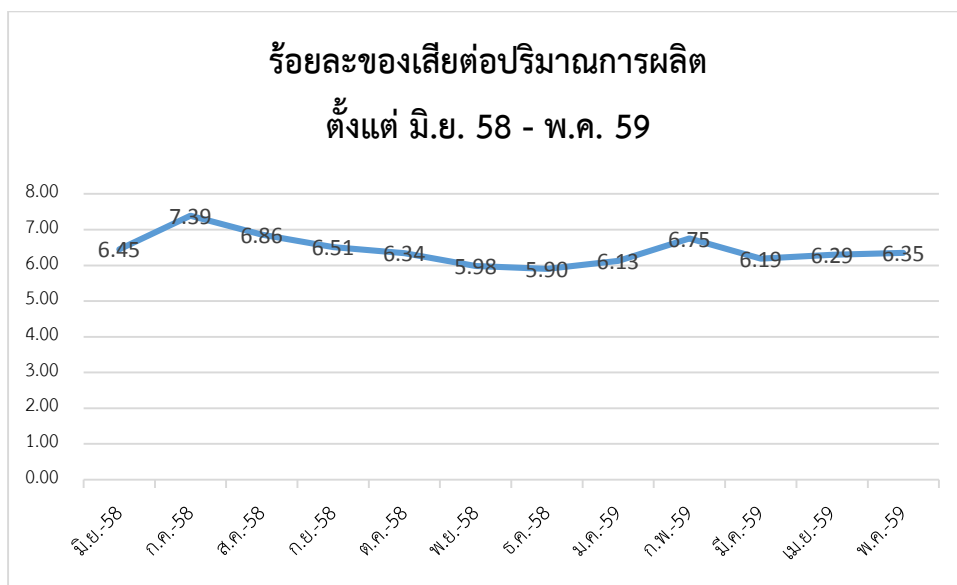
เดือน	ปริมาณผลิต	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสีย ต่อปริมาณการผลิต
มิ.ย.-58	284,517	18,361	6.45
ก.ค.-58	180,736	13,351	7.39
ส.ค.-58	165,273	11,343	6.86
ก.ย.-58	207,439	13,505	6.51
ต.ค.-58	230,325	14,606	6.34
พ.ย.-58	267,498	16,001	5.98
ธ.ค.-58	289,759	17,092	5.90
ม.ค.-59	256,151	15,696	6.13
ก.พ.-59	234,821	15,859	6.75
มี.ค.-59	288,251	17,833	6.19
เม.ย.-59	199,289	12,543	6.29
พ.ค.-59	276,885	17,589	6.35
รวม	2,880,944	183,779	6.38

พบว่า มีปริมาณการผลิต 2,880,944 กิโลกรัม และมีปริมาณของเสียทั้งสิ้น 183,779 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 6.38 ซึ่งหากนำมาคำนวณเป็นมูลค่าที่ต้องสูญเสีย จะคิดเป็นเงินจำนวน 13,783,425 บาทต่อเดือน ซึ่งมูลค่าที่ต้องสูญเสียไปนี้นับเป็นต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นทั้งสิ้นเนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจะมาจาก 3 กระบวนการ ดังนี้

1. ของเสียจากกระบวนการเป่า
2. ของเสียจากกระบวนการพิมพ์

### 3. ของเสียจากกระบวนการตัด

เมื่อนำข้อมูลปริมาณของเสียในแต่ละเดือนมาคิดเป็นร้อยละ แล้วนำมาพลอตเป็นกราฟ แสดงได้ดังรูปที่ 1.3 โดยเมื่อพลอตกราฟแต่ละเดือนจะพบว่า ปริมาณของเสียในแต่ละเดือนจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5-7 กล่าวคือ ร้อยละของของเสียในแต่ละเดือนค่อนข้างคงที่



รูปที่ 1.3 กราฟแสดงร้อยละของเสียต่อปริมาณการผลิต

ในเดือนมิถุนายน 2558 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559

จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลของเสียแยกตามกระบวนการแล้ว สามารถแจกแจงปริมาณของเสียได้ดังนี้

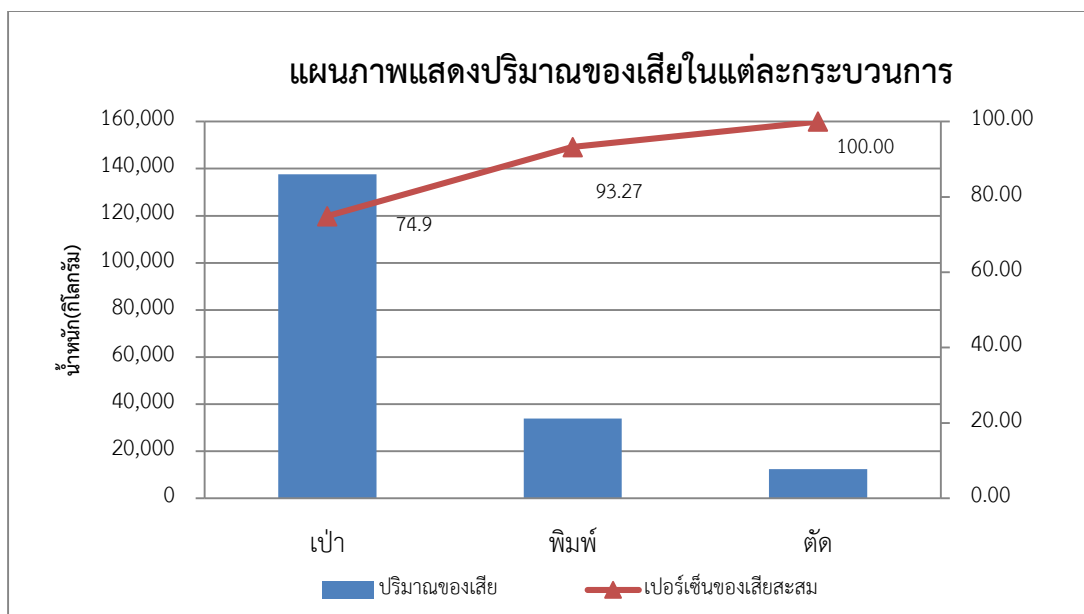
ตารางที่ 1.3 ปริมาณของเสียจำแนกตามกระบวนการ

กระบวนการ	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสียต่อ ปริมาณของเสีย ทั้งหมด	ร้อยละของเสีย ต่อปริมาณการผลิต
เป่า	2,880,994	137,607	74.87	4.77
พิมพ์	780,306	33,854	18.42	4.33
ตัด	2,585,514	12,338	6.71	0.47

จากตารางที่ 1.3 จะเห็นว่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าจำนวน 137,607 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.77 ของปริมาณการผลิต และเป็นร้อยละ 74.87 ของปริมาณของเสียทั้งหมด รองลงมาคือปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์จำนวน 33,854 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.33 ของปริมาณการผลิต และเป็นร้อยละ 18.42 ของปริมาณของเสียทั้งหมด และ ปริมาณ



ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเป็นจำนวน 12,338 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.47 ของปริมาณการผลิต และเป็นร้อยละ 6.71 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ตามลำดับ เมื่อนำข้อมูลของเสียดังกล่าวนี้ มาวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาวเรโต สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.4



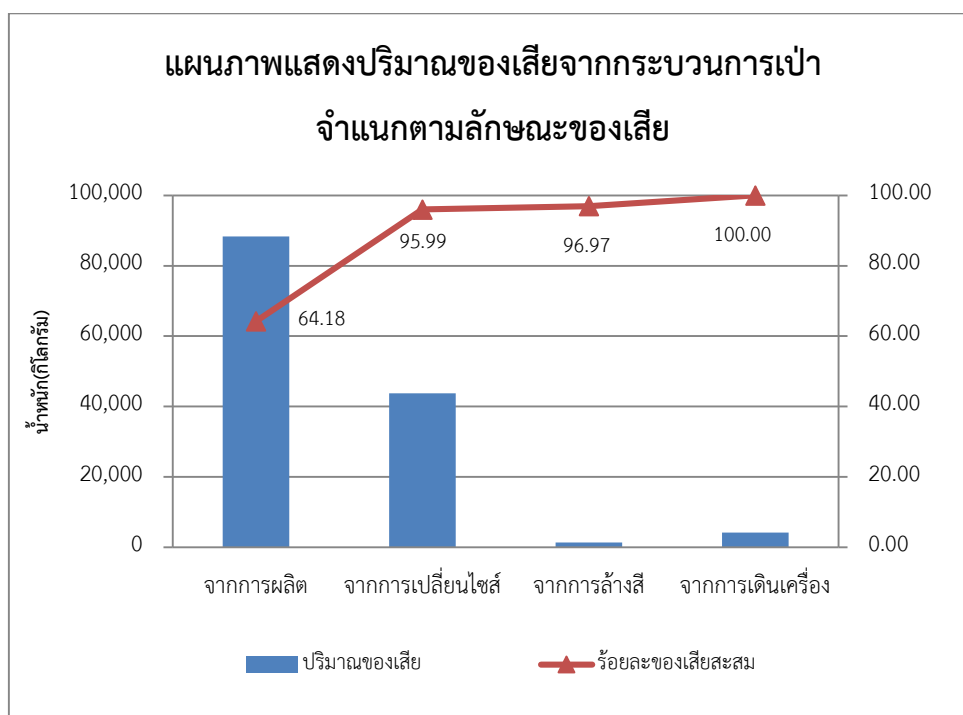
รูปที่ 1. 4 แผนภาพพาวเรโตแสดงปริมาณของเสียในแต่ละกระบวนการ

จากรูปที่ 1.4 จะเห็นว่ากระบวนการเป่านั้นมีปริมาณของเสียเกิดขึ้นมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 74.9 โดยของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าก็จะจำแนกออกเป็นหลายลักษณะ ซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1. 4 ปริมาณของเสียในกระบวนการเป่า จำแนกตามลักษณะของเสีย

ลักษณะของเสีย	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสียต่อปริมาณการผลิต	ร้อยละของเสียต่อปริมาณของเสียทั้งหมด
จากการผลิต	88,315	3.06	64.18
จากการเปลี่ยนไซส์	43,779	1.52	31.81
จากการล้างสี	1,338	0.05	0.97
จากการเดินเครื่อง	4,175	0.14	3.03
รวม	137,607	4.77	100.00

จากตารางที่ 1.4 จะเห็นว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากการผลิตมีจำนวน 88,315 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 3.06 ของปริมาณการผลิต และคิดเป็น 64.18 ของปริมาณของเสียทั้งหมด รองลงมาคือ ปริมาณของเสียที่เกิดจากการเปลี่ยนไซส์เป็นจำนวน 43,779 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 1.52 ของปริมาณการผลิต และคิดเป็นร้อยละ 31.81 ของปริมาณของเสียทั้งหมด



รูปที่ 1.5 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียจากกระบวนการเป่า จำแนกตามลักษณะของเสีย

จากรูปที่ 1.5 จะเห็นว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากการผลิตมีจำนวนมากถึง 88,315 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 64.18 ต่อปริมาณของเสียทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับของเสียประเภทอื่นๆแล้วจัดได้ว่าของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์มอยู่ในระดับที่สูงมาก หากสามารถลดของเสียในส่วนของการเป่าฟิล์มได้จะทำให้ประหยัดต้นทุนของเสียไปได้เป็นจำนวนมาก ส่วนของเสียจากการเปลี่ยนไซส์เป็นสิ่งที่ต้องเกิดขึ้น ไม่สามารถที่จะลดลงได้มากนัก

งานวิจัยนี้จึงจะศึกษาเพื่อลดของเสียจากการผลิตเท่านั้น ซึ่งมีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ เจล ยับ และหนาบาง โดยตารางที่ 1.5 แสดงภาพลักษณะข้อบกพร่องและคำอธิบายลักษณะข้อบกพร่อง และร้อยละของเสียจากปริมาณการผลิต

ตารางที่ 1. 5 ประเภทของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์ม

ข้อบกพร่อง	คำอธิบายลักษณะ ข้อบกพร่อง	ตัวอย่าง
เจด	มีลักษณะเป็นคลื่นไม่ เรียบเสมอกัน มีจุดสีดำ หรือสีขาวบนผิวฟิล์ม สามารถมองเห็นได้ ชัดเจนด้วยตาเปล่า	
ยับ	เป็นการยับ ไม่เรียบทำ ให้เมื่อนำไปสู่ กระบวนการพิมพ์แล้วจะ พิมพ์สีไม่ติด สามารถ มองเห็นได้ชัดเจนด้วยตา เปล่า	
หนابาง	ความหนาไม่สม่ำเสมอ กันในแนวขวาง เครื่องจักร (TD) โดยใน บางครั้งอาจไม่สามารถ มองเห็นได้ชัดเจนด้วยตา เปล่า	

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การลดของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์มประเภท เจด ยับ และหนابาง โดยการลดของเสียนี้ ได้นำแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา เข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อทำการลดของเสีย เนื่องจากแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มีวิธีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ และมีการนำเอาวิธีการทางสถิติ เช่น การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และการทดสอบสมมติฐานทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาและกำหนดค่าที่เหมาะสมของ

ปัจจัยนั้นๆอีกด้วย เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ซึ่งต้องการการปรับตั้งค่าที่เหมาะสม ดังนั้นแนวคิดซิกซ์ ซิกมาจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียจากการผลิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าได้

### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดของเสียจากการผลิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าฟิล์มลงอย่างมีนัยสำคัญ

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการลดของเสียที่เกิดจากการผลิตในกระบวนการเป่าของผลิตภัณฑ์ชนิดถุงพลาสติกประเภท PP ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว 80 x 240 มิลลิเมตร และ 40 x 24 นิ้ว เท่านั้น โดยของเสียที่เกิดจากการผลิตหมายถึงของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง

### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. วิธีการปรับตั้งค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดสัดส่วนของเสียในรายการสินค้าที่ศึกษาน้อยที่สุด
2. วิธีปฏิบัติงานของกระบวนการเป่าของผลิตภัณฑ์ชนิดถุงพลาสติก

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการลดของเสียสำหรับผลิตภัณฑ์รายการอื่นๆของบริษัท
2. สามารถเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน

### 1.7 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. นิยามปัญหา (Define Phase)
  - 1) ศึกษากระบวนการผลิตถุงพลาสติกและรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิต
  - 2) คัดเลือกรายการสินค้าที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาของเสีย 3 รายการมาพิจารณาเพื่อหาสาเหตุและวิธีการแก้ปัญหา

- 3) กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย ตัวชี้วัด และระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย
3. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase)
  - 1) วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยง ของการตรวจสอบด้วยสายตา ซึ่งเป็นข้อมูลแบบหน่วยนับ โดยใช้วิธีการ Attribute Agreement Analysis
4. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
  - 1) ระดมสมองเพื่อกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา
  - 2) คัดเลือกปัจจัย เพื่อนำไปทำการทดลอง เพื่อพิสูจน์นัยสำคัญของปัจจัยเหล่านั้น
5. การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)
  - ก. ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ (Response Surface and Design) ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยมีขั้นตอนดังนี้
    - 1) กำหนดตัวแปรตอบสนอง และตัวแปรอิสระ และพิจารณาข้อจำกัดที่จะส่งผลต่อการทดลอง
    - 2) พิจารณาเลือกแบบการทดลอง และกำหนดระดับของปัจจัย
    - 3) กำหนดขั้นตอนการทดลอง และวิธีเก็บข้อมูล
    - 4) ทำการทดลองตามแผนที่วางไว้
    - 5) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
  - ข. กำหนดวิธีปฏิบัติงาน
    - 1) จัดทำรายละเอียดขั้นตอนปฏิบัติงานที่ถูกต้อง
    - 2) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
    - 3) นำวิธีปฏิบัติงานไปปฏิบัติ
6. การติดตามและควบคุม (Control Phase)
  - 1) เก็บรวบรวมข้อมูลหลังการปรับปรุง
  - 2) สรุปผลการปรับปรุงที่ได้
  - 3) จัดทำแผนควบคุม
7. สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.8 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

การทำงานวิจัยแต่ละขั้นตอนมีกำหนดระยะเวลาแสดงได้ดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน (ไตรมาส)							
	Q.1 '59	Q.2 '59	Q.3 '59	Q.4 '59	Q.1 '60	Q.2 '60	Q.3 '60	Q.4 '60
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■	■	■					
2. นิยามปัญหา (Define Phase)		■	■	■				
3. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase)			■	■				
4. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)				■	■	■		
5. การปรับปรุงกระบวนการ						■	■	■

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน (ไตรมาส)																												
	Q.1 '59			Q.2 '59			Q.3 '59			Q.4 '59			Q.1 '60			Q.2 '60			Q.3 '60			Q.4 '60							
(Improve Phase)																													
6. การติดตามและควบคุม (Control Phase)																													
7. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ																													
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																													

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาแนวทางในการลดของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา ผู้วิจัย ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ เอกสารการสอน วารสาร และบทความจาก เว็บไซต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

##### 2.1.1 ความหมายของซิกซ์ ซิกมา

ความหมายของซิกซ์ ซิกมา ได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน กล่าวไว้ ดังนี้

Cherry และ Seshadri (2000) ซิกซ์ ซิกมา คือวิธีการสำหรับการจัดการคุณภาพโดยมีการ นำวิธีการทางสถิติมาใช้ มีวิธีแก้ปัญหาที่เป็นระบบและจะควบคุมกระบวนการด้วยการวิเคราะห์ทาง สถิติ โดยมีเป้าหมายในการแก้ไขต้นตอของปัญหาของความแปรปรวน และมีนิยามความหมายสำหรับ กระบวนการใหม่ในระยะยาว

Harry และ Schroeder (2000) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพอย่างมาก ในการบริหาร ซึ่งมีเป้าหมายอยู่ที่ความผิดพลาดหรือของเสียที่น้อยกว่า 4 ใน 1 ล้านครั้งของการ ทำงาน โดยรวมเอาวิถีทางแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ ซึ่งประกอบด้วย รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่เหมาะสมและการตอบสนองภารกิจขององค์กร ซึ่งทำให้ทั้งลูกค้าและผู้ผลิตได้ ผลตอบแทนทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นด้านอรรถประโยชน์ ทรัพยากร และคุณค่าของผลิตภัณฑ์

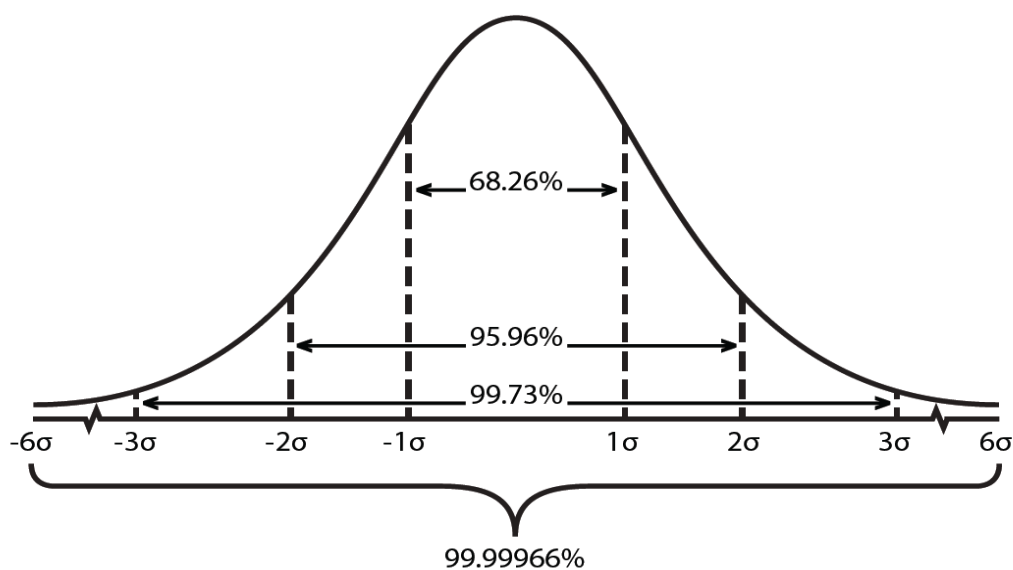
Breyfogle (2001) ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกมา คือส่วนผสมอันกลมกลืนระหว่างความ ฉลาดหลายๆด้านในการบริหารองค์กร โดยการพัฒนากลวิธีทางสถิติเพื่อใช้เป็นอาวุธขององค์กร โดยเป้าหมายสูงสุดของซิกซ์ ซิกมานี้ ได้เน้นไปที่การนำเอาซิกซ์ ซิกมา มาใช้เป็นกลยุทธ์ของกิจการ มากกว่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ซิกซ์ ซิกมา คือ วิธีการและการประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์กรเพื่อที่จะช่วยให้องค์กรสามารถทำกำไรได้ เพิ่มขึ้น ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น สามารถนำมาใช้ได้ทั้งส่วนสินค้าและบริการ

Evans และ Lindsay (2005) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทาง ธุรกิจ เพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบเวลา การผลิตและต้นทุนการผลิต ปรับปรุงผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น สามารถ



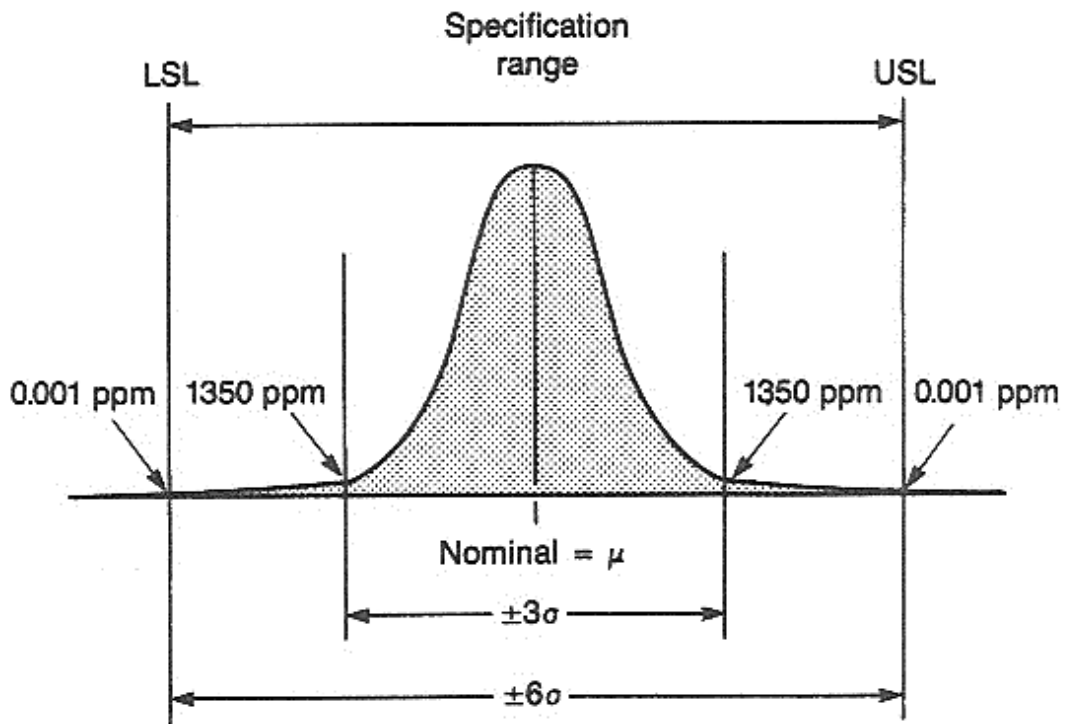
เพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินและผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริการ โดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหา DMAIC หรือ Define Measure Analyze Improve และ Control ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตไว้มากมาย

ในความหมายทางสถิติ ระดับของ Sigma ที่สูงขึ้นวัดอัตราของเสียที่ลดลงและประสิทธิภาพของกระบวนการที่สูงขึ้น ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



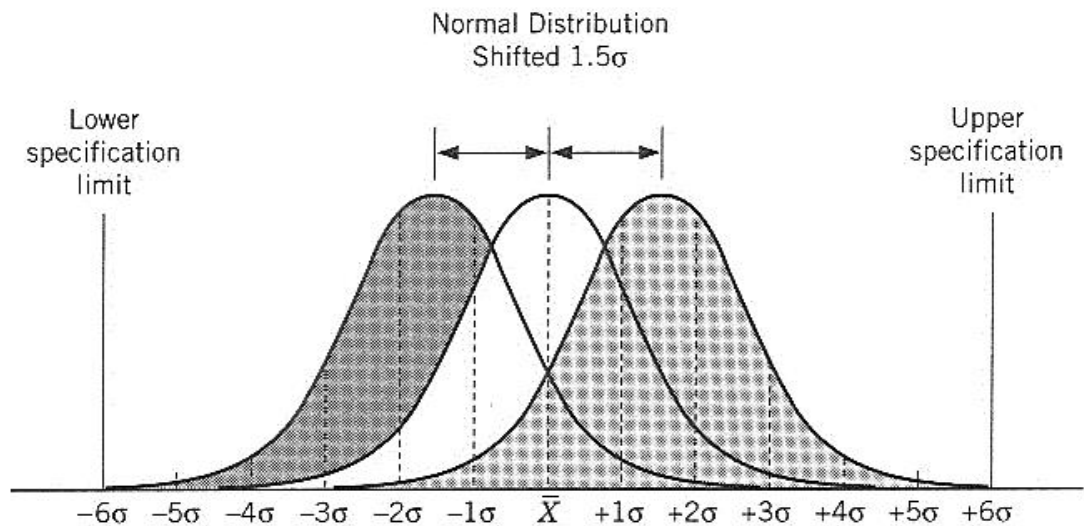
รูปที่ 2.1 เส้นโค้งปกติ (Normal Curve)

เริ่มต้นในทศวรรษที่ 20 Walter Shewhart แสดง 3 ซิกมาจากค่าเฉลี่ยไปถึงจุดที่กระบวนการต้องการ และมีหลายมาตรฐานการวัด เช่น Zero Defect ที่เป็นวิธีการควบคุมคุณภาพต่อมา โดยแสดงการควบคุมของกระบวนการในขอบเขต 3 ซิกมา ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3 ซิกมา (Breyfogle, 2001)

ระดับของการควบคุมซิกซ์ ซิกมา เกิดจากการดำเนินกระบวนการจนกระทั่งอยู่ในสภาพเสถียร ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะเลื่อน (Shift) ออกไปทั้ง 2 ฝั่งของค่าเฉลี่ยเดิมของกระบวนการ เป็นระยะทาง  $1.5\sigma$  (Breyfogle, 2001) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายแบบปกติ และการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย  $1.5\sigma$  (Breyfogle, 2001)

Breyfogle (2001) ได้กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้โดยใช้ความรู้ทางสถิติ ตั้งประเด็นในเชิงสถิติ และปริมาณของซิกซ์ ในมุมมองทางสถิติ รูปแบบของซิกซ์ ซิกมา มาให้คำจำกัดความถึงโอกาสความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.4 Defect Per Opportunities (DPMO) หรืออัตราของ

ความสำเร็จเท่ากับ 99.999966% เป้าหมายของซิกซ์ ซิกมา เป็นระดับคุณภาพที่เข้มงวดมากๆ และนำเสนอจุดมุ่งหมายอย่างเปิดเผยภายในองค์กร (Organizations) เทคโนโลยี (Technology) การปฏิบัติการ (Operation) กระบวนการ (Process) และโครงการ (Project) มากมาย

### 2.1.2 ตัววัดระดับคุณภาพ

ในการเลือกตัววัดระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของกระบวนการ พรเทพ เหลือทรัพย์สุข (2549) ได้เสนอไว้หลายทางเลือก เช่น Yield Rolled Throughput Yield ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ Cp Cpk อัตราส่วนของของเสียที่เกิดขึ้นต่อล้านหน่วย (Part Per Million:PPM) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of Poor Quality) และค่า Sigma Quality Level เป็นต้น

ในแนวคิดซิกซ์ ซิกมานี้จะอ้างอิงถึงค่า Sigma Quality Level เพื่อบ่งบอกถึงระดับของคุณภาพของกระบวนการ ซึ่งต่างจากคำว่า Sigma ที่หมายถึงค่า Sigma คือค่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการกระจายตัวของข้อมูลในทางสถิติ กล่าวคือค่าระดับ Sigma Quality Level ยิ่งมีค่าที่มากขึ้นจะบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดของของเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิตเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับค่า Sigma Quality Level ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level

Sigma Quality Level	Mean at Center		Mean Shifted 1.5s	
	Percentage	DPPM	Percentage	DPPM
1	68.27	317300	30.23	697700
2	95.45	45500	69.13	308700
3	99.73	2700	93.32	66810
4	99.9937	53	99.379	6210
5	99.999943	0.57	99.9767	233
6	99.999998	0.002	99.99966	3.4

หรือหากคำนวณเป็นค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการจะได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการที่ 6 ซิกมา มีค่าเท่ากับ  $C_p = 2.0$  และ  $C_{pk} = 1.5$  (คิดค่าเฉลี่ยของข้อมูลเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางของการกระจายเท่ากับ  $\pm 1.5\sigma$ )

## 2.2 การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา

การดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา แบ่งออกเป็น 5 ระยะ โดยเป็นไปตามกระบวนการ DMAIC ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดวงจรคุณภาพ PDCA ของเดมมิง นั่นคือ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ซึ่งในแต่ละระยะมีรายละเอียดและเครื่องมือที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้ (ไพโรจน์ บาลัน, 2549)

### 2.2.1 ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

เป็นช่วงที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการ DMAIC โดยมีการกำหนดความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายของกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ รวมทั้งการระบุรายละเอียดปัญหาและผลกระทบต่อธุรกิจ ซึ่งระยะนิยามปัญหานี้ กาญจนา สร้อยระย้าและคณะ (2546) ได้อธิบายรายละเอียดและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องดังนี้

#### 2.2.1.1 รายละเอียดเอกสารโครงการ (Project Charter)

ในขั้นตอนนี้ต้องศึกษาและอธิบายสภาพปัญหาให้ชัดเจน มีการกำหนดวัตถุประสงค์ ตัวชี้วัดและขอบเขตของโครงการ รวมทั้งสมมติฐาน ข้อจำกัดของโครงการ และระยะเวลาในการทำโครงการ โดยสรุปสิ่งต่างๆข้างต้นลงในเอกสารที่เรียกว่า สัญญาโครงการ (Project Charter) ซึ่งเป็นเอกสารที่ระบุพันธกิจ สิทธิ หน้าที่ ฯลฯ ของโครงการนั้นๆ ในสัญญาโครงการประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ความสำคัญทางธุรกิจ (Business Case)
- คำอธิบายสภาพปัญหา (Problem Statement)
- วัตถุประสงค์ของโครงการ (Objective Statement)
- ตัวชี้วัดของโครงการ (Project Metrics)
- ขอบเขตของโครงการ (Project Scope)
- ข้อจำกัดในการทำโครงการ (Project Constraints)
- สมมติฐานของโครงการ (Project Assumptions)

- สมาชิกในทีมและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง (Team Members, Stakeholders)
- ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ (Timeline)

การสร้างสัญญาโครงการมีจุดประสงค์เพื่อเป็นเครื่องมือในการสื่อสารให้ผู้ที่เกี่ยวข้องเข้าใจตรงกันถึงความจำเป็นในการทำโครงการ จุดประสงค์ของโครงการ และขอบเขตหน้าที่ของการทำงานของโครงการ

## 2.2.2 ระยะเวลาการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

การวัด (Measure) เป็นช่วงที่มีการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินและวัดผลของการปฏิบัติงาน ตัวชี้วัดในรูปแบบต่างๆ เช่น อัตราส่วนของดีที่ผลิตได้ (Rolled Throughput Yield) โอกาสเกิดข้อบกพร่องในล้านหน่วย (DPMO) ความสามารถกระบวนการ (Process Capability) เป็นต้น และต้องการวิเคราะห์ระบบการวัดโดย Measurement System Analysis ซึ่งเป็นการตรวจวัดด้วยสายตา เป็นข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute agreement analysis) จากนั้นศึกษาแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหารวมทั้งมีการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้เพื่อเลือกปัญหาที่คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงมาทำการแก้ไข

### 2.2.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) ได้ให้ความหมายของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) ไว้ว่า การกำหนดตัวพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการแล้วทำการวัดเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ในภายใต้การควบคุมก็จะทำการอนุมานทางสถิติสำหรับกระบวนการที่ศึกษาต่อไปและอาจเรียกการศึกษานี้ว่าการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characterization)

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจอยู่ในรูปของฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

- การทดสอบข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (Design Output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อตกลงกับลูกค้าว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่
- การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการ ทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว

- การทวนสอบสถานะเสถียรภาพของกระบวนการ โดยอาศัยแผนภูมิควบคุมเพื่อพิจารณาว่า ข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้าน ความสามารถคาดการณ์ได้หรือไม่
- การประเมินค่ามาตรฐานข้อกำหนด (Z-Score)
- การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ พร้อมการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

### การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) ได้กล่าวว่า ข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องเพื่อการเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

ในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนี้ จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นแล้ว ก็สามารถใช้ค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์บกพร่อง ( $\bar{p}$ ) ก่อนเสมอ โดย

$$\bar{p} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } \sum np}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม } \sum n} \quad (2.1)$$

ดังนั้น ในการประเมินค่า  $\bar{p}$  จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวมค่าดัชนีที่ประเมินจากค่า  $\bar{p}$  จึงถือเป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาวเสมอ โดยความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการอาจจะประเมินได้ในรูปอัตราส่วนความสามารถ ( $P_R$ ) หรือดัชนีความสามารถ ( $P_p$ ) สำหรับความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ในรูปดัชนีความสามารถ ( $P_{PK}$ )

$$P_{oBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \quad (2.2)$$

โดยที่  $Z_{Bench}$  จะได้จากกรณีกำหนดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องมีค่าเท่ากันทั้งสองด้าน

$$P_{oBench} = \frac{1}{P_{pBench}} \quad (2.3)$$

$$P_{okbench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \quad (2.4)$$

โดยที่  $Z_{Bench}$  ได้จากการกำหนดให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลางเพียงด้านเดียว

### 2.2.2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด เพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง โดยทั่วไปจะทดสอบความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธีการ Measurement System Analysis โดยค่าความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ คือ

ความผันแปรภายในได้เงื่อนไขของระบบการวัด (Repeatability) หมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ แต่ในบางครั้งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลักอื่นๆ เช่น ทักษะของพนักงาน หรือปัจจัยแวดล้อม

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าการวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดตัวเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงอาจเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (Appraiser Variation; AV) แต่ในบางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม

**การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลนับ (MSA for Attribute)**

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) ได้อธิบายถึง การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อเป็นข้อมูลนับซึ่งเป็นการประเมินผลเมื่อคุณลักษณะที่ศึกษาเป็นคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics) เช่น รสชาติ ความสวยงาม ความเรียบร้อย หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร (Variable Characteristics) แต่ทำการนับเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนด เฉพาะ หรือ GO/No GO Gauge

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับจะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิสัยของข้อจำกัดเฉพาะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบได้นั้น ดีหรือไม่ดีอย่างไร

การประเมินผลระบบการวัดในระยะสั้นนั้นไม่มีวิธีในการประเมินดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นผู้ที่มีความสามารถเป็นพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสียและลูกค้าให้การยอมรับในผลตรวจสอบ ดังกล่าว
2. กำหนดล็อตมาตรฐาน (Standard Lot) สำหรับใช้ในการตรวจสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างที่คุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง และงานไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Faster and Brettner, 1992)
3. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและผ่านการทดสอบประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก
4. กำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ (Faster and Brettner, 1992)

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
$\geq 3$	12	3

5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่มเพื่อประเมินคุณภาพ ของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือไม่ผ่าน (No Good-NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6. ประเมินด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

$$\% \text{ รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงาน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}} \quad (2.5)$$

$$\% \text{ ความไม่ไปฮัสของพนักงาน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบได้เหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}} \quad (2.6)$$

$$\% \text{ ประสิทธิผลรีพีทหะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้เหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}} \quad (2.7)$$



$$\% \text{ ประสิทธิภาพความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}} \quad (2.8)$$

$$\text{ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (O}_E\text{)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}} \quad (2.9)$$

$$\text{ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I}_{FA}\text{)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะปฏิเสธอย่างผิดพลาด}} \quad (2.10)$$

$$\text{ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (I}_{MISS}\text{)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะยอมรับอย่างผิดพลาด}} \quad (2.11)$$

7. หากค่า % รีพีทเทเบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว ให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารีพีทเทเบิลิตี้ให้ดีขึ้น แต่หาก % ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (%Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว จะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับ % ประสิทธิภาพด้านรีพีทเทเบิลิตี้ของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score) และ % ประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดมีความจำเป็นค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นแล้วปรับปรุงให้ดีขึ้น

### 2.2.2.3 การระดมความคิด (Brainstorming) วิทยาลัย

การระดมความคิดเป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มคนให้มากที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น การระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ในการเลือกปัญหา หาสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาหรือหาข้อยุติ ในเรื่องใดเรื่องหนึ่งโดยอาศัยความคิดของกลุ่มบุคคลเป็นเครื่องตัดสินใจ (พรเทพ เหลือทรัพย์สุข, 2549)

หลักของการระดมความคิด มีดังนี้

- หัวข้อที่จะใช้ในการระดมความคิดจะต้องมีความชัดเจน
- ทำให้ผู้ร่วมระดมความคิดได้เสนอแนะโดยมีอิสระทางความคิดไม่ต้องระวังหรือกลัวที่จะถูกวิพากษ์วิจารณ์
- การเสนอแนะควรรวดเร็วเพื่อการระดมความคิดที่รวดเร็ว
- เป้าหมายหลักของการระดมความคิดคือปริมาณของข้อเสนอแนะทางความคิด

- มุ่งไปที่การเพิ่มเติมข้อเสนอแนะของบุคคลอื่นรวมทั้งการเสนอแนวคิดใหม่ๆ
- บรรยากาศในการระดมความคิดควรทำให้เกิดการเสนอแนะความคิดที่สร้างสรรค์และเป็นสิ่งใหม่ๆ

#### 2.2.2.4 เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

พรเทพ เหลือทรัพย์สุข (2549) ได้กล่าวถึงผังแสดงเหตุและผลเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิ ก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนภาพอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมัน โดยการดึงเอาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียงเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของเหตุที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุต่างๆไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆได้มากมาย ช่วยชี้แนะหรือช่วยในการอภิปรายรวบรวมประเด็นในการอภิปรายให้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ

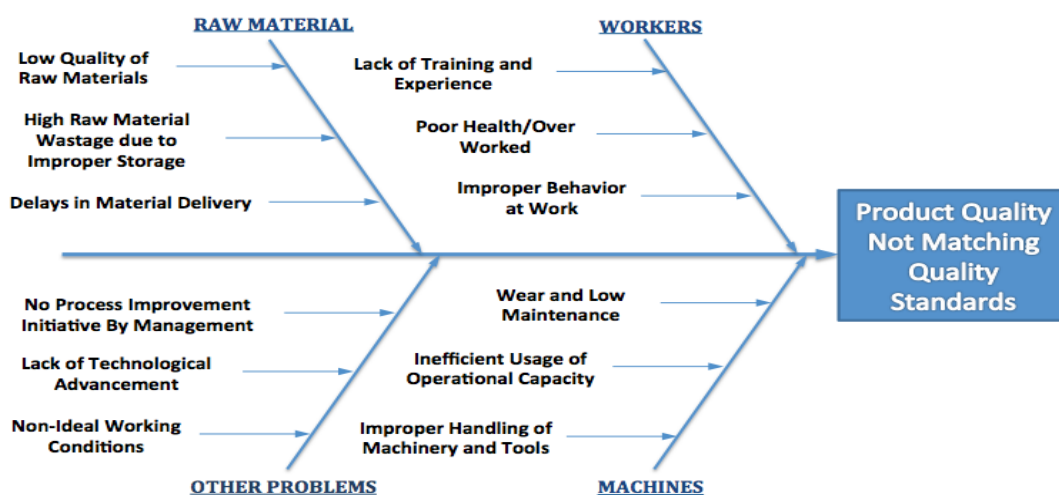
การวิเคราะห์ผังก้างปลา จะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลักทั้งหมด 6 กลุ่ม ดังนี้

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร(Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ(Material)
- สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลายๆฝ่าย ถือเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของการระดมความคิด (Brainstorming) อย่างไรก็ตามการระดมความคิดแบบใช้แผนภูมิก้างปลา ถึงแม้จะให้ผลดี แต่ก็ทำได้ยากเพราะการเขียนก้างปลาให้ถูกต้องและครอบคลุมสาเหตุของปัญหาให้

กว้างขึ้นนั้น จำเป็นต้องอาศัย ผู้นำกลุ่มหรือประธานในการระดมความคิดที่ดีมีความสามารถและมีประสบการณ์มาก ตัวอย่างของแผนผังก้างปลาแสดงได้ ดังรูปที่ 2.4

## CAUSES OF POOR PRODUCT QUALITY



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผลของกระบวนการผลิตที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน

### 2.2.2.5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

พรเทพ เหลือทรัพย์สุข (2549) ได้กล่าวถึง ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลว่าเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (KPOVs) กับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่างๆที่ได้จากการระดมสมองโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองต่างๆที่พิจารณาโดยใช้ความรู้ความชำนาญ และประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมทำการระดมสมอง ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะต้องทำแผนภูมิพาเรโตเพื่อเรียงปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณาทำให้สามารถพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆมาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะมีการกำหนดคะแนนตามความสำคัญต่อลูกค้าและเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ทางธุรกิจ ตัวเลขที่สูงจะแสดงถึงความสำคัญที่มาก ในแต่ละแถวจะแสดงตัวแปรจากผังกระบวนการหรือสาเหตุจากเมทริกซ์ความสัมพันธ์สาเหตุและผล ส่วนจุดตัดของแต่ละแถวกับแต่ละคอลัมน์จะใช้สำหรับบ่อนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถว (นอน) และคอลัมน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมากน้ำหนักในที่นี่ก็จะมีความสูงขึ้นไป จำนวนค่าความสัมพันธ์ที่บ่อนในแต่ละช่อง

ตามแนวนอน เมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบนแล้วรวมกับผลคูณที่ได้ในช่องขวามือสุดก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีผลต่อผลผลิต ค่าที่มีระดับคะแนนอยู่ในระดับสูงสุดจะสามารถอนุมานได้ว่าเป็นตัวแปรหลักที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิต(KPIVs) ซึ่งควรจับตามองและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น

### 2.2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ระยะนี้เป็นการวิเคราะห์ (Analysis) โดยมุ่งวิเคราะห์จำแนกสาเหตุปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้รับในช่วงก่อน เพื่อใช้ระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังเช่นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance) หรือ ANOVA รวมทั้งแผนภูมิพาเรโต แผนภูมิแก๊งปลา การใช้คำถาม 5 ครั้ง (5 Whys?) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment หรือ DOE) ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนั้นจึงได้นำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองในระยะนี้ (ไพโรจน์ บาลัน ,2549)

#### 2.2.3.1 การออกแบบทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment) เป็นกระบวนการวางแผนการ ทดลอง และนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์โดยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ใดมีผลต่อสิ่งที่ไม่สนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่ย่อออกมาจากระบบ (Output Response) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบโดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยนำเข้า (Input) อันประกอบด้วยเครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งแนวทางออกแบบการทดลองต่างๆ ซึ่ง ปารเมศ ชูติมา (2545) ได้อธิบายไว้ ดังนี้

#### การเลือกแบบการทดลอง

#### **แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)**

เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด เหมาะกับการทดลองที่แยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุของปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

#### **การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design)**

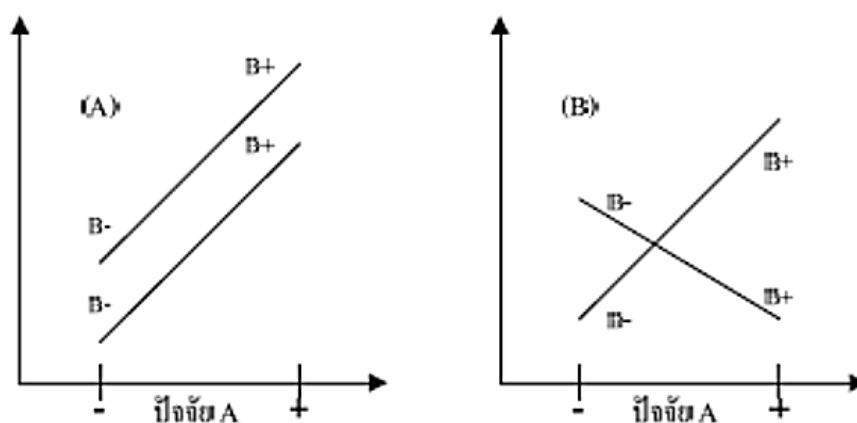
ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับ หน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้แผนการใช้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรที่เกิด

จากหน่วยทดลองรวมข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความแปรผันส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกกำลังสองความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์เป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

### แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไปทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัวจะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆ กัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า “อิทธิพลหลัก (Main Effect)” ส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณา จากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยระหว่างปัจจัย (A) และการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยระหว่างปัจจัย (B)  
(ปารเมศ ชูติมา, 2545)

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ จะประมาณได้ว่าขนานกัน ซึ่งลักษณะของกราฟเช่นนี้จะบ่งบอกถึงการไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยซึ่งกันและกันของปัจจัยทั้งสอง ในทำนองเดียวกัน จากรูป ที่ 2.6B จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ ไม่ขนานกัน และสามารถกล่าวได้

ว่า ปัจจัยทั้งสองมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยกันบ่อยครั้งที่กราฟลักษณะเช่นนี้ไม่ควรนำมาใช้แทนเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพราะว่าการตีความจากกราฟค่อนข้างที่ขึ้นอยู่กับความคิดเห็นส่วนบุคคล ซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดหรือ วิเคราะห์ผิดพลาดได้

## 2.2.4 ระยะการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

กาญจนา สร้อยระย้า และคณะ (2546) ได้กล่าวถึง ระยะปรับปรุง (Improve) ว่าเป็นระยะที่หาระดับที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) มีรายละเอียดดังนี้

### 2.2.4.1 การออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ

ปารเมศ ชูติมา (2545) ได้อธิบายถึงวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการ สร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

กราฟฟิตและวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะทำได้ง่ายถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมซึ่งลักษณะของการออกแบบที่ต้องพิจารณาบางประการคือ

- ทำให้เกิดการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลตลอดบริเวณที่ทำการพิจารณา
- ทำให้สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และ Lack of Fit ได้
- ทำให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก
- ทำให้การออกแบบที่มีอันดับ(Order) สูงขึ้นสามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
- ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
- ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
- คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

แบบการทดลองผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิวใช้สำหรับวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ ซึ่งแบบการทดลองที่ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการหาค่าที่เหมาะสมนี้แต่ละปัจจัยต้องถูกทดสอบมากกว่า 2 ระดับ แบบการทดลองประเภทนี้ได้แก่การออกแบบพื้นผิวตอบสนองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และ แบบการทดลองแบบ Box-Behnken เป็นต้น ผู้วิจัยได้เลือกวิธีแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางมาใช้

เนื่องจากในแต่ละกระบวนการมีเพียง 2 ปัจจัยในการหาค่าที่เหมาะสม แบบการทดลองแบบ Box-Behnken จะรองรับในกรณีที่มีจำนวนปัจจัย 3 ปัจจัยขึ้นไป

## 1. การออกแบบพื้นผิวตอบแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง เป็นหนึ่งในวิธีการที่นิยมใช้สำหรับหาผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว โดยทั่วไปการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง CCD ประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1.1 ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล  $2^k$  (Factorial Runs) หมายถึงการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ประกอบไปด้วยปัจจัยทั้งหมด K ตัว แต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับได้แก่ ระดับต่ำและสูง จะแทนด้วย -1 และ 1 ตามลำดับ

1.2 ส่วนการทดลองที่ส่วนจุดแกน (Axial Runs) จะอยู่ที่ระดับ  $-\alpha$  และ  $+\alpha$  โดยที่  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ  $(2^k)^{1/4}$  ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2-3 เป็นค่า  $\alpha$  ที่ใช้ขึ้นกับจำนวนปัจจัยที่ศึกษา

1.3 ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs)

จำนวนการทดลองสำหรับแบบการทดลองต่างๆเมื่อมีจำนวนปัจจัยในช่วง 2-10 ปัจจัยได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6

Design		Factors								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central Composite full	unblocked	13	20	31	52	90	152			
	blocked	14	20	30	54	90	160			
Central Composite half	unblocked				32	53	88	154		
	blocked				33	54	90	160		
Central composite quarter	unblocked							90	156	
	blocked							90	160	
Central Composite eighth	unblocked									158
	blocked									160
Box-Behnken	unblocked		15	27	46	54	62		130	170
	blocked			27	46	54	62		130	170

รูปที่ 2. 6 แบบการทดลองผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิวที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนปัจจัย 2-10 ปัจจัยและจำนวนการทดลองที่สอดคล้อง

ตารางที่ 2. 3 ค่า  $\alpha$  กรณีของการทดลองแบบส่วนประสมกลางเมื่อจำนวนปัจจัยเป็น 2-6

จำนวนปัจจัย	ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล	$\alpha$
2	$2^2$	$2^{2/4} = 1.414$
3	$2^3$	$2^{3/4} = 1.682$
4	$2^4$	$2^{4/4} = 2.000$
5	$2^{5-1}$	$2^{4/4} = 2.000$
5	$2^5$	$2^{5/4} = 2.378$
6	$2^{6-1}$	$2^{5/4} = 2.378$
6	$2^6$	$2^{6/4} = 2.828$

ความหมายของเทอมที่สำคัญในการทดลอง

อิทธิพลหลัก (Main effect) หมายถึงผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction effect) หมายถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

สัญลักษณ์ที่จำเป็นของการทดลอง

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่ เช่น A, B, C คือปัจจัย

ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวใหญ่เขียนร่วมกัน เช่น AB, AC, BC คือ ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

เครื่องหมายแบบหน่วยที่เป็นรหัส (Coded unit) เช่น - หรือ -1 สอดคล้องกับค่าที่ระดับต่ำของปัจจัย และ + หรือ +1 สอดคล้องกับค่าที่ระดับสูงของปัจจัย

ทางผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาแบบการทดลองผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิวมากกว่าแบบการทดลอง  $3^k$  เนื่องจากการออกแบบการทดลอง  $3^k$  ที่ไม่มีการทดลองซ้ำจะส่งผลให้ข้อมูลมีโอกาสผิดพลาดได้มาก หรือแม้ว่าหากมีการทดลองซ้ำจะส่งผลให้ใช้จำนวนการทดลองที่มากเกินไปจนความจำเป็นเมื่อเทียบกับแบบการทดลองผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว

การออกแบบการทดลอง  $3^k$  จะเหมาะสมเมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง อย่างไรก็ตามการออกแบบการทดลอง  $3^k$  ไม่ได้เป็นการออกแบบการทดลองที่ดีที่สุดในการสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์แบบควอดราติก ซึ่งในกรณีเช่นนี้การออกแบบพื้นผิวผลตอบสนอง จะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า เนื่องจากการออกแบบ  $3^k$  นี้ ถ้ามีการทดลองทั้งสิ้น  $n$  เรพลีเคต จะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้นจำนวน  $(n) \cdot 3^k$  การทดลอง จะเห็นว่า ขนาดของการออกแบบจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของ  $k$  ตัวอย่าง ซึ่งการออกแบบเช่นนี้ยังคงมีจำนวนการ



ทดลองที่มากเกินไปสำหรับสำหรับปัจจัย  $k \geq 3$  เพราะเมื่อจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองก็จะมีจำนวนการทดลองเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาการหาวัตถุให้มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก (Montgomery, 2556)

การออกแบบการทดลองแบบ Full three level factorial design ( $3^k$ ) เป็นการออกแบบการทดลองที่มีข้อจำกัดเมื่อนำไปใช้ในกรณีที่มีจำนวนของปัจจัยมากกว่า 2 เพราะจะต้องออกแบบปริมาณการทดลองจำนวนมาก โดยจำนวนการทดลองคำนวณได้จากสมการ  $N = 3^k$  ต่อการทำซ้ำ 1 ครั้ง โดยที่  $N$  คือจำนวนการทดลอง และ  $k$  คือจำนวนปัจจัย จึงมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อใช้กับข้อมูลที่มีลักษณะ Quadratic function เพราะปริมาณการทดลองที่มีจำนวนมาก ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการดำเนินการ เมื่อเทียบกับวิธีพื้นผิวผลตอบสนอง เช่น Central composite design เป็นต้น (Bezerra, M.A., 2551)

## 2.2.5 ระยะติดตามควบคุม (Control Phase)

ระยะควบคุม (Control) เป็นช่วงสุดท้ายของกระบวนการ DMAIC โดยมีการจัดทำมาตรฐานสำหรับปัจจัยนำเข้ากระบวนการ และผลลัพธ์เพื่อรักษามาตรฐานหลังจากที่ได้ดำเนินโครงการปรับปรุง โดยมีการวางแผนควบคุมกระบวนการ เพื่อมุ่งป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาต่างๆเกิดขึ้นซ้ำอีก ดังเช่น การปรับปรุงวิธีการทำงาน จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน และจัดทำแผนการฝึกอบรมกำหนดตัวชี้วัดสำหรับควบคุม การตรวจสอบกระบวนการ การใช้กลไกสำหรับตรวจจับความบกพร่องและการติดตามควบคุมกระบวนการใช้แผนภูมิควบคุมหรือการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) รวมทั้งการประเมินและสรุปผลการดำเนินโครงการ (ไพโรจน์ บาลัน, 2549)

## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแปรรูป

### 2.3.1 เม็ดพลาสติก

เนื่องจากเม็ดพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น Polypropylene PVC Polystyrene HDPE เป็นต้น ทั้งนี้ในโรงงานกรณีศึกษาจะใช้เม็ดพลาสติก 3 ชนิด ดังต่อไปนี้

พลาสติกชนิด PP (Polypropylene) เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่เบาที่สุดและมีความแข็งแรง ความเปราะ และแตกง่ายน้อยกว่า HDPE ทนต่อแรงกระแทก ทนทานต่อการขีดข่วน ไม่เสีรุกร่าง่าย ใสและ ออกซิเจนซึมผ่านได้น้อย ลักษณะของ PP คือ ขาวขุ่น หากไม่ผสมสี ไม่ทึบและไม่ใส ทึบแสงกว่า PE มีจุดหลอมตัวที่ 165 องศาเซลเซียส ทนความร้อนสูง สามารถทนอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อ (สามารถผ่านกระบวนการสเตอริไลซ์ได้ ในอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) ดังนั้น จึงนิยมนำมาทำเป็นพลาสติกสำหรับใช้งานในทางการแพทย์ หรือห้องปฏิบัติการเพราะทนต่อความร้อนสูงสามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งออบความดันได้ สามารถนำไปผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหาร และยัง

สามารถนำเข้าเครื่องล้างจานอัตโนมัติได้ และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟได้ นอกจากนี้ PP ยังถูกนำไปผลิตเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก ทนต่อสารเคมี PP ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น เครื่องมือ กระจา ปกแฟ้มเอกสาร ตลับเครื่องสำอาง ถุงร้อน ฟิล์มใส กระจา ขวดบรรจุปุ๋ย พลาสติกหุ้มซองบุหรี่ เชือก แห อวน ฯลฯ PP มีสัญลักษณ์ในการ Recycle หมายเลขที่ 5

พลาสติกชนิด PE (Polyethylene) เป็นเทอร์โมพลาสติก มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีความเหนียว และทนทานต่อแรงดึงปานกลาง พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก แต่จะขุ่นเมื่อความหนาแน่นสูง ปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเริ่มละลาย PE ได้ถูกจำแนกเป็นหลายชนิด ตัวหลักๆ ที่ใช้กันมากคือ LDPE LLDPE MDPE HDPE การใช้งานของ PE กว้างขวางมาก ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงพลาสติก ขวด แผ่นฟิล์มสำหรับการบรรจุหีบห่อ แฝงบรรจุยา และสายน้ำเกลือ ชิ้นส่วนรถยนต์ เชือก ท่อและรางน้ำ ผ้าใบพลาสติก เป็นต้น

พลาสติกชนิด HDPE (High Density Polyethylene) มีโครงสร้างทางเคมีเป็นกิ่งสาขา (branching) น้อย จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้ผิวแตกกร้านได้ง่าย ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนสารเคมีได้ดี มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ สามารถผสมให้มีสีต่างๆได้ เหมาะสำหรับนำมาทำ บรรจุภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวดน้ำดื่ม ถังบรรจุน้ำมันในยานยนต์ ถุงพลาสติก ท่อประปา ถุงหิ้ว ถุงขยะ ชิ้นส่วนรถยนต์ เป็นต้น

### 2.3.2 เม็ดฟิลเลอร์ (filler)

ฟิลเลอร์เป็นสารเติมแต่งที่มีลักษณะเป็นของแข็ง มีองค์ประกอบและโครงสร้างที่แตกต่างจากโพลิเมอร์ (Polymer) ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทอนินทรีย์แต่อาจเป็นประเภทอินทรีย์ก็ได้ อาจแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

ฟิลเลอร์เฉื่อย (Inert filler) หรือเอ็กซ์เทนเดอร์ (Extender) เป็นฟิลเลอร์ที่ผสมลงไป เพื่อปริมาณและลดต้นทุนการผลิต

ฟิลเลอร์ชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) ฟิลเลอร์ประเภทนี้ช่วยให้สมบัติทางกายภาพและทางกลของพลาสติกดีขึ้น เช่น ทนทานต่อการยืดดึง หรือ ค่ามอดูลัส (Modulus) ของการโค้งงอดีขึ้น

### 2.3.3 การผสม (Mixing) เพื่อเตรียมพลาสติกใช้ในกระบวนการแปรรูป

การผสมเป็นส่วนหนึ่งของการเตรียมพลาสติกให้พร้อมก่อนที่จะนำไปเข้ากระบวนการผลิตซึ่งหมายถึงการเอาวัสดุที่แตกต่างกันอย่างน้อยสองขึ้นไปที่มีแตกต่างกันทั้งทางลักษณะ รูปร่าง สีสันชนิดของวัตถุดิบหรือแม้แต่สถานะซึ่งอาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้มารวมกันและมีการ

กระจายตัวของวัสดุนั้นๆ อย่างสม่ำเสมอ โดยให้วัสดุเคลื่อนที่เสียดสีคลุกเคล้ากันจนได้ภาพของการผสมที่ต้องการ ซึ่งการผสมที่พบเห็นได้มากที่สุดคือการผสมวัสดุกับสีโดยวัสดุพลาสติกอาจจะม่เม็ดพลาสติกใหม่ทั้งหมดหรือผสมกับเศษย่อย ส่วนสีอาจเป็นผงหรือเม็ดสี

#### 2.3.4 กระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติก (Blow Film)

กระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติกเป็นการผลิตแผ่นฟิล์มและถุงพลาสติกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งข้อดีในการผลิตคือ ขนาดของแผ่นฟิล์มและถุงสามารถควบคุมได้ตามความต้องการ เช่น ความกว้าง ความหนา ตลอดจนคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เช่น ความแข็งแรง ความยืดตัว ความสามารถในการหดตัว พลาสติกที่ใช้ในการทำแผ่นฟิล์มและถุงพลาสติกที่นิยมใช้ได้แก่

LDPD ความหนาแน่น 0.918-0.924 g/cm<sup>3</sup> ซึ่งเป็นวัสดุสำคัญและใช้กันมาก

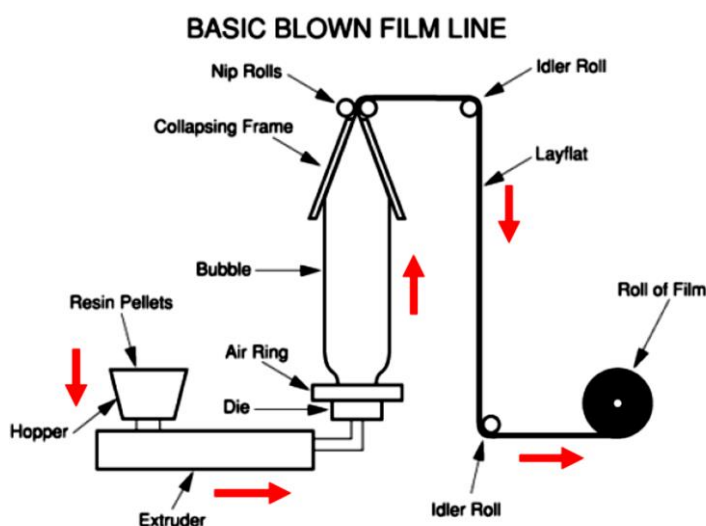
HDPE ความหนาแน่น 0.940-0.965 g/cm<sup>3</sup>

PP PE แข็งและอ่อน PA PS ชนิดทนแรงกระแทก และโฟม EPS

ซึ่งในโรงงานกรณีศึกษาได้ใช้เม็ดพลาสติกทั้ง 3 ชนิด ดังที่กล่าวไปข้างต้น

#### 2.3.5 ชื่อและหน้าที่ของส่วนประกอบของเครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก

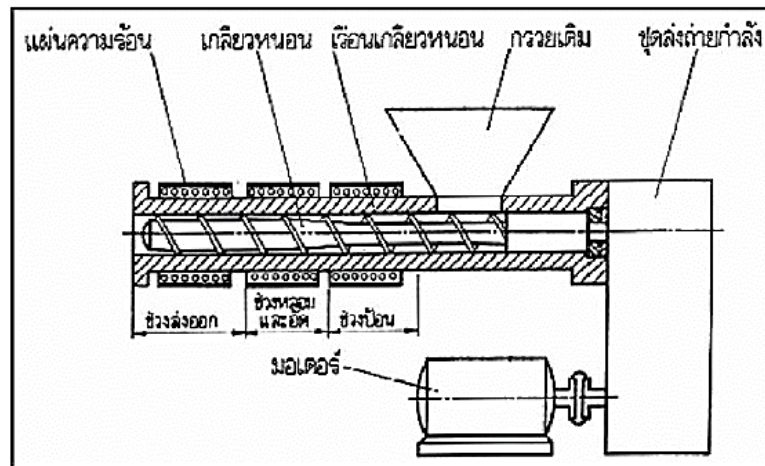
เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก(Blow Film Extrusion) เป็นเครื่องจักรที่ผลิตถุงพลาสติกโดยการ เป่าพลาสติกเหลวหนืดให้พองตัว ในอากาศและรีดให้ออกมาเป็นถุงพลาสติกหรือเป็นแผ่นฟิล์ม พลาสติก ซึ่งมีส่วนประกอบและหลักการทำงาน ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2. 7 ส่วนประกอบของเครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก (Blow Film Extrusion)

##### 2.3.5.1 เครื่อง เอกทรูเตอร์ (Extruder)

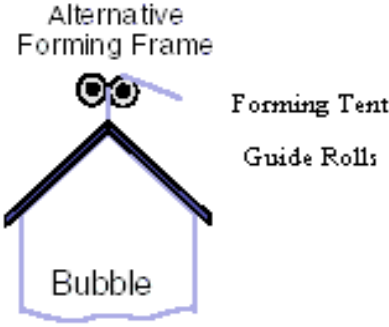
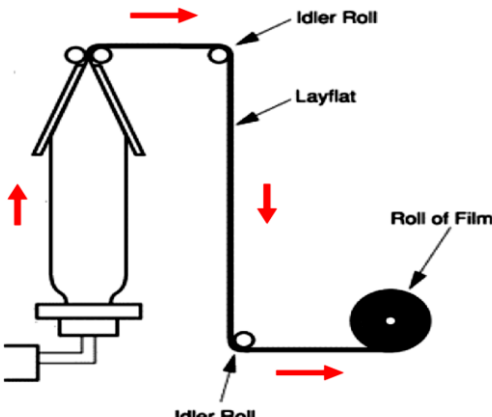
ทำหน้าที่ป้อนและหลอมเม็ดพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เกลียวหนอนหมุนอัดพลาสติกให้เคลื่อนที่ไปตามเรื่อนเกลียวหนอน



รูปที่ 2. 8 เครื่องเอกทรูเตอร์ (Extruder)

ตารางที่ 2. 4 ขั้นตอนการผลิตถุงพลาสติกแบบเอกซ์ทรูชั่น (Extrusion)

ภาพ	ขั้นตอนการทำงาน
	<p>นำเม็ดพลาสติกใส่ลงไปนกรวยเติมพลาสติกที่จะไหลลงไปสู่เครื่องเอกทรูเตอร์(Extruder) เครื่องจะป้อนและหลอมเม็ดพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงการทำงาน คือ ช่วงป้อน ช่วงหลอมอัด ช่วงส่งออก และพลาสติกเหลวหนืดนี้จะถูกส่งออกไปยังแม่แบบ (Die) ต่อไป</p>
	<p>พลาสติกเหลวหนืดจะถูกดันให้ผ่านตาย (Die) ออกเป็นท่อพลาสติกบางด้วยชุดกดอัด จากนั้นจึงเป่าลมให้ท่อพลาสติกบางพองตัวในอากาศโดยผ่านแหวนหล่อเย็น เพื่อให้ท่อพลาสติกบางเย็นตัวอย่างรวดเร็วและคงรูปทรงอยู่ได้</p>

ภาพ	ขั้นตอนการทำงาน
	<p>ท่อพลาสติกบางที่พองตัวในอากาศจะถูกบีบให้เข้าลูกรีดให้แบนด้วยลูกกลิ้งรีดอีกครั้งเพื่อส่งแผ่นถุงพลาสติกเข้าลูกกลิ้งม้วน</p>
	<p>หลังจากบีบให้แบนแล้ว ท่อพลาสติกบางจะผ่านลูกกลิ้งนำย่อนลงมาข้างล่าง และจะถูกม้วนในลักษณะที่เป็นท่อบางยาวตลอดหรือตัดขอบทั้งสองข้างให้มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ</p>

### 2.3.5.2 กรวยเติมพลาสติก

ในการเติมวัสดุเข้าสู่ชุดหลอมเหลว เราสามารถใช้ระบบลมดูดผงหรือเม็ดพลาสติกจากถังเก็บเข้าไปยังชุดหลอมเหลว (Plasticizing unit) หรือใช้กรวยเติมซึ่งปกติจะเป็นแบบกรวยกลมหรือกรวยเหลี่ยมก็ได้ ซึ่งต้องทำหน้าที่ในการป้อนวัสดุเข้าสู่ชุดหลอมเหลวได้อย่างตลอดเวลาการทำงานแบบกรวยออกเป็น 5 แบบ ดังนี้

กรวยเติมพลาสติกแบบธรรมดา กรวยเติมแบบนี้จะใช้กันอยู่ทั่วไปกับวัสดุที่ไหลตัวหรือตกอย่างอิสระ ซึ่งในโรงงานกรณีศึกษาก็ได้ใช้กรวยเติมในลักษณะนี้

กรวยเติมแบบมีใบกวน กรวยเติมแบบนี้จะเหมาะกับพลาสติกที่ไหลตัวยากหรือการไหลตัวไม่ค่อยดีนัก

กรวยเติมแบบมีใบกวนและสกรูอัด กรวยเติมแบบนี้เหมาะสมกับพลาสติกที่ไหลตัวไม่ได้ เช่น ผงพลาสติกคอมพาวด์ (Compound) แผ่นฟิล์มที่ย่อยแล้ว

กรวยเติมแบบมีสกรูช่วยป้อน กรวยเติมแบบนี้เหมาะกับพลาสติกผงคอมพาวด์

กรวยเติมแบบพิเศษถ้าเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดความชื้นหรือเป็นผงพลาสติกคอมพาวด์ (Compound) แล้วควรใช้กรวยเติมแบบสุญญากาศ (Vacuumhopper) เพราะว่าที่ตัวฮอปเปอร์ (Hopper) จะมีความร้อนช่วยอบไล่ความชื้นออกจากเนื้อพลาสติก หรือลมร้อนแห้งที่สามารถปรับตั้งอุณหภูมิได้ ตลอดจนทำให้อุณหภูมิของพลาสติกคงที่สม่ำเสมอ

### 2.3.5.3 แผ่นตะแกรงกรองทำความสะอาด

แผ่นตะแกรงกรองจะอยู่ที่ปลายเกลียวหนอนในชุดเอกทรูเตอร์ (Extruder) แผ่นตะแกรงกรองทำจากอลูมิเนียมสแตนเลส (Stainless) ทำหน้าที่ตัวดักจับสิ่งปนเปื้อนที่ปะปนมากับพลาสติกเหลว เพื่อให้เนื้อพลาสติกเหลวสะอาดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตแผ่นฟิล์มบางๆ จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์กรองทำความสะอาดมาช่วย แผ่นตะแกรงกรองมีความหนาและละเอียดอยู่หลายขนาดตามขนาดและจำนวนช่องตาข่ายที่เรียกว่า เมช (Mesh) แล้วแต่ความต้องการที่จะใช้ และต้องทำการเปลี่ยนแผ่นกรองอยู่อย่างสม่ำเสมอ

โดยปัจจัยที่ต้องปรับตั้งค่าที่เครื่องจักร ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วมอเตอร์ ความถี่ของลูกกลิ้ง และอื่นๆ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้จะนำไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในบทถัดไป

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้นิยมนำเอาหลักการซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงงานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ซิกซ์ ซิกมากันมาก อาทิ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และ อุตสาหกรรมพลาสติก เป็นต้น แต่เนื่องจากกระบวนการเป่าฟิล์มในอุตสาหกรรมพลาสติกนั้นยังไม่มีผู้นำเอาซิกซ์ ซิกมา มาใช้ แต่ก็สามารถใช้ได้เช่นกัน เนื่องจากแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มีวิธีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ อีกทั้งยังนำเอาวิธีการทางสถิติ เช่น การออกแบบการทดลอง เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อปัญหาและกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนั้นๆ อีกด้วย เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ดังนั้นแนวคิดซิกซ์ ซิกมาจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียจากการผลิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าได้ ขั้นตอนและเครื่องมือทางสถิตินั้นสามารถนำมาใช้ในกระบวนการเป่าฟิล์มได้

ต่อไปจะแสดงให้เห็นตัวอย่างงานวิจัยที่ได้นำเอาหลักการซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงงานดังต่อไปนี้

**ปณิกรณ์ อังกรากินันท์ (2544)** ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยการทนแรงดึงในแนวตะเข็บในกระบวนการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู โดยใช้แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ  $2^k$  โดยศึกษาปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ความเร็วป้อนแผ่นฟิล์ม อุณหภูมิบาร์กดล้าง

และการปรับระยะกด จากการศึกษาพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลหลัก คือ อุณหภูมิบาร์กดบน และการปรับระยะกด จากนั้นได้ทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ  $3^k$  จากการศึกษาวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลหลักคือ อุณหภูมิบาร์กดบน และ การปรับระยะกด และนำไปเปรียบเทียบหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต พบว่าค่าของการทนแรงดึงในตะเข็บมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 50.96%

**สมบัติ สุขนิจ (2548)** ได้นำหลักการซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซี โดยมุ่งที่จะศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนเจลที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงที่กำหนดคือ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับร้อยละ 0.2 การวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอน ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ สามารถกำหนดค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าจำนวนเจล โดยการนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 4 ปัจจัย มาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของพื้นผิวตอบ ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อให้ได้ค่าจำนวนเจลที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสมคือ 7 จุด โดยการกำหนดอุณหภูมิในการอัดรีดเม็ดเป็น 145 องศาเซลเซียส และขนาดเม็ดพีวีซีผล 108 ไมครอน แล้วทำการทดสอบยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสองด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ เพื่อพิจารณาข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตจากร้อยละ 0.2 เป็นร้อยละ 0

**โสภิตา ท้วมมี (2550)** ในกระบวนการผลิตพลาสติกพีวีซีแผ่นมีปริมาณของเสียประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายเกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 54.66% ของปัญหาของเสียทั้งหมด ซึ่งคิดเป็นมูลค่าประมาณ 1,561,716 บาทต่อปี ทำให้เกิดการเก็บผลิตภัณฑ์เข้าคลังเพื่อรอการนำกลับมาผลิตใหม่ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนองผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่อุณหภูมิในการหลอม PVC Compound ที่ Mixing Rolls 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing Rolls 30 กิโลกรัม/Batch จะทำให้ค่าจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตาราง

เมตร อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ ไม่เกิด 10 จุดต่อตารางเมตร ทำให้สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลาย ที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ลงได้ร้อยละ 73.08

**จุฑาทิพย์ ทะประสพ (2551)** งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาคุณภาพในกระบวนการพิมพ์บรรจุภัณฑ์พลาสติกและพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดของเสียโดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางคุณภาพ อีกทั้งยังมีการนำเอาวิธีการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้อีกด้วย โดยพิจารณาที่ระดับอนุกรมบนเครื่องพิมพ์ และ แรงดึงของม้วนฟิล์ม ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ร้อยละของเสียประเภทเบี้ยวเฉลี่ยและร้อยละของเสียรวมเฉลี่ยลดลงร้อยละ 14.94 และ 12.71 ตามลำดับ และเวลาในการพิมพ์งานลดลงเฉลี่ย 8.87 นาทีต่อม้วน

**วรารกรณ์ ขำสนธิ (2551)** งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เข้ามาใช้ปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า (1) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องชนิดครีบและข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มากที่สุดคือ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และระยะย่ำ (2) สภาวะการฉีดที่ทำให้ต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์มีค่าต่ำที่สุด คือ ความดันฉีด 55.6 เมกะปาสคาล ความเร็วฉีด 62.5 มิลลิเมตร/วินาที และระยะย่ำ 5.3 มิลลิเมตร และ (3) จากสภาวะการฉีดใหม่ดังกล่าว สามารถลดต้นทุนของเสียรวมจากข้อบกพร่องชนิดครีบ และข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ จากเดิม 0.3194 บาท/ชิ้น เหลือ 0.0293 บาท/ชิ้น

**กรวิษณุ จุฬะวะนะพันธ์ (2555)** ได้ทำการศึกษากระบวนการตัดและปิดผนึกถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์ โดยต้องการลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่มาจากเม็ดพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมียอดการผลิตสูงที่สุด และปัญหารอยปิดผนึกกันถุงยึดเป็นปัญหาที่พบมากที่สุดในกระบวนการผลิต ซึ่งคิดเป็น 78.2 % ของการเกิดของเสียที่กระบวนการตัดและปิดผนึกถุงพลาสติก เมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดปัญหารอยปิดผนึกกันถุงยึด โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล พบว่าปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสียประเภทดังกล่าว ได้แก่ ความเร็วในการป้อนแผ่นพลาสติก และอุณหภูมิของบาร์กด จากนั้นได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3 ระดับ (3k Factorial Design) เพื่อยืนยันผลการทดลอง ผลจากการศึกษาพบว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมคือ ความเร็วในการป้อนแผ่นพลาสติกอยู่ที่ระดับ 35 ขึ้นต่อนาทีและอุณหภูมิของบาร์กดเท่ากับ 255 F สามารถลดสัดส่วนของเสียลงได้ 3.5% และคิดเป็นเงินที่สามารถลดของเสียลงได้ประมาณ 55,000 บาทต่อเดือน



**วิทยา เจนจิตพัฒนกุล (2554)** งานวิจัยนี้จะเป็นการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์โดยยึดหลักในการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ โดยจะดำเนินการตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ระยะ และได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติก ได้มา 3 ปัจจัยได้แก่ ความหนืดของสี มุมของการปาดหมึก และขั้นตอนการล้างบล็อก โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งจะทำให้การทดลอง 9 ระดับ และทำซ้ำ 2 ครั้ง ภายหลังจากปรับปรุงพารามิเตอร์ของเสียลดลงเหลือ 1.53% เมื่อเทียบกับร้อยละของเสียก่อนปรับปรุงซึ่งมีปริมาณ 11.68% เท่ากับว่าสามารถลดปริมาณของ เสียได้ถึง 86.90%

**ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ (2554)** งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษากระบวนการระบายในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของของเสียฟองอากาศในพลาสติกโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเงื่อนไขของกระบวนการระบาย ซึ่งได้แก่ ความเร็วของลูกกลิ้ง อุณหภูมิของเตาอบและแรงดึงพลาสติก โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบ ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design โดยพบว่าเงื่อนไขการระบายที่เหมาะสมจะส่งผลให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมากขึ้นจะทำให้เกิดของเสียฟองอากาศลดลงเนื่องจากเมื่อพลาสติกมีความตึง ฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่ถูกเก็บไว้บนผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อพลาสติกตึงเกินไปเนื่องจากแรงดึงพลาสติกที่มากจะส่งผลให้พลาสติกเกิดการขยายและหดตัวทำให้เกิดของเสียฟองอากาศที่มากและในขณะที่เมื่ออุณหภูมิของเตาอบมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวทำละลายสามารถระเหยได้ดี แผ่นพลาสติกมีการเชื่อมติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศน้อยที่สุดคือความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตัน และอุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

**ธเนตรตรี รัตนเรืองยศ (2557)** งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการลดของเสียสำหรับกระบวนการฉีดท่อพลาสติกในโรงงานแห่งหนึ่ง โดยใช้หลักการ DMAIC ของซิกซ์ ซิกมา ในส่วนของการวิเคราะห์หาวิธีแก้ปัญหานั้นจะใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ผลการปรับปรุงสามารถลดของเสียจาก ร้อยละ 8.8 เหลือเพียง ร้อยละ 5.25 ซึ่งสามารถลดของเสียไปได้ร้อยละ 3.55 ทำให้ทางบริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไปได้ถึง 3,600,000 ล้านบาทต่อปี

**ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ (2557)** งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดปริมาณของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทจุดสีของกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก โดยหาค่าปรับตั้งปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าคะแนนจุดสีต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงตาม

แนวทางของซิกซ์ ซิกมา โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล 2k แบบ 2 เรพลิเคต หลังจากนั้นนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนองมาทำการทดลองแบบพื้นผิวตอบ ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ อัตราป้อนวัตถุดิบที่ 10 เฮิร์ตซ์ ความเร็วในการนวดที่ 400 รอบต่อนาที และ อุณหภูมิที่ใช้ในการนวดที่ 78 องศาเซลเซียส ผลหลังการปรับปรุงพบว่ามีสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงที่ร้อยละ 4.47 และมีค่าลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.5 โดยการพยากรณ์ปริมาณการผลิตคาดว่ามูลค่าความสูญเสียจะลดลงได้ถึง 1,639,547 บาทต่อปี

## 2.5 สรุปการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วจะเห็นได้ว่าการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียในกระบวนการต่างๆ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลแต่ละงานวิจัยแล้วพบว่าได้ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ สามารถลดของเสียเวลาได้เป็นจำนวนมากโดยการดำเนินงานตามขั้นตอน DMAIC ของ แนวทางซิกซ์ ซิกมา มีการนำการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการรวมไป ถึงสภาพการทำงานที่เหมาะสมกับกระบวนการมากที่สุด ทั้งนี้ทั้งนั้นยังไม่พบการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้กับกระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติก ผู้วิจัยจึงได้นำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการลดของเสียของกระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติก จะทำให้งานวิจัยนี้แสดงได้ว่าแนวทางซิกซ์ ซิกมาก็สามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติกได้เช่นกัน

## บทที่ 3

### ระยษณียามปัญห (Define Phase)

ระยษณียามปัญห (Define Phase) ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นขั้นตอนเริ่มแรกของแนวทงซิกซ์ ซิกมา มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดแนวทงในการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยการศึกษากระบวนการผลิต การกำหนดปัญห กำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด โดยจะนำเทคนิคต่างๆมาประกอบกันนิยามปัญห

#### 3.1 ศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตจะแบ่งออกเป็น 4 แผนก ดังนี้

##### 3.1.1 แผนกเป่า

แผนกเป่าถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตถุงพลาสติก เริ่มแรกจะเป็นการนำวัตถุดิบมาแปรสภาพให้กลายเป็นถุงพลาสติก โดยจะมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. จัดเตรียมส่วนผสมของเม็ดพลาสติก โดยพนักงานจะทำการชั่งตวงเม็ดพลาสติกตามสูตรที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่อยู่หน้างาน แล้วนำมาเข้าเครื่องบดผสมเม็ดพลาสติก เพื่อให้หลอมรวมออกมาดังสูตรที่ได้กำหนดไว้
2. นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้เข้าเครื่องเป่าฟิล์ม และทำการเป่าฟิล์มออกมา จากนั้นจึงอัดรีดแผ่นฟิล์ม ซึ่งในระหว่างการผลิตจะมีการสุ่มตรวจข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ เจล ยับ และหนาบาง ซึ่งข้อบกพร่องประเภทเจลและยับนั้นสามารถมองเห็นชัดเจนได้ด้วยตาเปล่า กรณีมีของเสยเกิดขึ้น และจะมีการใช้เครื่องมือวัดความหนา (Thickness gauge) ทำการวัดความหนาของแผ่นฟิล์มอยู่เป็นระยะเพื่อตรวจสอบว่าความหนาของฟิล์มถูกต้อง
3. กรณีที่ชิ้นงานต้องมีการสลิต เมื่อได้แผ่นฟิล์มออกมาจากเครื่องเป่าแล้ว ก็ทำการสลิตแผ่นฟิล์ม จากนั้นก็เตรียมนำแผ่นฟิล์มเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ต่อไป แต่หากไม่ต้องทำการสลิต ก็เตรียมนำแผ่นฟิล์มเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ได้เลย

โดยปัจจัยที่ต้องปรับตั้งค่าที่เครื่องจักร ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วมอเตอร์ ความถี่ของลูกกลิ้ง และอื่นๆ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้จะนำไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในบทถัดไป



รูปที่ 3. 1 เครื่องเป่าฟิล์มพลาสติก

### 3.1.2 แผนกพิมพ์

โดยปกติแล้วลูกค้าต้องการที่จะให้ชิ้นงานมีตราสัญลักษณ์หรือภาพต่างๆบนตัวชิ้นงาน ดังนั้นแผนกพิมพ์จึงถือเป็นแผนกที่สำคัญในการเพิ่มมูลค่าของสินค้า โดยมีกระบวนการต่างๆ ดังนี้

1. จัดเตรียมบล็อกสีในแบบที่ลูกค้าต้องการ พร้อมทั้งปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้พร้อมสำหรับเริ่มต้นกระบวนการพิมพ์พลาสติก



รูปที่ 3. 2 เครื่องพิมพ์แบบ Gravure

- นำม้วนพลาสติกที่ได้จากแผนกเป่า เตรียมเข้าเครื่องพิมพ์

### 3.1.3 แผนกตัด

หลังจากผ่านกระบวนการพิมพ์ ชิ้นงานจะมีลักษณะออกมาเป็นม้วน ซึ่งหากสินค้าสำเร็จที่ต้องการมีลักษณะเป็นแผ่น จึงต้องมาผ่านกระบวนการตัดให้ได้ขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ปรับตั้งเครื่องตัดให้ได้ระยะตัดตามที่ลูกค้าต้องการ
- นำม้วนฟิล์มที่ได้จากกระบวนการพิมพ์เข้าเครื่องตัด
- เมื่อตัดเสร็จก็เข้าสู่แผนก QC เพื่อตรวจสอบชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 3.3 เครื่องตัดถุงพลาสติก

### 3.1.4 แผนก QC

เมื่อผ่านกระบวนการตัดเสร็จได้ชิ้นงานสำเร็จแล้วก็จะมาทำการตรวจสอบ 100% หากตรวจสอบแล้วผ่านเกณฑ์คุณภาพที่กำหนดไว้ก็จะทำการบรรจุ เมื่อบรรจุเสร็จเรียบร้อยแล้วก็เก็บเข้าคลังสินค้าเพื่อรอส่งลูกค้าต่อไป ซึ่งขั้นตอนการผลิตถุงพลาสติกได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 ดังรูปที่ 1.2

## 3.2 การกำหนดสภาพปัญหา

การกำหนดสภาพปัญหานับว่าเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากทำให้ทราบถึงปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการเป่าฟิล์ม จากการศึกษาข้อมูลการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์ม ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึง พฤษภาคม 2559 พบว่ามีปัญหาของเสียเกิดขึ้นจากหลายส่วนด้วยกัน ได้แก่

- จากการผลิต
- จากการเปลี่ยนไซส์
- จากการล้างสี

- จากการเดินเครื่อง

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าของเสียจากการผลิตมีปริมาณสัดส่วนของเสียมากที่สุด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึง จะทำการปรับปรุงของเสียจากการผลิตประเภทเจล ยับ และหนาบาง ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ได้กล่าวไว้ แล้วในบทที่ 1 ดังตารางที่ 1.4

### 3.3 การคัดเลือกรายการสินค้าเพื่อนำมาศึกษา

เนื่องจากในกระบวนการผลิตถุงพลาสติก จะใช้เม็ดพลาสติกทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกัน ได้แก่

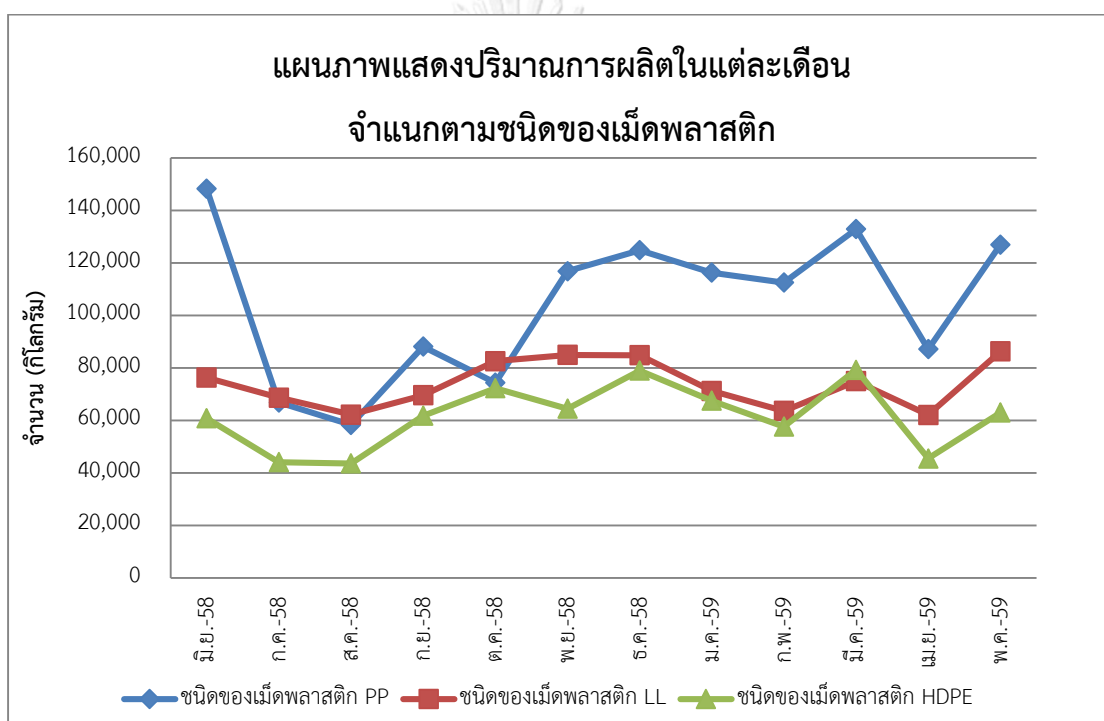
- Polypropylene (PP)
- Polyethylene (PE)
- High Density Polyethylene (HDPE)

ในการคัดเลือกรายการสินค้าเพื่อนำมาศึกษาจะพิจารณาจากปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน ตั้งแต่ เดือนมิถุนายน 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม 2559 โดยแบ่งตามชนิดของเม็ดพลาสติกที่ใช้ แสดง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3. 1 กำลังการผลิตในแต่ละเดือนโดยแบ่งตามชนิดของเม็ดพลาสติก

ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ชนิดของเม็ดพลาสติก		
	PP	LL	HDPE
มิ.ย. 2558	148,305	76,327	61,849
ก.ค. 2558	66,890	68,721	45,133
ส.ค. 2558	58,340	62,237	44,620
ก.ย.2558	88,168	69,621	62,786
ต.ค. 2558	74,401	82,632	73,301
พ.ย. 2558	116,898	85,013	65,492
ธ.ค. 2558	124,893	84,844	80,024
ม.ค. 2559	116,347	71,235	68,566
ก.พ. 2559	112,555	63,629	58,634
มี.ค. 2559	132,898	75,005	80,345

ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ชนิดของเม็ดพลาสติก		
	PP	LL	HDPE
เม.ย. 2559	87,156	62,097	46,512
พ.ค. 2559	127,034	86,327	63,522
รวม	1,253,885	887,688	739,265
ร้อยละ	43.53	30.81	25.66



รูปที่ 3. 4 แผนภาพแสดงปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนโดยจำแนกตามชนิดของเม็ดพลาสติก

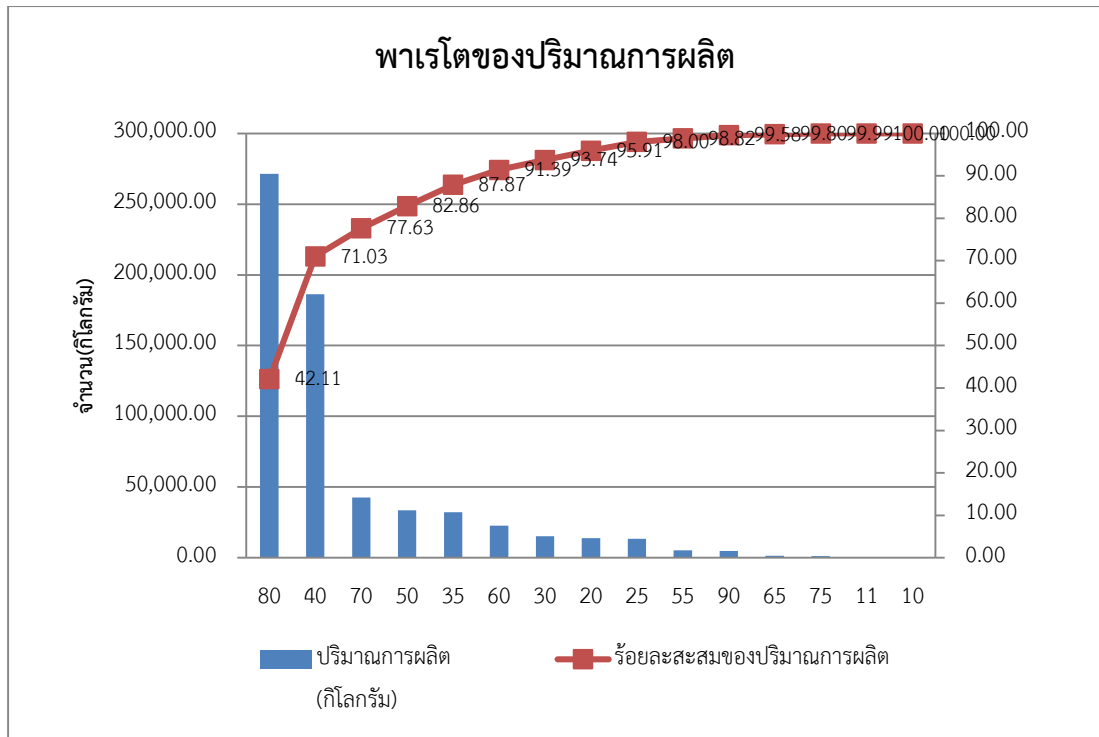
จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าเม็ดพลาสติกชนิด Polypropylene หรือ PP นั้นมีปริมาณการผลิตมากที่สุด โดยมีปริมาณถึง 1,253,885 กิโลกรัม หรือ ร้อยละ 43.53 ในช่วงเดือนมิถุนายน 2558 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559

เนื่องจากขนาดของถุงพลาสติกที่ได้ทำการผลิตนั้นจะมีหลากหลายขนาดด้วยกัน โดยเม็ดพลาสติกชนิด Polypropylene จะผลิตถุงพลาสติกที่มีขนาดความหนาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. 2 ปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ

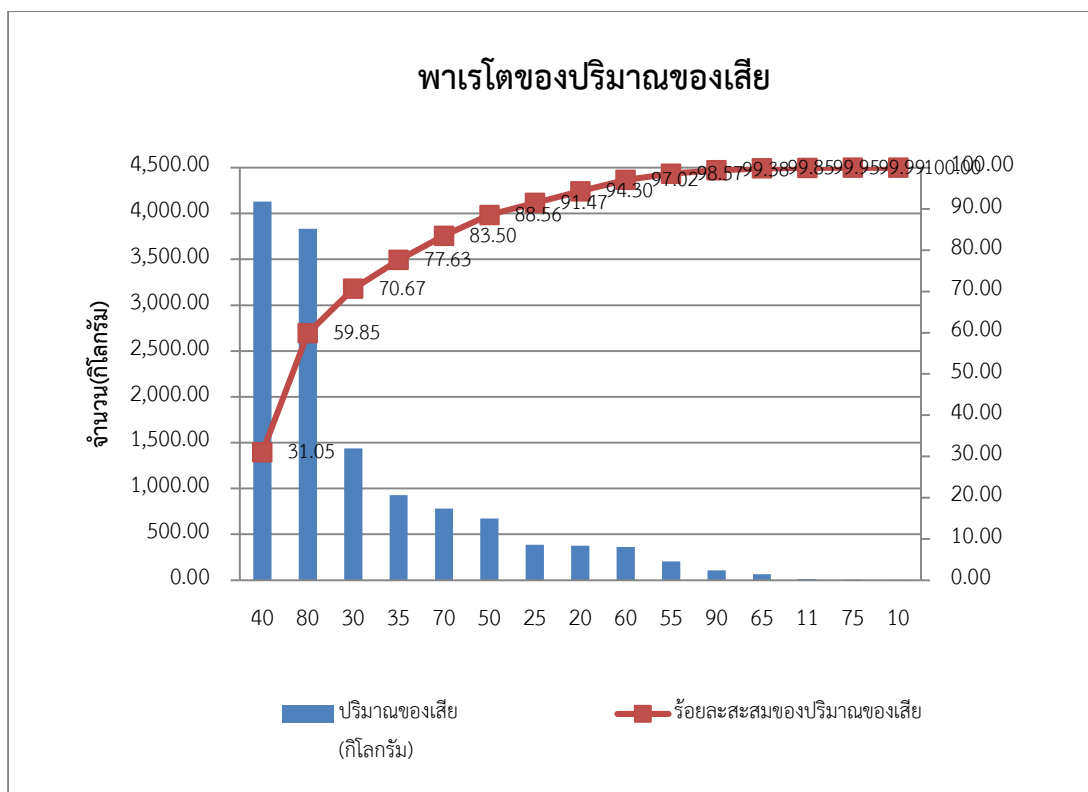
ขนาด ความหนา (ไมครอน)	ปริมาณการ ผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของ ปริมาณการ ผลิต ต่อปริมาณ การผลิต ทั้งหมด	ปริมาณของ เสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของ เสียต่อ ปริมาณของ เสียทั้งหมด	ร้อยละของ เสีย ต่อปริมาณ การผลิตของ ขนาดความ หนานั้นๆ
10	16.30	0.00	1.00	0.01	6.13
11	21.10	0.00	12.70	0.10	60.19
20	13,922.01	2.16	376.79	2.83	2.71
25	13,508.91	2.10	386.79	2.91	2.86
30	15,192.39	2.36	1,439.03	10.81	9.47
35	32,316.99	5.02	926.86	6.97	2.87
40	186,292.40	28.92	4,131.04	31.05	2.22
50	33,683.90	5.23	672.83	5.06	2.00
55	5,267.45	0.82	205.93	1.55	3.91
60	22,626.11	3.51	362.68	2.73	1.60
65	1,396.45	0.22	63.37	0.48	4.54
70	42,542.70	6.60	781.30	5.87	1.84
75	1,269.90	0.20	5.70	0.04	0.45
80	271,289.30	42.11	3,832.94	28.81	1.41
90	4,900.22	0.76	107.49	0.81	2.19
รวม	644,246.13		13,306.45		





รูปที่ 3.5 แผนภาพพาเรโตของปริมาณการผลิตของรุ่นความหนาขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าถุงพลาสติกที่ความหนา 80 ไมครอน มีปริมาณการผลิตสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 42.11 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ถุงพลาสติกที่มีความหนา 40 ไมครอน มีปริมาณการผลิตสูงรองลงมาเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 28.92 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด และถุงพลาสติกที่ความหนา 30 ไมครอน มีปริมาณการผลิตที่ไม่สูงมากนัก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 2.36 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด แต่หากพิจารณาสัดส่วนของเสียต่อปริมาณของเสียทั้งหมดจะเห็นว่ามีความสูงมาเป็นอันดับที่สาม ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งที่ขนาดความหนาสามค่านี้มีปริมาณการผลิตรวมทั้งหมดเป็นร้อยละ 73.38 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามหลักการของพาเรโตที่ว่าถุงพลาสติกที่ขนาดความหนา 3 ค่า คือ 80 40 และ 30 ไมครอน จาก 15 ค่าความหนา มีปริมาณการผลิตเป็นส่วนใหญ่ ด้วยสัดส่วนรวมกันเป็นร้อยละ 73.38



รูปที่ 3. 6 แผนภาพพารेटโตแสดงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นของรุ่นความหนาขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.6 แสดงแผนภาพพารेटโตของปริมาณของเสีย จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 40 ไมครอน มีปริมาณของเสียสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 31.05 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ถุงพลาสติกที่มีความหนา 80 ไมครอน มีปริมาณของเสียสูงรองลงมาคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 28.81 ของปริมาณของเสียทั้งหมด และถุงพลาสติกที่มีความหนา 30 ไมครอน มีปริมาณของเสียสูงมาเป็นอันดับที่สาม คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 10.81 ซึ่งน่าสนใจเนื่องจากมีสัดส่วนของเสียต่อปริมาณการผลิตในรุ่นนั้นมาก ซึ่งที่ขนาดความหนาสามค่านี้อมีปริมาณของเสียมากกว่าปริมาณของเสียของรุ่นอื่นๆ อย่างชัดเจน โดยทั้งสามรุ่นรวมกันมีปริมาณของเสียสูงเป็นร้อยละ 70.67 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ซึ่งเป็นไปตามหลักการของพารेटโตที่ว่าถุงพลาสติกที่ขนาดความหนา 3 ค่า คือ 80 40 และ 30 ไมครอน จาก 15 ค่าความหนา มีปริมาณของเสียเป็นส่วนใหญ่ด้วยสัดส่วนรวมกันเป็นร้อยละ 70.67

จากรูปที่ 3.5 และ 3.6 สรุปได้ว่า ถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอน มีปริมาณการผลิตมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 42.11 และยังมีปริมาณของเสียสูงถึง 3,832.94 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 28.81 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 40 ไมครอน มีปริมาณการผลิตรองลงมาคิดเป็นร้อยละ 28.92 แต่มีปริมาณของเสียสูงที่สุดถึง 4,131.04 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 31.05 ของปริมาณของเสียทั้งหมด และถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 30

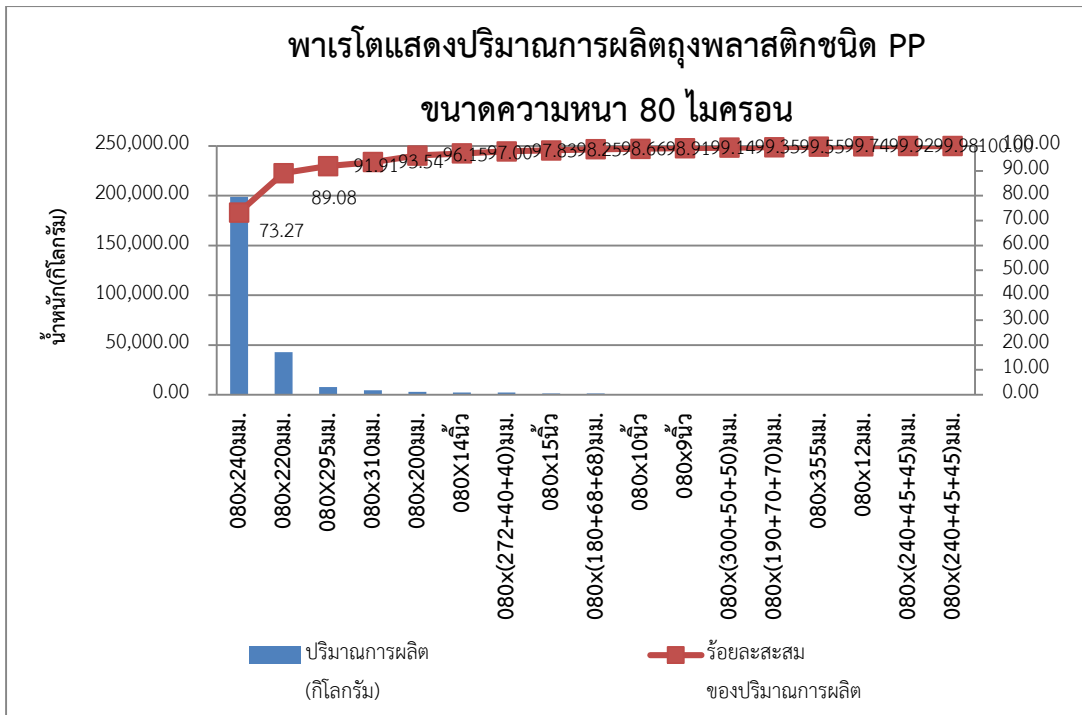
ไมครอน มีปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 2.36 แต่มีปริมาณของเสียสูงถึง 1,439.03 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 10.81 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ซึ่งหากพิจารณาความหนาทั้งสามรุ่นรวมกันพบว่ามีปริมาณการผลิตเป็นร้อยละ 73.38 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด และมีปริมาณของเสียรวมเป็นร้อยละ 70.67 ของปริมาณของเสียทั้งหมด

ผู้วิจัยจึงได้เลือกที่จะศึกษาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดความหนาทั้งสามค่านี้ต่อไป เมื่อได้เลือกรุ่นความหนาที่จะนำมาทำการปรับปรุงแล้ว ต่อไปผู้วิจัยจะทำการเลือกขนาดความกว้างเพื่อนำมาทำการวิจัย แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3. 3 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 80 ไมครอน

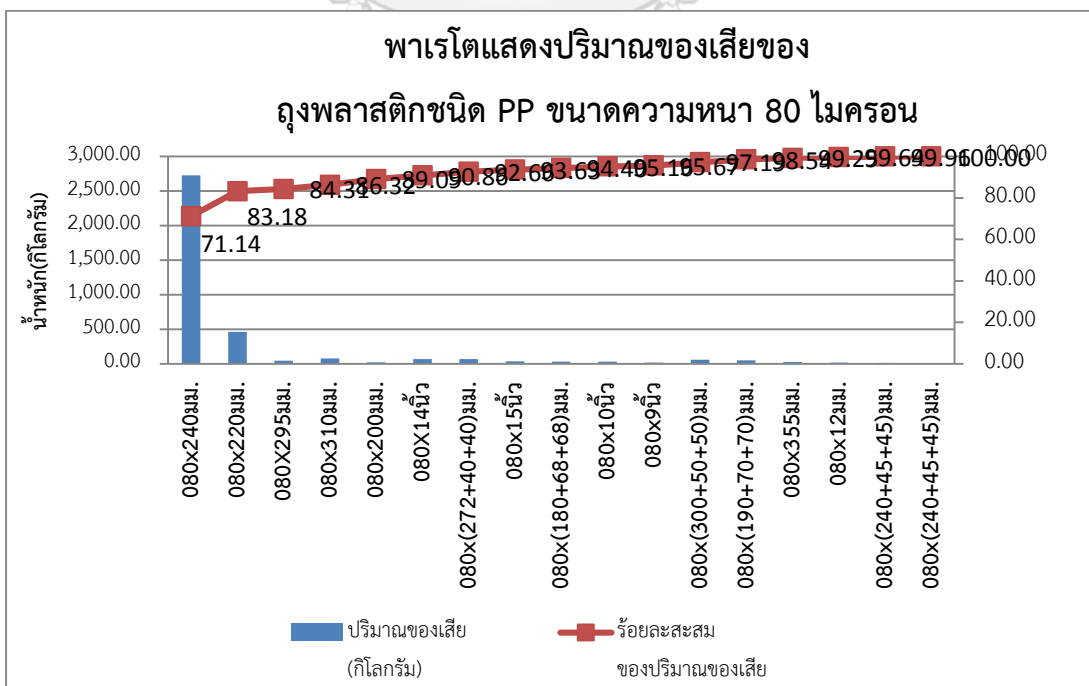
ขนาดความหนา (ไมครอน)	ปริมาณการ ผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของ ปริมาณการ ผลิต ต่อปริมาณ การผลิต ทั้งหมด	ปริมาณของ เสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของ เสียต่อ ปริมาณ ของเสีย ทั้งหมด	ร้อยละของ เสีย ต่อปริมาณ การผลิตใน รุ่นนั้น
080 × (180+68+68) มม.	1,104.94	0.41	29.48	0.77	2.67
080 × (180+70+70) มม.	4,201.08	1.55	82.48	2.15	1.96
080 × (190+70+70) มม.	551.47	0.20	51.63	1.35	9.36
080 × (240+45+45) มม.	164.68	0.06	12.18	0.32	7.40
080 × (272+40+40) มม.	2,251.22	0.83	68.98	1.80	3.06
080 × (300+50+50) มม.	576.90	0.21	58.50	1.53	10.14
080 × 200 มม.	2,892.58	1.07	23.60	0.62	0.82
080 × 220 มม.	42,875.40	15.80	461.68	12.05	1.08

ขนาดความหนา (ไมครอน)	ปริมาณการ ผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของ ปริมาณการ ผลิต ต่อปริมาณ การผลิต ทั้งหมด	ปริมาณของ เสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของ เสียต่อ ปริมาณ ของเสีย ทั้งหมด	ร้อยละของ เสีย ต่อปริมาณ การผลิตใน รุ่นนั้น
080 x 240 มม.	198,782.46	73.27	2,726.61	71.14	1.26
080 x 295 มม.	7,676.85	2.83	43.13	1.13	0.56
080 x 310 มม.	4,428.90	1.63	77.10	2.01	1.74
080 x 355 มม.	511.22	0.19	27.12	0.71	5.30
080 x 9 นิ้ว	625.50	0.23	19.30	0.50	3.09
080 x 10 นิ้ว	671.90	0.25	29.20	0.76	4.35
080 x 12 นิ้ว	474.60	0.17	15.00	0.39	3.16
080 x 14 นิ้ว	2,283.76	0.84	68.00	1.77	2.98
080 x 15 นิ้ว	1,158.64	0.43	37.25	0.97	3.21
รวม	271,232.10		3,831.24		



รูปที่ 3. 7 แผนภาพพารेटโตแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพพารेटโตแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 73.27 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด



รูปที่ 3. 8 แผนภาพพาราเรโตแสดงปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.8 แผนภาพพาราเรโตแสดงปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 80 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร มีปริมาณของเสียสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 71.14 ของปริมาณของเสียทั้งหมด

เมื่อนำข้อมูลของรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตรมาพลอตกราฟเป็นรายเดือนตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม 2559 แสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.9 ถึง รูปที่ 3.11

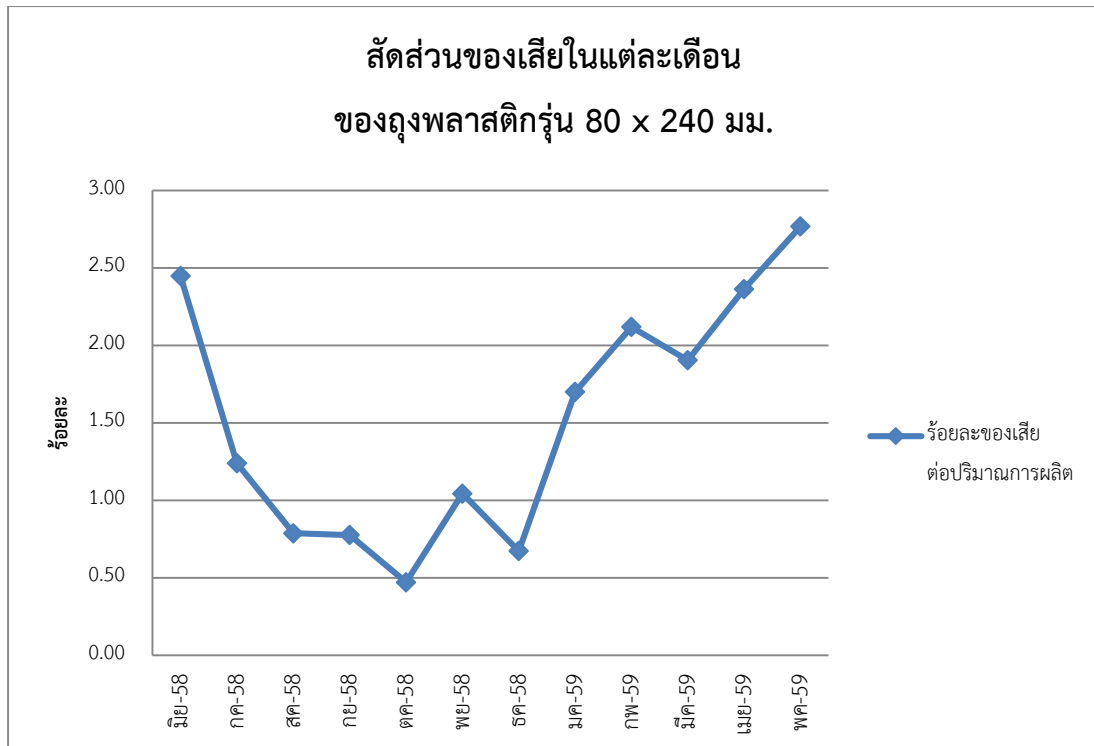
ตารางที่ 3. 4 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร

เดือน	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสีย ต่อปริมาณการผลิต
มิ.ย. 2558	10,933.74	267.67	2.45
ก.ค. 2558	20,370.60	252.50	1.24
ส.ค. 2558	20,215.62	159.22	0.79
ก.ย. 2558	17,975.52	139.36	0.78
ต.ค. 2558	9,932.40	46.74	0.47
พ.ย. 2558	42,104.06	439.12	1.04
ธ.ค. 2558	18,969.64	127.62	0.67
ม.ค. 2559	10,553.66	179.36	1.70
ก.พ. 2559	10,023.95	212.34	2.12
มี.ค. 2559	12,699.50	241.73	1.90
เม.ย. 2559	7,645.53	180.65	2.36
พ.ค. 2559	17,358.24	480.3	2.77
รวม	198,782.46	2,726.61	

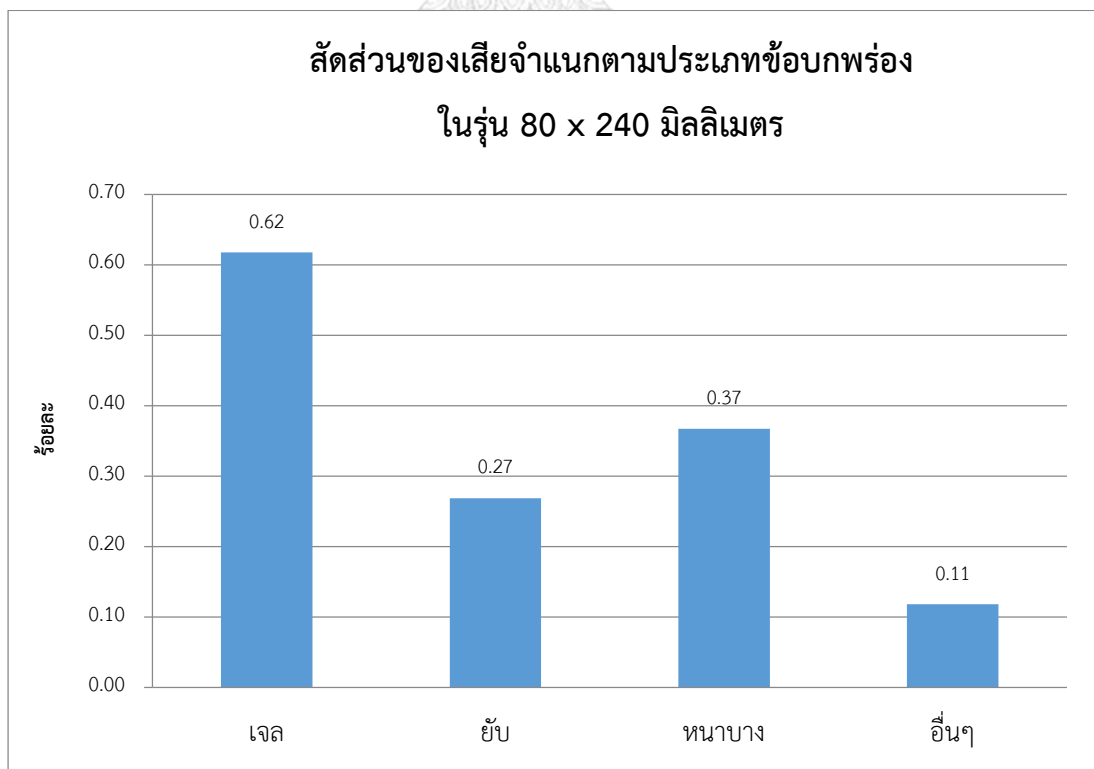


รูปที่ 3. 9 ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกทึบ 80 x 240 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตค่อนข้างคงที่ ยกเว้นในเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากเป็นช่วงปลายปีทำให้มียอดการผลิตที่สูงและลดน้อยลงในเดือนธันวาคมเนื่องจากเป็นเดือนสุดท้ายของปี



รูปที่ 3. 10 สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกรุ๊ป 80 x 240 มิลลิเมตร  
จากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่ามีส่วนของเสียไม่คงที่มีทั้งแนวโน้มที่ลดลงและเพิ่มขึ้น และพบ  
ของเสียเกิดขึ้นซ้ำๆในแต่ละเดือนที่มีการผลิต



รูปที่ 3. 11 สัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องในรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร



จากรูปที่ 3.11 พบว่ามีของเสียประเภทเจลร้อยละ 0.62 ยับร้อยละ 0.27 หนابางร้อยละ 0.37 และอื่นๆร้อยละ 0.11 ซึ่งของเสียประเภทเจล ยับ และหนابางรวมกันนับเป็นสัดส่วนร้อยละ 1.26

ดังนั้นในถุงพลาสติกในขนาด 80 ไมครอน ควรจะเลือกรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร มาทำการศึกษาเนื่องจากพบของเสียเกิดขึ้นซ้ำๆในทุกเดือน โดยเฉลี่ยมีสัดส่วนของเสียร้อยละ 1.37 ของปริมาณการผลิตในรุ่นนั้น เกิดจากของเสียประเภทเจลร้อยละ 0.62 ยับร้อยละ 0.27 และหนابางร้อยละ 0.37 นอกจากนี้ยังมีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 73.27 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดในรุ่นขนาดความหนา 80 ไมครอน มีปริมาณของเสียสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 71.14 ของปริมาณของเสียทั้งหมดในรุ่นขนาดความหนา 80 ไมครอน

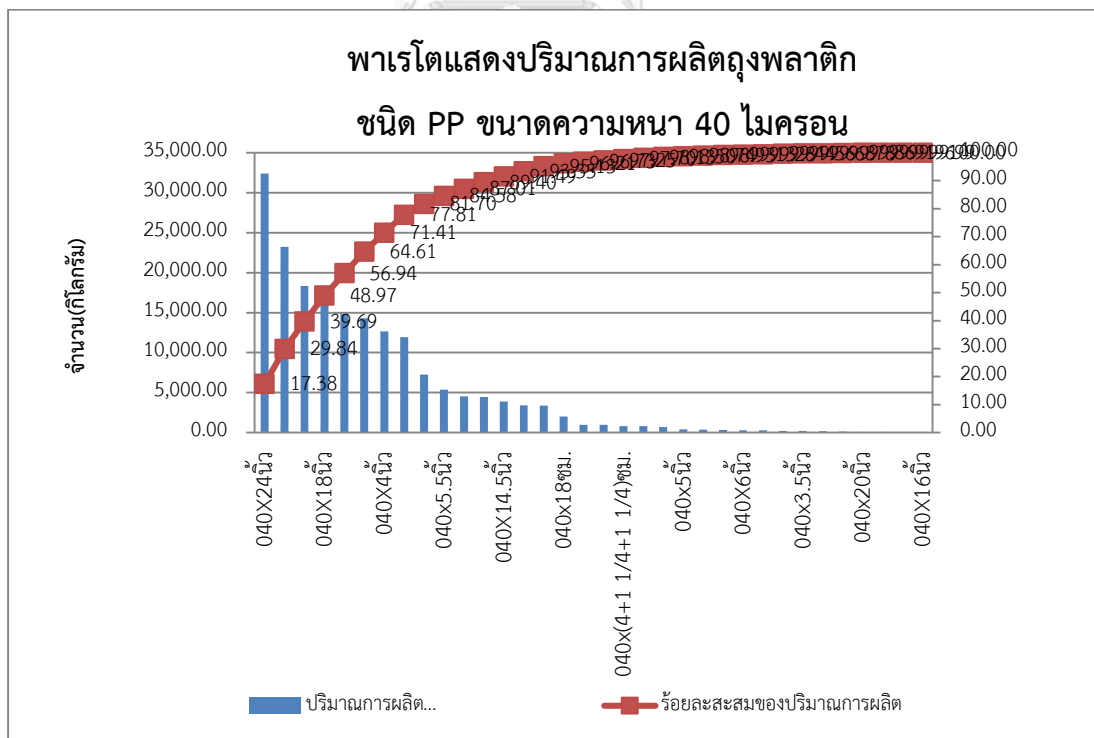
ต่อไปจะแสดงข้อมูลของการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 40 ไมครอน และทำการเลือกขนาดหน้ากว้างเพื่อนำมาศึกษา แสดงได้ดังตาราง 3.5

ตารางที่ 3. 5 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 40 ไมครอน

ขนาดความหนา (ไมครอน)	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของปริมาณการผลิตต่อปริมาณการผลิตทั้งหมด	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสียต่อปริมาณของเสียทั้งหมด	ร้อยละของเสียต่อปริมาณการผลิตในรุ่นนั้น
040 x (210+50+50) นิ้ว	688.85	0.37	10.55	0.26	1.53
040 x (4 1/4+1 1/4) นิ้ว	831.90	0.45	45.60	1.14	1.53
040 x (4+1 1/4+1 1/4) ซม.	2,007.28	1.08	40.30	1.01	1.53
040 x 18 ซม.	815.30	0.44	12.30	0.31	1.51
040 x 37 ซม.	229.60	0.12	4.30	0.11	1.87
040 x 280 มม.	3,359.16	1.80	56.24	1.40	1.67
040 x 330 มม.	187.58	0.10	6.62	0.17	3.53

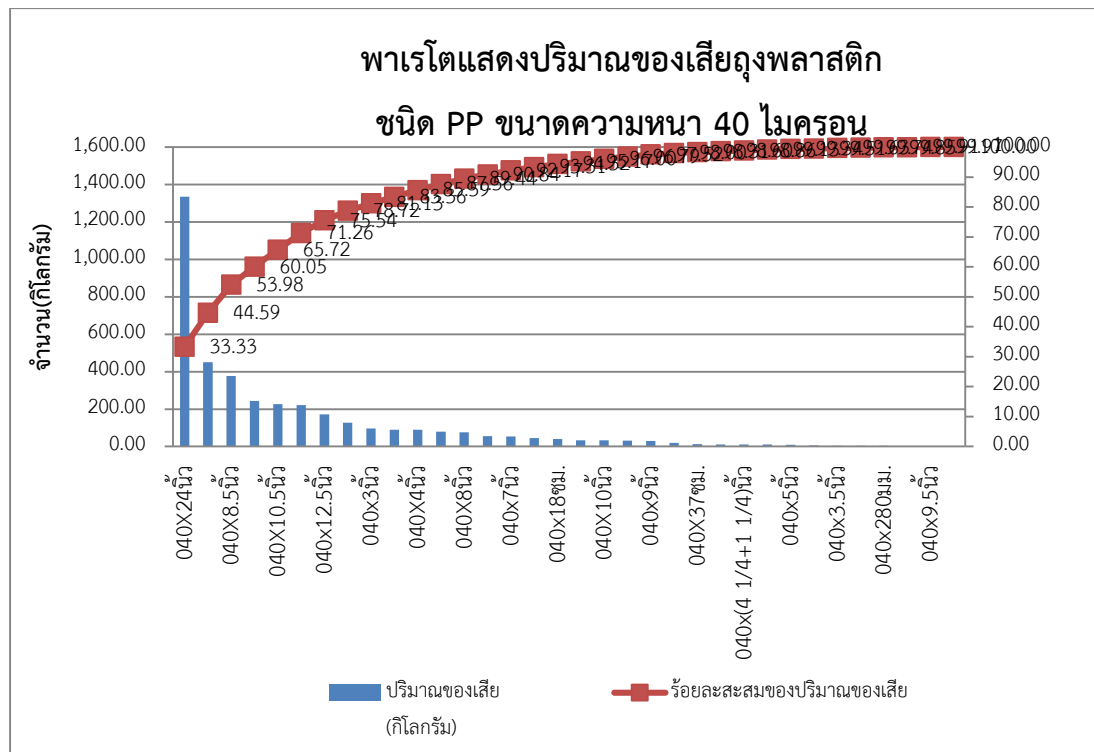
ขนาดความหนา (ไมครอน)	ปริมาณการ ผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของ ปริมาณ การผลิต ต่อปริมาณ การผลิต ทั้งหมด	ปริมาณ ของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของ เสียต่อ ปริมาณ ของเสีย ทั้งหมด	ร้อยละของ เสีย ต่อปริมาณ การผลิตใน รุ่นนั้น
040 x 2 นิ้ว	7,250.06	3.89	96.72	2.42	1.33
040 x 3 นิ้ว	212.80	0.11	4.80	0.12	2.26
040 x 3.5 นิ้ว	12,658.11	6.79	89.07	2.22	0.70
040 x 4 นิ้ว	3,435.13	1.84	78.99	1.97	2.30
040 x 4.5 นิ้ว	436.70	0.23	8.50	0.21	1.95
040 x 5 นิ้ว	5,366.68	2.88	10.55	0.26	0.20
040 x 5.5 นิ้ว	293.40	0.16	11.80	0.29	4.02
040 x 6 นิ้ว	18,348.03	9.85	221.83	5.54	1.21
040 x 6.5 นิ้ว	356.50	0.19	53.10	1.33	14.89
040 x 7 นิ้ว	4,448.02	2.39	75.24	1.88	1.69
040 x 8 นิ้ว	23,206.25	12.46	376.35	9.40	1.62
040 x 8.5 นิ้ว	967.10	0.52	29.00	0.72	3.00
040 x 9 นิ้ว	43.40	0.02	2.40	0.06	5.53
040 x 9.5 นิ้ว	969.51	0.52	33.54	0.84	3.46
040 x 10 นิ้ว	14,844.44	7.97	227.16	5.67	1.53
040 x 10.5 นิ้ว	365.40	0.20	34.10	0.85	9.33
040 x 12 นิ้ว	11,923.24	6.40	171.18	4.28	1.44
040 x 12.5 นิ้ว	149.30	0.08	2.70	0.07	1.81
040 x 14 นิ้ว	3,893.06	2.09	127.34	3.18	3.27
040 x 14.5 นิ้ว	288.86	0.16	31.56	0.79	10.93
040 x 15 นิ้ว	88.80	0.05	1.10	0.03	1.24

ขนาดความหนา (ไมครอน)	ปริมาณการ ผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของ ปริมาณ การผลิต ต่อปริมาณ การผลิต ทั้งหมด	ปริมาณ ของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของ เสียต่อ ปริมาณ ของเสีย ทั้งหมด	ร้อยละของ เสีย ต่อปริมาณ การผลิตใน รุ่นนั้น
040 x 15.5 นิ้ว	27.00	0.01	4.50	0.11	16.67
040 x 16 นิ้ว	17,286.25	9.28	450.55	11.25	2.61
040 x 18 นิ้ว	4,524.62	2.43	89.28	2.23	1.97
040 x 18.5 นิ้ว	107.80	0.06	19.30	0.48	17.90
040 x 20 นิ้ว	14,300.47	7.68	242.88	6.07	1.70
040 x 24 นิ้ว	32,381.77	17.38	1,334.76	33.33	4.12
รวม	186,292.37		4,004.21		



รูปที่ 3. 12 พาเรโตแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 40 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.12 แสดงแผนภาพพาราโตนแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 40 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 40 x 24 นิ้ว มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 17.38 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ซึ่งนับว่าไม่สูงมากนัก แต่หากพิจารณาปริมาณของเสียจะพบว่ามีสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง ดังแผนภาพที่ 3.13



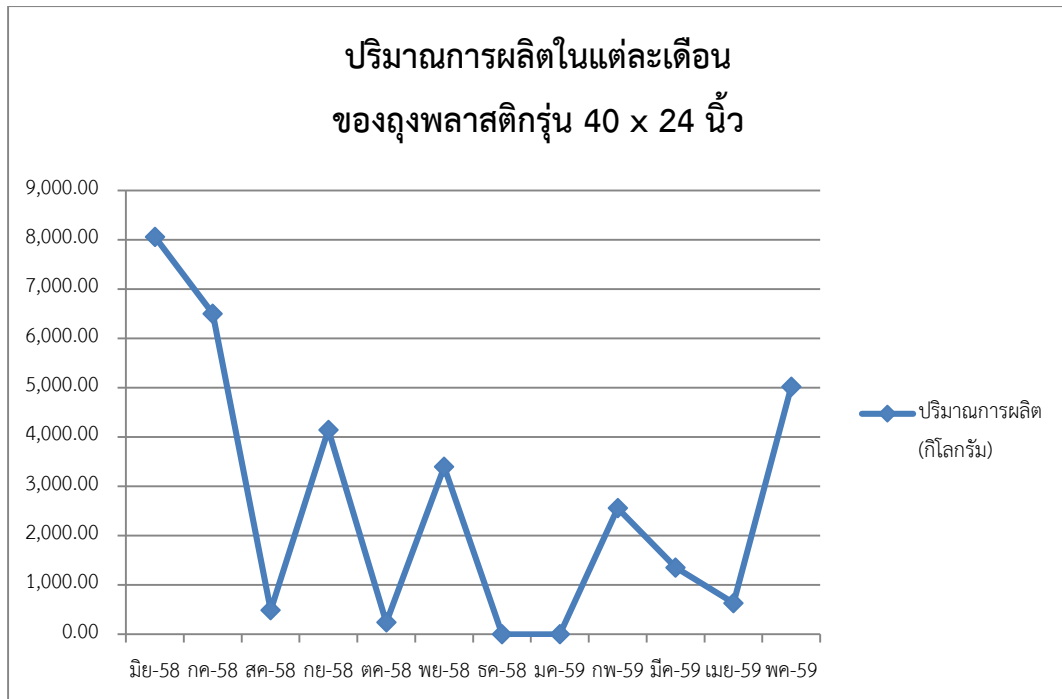
รูปที่ 3.13 พาราโตนแสดงปริมาณของเสียของการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ที่ขนาดความหนา 40 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.13 แผนภาพพาราโตนแสดงปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 40 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 40 x 24 นิ้ว มีปริมาณของเสียสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 33.33 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ส่วนรุ่นอื่นๆมีปริมาณของเสียต่ำกว่ามาก อีกทั้งมีปริมาณการผลิตที่ต่ำกว่ามากเช่นกัน ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลทำการทดลอง ดังนั้นสำหรับถุงพลาสติกขนาดความหนา 40 ไมครอน ผู้วิจัยจึงจะเลือกศึกษาเพื่อลดของเสียจากรุ่น 40 x 24 นิ้ว เท่านั้น

เมื่อนำข้อมูลของรุ่น 40 x 24 นิ้ว มาพลอตกราฟเป็นรายเดือนตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึงเดือนพฤษภาคม 2559 แสดงได้ดังตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.14 ถึง รูปที่ 3.16

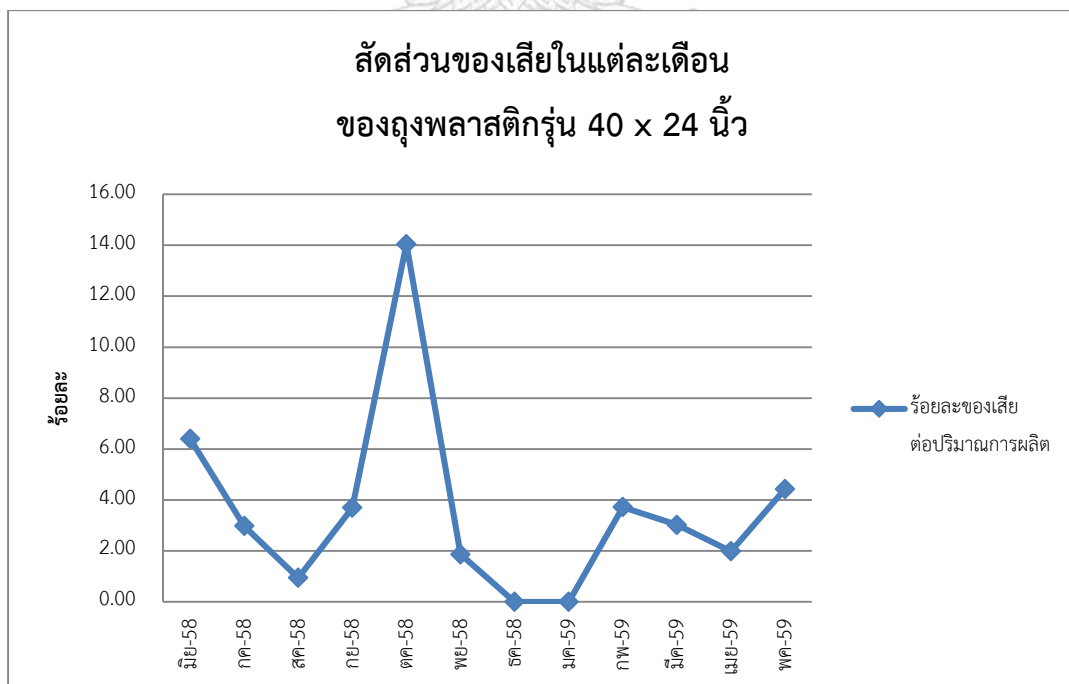
ตารางที่ 3.6 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกรุ่น 40 x 24 นิ้ว

เดือน	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสีย ต่อปริมาณการผลิต
มิ.ย. 2558	8,056.04	516.07	6.41
ก.ค. 2558	6,500.42	193.42	2.98
ส.ค. 2558	487.00	4.60	0.94
ก.ย. 2558	4,145.49	153.05	3.69
ต.ค. 2558	240.60	33.80	14.05
พ.ย. 2558	3,393.04	63.34	1.87
ธ.ค. 2558	0.00	0.00	0.00
ม.ค. 2559	0.00	0.00	0.00
ก.พ. 2559	2,555.92	95.10	3.72
มี.ค. 2559	1,352.34	40.90	3.02
เม.ย. 2559	633.92	12.58	1.98
พ.ค. 2559	5,017.00	221.90	4.42
รวม	32,381.77	1,334.76	



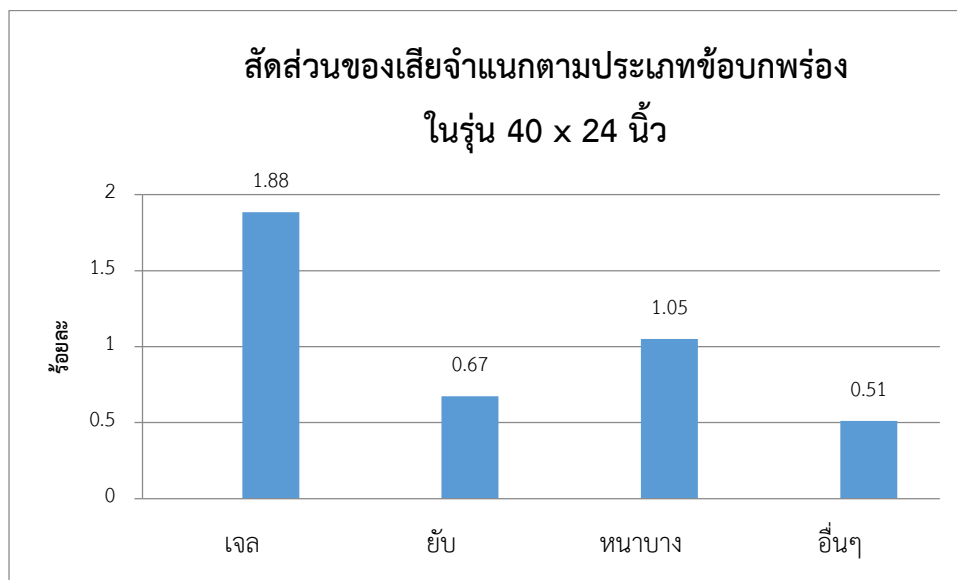
รูปที่ 3. 14 ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกรุ๊ป 40 x 24 นิ้ว

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตค่อนข้างสูงในเดือนมิถุนายน 2558, กรกฎาคม 2558 และพฤษภาคม 2559 และในบางเดือนมีการผลิตน้อยมากหรือไม่ทำการผลิต แต่โดยรวมมีการผลิตเกือบทุกเดือน



รูปที่ 3. 15 สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกรุ๊ป 40 x 24 นิ้ว

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นว่ามีส่วนของเสียค่อนข้างไม่คงที่และสูงกว่าปกติในเดือนตุลาคม 2558 และพบของเสียเกิดขึ้นซ้ำๆในแต่ละเดือนที่มีการผลิต



รูปที่ 3. 16 สัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องในรุ่น 40 x 24 นิ้ว

จากรูปที่ 3.16 พบว่ามีของเสียประเภทเจดร้อยละ 1.88 ยับร้อยละ 0.67 หนาบางร้อยละ 1.05 และอื่นๆร้อยละ 0.51 ซึ่งของเสียประเภทเจด ยับ และหนาบางรวมกันนับเป็นสัดส่วนร้อยละ 3.60 หรือ 1,169.01 กิโลกรัม

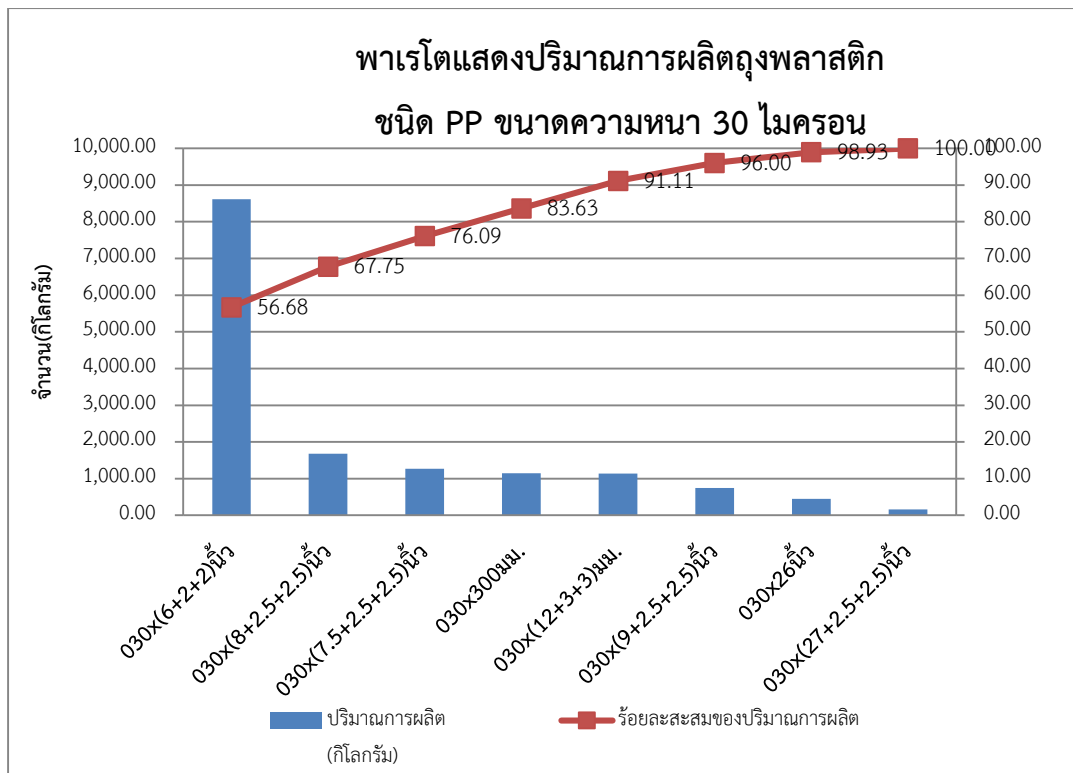
ดังนั้นในถุงพลาสติกในขนาด 40 ไมครอน ควรจะเลือกรุ่น 40 x 24 นิ้ว มาทำการศึกษา เนื่องจากจะพบของเสียเกิดขึ้นซ้ำๆในแต่ละเดือนที่มีการผลิต โดยเฉลี่ยมีส่วนของเสียร้อยละ 4.12 ของปริมาณการผลิตในรุ่นนั้น เกิดจากของเสียประเภทเจดร้อยละ 1.88 ยับร้อยละ 0.67 หนาบางร้อยละ 1.05 และมีปริมาณการผลิตสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 17.38 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดในรุ่นขนาดความหนา 40 ไมครอน มีปริมาณของเสียสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 33.33 ของปริมาณของเสียทั้งหมดในรุ่นขนาดความหนา 40 ไมครอน

ต่อไปจะแสดงข้อมูลของการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 30 ไมครอน และทำการเลือกขนาดหน้ากว้างเพื่อนำมาศึกษา แสดงได้ดังตาราง 3.7

ตารางที่ 3. 7 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดต่างๆ ที่ขนาด 30 ไมครอน

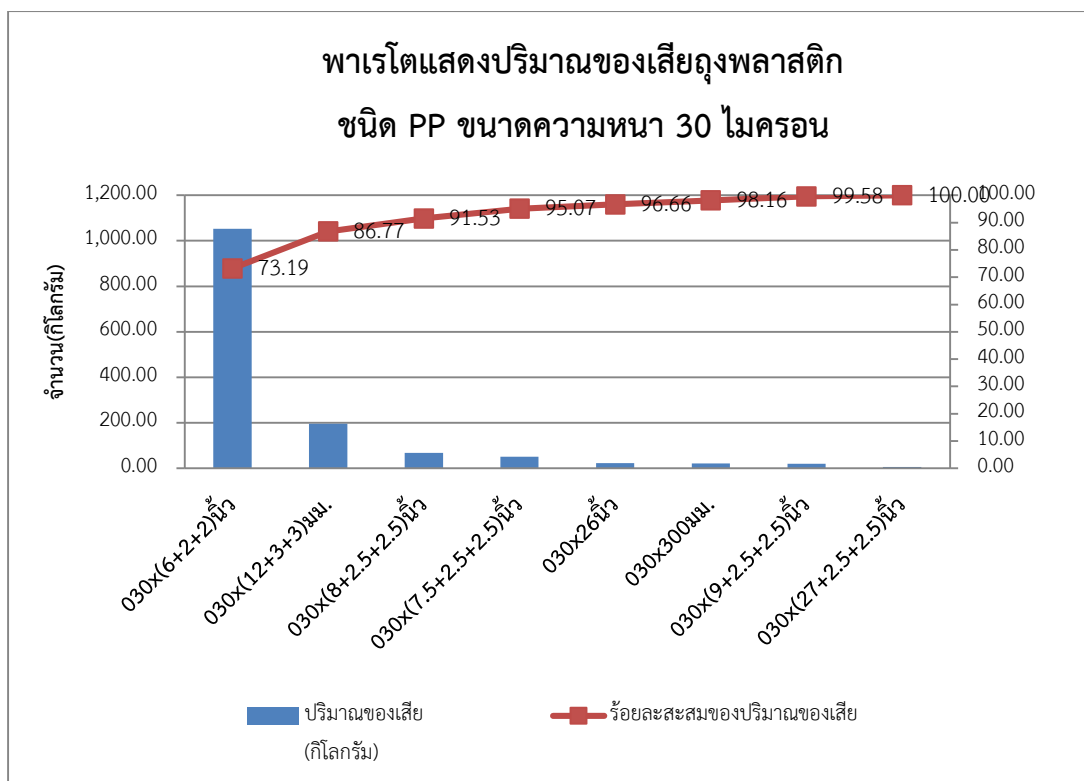
ขนาดความหนา (ไมครอน)	ปริมาณ การผลิต (กิโลกรัม)	ร้อยละของ ปริมาณการ ผลิต ต่อปริมาณ การผลิต ทั้งหมด	ปริมาณของ เสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของ เสียต่อ ปริมาณของ เสียทั้งหมด	ร้อยละของ เสีย ต่อปริมาณ การผลิตใน รุ่นนั้น
030 x (12+3+3) มม.	1,135.80	7.48	195.40	13.58	17.20
030 x (27+2.5+2.5) นิ้ว	163.20	1.07	6.00	0.42	3.68
030 x (6+2+2) นิ้ว	8,611.58	56.68	1,053.24	73.19	12.23
030 x (7.5+2.5+2.5) นิ้ว	1,268.10	8.35	51.00	3.54	4.02
030 x (8+2.5+2.5) นิ้ว	1,680.66	11.06	68.50	4.76	4.08
030 x (9+2.5+2.5 ) นิ้ว	743.66	4.89	20.48	1.42	2.75
030 x 26 นิ้ว	444.66	2.93	22.76	1.58	5.12
030 x 300 มม.	1,144.73	7.54	21.65	1.50	1.89
รวม	15,192.39		1,439.03		





รูปที่ 3. 17 พาเรโตแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 30 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 30 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด 30 ไมครอน ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 56.68 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด



รูปที่ 3. 18 พาราโตแสดงปริมาณของเสียของการผลิตถุงพลาสติกชนิด PP ที่ขนาดความหนา 30 ไมครอน ที่ขนาดต่างๆ

จากรูปที่ 3.18 แผนภาพพาราโตแสดงปริมาณของเสียของถุงพลาสติกชนิด PP ขนาดความหนา 30 ไมครอนที่ขนาดต่างๆ จะเห็นว่าถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว มีปริมาณของเสียสูงที่สุดเป็นสัดส่วนร้อยละ 73.19 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ส่วนรุ่นอื่น ๆ มีปริมาณของเสียต่ำกว่ามาก อีกทั้งมีปริมาณการผลิตที่ต่ำกว่ามากเช่นกัน ซึ่งจะเป็นข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลทำการทดลอง ดังนั้นสำหรับถุงพลาสติกขนาดความหนา 30 ไมครอน ผู้วิจัยจึงจะเลือกศึกษาเพื่อลดของเสียจากรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว เท่านั้น

เมื่อนำข้อมูลของรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว มาพลอตกราฟเป็นรายเดือนตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม 2559 แสดงได้ดังตารางที่ 3.10 และรูปที่ 3.19 ถึง รูปที่ 3.21 ตารางที่ 3. 8 ปริมาณการผลิตและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว

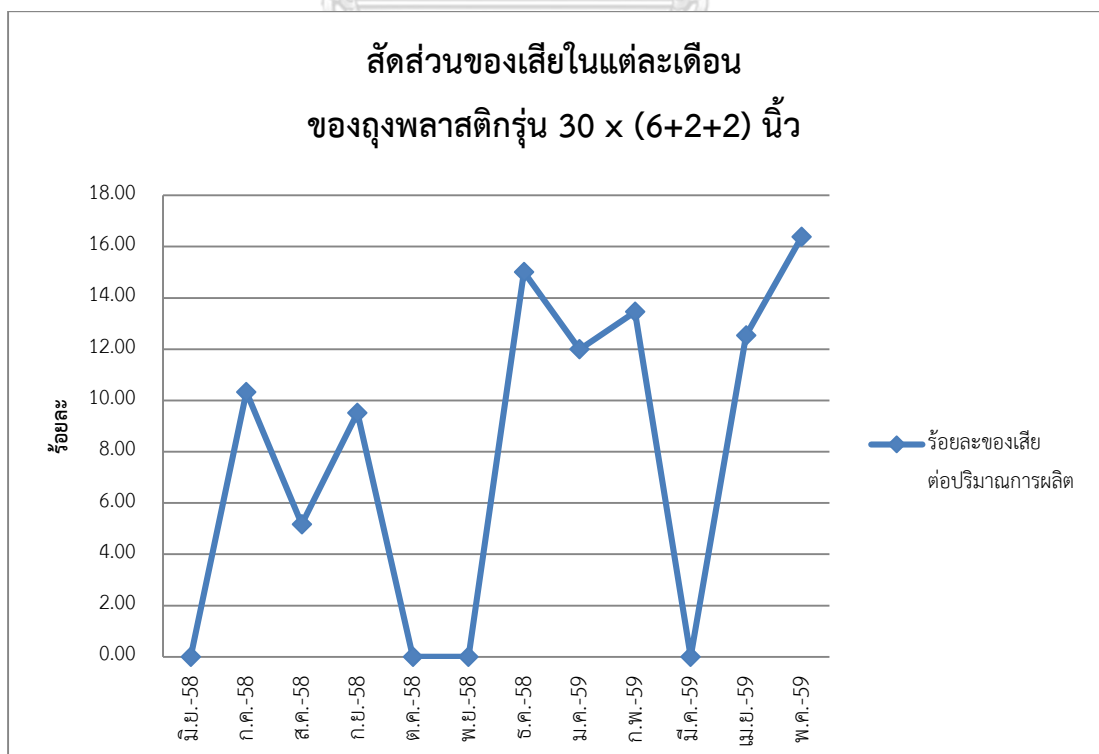
เดือน	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสีย ต่อปริมาณการผลิต
มิ.ย. 2558	0.00	0.00	0.00

เดือน	ปริมาณการผลิต (กิโลกรัม)	ปริมาณของเสีย (กิโลกรัม)	ร้อยละของเสีย ต่อปริมาณการผลิต
ก.ค. 2558	1,431.00	147.79	10.33
ส.ค. 2558	1,013.20	52.40	5.17
ก.ย. 2558	302.60	28.80	9.52
ต.ค. 2558	0.00	0.00	0.00
พ.ย. 2558	0.00	0.00	0.00
ธ.ค. 2558	1,912.60	287.11	15.01
ม.ค. 2559	834.60	100.10	11.99
ก.พ. 2559	1,582.48	212.90	13.45
มี.ค. 2559	0.00	0.00	0.00
เม.ย. 2559	710.46	89.06	12.54
พ.ค. 2559	824.64	135.08	16.38
รวม	8,611.58	1,053.24	



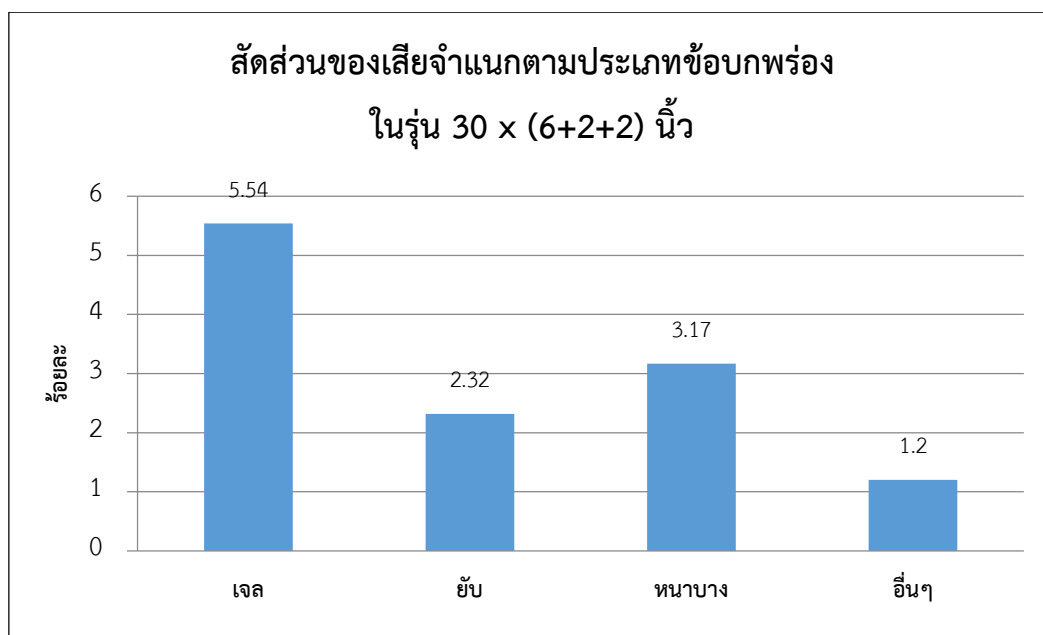
รูปที่ 3. 19 ปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกกรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว

จากรูปที่ 3.19 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตที่ไม่คงที่ และมีปริมาณการผลิตสูงในเดือนกรกฎาคม 2558 ธันวาคม 2558 และกุมภาพันธ์ 2559 ที่ค่อนข้างสูงกว่าเดือนอื่นๆ และมี 4 เดือนจาก 12 เดือนที่ไม่ได้ทำการผลิต



รูปที่ 3. 20 สัดส่วนของเสียในแต่ละเดือนของถุงพลาสติกรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นว่าในเดือนที่มีการผลิต จะมีสัดส่วนของเสียอยู่ค่อนข้างไม่คงที่ และยังมีสัดส่วนของเสียค่อนข้างสูง ตั้งแต่ 5-16% แสดงให้เห็นว่าการผลิตในรุ่นนี้ยังมีปัญหาเกิดขึ้นอยู่ อีกทั้งสัดส่วนของเสียก็ไม่ได้ขึ้นกับปริมาณการผลิต



รูปที่ 3. 21 สัดส่วนของเสียจำแนกตามประเภทข้อบกพร่องในรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว

จากรูปที่ 3.21 พบว่ามีของเสียประเภทเจลร้อยละ 5.53 ยับร้อยละ 2.32 หนาบากร้อยละ 3.17 และอื่นๆร้อยละ 1.2 ซึ่งของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางรวมกันนับเป็นสัดส่วนร้อยละ 11.03 หรือ 949.9 กิโลกรัม

ดังนั้นในถุงพลาสติกในขนาด 30 ไมครอน ควรจะเลือกรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว มาทำการศึกษาเนื่องจากมีของเสียเกิดขึ้นซ้ำทุกๆเดือนที่มีการผลิต โดยเฉลี่ยมีสัดส่วนของเสียร้อยละ 12.23 ของปริมาณการผลิตในรุ่นนั้น เกิดจากของเสียประเภทเจลร้อยละ 5.53 ยับร้อยละ 2.32 และหนาบากร้อยละ 3.17 และมีปริมาณการผลิตสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 56.68 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดในรุ่นขนาดความหนา 30 ไมครอน มีปริมาณของเสียสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 73.19 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ในรุ่นขนาดความหนา 30 ไมครอน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเพื่อลดของเสียของรายการสินค้าประเภทถุงพลาสติกชนิด PP ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร 40 x 24 นิ้ว และ 30 x (6+2+2) นิ้ว เท่านั้น ซึ่งทั้ง 3 รุ่นนี้มีสัดส่วนของเสียคิดเป็นร้อยละ 38.44 ของปริมาณของเสียของทุกรุ่นรวมกัน หรือ 5,114.61 กิโลกรัม

โดยคิดเป็นของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง จำนวน 4,620.26 กิโลกรัม จะมีมูลค่าการสูญเสีย 346,520 บาทต่อปี โดยจะคำนวณมาจาก

มูลค่าความสูญเสียต่อปี = (ต้นทุนเม็ดพลาสติก + ค่าโสหุ้ย + ค่าแรงงาน) ต่อกิโลกรัมที่ผลิต  $\times$  ปริมาณของเสีย (กิโลกรัมต่อปี) จะได้เท่ากับ  $(50+10+15) \times (2,504.66+1,165.74+949.86) = 346,520$  บาทต่อปี และมีมูลค่าความสูญเสียของทุกรุ่นที่มีการผลิตรวมกันได้ 997,983 บาทต่อปี

ซึ่งแนวทางการปรับปรุงนี้สามารถนำไปใช้เพื่อลดมูลค่าความสูญเสียได้กับรุ่นอื่นๆในอนาคตด้วย ทั้งนี้ทั้งนั้นเนื่องจากถุงพลาสติกในรุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว อาจไม่ได้มีการผลิตในทุกเดือน แต่ทางโรงงานกรณีศึกษายินดีให้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลไว้ใช้ในการผลิตในอนาคต

### 3.4 การคัดเลือกเครื่องเป่าที่นำมาใช้ในการทดลอง

หลังจากได้รุ่นที่จะนำมาทำการทดลองทั้ง 3 รุ่นแล้ว ได้แก่ รุ่น  $80 \times 240$  มิลลิเมตร รุ่น  $40 \times 24$  นิ้ว และรุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว ต่อมาจะทำการวิเคราะห์หาเครื่องจักรที่จะนำมาใช้ทำการทดลอง ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาจะมีจำนวนเครื่องจักรที่ผลิตพลาสติกชนิด PP อยู่ด้วยกันทั้งหมด 11 เครื่อง โดยเป็นเครื่องจักรที่ใช้ลมทุกเครื่อง โดยในแต่ละเครื่องนั้นจะสามารถผลิตถุงพลาสติกได้ในบางขนาด ผู้วิจัยจึงขอทำการคัดเลือกเครื่องจักรที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงเพื่อลดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ในการผลิตถุงพลาสติกในรุ่น  $80 \times 240$  มิลลิเมตร รุ่น  $40 \times 24$  นิ้ว และรุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว ดังตาราง 3.9

ตารางที่ 3. 9 รุ่นที่สามารถผลิตได้ในแต่ละเครื่องจักร

เครื่องจักร	รุ่น	
BB-PP-01	$40 \times 24$ นิ้ว	
BB-PP-02	$30 \times (6+2+2)$ นิ้ว	$80 \times 240$ มิลลิเมตร
BB-PP-03	$30 \times (6+2+2)$ นิ้ว	$80 \times 240$ มิลลิเมตร
BB-PP-04		$80 \times 240$ มิลลิเมตร
BB-PP-05		$80 \times 240$ มิลลิเมตร
BB-PP-06		$80 \times 240$ มิลลิเมตร
BB-PP-07		$80 \times 240$ มิลลิเมตร
BB-PP-08		$80 \times 240$ มิลลิเมตร

จากตารางที่ 3.9 จะเห็นว่าในรุ่น 40 x 24 นิ้ว จะสามารถผลิตได้ในเครื่องจักรที่ BB-PP-01 เท่านั้น รุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว จะสามารถผลิตได้ในเครื่องจักรที่ BB-PP-02 และ BB-PP-03 เท่านั้น และรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร จะสามารถผลิตได้ในเครื่องจักรที่ BB-PP-02 ถึง BB-PP-08

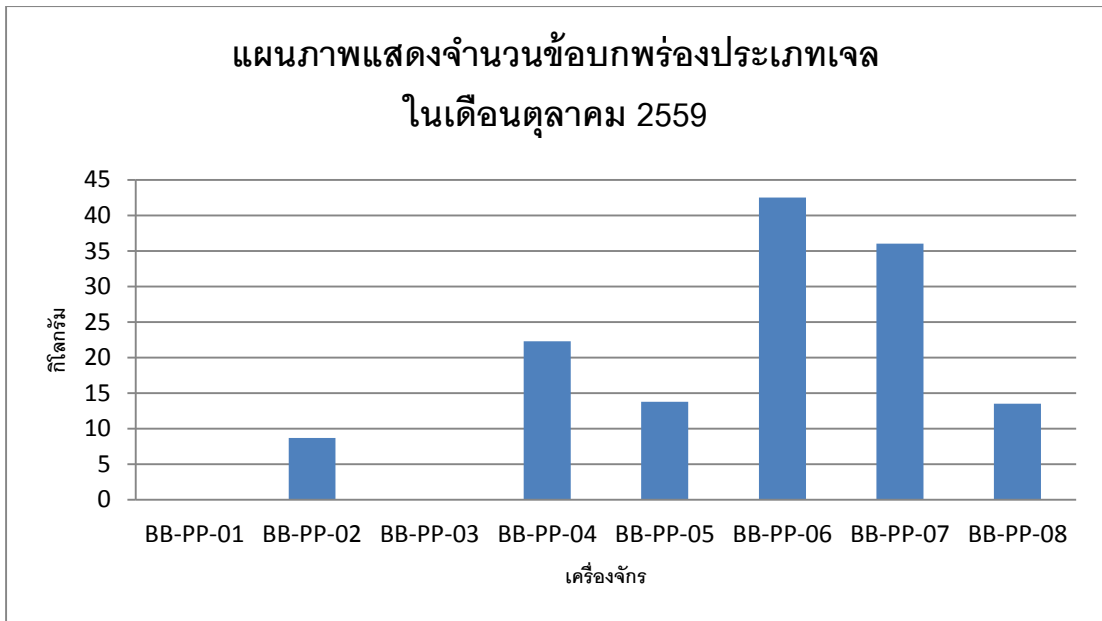
ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อหาเครื่องจักรเครื่องที่เหมาะสมในการทำการทดลองทั้ง 3 รุ่น ดังกล่าว จะทำการเจาะจงไปที่เครื่องจักร BB-PP-01 ถึง BB-PP-08 เท่านั้น

ในการหาเครื่องจักรเครื่องที่เหมาะสมที่จะนำมาทำการทดลองนั้น จะทำการศึกษาข้อมูลของเสียจากกระบวนการเป่าในเดือนตุลาคม 2559 โดยแยกของเสียออกเป็นประเภทเจล ยับ และหนาบาง แสดงได้ดังตารางที่ 3.10

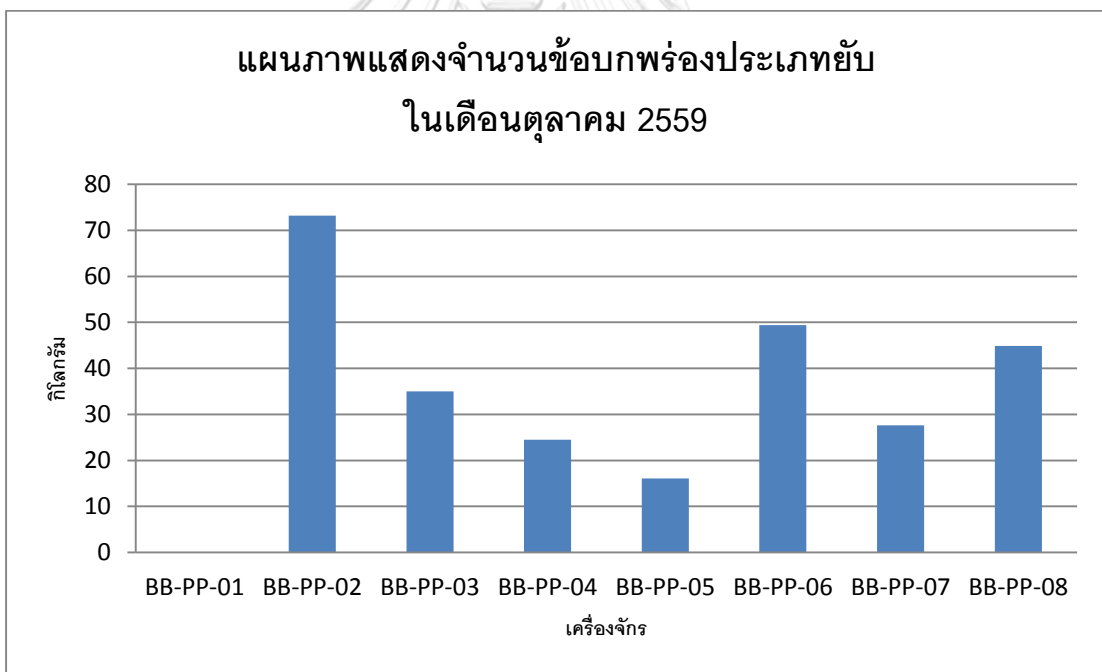
ตารางที่ 3. 10 จำนวนของเสียในแต่ละเครื่องจักร

ประเภทของเสีย	BB-PP-01	BB-PP-02	BB-PP-03	BB-PP-04	BB-PP-05	BB-PP-06	BB-PP-07	BB-PP-08
เจล	0	8.7	0	22.3	13.8	42.5	36	13.5
ยับ	0	73.2	35	24.5	16.1	49.4	27.6	44.9
หนาบาง	0	22.3	18.3	23.8	24.7	71.5	29.3	33.1
รวม	0	104.2	53.3	70.6	54.6	163.4	92.9	91.5

จากตารางที่ 3.10 พบว่า ของเสียประเภทเจลเกิดมากในเครื่อง BB-PP-06 ของเสียประเภทยับเกิดมากในเครื่อง BB-PP-02 ของเสียประเภทหนาบางเกิดมากในเครื่อง BB-PP-06 และของเสียรวมทั้ง 3 ประเภทเกิดมากในเครื่อง BB-PP-06 แสดงได้ดังรูปที่ 3.22 ถึง รูปที่ 3.25

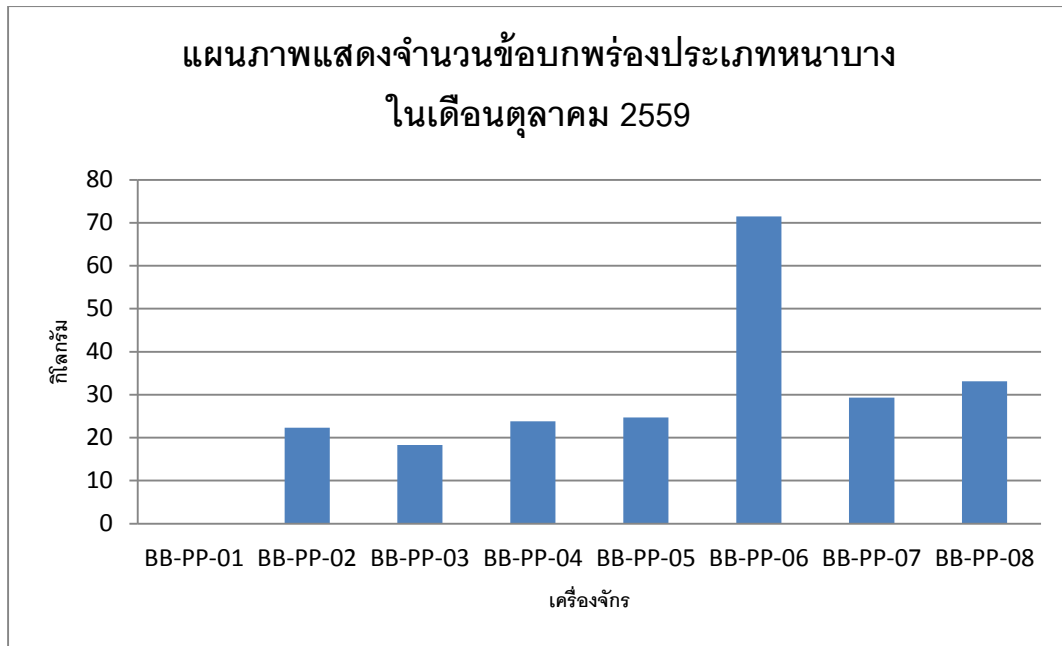


รูปที่ 3. 22 จำนวนข้อบกพร่องประเภทเจลในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร

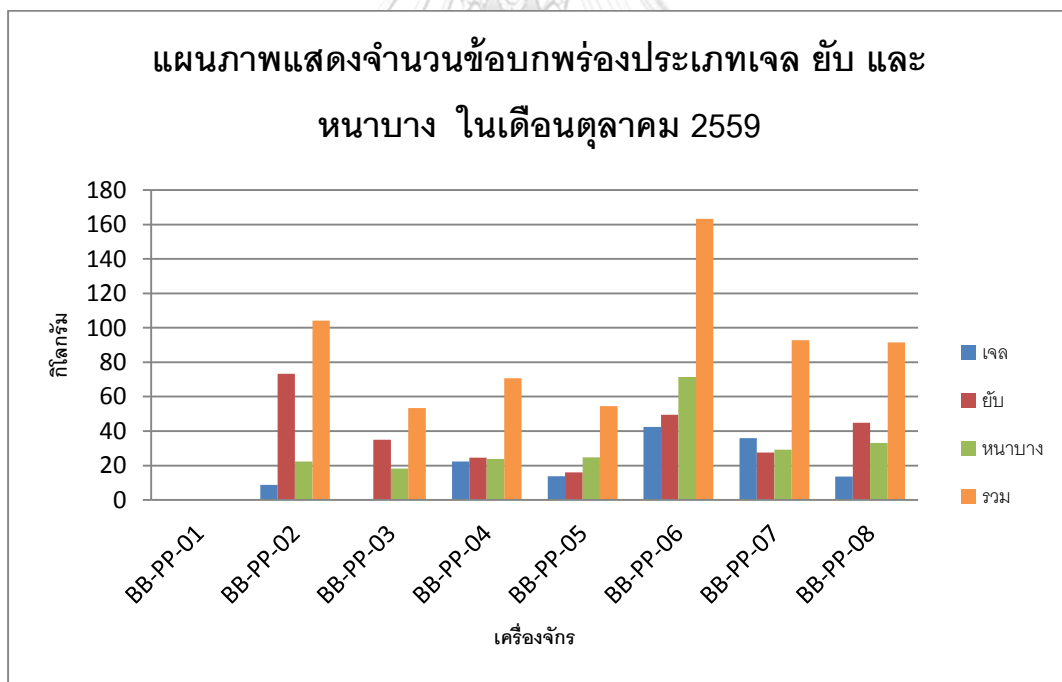


รูปที่ 3. 23 จำนวนข้อบกพร่องประเภทยับในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร





รูปที่ 3. 24 จำนวนข้อบกพร่องประเภทหนาบางในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร



รูปที่ 3. 25 จำนวนข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนาบางในเดือนตุลาคม 2559 ในแต่ละเครื่องจักร

เนื่องจากในรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร จะสามารถทำการผลิตได้ในหลายเครื่องจักรด้วยกัน ซึ่งจากรูปที่ 3.24 จะเห็นว่าของเสียรวมในเครื่องจักร BB-PP-06 มีจำนวนมากที่สุดเป็นจำนวน 163.4

กิโลกรัม ในรุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว จะสามารถผลิตได้สองเครื่องด้วยกัน ได้แก่ BB-PP-02 และ BB-PP-03 แต่เนื่องจากของเสียรวมในเครื่อง BB-PP-02 มีมากกว่า เป็นจำนวน 104.2 กิโลกรัม และในรุ่น  $40 \times 24$  นิ้ว สามารถผลิตได้ในเครื่องจักร BB-PP-01 เท่านั้น

ดังนั้นจึงจะสรุปว่า ในรุ่น  $80 \times 240$  มิลลิเมตร จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-06 รุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-02 และรุ่น  $40 \times 24$  นิ้ว จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-01

### 3.5 การกำหนดตัวชี้วัดและเป้าหมาย

จากการศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตถุงพลาสติก การกำหนดปัญหาที่จะดำเนินการแก้ไข คือ ของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าฟิล์มซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภท เจล ยับ และหนาบาง

โดยที่ตัวเลขที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัด เพื่อแสดงปริมาณของเสียจากกระบวนการเป่าฟิล์ม จะใช้ร้อยละของเสีย ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบระหว่างปริมาณของเสียกับปริมาณที่ผลิตทั้งหมดในการวัดปริมาณของเสีย

$$\text{ร้อยละของเสีย} = \frac{\text{ปริมาณของเสีย}}{\text{ปริมาณที่ผลิตทั้งหมด}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{มูลค่าการสูญเสียต่อปี} = (\text{ต้นทุนเม็ดพลาสติก} + \text{ค่าไส้หุ่ย} + \text{ค่าแรงงาน}) \times \text{ต่อกิโลกรัมที่ผลิต} \times \text{ปริมาณของเสีย (กิโลกรัมต่อปี)} \quad (3.2)$$

โดยที่

$$\text{ต้นทุนเม็ดพลาสติก} = 50 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าไส้หุ่ย} = 10 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

$$\text{ค่าแรงงาน} = 15 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียจากการผลิตลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

### 3.6 การจัดตั้งคณะทำงาน

เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้นมีรายละเอียดต่างๆมากมาย ทางผู้วิจัยและโรงงานกรณีศึกษาจึงได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมา เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งทีมงานประกอบด้วย

- ผู้จัดการโรงงาน
- ผู้จัดการฝ่ายผลิต
- หัวหน้าแผนกเป่า
- พนักงานแผนกเป่า
- ผู้วิจัย

โดยทีมงานมีหน้าที่หลักคือ นำเอาความรู้และประสบการณ์มาใช้ในการระดมสมอง เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการเป่าและเก็บข้อมูล และผู้วิจัยมีหน้าที่นำทีมงานในการดำเนินการปรับปรุง ได้แก่ การออกแบบการเก็บข้อมูล การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องมือทางสถิติ และการสรุปผล

### 3.7 สรุประยะนิยามปัญหา

สำหรับในระยะนิยามปัญหานี้ จะทำการศึกษากระบวนการผลิต จากนั้นจึงรวบรวมข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตถุงพลาสติกตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งจะใช้ร้อยละของของเสียเป็นตัวชี้วัด โดยจะนำเอาข้อมูลของเสียเหล่านี้มาเรียงลำดับด้วยแผนภูมิพาเรโต ซึ่งจะพบว่าของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าของรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร รุ่น 40 x 24 นิ้ว และรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 38.44 ของปริมาณของเสียของทุกรุ่นรวมกัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการสูญเสีย 346,520 บาทต่อปีของรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร รุ่น 40 x 24 นิ้ว และรุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว จากมูลค่าความสูญเสียของทุกรุ่นที่มีการผลิต 997,983 บาทต่อปี

ดังนั้นในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์ม จึงจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเพื่อลดของเสียจากการผลิตในสามรุ่นนี้ โดยในรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-06 รุ่น 30 x (6+2+2) นิ้ว จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-02 และรุ่น 40 x 24 นิ้ว จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-01

ทั้งนี้ทั้งนั้นสามารถสรุปสาระของงานที่จะศึกษาลงในสัญญาโครงการ (Project Charter) ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3. 11 Project Charter

Project Charter																				
Project Title : การลดของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์มโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา																				
Business Case: มีสัดส่วนของเสียจากลักษณะข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง ส่งผลกระทบต่อต้นทุนคุณภาพสูงขึ้นและผลกำไรของบริษัทลดลงอย่างต่อเนื่อง	Project Constraint: 1. สมาชิกในทีมมีเวลาให้โครงการ 12 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 2. เครื่องจักรที่เลือกมานำการทดสอบ จะต้องใช้ในการผลิตจริงด้วย จึงทำให้ต้องมีการวางแผนเวลาที่รัดกุมไม่ให้เกิดการทดลองกระทบต่อการผลิต 3. มีของเสียเกิดขึ้นจากการทำการทดลอง																			
Problem Statement: ในกระบวนการเป่าฟิล์มมีของเสียจากการผลิต โดยแบ่งเป็นข้อบกพร่องประเภทเจล ยับและหนابาง โดยในทั้งสามรุ่นที่เลือกศึกษา ได้แก่ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร, 40 x 24 นิ้ว และ 30 x (6+2+2) นิ้ว มีสัดส่วนของเสียประเภทเจล ยับและหนابาง ร้อยละ 1.26 3.60 และ 11.03 ของปริมาณการผลิต ตามลำดับ ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของเสียคิดเป็นเงิน 346,520 บาทต่อปี ซึ่งเป็นมูลค่าที่ต้องสูญเสียไปทั้งสิ้น	Project Assumption: 1.รวบรวมข้อมูลและมีการสรุปความคืบหน้าผลการดำเนินโครงการทุกสัปดาห์ 2.ได้รับการสนับสนุนในการดำเนินโครงการจากผู้บริหารระดับสูงในบริษัท																			
Objective Statement: ปรับปรุงกระบวนการเป่าฟิล์มเพื่อลดสัดส่วนของเสียจากการผลิตในลักษณะข้อบกพร่องประเภทเจล, ยับ และหนูปให้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ภายในเดือนธันวาคม 2560	Team Members: Project Leader : กุศลิน (ผู้วิจัย) Champion Peter : สมรักษ์ (ผู้ช่วยกรรมการ) Executive Sponsor : ประเสริฐ (กรรมการผู้จัดการ) Master Black Belt : กุศลิน (ผู้วิจัย) Black Belt : สมศักดิ์ (หัวหน้าช่าง) Green Belt : วิชาญ (พนักงาน)																			
Project Metrics: Business Metric : ความพึงพอใจของผู้บริหาร Primary Metric : สัดส่วนของเสียจากการผลิตในข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง Secondary Metric : พื้นที่จัดเก็บของเสีย Consequential Metric : ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย Financial Metric : ต้นทุนของเสีย	Project Timeline: ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการโครงการ ตั้งแต่ 1 เมษายน 2559 ถึง 31 ตุลาคม 2560																			
Project Scope: ศึกษาเฉพาะรายการสินค้าประเภทถุงพลาสติกชนิด PP รุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร, 40 x 24 นิ้ว และ 30 x (6+2+2) นิ้ว	<table border="1"> <thead> <tr> <th>กิจกรรม</th> <th>เริ่มต้น</th> <th>สิ้นสุด</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Define</td> <td>1 เม.ย. 59</td> <td>31 ส.ค. 59</td> </tr> <tr> <td>Measure</td> <td>1 ก.ย. 59</td> <td>30 ก.ย. 59</td> </tr> <tr> <td>Analysis</td> <td>1 ต.ค. 59</td> <td>31 ม.ค. 60</td> </tr> <tr> <td>Improve</td> <td>1 ก.พ. 60</td> <td>31 ส.ค. 60</td> </tr> <tr> <td>Control</td> <td>1 ก.ย. 60</td> <td>31 ต.ค. 60</td> </tr> </tbody> </table>		กิจกรรม	เริ่มต้น	สิ้นสุด	Define	1 เม.ย. 59	31 ส.ค. 59	Measure	1 ก.ย. 59	30 ก.ย. 59	Analysis	1 ต.ค. 59	31 ม.ค. 60	Improve	1 ก.พ. 60	31 ส.ค. 60	Control	1 ก.ย. 60	31 ต.ค. 60
กิจกรรม	เริ่มต้น	สิ้นสุด																		
Define	1 เม.ย. 59	31 ส.ค. 59																		
Measure	1 ก.ย. 59	30 ก.ย. 59																		
Analysis	1 ต.ค. 59	31 ม.ค. 60																		
Improve	1 ก.พ. 60	31 ส.ค. 60																		
Control	1 ก.ย. 60	31 ต.ค. 60																		

## บทที่ 4

### ระยะการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

ในบทที่แล้วจะสามารถกำหนดปัญหาที่จะดำเนินการปรับปรุงได้ ส่วนในบทนี้จะทำการประเมินความมั่นคงและเที่ยงของระบบการตรวจสอบของเสียจากกระบวนการเป่าด้วยสายตา เพื่อให้แน่ใจผลการตรวจสอบของเสียในกระบวนการเป่านั้นมีความมั่นคงและเที่ยง

#### 4.1 การประเมินความมั่นคงและเที่ยงของระบบการตรวจสอบของเสีย

เนื่องจากระบบการตรวจสอบของเสียในกรณีนี้เป็นการตรวจสอบข้อบกพร่องจากกระบวนการเป่าซึ่งจะทำโดยการใช้สายตาในการตรวจสอบ ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะทดสอบความมั่นคงและเที่ยงของพนักงานวัดในการตรวจสอบข้อบกพร่อง เพื่อให้มั่นใจว่าระบบการตรวจสอบมีความมั่นคงและเที่ยง 100%

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ความมั่นคงและเที่ยงของระบบการตรวจสอบ

ในการออกแบบวิธีวิเคราะห์ความมั่นคงและเที่ยงของระบบการตรวจสอบของเสียจากกระบวนการเป่า มีวิธีการปฏิบัติดังขั้นตอนต่อไปนี้ (กิตติศักดิ์, พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA), 2549)

1. คัดเลือกทีมงานผู้ชำนาญการต้องเป็นบุคคลที่มีความสามารถในการคัดกรองของเสียจากกระบวนการเป่า โดยทำการคัดเลือกชิ้นงาน 20 ชิ้น จากชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบโดยเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงและคัดแยกแล้วว่าชิ้นงานใดเป็นชิ้นงานดีหรือเสียหรือก้ำกึ่ง
2. ให้ทีมงานผู้ชำนาญการทำการคัดเลือกชิ้นงานมา 20 ชิ้น ประกอบด้วย ชิ้นงานดี 7 ชิ้น ซึ่งเป็นชิ้นงานที่ไม่พบข้อบกพร่องใดๆ ชิ้นงานเสีย 7 ชิ้น ซึ่งเป็นชิ้นงานที่สามารถแยกแยะว่าเป็นของเสียได้โดยง่าย และชิ้นงานที่มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างดีและเสีย 6 ชิ้นโดยจะแบ่งเป็นชิ้นงานก้ำกึ่งดีและก้ำกึ่งเสียอย่างละ 3 ชิ้น โดยชิ้นงานนั้นจะมีข้อบกพร่องแต่ละประเภทเพียงเล็กน้อย
3. คัดเลือกพนักงานที่มีความชำนาญและมีความสามารถในการตรวจสอบของเสียได้ตีมาจำนวน 3 คน

4. ให้พนักงานทั้ง 3 คน ทดลองตรวจสอบชิ้นงานทีละคน ซึ่งการตรวจสอบชิ้นงานนั้นจะเป็นลักษณะสุ่ม จากนั้นให้พนักงานประเมินผลการตรวจสอบชิ้นงานแต่ละชิ้นว่าเป็นชิ้นงานดีหรือเสียหรือก้ำกึ่ง พร้อมทั้งบันทึกผลการประเมินลงในแบบฟอร์มของพนักงานแต่ละคน
5. ทำการตรวจสอบซ้ำในข้อ 4 ทั้งหมด 3 ครั้ง
6. บันทึกผลการประเมินลงในแบบฟอร์ม เพื่อที่จะวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการตรวจสอบ ซึ่งจะประกอบด้วยดัชนีต่อไปนี้

$$\% \text{ รีพีทะบิลิตีของพนักงาน (\% appraiser score)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}} \quad (4.1)$$

$$\% \text{ ความไม่ไบอัสของพนักงาน (\%attribute score)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบได้เหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ}} \quad (4.2)$$

$$\text{ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน (O}_E\text{)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง}}{\text{โอกาสทั้งหมดของการตัดสินใจ}} \quad (4.3)$$

$$\text{ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด (I}_{FA}\text{)} = \frac{\text{จำนวนที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จำปฏิเสธอย่างผิดพลาด}} \quad (4.4)$$

$$\text{ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด (I}_{MISS}\text{)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ยอมรับอย่างผิดพลาด}}{\text{โอกาสทั้งหมดที่จะยอมรับอย่างผิดพลาด}} \quad (4.5)$$

$$\% \text{ ประสิทธิภาพด้านรีพีทะบิลิตี (\%reproducibility)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (4.6)$$

$$\% \text{ ประสิทธิภาพความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (\%accuracy)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \quad (4.7)$$

### เกณฑ์การยอมรับของระบบการตรวจสอบ

เกณฑ์การยอมรับของระบบการตรวจสอบของเสียด้วยตาเปล่า ในโรงงานกรณีศึกษาจะใช้เกณฑ์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์การยอมรับของระบบการตรวจสอบของเสีย

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
% รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงาน (% appraiser score)	100%
% ความไม่ไบอัสของพนักงาน (% attribute score)	100%
ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน ( $O_E$ )	100%
ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด ( $I_{FA}$ )	100%
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด ( $I_{MISS}$ )	100%
% ประสิทธิผลรีพีทหะบิลิตี้ของการตรวจสอบ (% reproducibility)	100%
% ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ (% accuracy)	100%

ในการตรวจสอบระบบของเสียจะทำการรวมของเสียที่มีข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภท คือ เจล ยับ หนาบาง เข้าด้วยกัน

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบของเสีย

ดัชนี	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	พนักงาน ทั้ง 3 คน
% รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงาน (% appraiser score)	100%	100%	100%	
% ความไม่ไบอัสของพนักงาน (% attribute score)	100%	100%	100%	
ดัชนีความมีประสิทธิผลของพนักงาน ( $O_E$ )	100%	100%	100%	
ดัชนีการตรวจสอบที่ ปฏิเสธอย่างผิดพลาด( $I_{FA}$ )	100%	100%	100%	

ดัชนี	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	พนักงาน ทั้ง 3 คน
ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่าง ผิดพลาด ( $I_{MISS}$ )	100%	100%	100%	
% ประสิทธิภาพลรีพีทหะบิลิตี้ของการ ตรวจสอบ (% reproducibility)				100%
% ประสิทธิภาพลความไม่ไบอัสของการ ตรวจสอบ (% accuracy)				100%

จากผลการทดสอบความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานในการตรวจสอบของเสียของกระบวนการเป่าฟิล์ม ดังตารางที่ 4.2 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพลรีพีทหะบิลิตี้ของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ มีค่าเท่ากับ 100% ทุกๆค่าดัชนี ซึ่งจะผ่านเกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดดังตารางที่ 4.1 จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความแม่นยำและเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

#### 4.2 สรุประยะการตรวจวัดปัญหา

ในขณะนี้เป็นการตรวจสอบความแม่นยำและเที่ยงของระบบการตรวจสอบของเสียจากกระบวนการเป่าของพนักงาน โดยคัดเลือกพนักงานที่มีความชำนาญในการคัดแยกของดีและของเสียมาจำนวน 3 คน โดยมีดัชนีการตรวจสอบพนักงาน เปอร์เซ็นต์รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน ดัชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน ดัชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด ดัชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพลรีพีทหะบิลิตี้ของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับได้คือ 100%

โดยจากการทดสอบความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานในการตรวจสอบของเสียของกระบวนการเป่าฟิล์ม พบว่ามีดัชนีดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 100% ทุกๆค่าดัชนี จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความแม่นยำและเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้



## บทที่ 5

### ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา (Analyze Phase)

ในระยจะนี้จะเป็นการค้นหาสาเหตุหลักที่คาดว่าทำให้เกิดปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง โดยการระดมสมองซึ่งคัดเลือกจากทีมงานที่มีประสบการณ์และเกี่ยวข้องโดยตรงกับการผลิต ซึ่งได้แก่ ผู้จัดการฝ่ายผลิต หัวหน้าแผนกเป่า ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกเป่า พนักงานแผนกเป่า และผู้วิจัย โดยนำแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) มาใช้ในการหาสาเหตุหลักของปัญหาเจล ยับ และหนาบาง

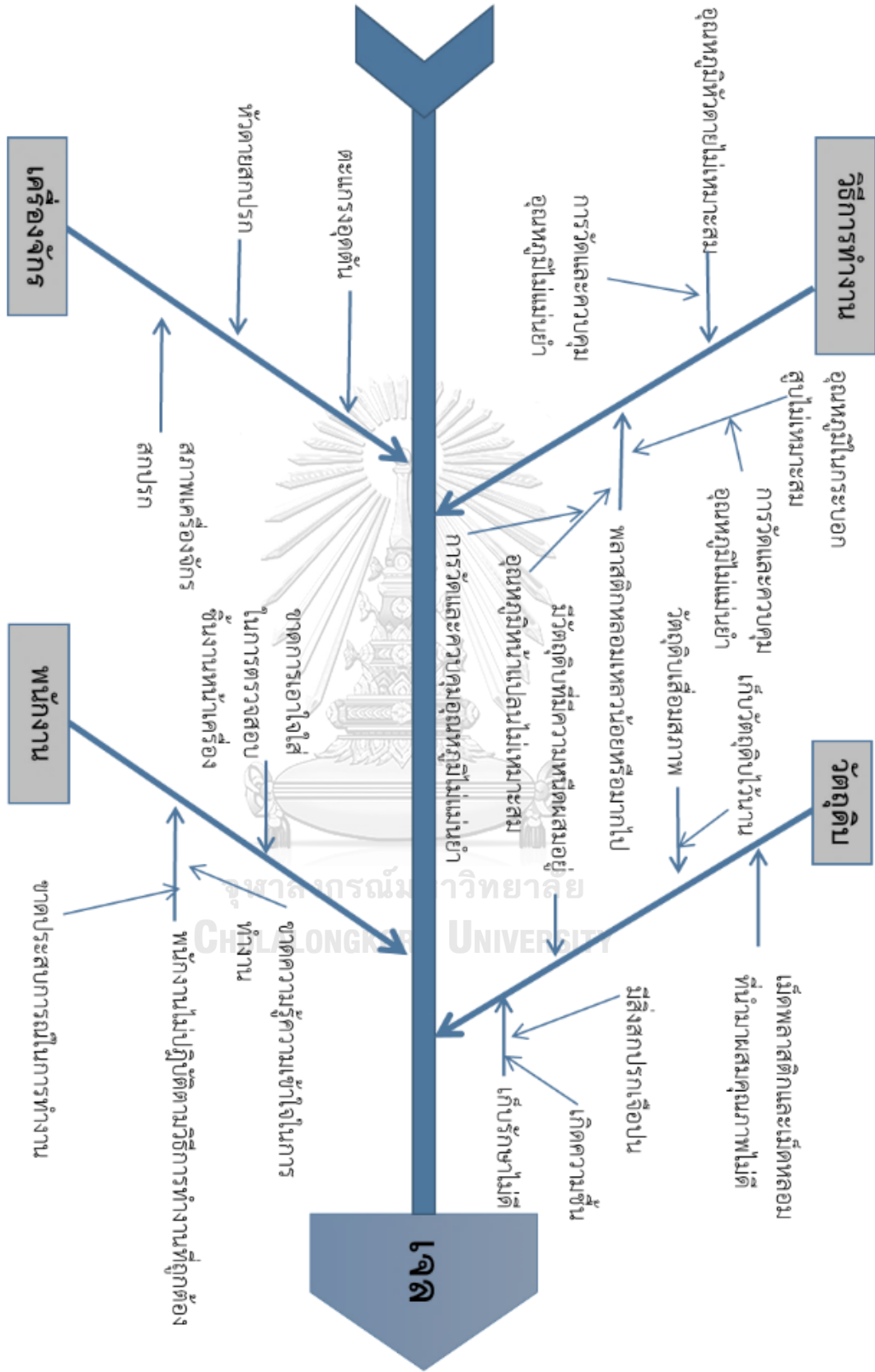
#### 5.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาจากแผนผังก้างปลา

เริ่มแรกของการระดมสมองจะนำเอาแผนผังก้างปลาไปใช้เพื่อหาปัจจัยทั้งหมดที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาการเกิดเจล ยับ และหนาบางในกระบวนการเป่าฟิล์ม เนื่องจากแผนผังก้างปลาสามารถช่วยแยกแยะปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาจากแผนผังก้างปลา มาทำการคัดกรองโดยใช้เมตริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง โดยเรียงตามลำดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยนั้นๆ

ในการแยกแยะหาสาเหตุของปัญหาเจล ยับ และหนาบาง สามารถจำแนกได้ออกเป็น 4 กลุ่มได้ดังนี้

1. คน
2. เครื่องจักร
3. วิธีการทำงาน
4. วัตถุดิบ

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 5.2 และ 5.3



รูปที่ 5. 1 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเลียประเภทเจด

ผลจากการระดมสมองที่แสดงไว้ในแผนผังแสดงเหตุและผล ในรูป 5.1 มีรายละเอียดดังนี้

### 1. คน

- พนักงานไม่ปฏิบัติตามวิธีการทำงานที่ถูกต้อง เนื่องจาก
  - 1) ขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน เนื่องจากพนักงานขาดการฝึกอบรมในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ทำให้ไม่ทราบถึงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และไม่สามารถแก้ไขปัญหาเมื่อมีข้อสงสัยเกิดขึ้นได้
  - 2) ขาดประสบการณ์ในการทำงาน เนื่องจากพนักงานขาดการฝึกอบรมในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ทำให้ไม่ทราบถึงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และไม่สามารถแก้ไขปัญหาเมื่อมีข้อสงสัยเกิดขึ้นได้ สาเหตุเดียวกับข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว
- ขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง โดยในการเป่าฟิล์มนั้นต้องคอยมีพนักงานคอยตรวจสอบงานอยู่เป็นระยะ หากพนักงานไม่สนใจในการตรวจสอบงาน หากงานมีปัญหาหรือมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นก็จะไม่สามารถแก้ไขได้อย่างเหมาะสมและทันเวลาที่

### 2. เครื่องจักร

- ตะแกรงอุดตัน ทำให้พลาสติกไม่สามารถถูกขับออกมาตามรูที่ตันได้ ในรูที่ตัน เมื่อถูกแรงดันภายในเป็นจำนวนมากพลาสติกก็จะพยายามดันออกมา ทำให้ดันสิ่งสกปรกออกมาด้วย จึงทำให้เนื้อพลาสติกที่ได้มีสีดำปนเปื้อน
- หัวดายสกปรก พลาสติกที่เกาะอยู่ที่หัวดายข้างในเป็นเวลานาน เมื่อโดนความร้อนสะสมจึงเกิดการไหม้ พอถูกขับออกมาเนื้อพลาสติกจึงมีสีดำปนเปื้อน

### 3. วิธีการทำงาน

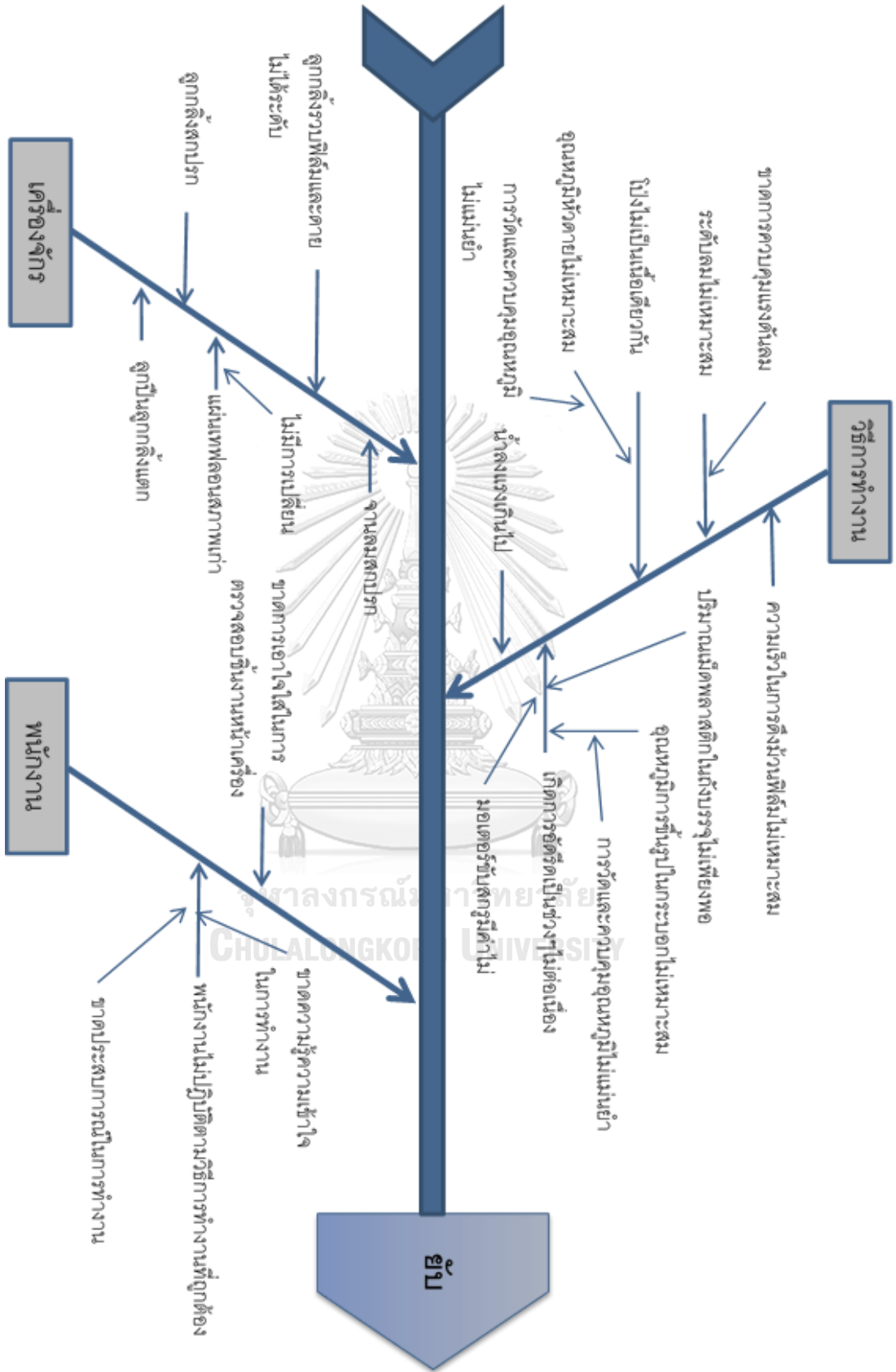
- พลาสติกหลอมเหลวน้อยหรือมากเกินไป เนื่องจากอุณหภูมิในกระบอกสูบไม่เหมาะสม เนื่องจากในช่วงนี้จะเป็นการผสมและหลอมเหลวเม็ดพลาสติกเข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน หากอุณหภูมิกะบอกสูบมีค่าน้อยเกินไปจะส่งผลให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมเหลวไม่หมดเมื่อส่งผ่านต่อไปในช่วงถัดไป เนื้อพลาสติกที่ได้จึงมีลักษณะเงาใสเกิดขึ้น และหากอุณหภูมิกะบอกสูบมีค่าสูงเกินไป พลาสติกที่หลอมเหลวได้ก็จะละลายกลายเป็นของเหลวทำให้ไม่สามารถอัดฉีดไปในส่วนถัดไปได้
- อุณหภูมิหน้าแปลนไม่เหมาะสม ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่อยู่ติดกับกระบอกสูบส่วนท้าย ซึ่งจะใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในส่วนกระบอกสูบ จะทำหน้าที่หลอมเม็ดพลาสติกเช่นกัน ก่อนที่พลาสติกที่จะถูกดันผ่านตะแกรงออกไป ดังนั้นหากอุณหภูมิน้ำแปลนไม่เหมาะสมหรือไม่

สัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิกระบอกสูบ พลาสติกก็อาจหลอมเหลวได้ไม่เต็มที่ทำให้เมื่อผ่านไปสูไป  
ชั้นตอนถัดไปจึงเกิดลักษณะเจลได้

#### 4. วัตุดิบ

- เม็ดพลาสติกและเม็ดหลอมที่นำมาผสมคุณภาพไม่ดี หากมีการนำเม็ดพลาสติกที่ไม่ผ่าน  
มาตรฐานหรือเม็ดพลาสติกที่ถูกนำมารีไซเคิลมาใช้งานใหม่ ทำให้ได้คุณภาพของเนื้อ  
พลาสติกนั้นไม่ดีเท่าที่ควร
- การเก็บรักษาไม่ดี มีสิ่งแปลกปลอมปะปนอยู่ ทำให้ฟิล์มที่ถูกเป่าออกมาไม่ได้คุณภาพตามที่  
ต้องการ ในบางเม็ดที่ไม่สะอาดเมื่อถูกขับออกมาก็จะเป็นลักษณะเจลดำ เกิดความชื้น ทำให้  
เม็ดพลาสติกบางเม็ดเสียหายเป็นลักษณะเจลใส
- มีวัตุดิบเสื่อมสภาพจึงมีความหนืดมากขึ้น ทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลวไม่เป็นเนื้อ  
เดียวกัน จึงส่งผลให้เมื่อถูกขึ้นรูปแล้วมีลักษณะเป็นเม็ดเจลได้





รูปที่ 5. 2 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเสียประเภทยับ

ผลจากการระดมสมองที่แสดงไว้ในแผนผังแสดงเหตุและผล ในรูป 5.2 มีรายละเอียดดังนี้

### 1. คน

- พนักงานไม่ปฏิบัติตามวิธีการทำงานที่ถูกต้อง เนื่องจาก
  - 1) ขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน เนื่องจากพนักงานขาดการฝึกอบรมในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ทำให้ไม่ทราบถึงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และไม่สามารถแก้ไขปัญหาเมื่อมีข้อสงสัยเกิดขึ้นได้
  - 2) ขาดประสบการณ์ในการทำงาน เนื่องจากพนักงานขาดการฝึกอบรมในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ทำให้ไม่ทราบถึงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และไม่สามารถแก้ไขปัญหาเมื่อมีข้อสงสัยเกิดขึ้นได้ สาเหตุเดียวกับข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว
- ขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง โดยในการเป่าฟิล์มนั้นต้องคอยมีพนักงานคอยตรวจสอบงานอยู่เป็นระยะ หากพนักงานไม่สนใจในการตรวจสอบงาน หากงานมีปัญหาหรือมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นก็จะไม่สามารถแก้ไขได้อย่างเหมาะสมและทัน่วงที

### 2. เครื่องจักร

- ลูกปืนลูกกลิ้งแตก ทำให้ระบบรวน ลูกกลิ้งรวบฟิล์มทำงานไม่ได้ ส่งผลให้ถุงยับ
- ลูกกลิ้งสกปรก หากมีสิ่งสกปรกติดอยู่ที่ผิวลูกกลิ้ง เมื่อฟิล์มถูกรีดเข้ามาทำให้สิ่งสกปรกนั้นถูกแรงกดทับจากลูกกลิ้งลงบนแผ่นฟิล์ม จึงเกิดการยับได้
- ลูกกลิ้งรวบฟิล์มและตายไม้ได้ระดับ ทำให้ฟิล์มเกิดการยับเนื่องจากระดับลูกกลิ้งสูงและต่ำไม่เท่ากันทั้งสองข้าง
- งานลมสกปรก ทำให้ลมออกไม่สม่ำเสมอ ลูกโป่งเกิดการส่าย ทำให้ฟิล์มยับไม่เรียบเสมอกัน

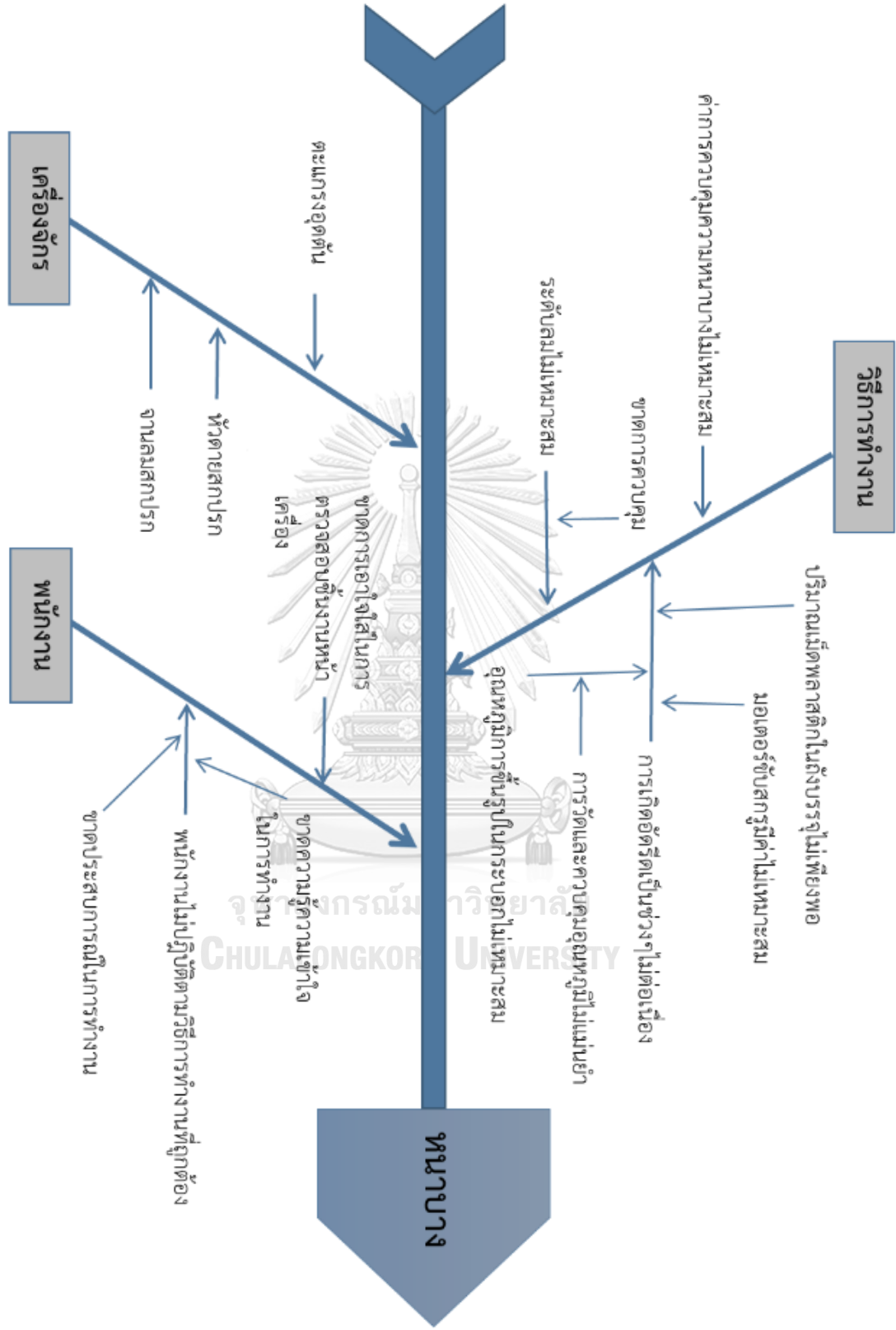
### 3. วิธีการทำงาน

- ความเร็วในการดึงม้วนฟิล์มไม่เหมาะสม หากความเร็วมอเตอร์เก็บม้วนสูงไป ลูกกลิ้งเก็บม้วนจะหมุนเร็วไปทำให้ฟิล์มยับได้
- เกิดการอัดรีดเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง สาเหตุมาจากปริมาณเม็ดพลาสติกในถังบรรจุไม่เพียงพอ ทำให้เม็ดไหลเข้าสู่กระบอกลูกสูบไม่ต่อเนื่อง เม็ดพลาสติกบางส่วนหลอมเหลวไม่ทันก่อนส่งผ่านไปในช่วงถัดไป ทำให้เกิดการหนาบางไม่เท่ากัน และส่งผลให้เกิดการยับต่อมา
  - 1) อุณหภูมิการขึ้นรูปในกระบอกลูกสูบไม่เหมาะสม เนื่องจากในช่วงนี้จะเป็นการผสมและหลอมเหลวเม็ดพลาสติกเข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน หากอุณหภูมิกระบอกลูกสูบมีค่าน้อยเกินไปจะส่งผลให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมเหลวไม่เพียงพอ แต่หากอุณหภูมิ

กระบอกสูบมีค่ามากไป จะเกิดการหลอมเหลวมากเกินไป พิล์มจะเกิดการหนาบางไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดการยับต่อมา

2) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าไม่เหมาะสม ทำให้เม็ดพลาสติกถูกป้อนเข้าสู่กระบอกสูบเพื่อหลอมเหลวน้อยหรือมากเกินไป ทำให้ฟิล์มหนาหรือบางไป ส่งผลให้เกิดการยับต่อมา

- ระดับลมไม่เหมาะสม เนื่องจากขาดการควบคุมแรงดันลม ไม่มีเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบอัตราการที่ใช้ในการขึ้นรูป ทำให้ลมออกน้อยหรือมากเกินไป ลุกโป่งเกิดการส่าย ทำให้ฟิล์มยับไม่เรียบเสมอกัน
- โป่งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิหัวตายไม่เหมาะสม ในส่วนนี้จะเป็นการขึ้นรูปหากอุณหภูมิหัวตายไม่เหมาะสมและสัมพันธ์กับอุณหภูมิพลาสติกหลอมจะทำให้โป่งไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้ฟิล์มหนาบางไม่เท่ากันและเกิดการยับต่อมา
- น้ำลงแรงเกินไป เนื่องจากขณะนั้นเนื้อฟิล์มมีความอ่อนตัวสูงมาก เมื่อน้ำลงแรงเกินไปจึงมีแรงตกกระทบที่บริเวณผิวฟิล์มสูง ทำให้ฟิล์มเกิดการยับได้



รูปที่ 5. 3 แผนผังก้างปลาของปัญหาของเสียประเภทหนาวาง



ผลจากการระดมสมองที่แสดงไว้ในแผนผังแสดงเหตุและผล ในรูป 5.3 มีรายละเอียดดังนี้

#### 1. คน

- พนักงานไม่ปฏิบัติตามวิธีการทำงานที่ถูกต้อง เนื่องจาก
  - 1) ขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน เนื่องจากพนักงานขาดการฝึกอบรมในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ทำให้ไม่ทราบถึงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และไม่สามารถแก้ไขปัญหาเมื่อมีของเสียเกิดขึ้นได้
  - 2) ขาดประสบการณ์ในการทำงาน เนื่องจากพนักงานขาดการฝึกอบรมในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ทำให้ไม่ทราบถึงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง และไม่สามารถแก้ไขปัญหาเมื่อมีของเสียเกิดขึ้นได้ สาเหตุเดียวกับข้างต้นที่กล่าวมาแล้ว
- ขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง โดยในการเป่าฟิล์มนั้นต้องคอยมีพนักงานคอยตรวจสอบงานอยู่เป็นระยะ หากพนักงานไม่สนใจในการตรวจสอบงาน หากงานมีปัญหาหรือมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นก็จะไม่สามารถแก้ไขได้อย่างเหมาะสมและทันเวลาที่

#### 2. เครื่องจักร

- หัวดายสกรปรก ทำให้พลาสติกไหลออกได้ไม่ต่อเนื่อง ฟิล์มจึงเกิดการหนาบางไม่เท่ากัน ในส่วนที่ไหลออกมากก็จะหนา และในส่วนที่ไหลออกมาน้อยก็จะบาง
- ตะแกรงอุดตัน พลาสติกไม่สามารถถูกขับออกมาตามรูที่ตันได้ ทำให้ไหลออกมาไม่เท่ากัน ในส่วนที่ถูกขับออกมามากก็จะหนา ส่วนที่ถูกขับออกมาน้อยก็จะบาง
- จานลมสกรปรก ลมออกในแต่ละจุดไม่เท่ากัน ในส่วนที่ลมจะออกมามากทำให้ฟิล์มหนากว่าส่วนอื่น

#### 3. วิธีการทำงาน

- ค่าการควบคุมความหนาบางไม่เหมาะสม ทำให้การไหลไม่สม่ำเสมอ ในส่วนที่ไหลออกมากจะเกิดการหนามากกว่า
- ระดับลมไม่เหมาะสม เนื่องจากขาดการควบคุมแรงดันลม ไม่มีเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบอัตราการที่ต้องใช้ในการขึ้นรูป เมื่อลมออกมากไป ทำให้ลูกโป่งไม่ฉิ่ง เกิดการส่ายก็จะทำให้ฟิล์มหนาบางไม่เท่ากัน

- เกิดการอัตรัดเป็นช่วงๆ ไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากปริมาณเม็ดพลาสติกในถังบรรจุไม่เพียงพอ ทำให้เม็ดไหลเข้าสู่กระบอกลูกสูบไม่ต่อเนื่อง เม็ดพลาสติกบางส่วนหลอมเหลวไม่ทันก่อนส่งผ่านไปในช่วงถัดไป ทำให้เกิดการหนาบางไม่เท่ากัน
- 1) อุณหภูมิการขึ้นรูปในกระบอกลูกสูบไม่เหมาะสม เนื่องจากในช่วงนี้จะเป็นการผสมและหลอมเหลวเม็ดพลาสติกเข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน หากอุณหภูมิกระบอกลูกสูบน้อยเกินไปจะส่งผลให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอมเหลวไม่เพียงพอ แต่หากอุณหภูมิกระบอกลูกสูบน้อยเกินไป จะเกิดการหลอมเหลวมากเกินไป ฟิล์มจะเกิดการหนาบางไม่เท่ากัน
- 2) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าไม่เหมาะสม ทำให้เม็ดพลาสติกถูกบดเข้าสู่กระบอกลูกสูบเพื่อหลอมเหลวน้อยหรือมากเกินไป ทำให้ฟิล์มหนาหรือบางไป

## 5.2 การคัดกรองสาเหตุของปัญหา

จากการระดมสมองโดยใช้แผนผังก้างปลาในข้างต้น จะได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาของเสียเรื่องเจล ยับ และหนาบาง จำนวนทั้งสิ้น 22 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยทั้งหมดดังกล่าวมาคัดกรองโดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลด้วยเมตริกซ์เหตุและผล โดยทำการสุ่มเลือกพนักงานในฝ่ายผลิตเป่าที่มีประสบการณ์ในการผลิตถุงพลาสติกอย่างน้อย 3 ปี จำนวน 6 คน ให้คะแนนความสัมพันธ์จาก 0-10 โดย

0 หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง

10 หมายถึง มีความสัมพันธ์มากต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง

ในการให้คะแนนความสัมพันธ์จะทำให้พนักงานแต่ละคนเขียนคะแนนลงในแบบสอบถามการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย ซึ่งแสดงดังตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก เพื่อป้องกันการไบอัสในการให้คะแนนระหว่างพนักงาน

ทั้งนี้เนื่องจากของเสียแต่ละประเภทมีสัดส่วนของเสียแตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะนำคะแนนที่ได้มาทำการแบ่งน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักรวมคือ 1 ดังตาราง 5.1

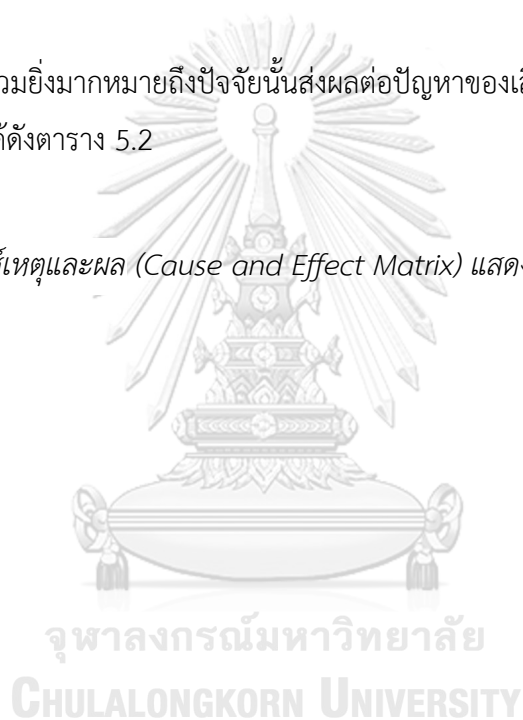
ตารางที่ 5.1 แสดงร้อยละของของเสียแต่ละประเภท และค่าน้ำหนักของปัญหาประเภทเจล ยับ และหนาบาง

ประเภทของเสีย	ร้อยละของเสีย	ค่าน้ำหนัก
เจล	8.04	0.50

ประเภทของเสีย	ร้อยละของเสีย	ค่าน้ำหนัก
ยับ	3.26	0.21
หนาบาง	4.59	0.29
รวม	15.89	1.00

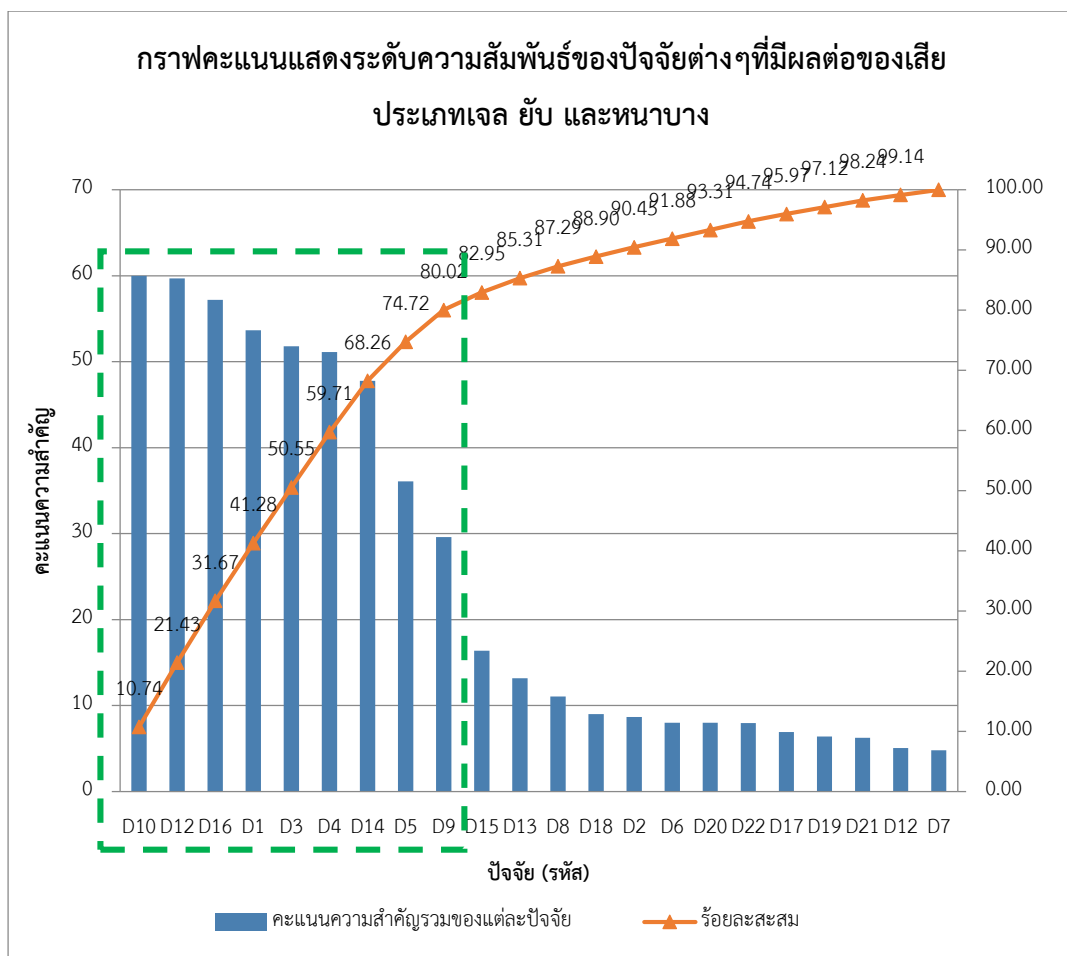
โดยคะแนนรวมยิ่งมากหมายถึงปัจจัยนั้นส่งผลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางยิ่งมาก ซึ่งแสดงได้ดังตาราง 5.2

ตารางที่ 5. 2 เมตริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แสดงระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุและปัญหา



หมวดหมู่	ลำดับ	รหัส	ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา เจล ยับ และหนาบาง	เจล		ยับ		หนาบาง		รวม ทั้งหมด
				รวม	W 0.50	รวม	W 0.21	รวม	W 0.29	
คน	1	D1	ขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน	55	25.85	53	12.19	52	15.60	53.64
	2	D2	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน	11	5.17	6	1.38	7	2.10	8.65
	3	D3	ขาดความเอาใจใส่ ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง	52	24.44	55	12.65	49	14.70	51.79
เครื่องจักร	4	D4	ตะแกรงอุดตัน	56	26.32	44	10.12	49	14.70	51.14
	5	D5	หัวตายสกปรก	48	22.56	21	4.83	29	8.70	36.09
	6	D6	ลูกปืนลูกกลิ้งแตก	0	0.00	27	6.21	6	1.80	8.01
	7	D7	ลูกกลิ้งสกปรก	0	0.00	13	2.99	6	1.80	4.79
	8	D8	ลูกกลิ้งรวบฟิล์มและตายไม่ได้ระดับ	0	0.00	48	11.04	0	0.00	11.04
	9	D9	จานลมสกปรก	0	0.00	53	12.19	58	17.40	29.59
วิธีการทำงาน	10	D10	อุณหภูมิในกระบอกสูบไม่เหมาะสม	60	28.20	60	13.80	60	18.00	60
	11	D11	อุณหภูมิหน้าแปลนไม่เหมาะสม	60	28.20	60	13.80	59	17.70	59.7
	12	D12	ความเร็วในการดึงม้วนฟิล์มไม่เหมาะสม	0	0.00	22	5.06	0	0.00	5.06
	13	D13	ปริมาณเม็ดพลาสติกในถังบรรจุไม่เพียงพอ	10	4.70	16	3.68	16	4.80	13.18
	14	D14	ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าไม่เหมาะสม	34	15.98	60	13.80	60	18.00	47.78
	15	D15	ขาดการควบคุมแรงดันลม	0	0.00	32	7.36	30	9.00	16.36
	16	D16	อุณหภูมิหัวตายไม่เหมาะสม	54	25.38	60	13.80	60	18.00	57.18
	17	D17	น้ำลงแรงเกินไป	0	0.00	30	6.90	0	0.00	6.9
	18	D18	ค่าการควบคุมความหนาบางไม่เหมาะสม	0	0.00	30	6.90	7	2.10	9
วัตถุดิบ	19	D19	เม็ดพลาสติกและเม็ดหลอมที่นำมาผสม คุณภาพไม่ดี	13	6.11	0	0.00	1	0.30	6.41
	20	D20	มีสิ่งแปลกปลอมเจือปน	17	7.99	0	0.00	0	0.00	7.99
	21	D21	วัตถุดิบเกิดความชื้น	11	5.17	2	0.46	2	0.60	6.23
	22	D22	มีวัตถุดิบที่มีความหนืดผสมอยู่	6	2.82	8	1.84	11	3.30	7.96

จากการให้คะแนนปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง สามารถสรุปลำดับได้กราฟคะแนนสะสมดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5. 4 กราฟคะแนนแสดงระดับความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่าร้อยละ 80 ของคะแนนรวม เกิดจากปัจจัยจำนวน 9 ปัจจัย แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5. 3 ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบกับปัญหา เจล ยับ และหนาบาง

รหัส	ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา เจล ยับ และหนาบาง	คะแนนรวม ทั้งหมด	ร้อยละ	ร้อยละ สะสม
D10	อุณหภูมิในกระบอกสุบไม่เหมาะสม	60	10.74	10.74
D12	อุณหภูมิหน้าแปลนไม่เหมาะสม	59.7	10.69	21.43
D16	อุณหภูมิหัวตายไม่เหมาะสม	57.18	10.24	31.67
D1	การขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน	53.64	9.60	41.28

รหัส	ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา เจด ยับ และหนาบง	คะแนนรวม ทั้งหมด	ร้อยละ	ร้อยละ สะสม
D3	การขาดความเอาใจใส่ ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง	51.79	9.27	50.55
D4	ตะแกรงอุดตัน	51.14	9.16	59.71
D14	ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนไม่เหมาะสม	47.78	8.56	68.26
D5	หัวตายสกปรก	36.09	6.46	74.72
D9	จานลมสกปรก	29.59	5.30	80.02

### 5.3 แนวทางในการแก้ปัญหาของแต่ละสาเหตุหลัก

หลักจากพบว่ามีปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปัญหาของเสียประเภทเจด ยับ และหนาบง จำนวน 9 ปัจจัย ต่อมาจะทำการหาแนวทางในการแก้ปัญหาของแต่ละสาเหตุหลัก

แนวทางในการแก้ปัญหาของแต่ละสาเหตุหลักจากการระดมสมองของทีมงาน ได้สรุปผลออกมาดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5. 4 แนวทางการแก้ไขในแต่ละสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียประเภทเจด ยับ และหนาบง

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข	วิธีแก้ไข
ของเสียประเภทเจด ยับ และ หนาบง ในกระบวนการเป่าฟิล์ม	อุณหภูมิในกระบอกสูบ ไม่เหมาะสม	หาค่าระดับอุณหภูมิที่ เหมาะสม	การออกแบบการ ทดลอง
	อุณหภูมิหน้าแปลนไม่ เหมาะสม	หาค่าระดับอุณหภูมิที่ เหมาะสม	
	อุณหภูมิหัวตายไม่ เหมาะสม	หาค่าระดับอุณหภูมิที่ เหมาะสม	
	ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน มีค่าไม่เหมาะสม	หาค่าระดับความเร็วที่ เหมาะสม	
	การขาดความรู้ ความ เข้าใจในการทำงาน	อบรมวิธีการทำงานเพื่อ เสริมสร้างความรู้ให้แก่ พนักงาน	สร้างวิธีปฏิบัติงานใน กระบวนการเป่าฟิล์ม

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข	วิธีแก้ไข
	การขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง	สร้างวิธีปฏิบัติงานและวิธีควบคุม	
	ตะแกรงอุดตัน	สร้างแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร	
	หัวคายสกปรก	สร้างแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร	
	จานลมสกปรก	สร้างแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร	

สามารถอธิบายปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- อุณหภูมิกระบอกสูบ

เป็นส่วนที่ติดกับกรวยเติมเม็ดพลาสติก (hopper) ในช่วงต้นนี้จะมีความลึกของร่องสกรูมากที่สุด และมีเกลียวระยะสั้นๆ ในช่วงแรก เพื่อทำหน้าที่ลำเลียงเม็ดพลาสติกจากกรวยเติมพลาสติกเข้าสู่ภายในกระบอกสูบ เมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจึงทำให้เกิดการผสมกันของเม็ดพลาสติก ในส่วนหลอมจะมีความลึกของร่องสกรูลดลงเพื่อให้เกิดแรงดันของพลาสติกหลอมและทำให้ความหนาของชั้นพลาสติกที่ห่อหุ้มสกรูลดลงจึงเกิดการส่งผ่านความร้อนจากกระบอกสูบได้ดีขึ้น ซึ่งจะมีความร้อนและแรงดันเนื่องจากการหมุนของสกรูเกิดขึ้นมากทำให้เม็ดพลาสติกหลอมผสมกลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยค่าอุณหภูมิที่ยังสามารถผลิตได้จะอยู่ระหว่าง 200-250 °C เนื่องจากหากอุณหภูมิต่ำเกินไปเม็ดพลาสติกจะไม่สามารถหลอมละลายได้ และหากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมละลายมากเกินไปจนเป็นของเหลวทำให้ไม่สามารถถูกอัดฉีดผ่านไปในส่วนถัดไปได้ ในส่วนนี้สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้ที่แผงควบคุมพารามิเตอร์บนเครื่องจักร โดยจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

- อุณหภูมิหน้าแปลน

เป็นส่วนสุดท้ายของช่วงหลอมก่อนส่งผ่านไปยังหัวคาย ทำหน้าที่หลอมพลาสติกให้กลายเป็นเนื้อเดียวกัน ในส่วนนี้พลาสติกหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ โดยค่าอุณหภูมิที่ยังสามารถผลิตได้จะอยู่ระหว่าง 200-250 °C ในส่วนนี้สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้ที่แผงควบคุมพารามิเตอร์บนเครื่องจักร โดยจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

- อุณหภูมิหัวตาย

หัวตายทำหน้าที่ขึ้นรูปถุงพลาสติก เมื่อได้รับลมก็จะถูกเป่าให้ขยายออกเป็นลักษณะคล้ายลูกโป่ง ทอดยาวตลอดก่อนจะเข้าสู่เครื่องรีดเพื่อให้ได้ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆต่อไป โดยค่าอุณหภูมิควร จะใกล้เคียงกับอุณหภูมิหน้าแปลนไม่ห่างกันมากนักเพื่อคงสภาพสถานะของพลาสติกหลอม โดยค่า อุณหภูมิที่ยังสามารถผลิตได้จะอยู่ระหว่าง 200-250 °C ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้ที่แผง ควบคุมพารามิเตอร์บนเครื่องจักร โดยจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบ การทดลอง

- ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน

เป็นตัวกำหนดความเร็วของสกรูในกระบอกสูบ หากกำหนดความเร็วมากไปจะทำให้เม็ดพลาสติก ถูกบดผสมกันเร็วและส่งผ่านไปยังส่วนถัดไปได้เร็ว หากค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนไม่สัมพันธ์กับ ขนาดความหนาที่ต้องการ อาจทำให้ไม่ได้คุณภาพที่ต้องการเนื่องจากมีปริมาณเนื้อพลาสติกมาก เกินไป การกำหนดค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนนั้นจึงขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของถุงพลาสติกด้วย สามารถกำหนดค่าความเร็วได้ที่เครื่องจักร ซึ่งจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการ ออกแบบการทดลอง

- การขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน

เมื่อพนักงานขาดความรู้และความเข้าใจในการทำงาน จึงไม่ทราบวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ทำงานโดยอาศัยความเคยชิน ซึ่งอาจจะเป็นวิธีการทำงานที่ถูกต้องหรือไม่ก็ได้ ดังนั้นจึงควรมีวิธี ปฏิบัติงานที่ถูกต้องเพื่ออบรมและให้ความรู้แก่พนักงาน โดยจะใช้วิธีอบรมพนักงานก่อนปฏิบัติงาน

- การขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง

เป็นผลสืบเนื่องมาจากการที่พนักงานขาดความรู้และความเข้าใจในการปฏิบัติงาน หรือไม่มี วิธีการทำงานที่ถูกต้องเป็นระเบียบแบบแผน จึงควรมีวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องเพื่อให้พนักงานมีการ ปฏิบัติงานเป็นขั้นตอน

- ตะแกรงอุดตัน

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกและเม็ดพลาสติกที่ไม่ได้ถูกหลอมเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะ ถูกส่งไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูป ดังนั้นหากตะแกรงอุดตันก็จะส่งผลให้พลาสติกไม่สามารถถูกส่งผ่านไป ได้ จึงควรมีวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง โดยใช้วิธีสร้างแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร

- หัวตายสกปรก

หากหัวตายสกปรกจะส่งผลให้พลาสติกไหลออกได้ไม่สม่ำเสมอหรืออาจมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมา กับพลาสติกหลอมในขณะขึ้นรูปได้ เนื่องจากไม่มีแผนการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่เหมาะสม แม้ว่า



ทางโรงงานจะมีแผนบำรุงรักษารายปี แต่ไม่สามารถปฏิบัติตามแผนได้ โดยจะทำการซ่อมเมื่อเครื่องจักร หรืออุปกรณ์เสียหายชำรุดเท่านั้น ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงต้องทำความสะอาดตามระยะเวลาที่สมควรหลังจากมีการใช้งานมาระยะหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

- จานลมสกปรก

จะทำให้ลมออกได้ไม่สม่ำเสมอ และเมื่อลูกโป่งได้รับลมไม่ต่อเนื่องหรือเท่ากันทุกส่วน จะทำให้พลาสติกเซ็ดตัวไม่ทัน เนื่องจากไม่มีแผนการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่เหมาะสม แม้ว่าทางโรงงานจะมีแผนบำรุงรักษารายปี แต่ไม่สามารถปฏิบัติตามแผนได้ โดยจะทำการซ่อมเมื่อเครื่องจักร หรืออุปกรณ์เสียหายชำรุดเท่านั้น ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงต้องทำความสะอาดตามระยะเวลาที่สมควรหลังจากมีการใช้งานมาระยะหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

จากตารางที่ 5.4 สรุปได้ว่ามีปัจจัยหลักที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง จำนวน 9 ปัจจัย โดยสามารถจำแนกวิธีการแก้ปัญหาออกเป็น 2 กลุ่มวิธี ได้แก่ การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิกระบอก อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน และการสร้างวิธีปฏิบัติงาน สำหรับนำไปใช้ฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้แก่พนักงาน รวมถึงการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเหมาะสม

#### 5.4 สรุปผลระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา

ในระยะเวลาการหาสาเหตุหลักของปัญหานี้ได้นำผังก้างปลา มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ซึ่งจากการระดมสมองในที่ทีมงานพบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ทั้งสิ้น 22 ปัจจัย จากนั้นทำการสุ่มเลือกพนักงานที่มีประสบการณ์จำนวน 6 คน เป็นผู้ให้คะแนนความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง และนำเอาคะแนนที่ได้มาสร้างกราฟระดับคะแนน พบว่าร้อยละ 80 ของคะแนนรวมมาจากปัจจัยหลัก 9 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในกระบอกสูบ อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย การขาดความรู้และความเข้าใจในการทำงาน การขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง ตะแกรงอุดตัน ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน หัวตายสกปรก และจานลมสกปรก ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ปัญหาออกเป็น 2 กลุ่ม

วิธี คือ 1) การออกแบบการทดลอง 2) การสร้างวิธีปฏิบัติงาน โดยจะนำเอาปัจจัยทั้งหมดนี้ไปทำการปรับปรุงเพื่อลดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางต่อไป



## บทที่ 6

### ระยะปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Phase)

จากการระดมสมองที่ผ่านมาพบว่ามี่ปัจจัยหลักจำนวน 9 ปัจจัย ที่ส่งผลต่อปัญหาการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ซึ่งสามารถจำแนกวิธีการแก้ปัญหาออกเป็น 2 กลุ่มวิธี ได้แก่

- 1) การออกแบบการทดลอง เป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิกระบอบกสุบ อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน
- 2) การสร้างวิธีปฏิบัติงาน สำหรับนำไปใช้ฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้แก่พนักงาน รวมถึงการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเหมาะสม

#### 6.1 การออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติกโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน โดยแบ่งแยกกันตามขนาดถุงพลาสติกที่ได้ทำการเลือกไว้ในบทที่ 3 โดยจะมีขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว 80 x 240 มิลลิเมตร และ 40 x 24 นิ้ว

##### 6.1.1 การทดลองสำหรับถุงพลาสติกขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว

###### 6.1.1.1 ปัจจัยนำเข้า

จากการคัดกรองปัจจัยนำเข้าในบทที่ 5 พบว่ามีปัจจัยที่จะทำการทดลอง 4 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิกระบอบกสุบ 2) อุณหภูมิหน้าแปลน 3) อุณหภูมิหัวตาย 4) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน โดยอุณหภูมิกระบอบกสุบบนเครื่องจักร BB-PP-02 มีอุณหภูมิกระบอบกสุบ 3 ส่วนด้วยกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปัจจัยนำเข้า (X) 6 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิกระบอบกสุบส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอบกส่วนกลาง (B) อุณหภูมิกระบอบกส่วนท้าย (C) อุณหภูมิหน้าแปลน (D) อุณหภูมิหัวตาย (E) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F)

###### 6.1.1.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองคือค่าสัดส่วนร้อยละของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนابาง (Y3) ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง ต่อ 25 กิโลกรัม

#### 6.1.1.3 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวตอบสนองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยมีลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อประหยัดจำนวนการทดลอง

การทดลองส่วนประสมกลาง แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Runs) ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกแบบ  $2^{6-1}$  แบบไม่มีการทำซ้ำ ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง โดยมี Resolution เท่ากับ VI ซึ่งจะไม่มีการกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยใดเป็นคู่แฝดแฝงกันเอง
- 2) ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) จำนวน 9 การทดลอง
- 3) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) ซึ่งมีจำนวน 12 การทดลอง โดยมีค่า  $\alpha = 2.378$

สรุปได้ว่าการทดลองนี้จะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 53 การทดลอง ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6. 1 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้า (X)	-2.378	-1	0	1	2.378	หน่วย
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหน้าแปลน (D)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวตาย (E)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
มอเตอร์ขับเคลื่อน (F)	20	28.7	35	41.3	50	กิโลวัตต์

#### 6.1.1.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลอง 53 การทดลองนี้จำเป็นต้องมีการกำหนดปัจจัยภายนอกอื่นๆ นอกเหนือจาก 6 ปัจจัยนำเข้างดกล่าว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการทดลอง ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักร BB-PP-02 ในการผลิตทุกการทดลอง
- ใช้พนักงานคนเดียวกันปฏิบัติงานในทุกการทดลอง ซึ่งเวลาในการทดลองจะทำภายในเวลา 8.00-18.00 น. เท่านั้น
- ใน 1 การทดลองจะใช้ชิ้นงานในการผลิต 25 กิโลกรัม/ม้วน
- กำหนดค่าอุณหภูมิได้ตั้งแต่พลาสติก 70 องศาเซลเซียส และ มอเตอร์ควบคุมหนาวบาง 24 เฮิร์ต
- ทำความสะอาดหัวตาย และจานลมก่อนเริ่มการทดลองในรุ่นนั้นๆ
- เปลี่ยนตะแกรงใหม่ก่อนเริ่มการทดลองในรุ่นนั้นๆ
- หลังจากทดลองเสร็จ จะนำไปตัดให้ได้ความยาวตามที่กำหนด และส่งไปยังแผนกตัดกรองของเสียเพื่อทำการตรวจสอบ 100% จะใช้พนักงานที่ผ่านการตรวจสอบระบบการวัดจากในบอทที่ 4 แล้วเป็นคนตรวจสอบชิ้นงาน

ในแต่ละการทดลองจะกำหนดระดับปัจจัย ตามตารางที่ 6.2 ที่ทำการสุ่มโดยโปรแกรม Minitab การดำเนินการทดลองจะทำการทดลองตามช่อง Run Order ที่ได้จากโปรแกรม Minitab และเมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละครั้งนั้นจะใช้พนักงานที่ถูกคัดเลือกไว้ในบอทที่ 4 มาทำการตัดแยกของเสียเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักของของเสียต่อไป และทำการบันทึกผลการทดลองโดยพิจารณาเฉพาะของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาวบาง (Y3) เท่านั้น

#### 6.1.1.5 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ทั้งสิ้น 53 การทดลอง เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาวบาง (Y3) ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) อุณหภูมิหน้าแปลน (D) อุณหภูมิหัวตาย (E) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.2 โดยตัวเลขในช่อง Y1 Y2 และ Y3 โดย Yall หมายถึง สัดส่วนของเสียประเภทเจล ยับ หนาวบาง และสัดส่วนของเสียรวมจากข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภทตามลำดับ

ตารางที่ 6. 2 ผลการทดลองเรียงตาม Standard Order จากโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	F	Y1	Y2	Y3	Yall
1	52	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0.20	0.080	0.20	0.48
2	17	1	-1	-1	-1	-1	1	0.04	0.018	0.04	0.10

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	F	Y1	Y2	Y3	Yall
3	1	-1	1	-1	-1	-1	1	0.05	0.008	0.01	0.07
4	35	1	1	-1	-1	-1	-1	0.07	0.005	0.06	0.14
5	11	-1	-1	1	-1	-1	1	0.18	0.006	0.01	0.20
6	18	1	-1	1	-1	-1	-1	0.25	0.033	0.07	0.36
7	3	-1	1	1	-1	-1	-1	0.18	0.018	0.06	0.25
8	48	1	1	1	-1	-1	1	0.03	0.003	0.02	0.05
9	16	-1	-1	-1	1	-1	1	0.01	0.017	0.01	0.04
10	36	1	-1	-1	1	-1	-1	0.05	0.027	0.09	0.17
11	10	-1	1	-1	1	-1	-1	0.07	0.032	0.08	0.18
12	19	1	1	-1	1	-1	1	0.02	0.018	0.01	0.05
13	23	-1	-1	1	1	-1	-1	0.04	0.007	0.07	0.11
14	6	1	-1	1	1	-1	1	0.08	0.007	0.02	0.11
15	25	-1	1	1	1	-1	1	0.08	0.007	0.02	0.11
16	42	1	1	1	1	-1	-1	0.21	0.023	0.09	0.32
17	12	-1	-1	-1	-1	1	1	0.11	0.020	0.04	0.17
18	7	1	-1	-1	-1	1	-1	0.18	0.036	0.13	0.35
19	28	-1	1	-1	-1	1	-1	0.10	0.017	0.16	0.28
20	4	1	1	-1	-1	1	1	0.16	0.012	0.01	0.18
21	32	-1	-1	1	-1	1	-1	0.11	0.021	0.07	0.20
22	50	1	-1	1	-1	1	1	0.23	0.009	0.00	0.24
23	8	-1	1	1	-1	1	1	0.31	0.015	0.04	0.37
24	44	1	1	1	-1	1	-1	0.27	0.020	0.05	0.34
25	14	-1	-1	-1	1	1	-1	0.31	0.031	0.10	0.44
26	20	1	-1	-1	1	1	1	0.13	0.022	0.09	0.24
27	46	-1	1	-1	1	1	1	0.29	0.001	0.02	0.31
28	49	1	1	-1	1	1	-1	0.22	0.036	0.11	0.37
29	24	-1	-1	1	1	1	1	0.29	0.007	0.02	0.31
30	30	1	-1	1	1	1	-1	0.25	0.029	0.07	0.35
31	53	-1	1	1	1	1	-1	0.30	0.022	0.09	0.41
32	41	1	1	1	1	1	1	0.22	0.010	0.03	0.26
33	38	-2.378	0	0	0	0	0	0.30	0.000	0.00	0.30
34	40	2.378	0	0	0	0	0	0.48	0.000	0.00	0.48
35	37	0	-2.378	0	0	0	0	0.49	0.000	0.00	0.49
36	15	0	2.378	0	0	0	0	0.28	0.000	0.00	0.28
37	31	0	0	-2.378	0	0	0	0.35	0.000	0.00	0.35
38	22	0	0	2.378	0	0	0	0.45	0.000	0.00	0.45
39	13	0	0	0	-2.378	0	0	0.33	0.000	0.00	0.33
40	26	0	0	0	2.378	0	0	0.39	0.000	0.00	0.39
41	34	0	0	0	0	-2.378	0	0.62	0.000	0.00	0.62
42	5	0	0	0	0	2.378	0	0.80	0.000	0.00	0.80
43	21	0	0	0	0	0	-2.378	0.04	0.073	0.14	0.25
44	2	0	0	0	0	0	2.378	0.06	0.002	0.08	0.14

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	F	Y1	Y2	Y3	Yall
45	9	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
46	51	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
47	27	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
48	43	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
49	45	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
50	33	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
51	47	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
52	39	0	0	0	0	0	0	0.00	0.000	0.00	0.00
53	29	0	0	0	0	0	0	0.08	0.000	0.00	0.08

#### 6.1.1.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

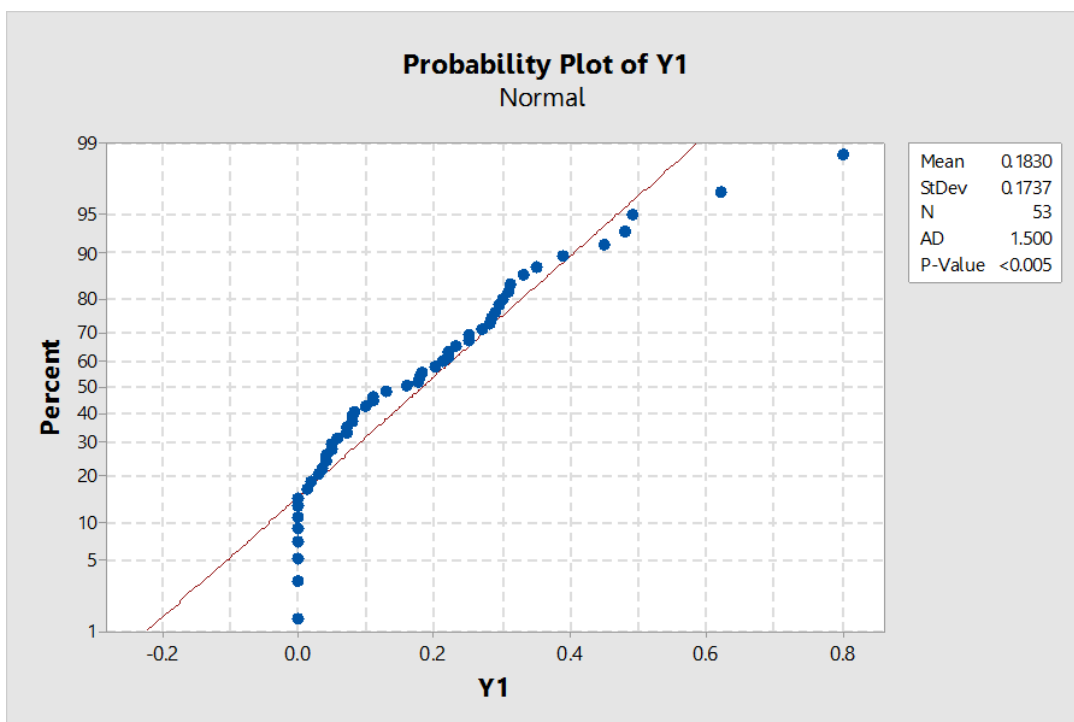
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองกับแบบจำลอง ซึ่งการตรวจสอบส่วนตกค้างนั้นจะตรวจสอบข้อมูลจากการทดลองว่าเป็นไปตามหลักการ  $e \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  หรือไม่

สมมติฐานในการทดสอบการแจกแจงของส่วนตกค้าง (residual) มีอยู่ 3 ข้อ คือ

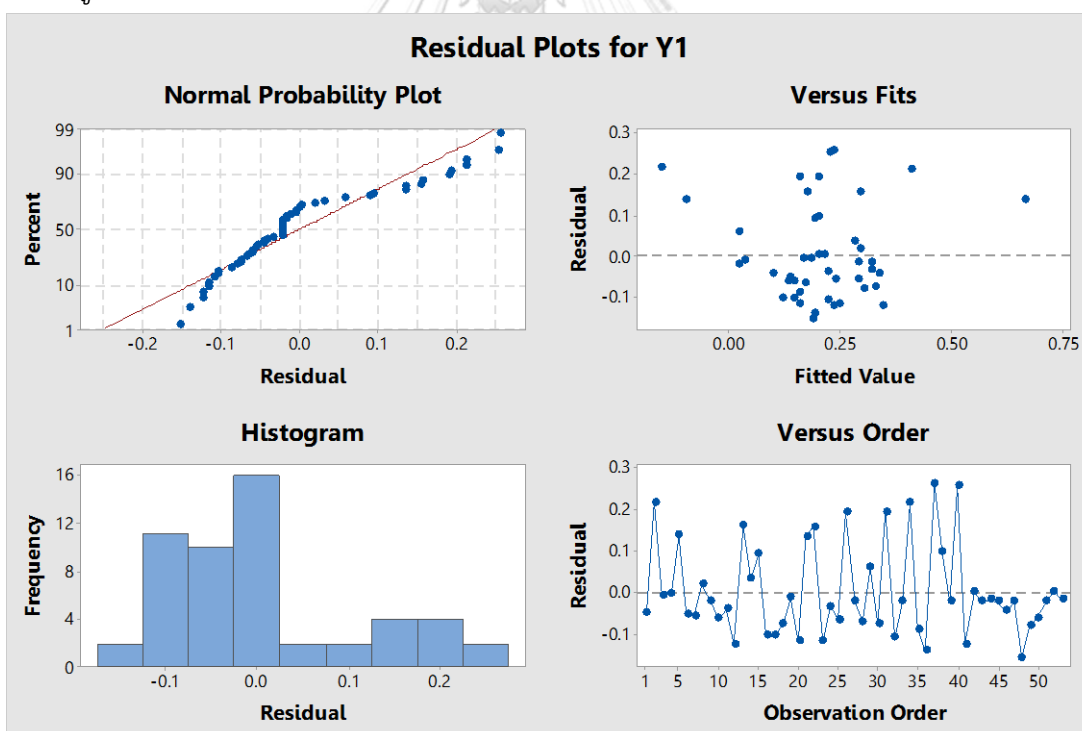
1. สมมติฐานของการแจกแจงปกติ
2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ
3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

โดยการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการตรวจสอบ

ก) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทเจต (Y1)



รูปที่ 6.1 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1)



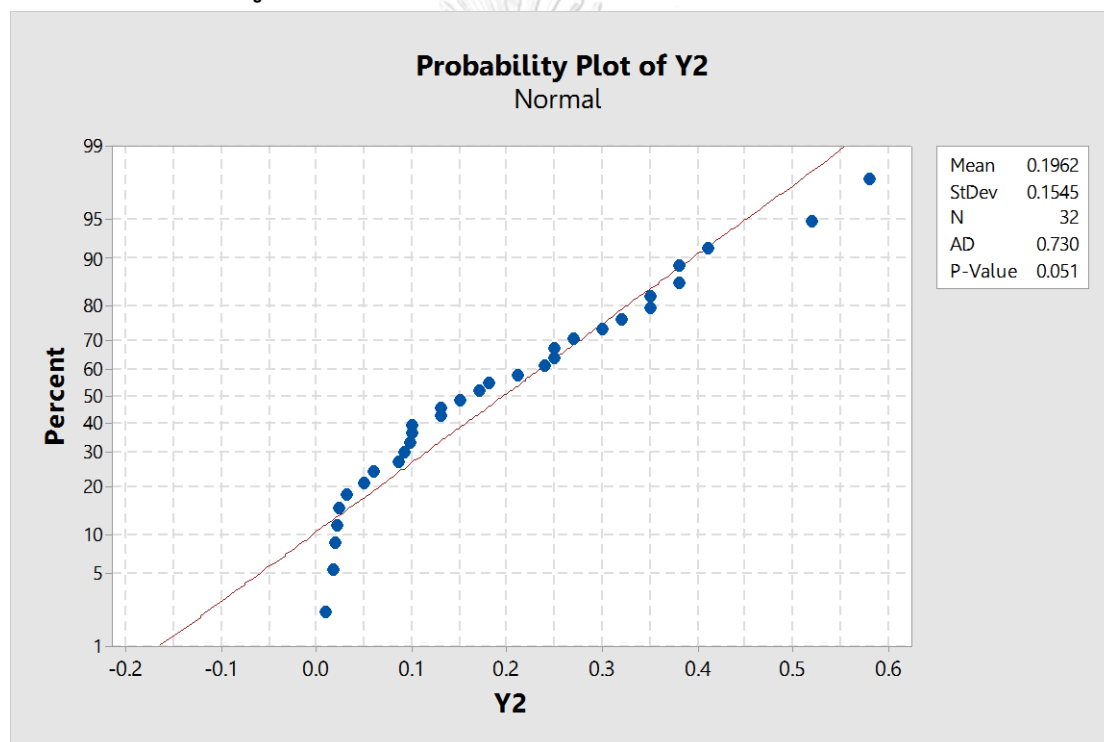
รูปที่ 6.2 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1)

จากรูปที่ 6.1 และ 6.2 พบว่า

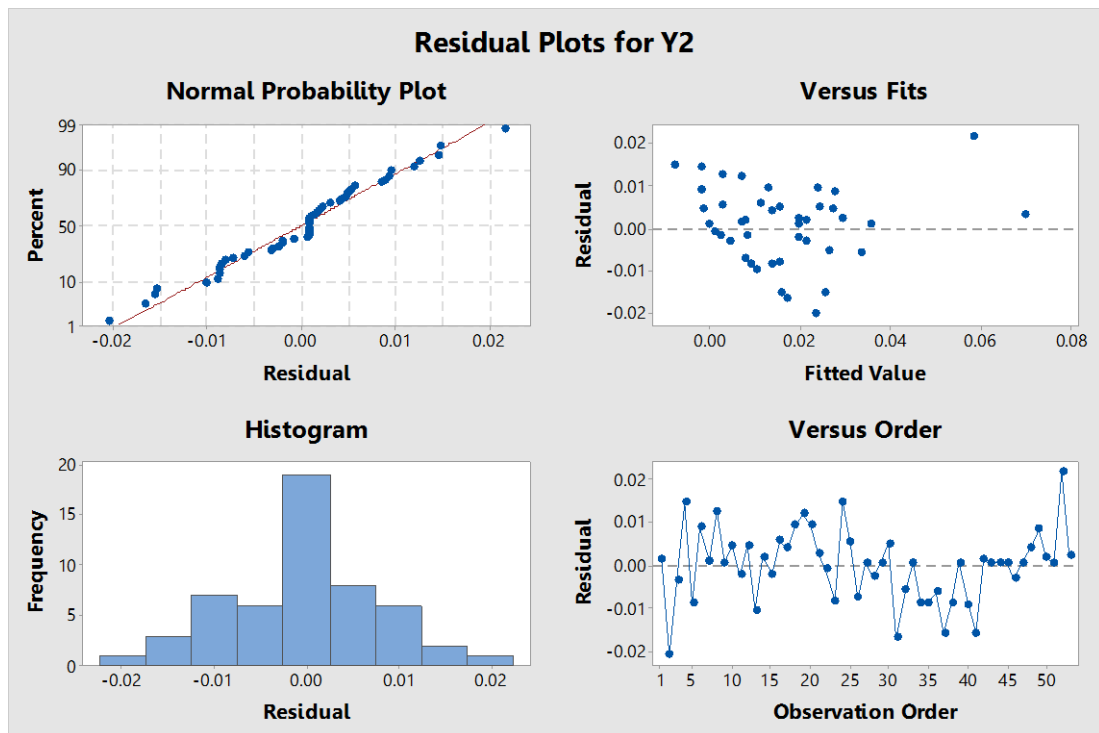


1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ เนื่องจากพบว่าค่า  $p\text{-value} < 0.05$  ดังรูปที่ 6.1 แต่เนื่องจากไม่สามารถมีวิธีใดที่สามารถแปลงค่า  $Y1$  ให้มีการแจกแจงแบบปกติได้ ดังนั้นแบบจำลองที่ได้นี้จึงอาจได้ผลที่ไม่น่าเชื่อถือเท่าที่ควร
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.2 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.2 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ข) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทยับ (Y2)



รูปที่ 6. 3 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2)

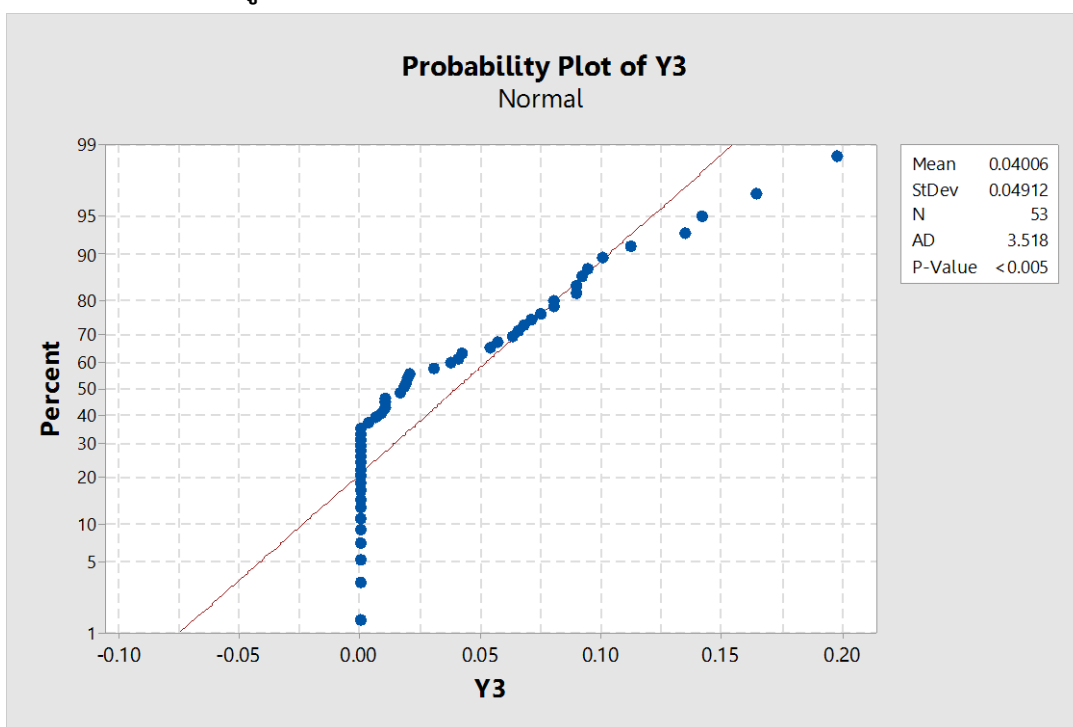


รูปที่ 6. 4 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2)

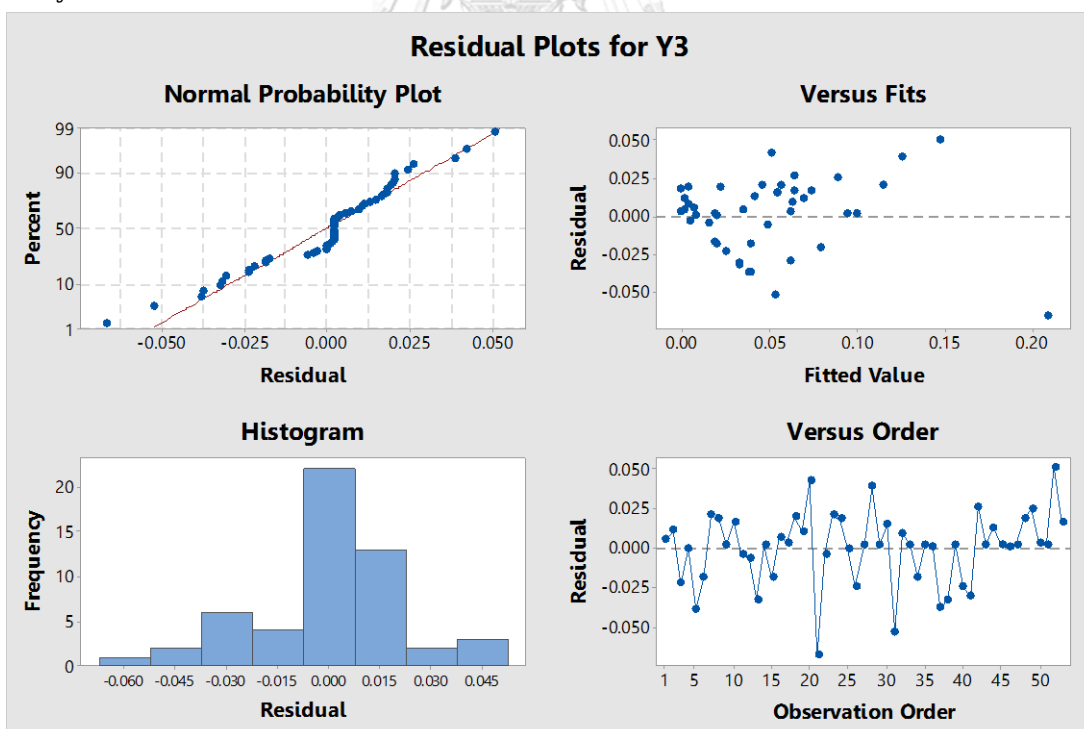
จากรูปที่ 6.3 และ 6.4 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot ดังรูปที่ 6.3 มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.4 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.4 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ค) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทหนาบาง (Y3)



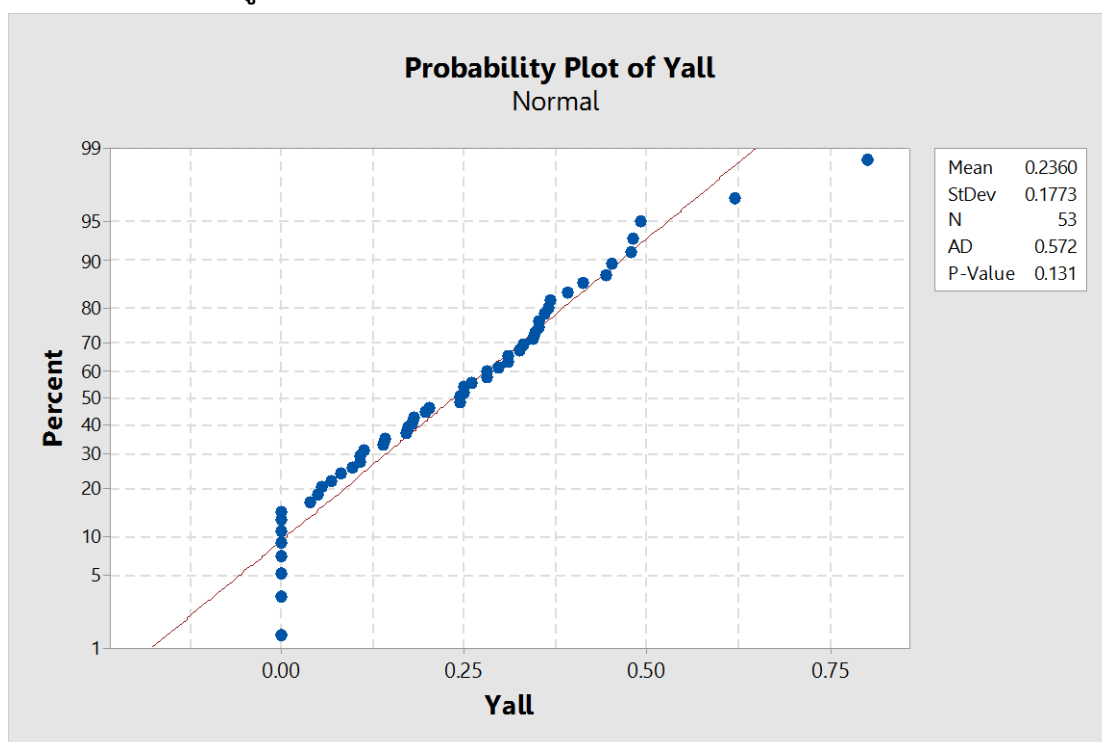
รูปที่ 6. 5 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3)



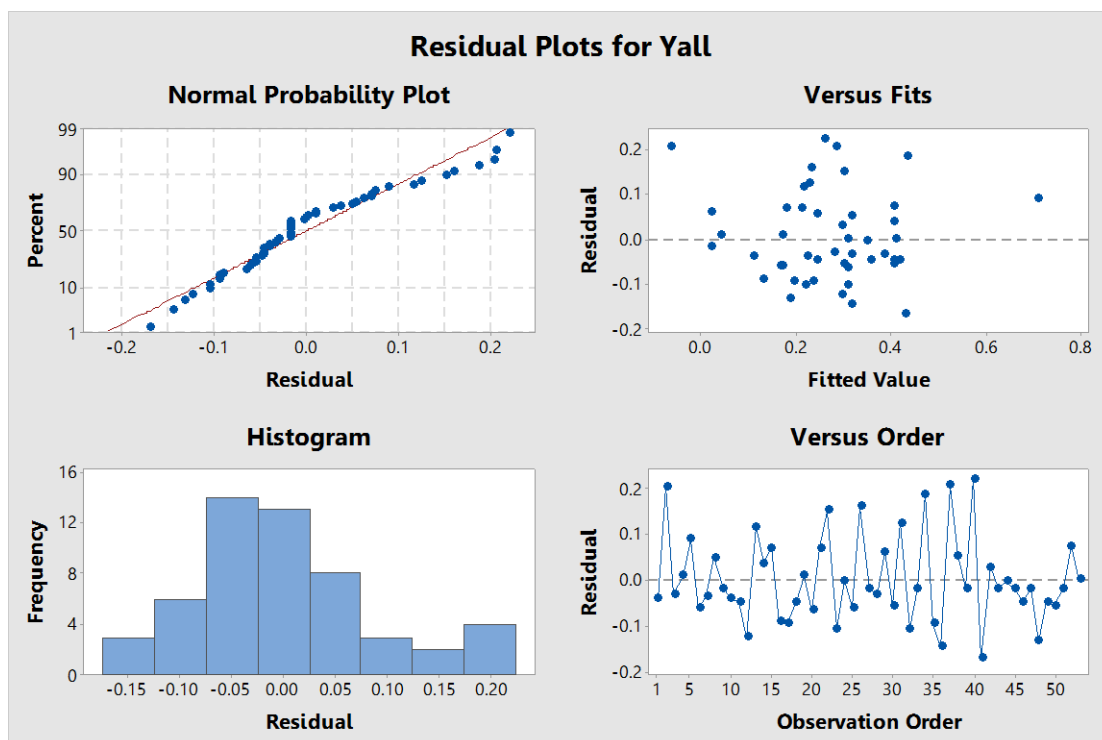
รูปที่ 6. 6 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

จากรูปที่ 6.5 และ 6.6 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ เนื่องจากพบว่าค่า p-value < 0.05 ดังรูปที่ 6.5 แต่เนื่องจากไม่สามารถมีวิธีใดที่สามารถแปลงค่า Y3 ให้มีการแจกแจงแบบปกติได้ ดังนั้นแบบจำลองที่ได้นี้จึงอาจได้ผลที่ไม่น่าเชื่อถือเท่าที่ควร
  2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.6 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
  3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.6 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน
- ง) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของของเสียรวม (Yall)



รูปที่ 6. 7 แผนภาพแสดงการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall)



รูปที่ 6. 8 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall)

จากรูปที่ 6.7 และ 6.8 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot ดังรูปที่ 6.7 มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.8 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.8 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อข้างต้น สรุปได้ว่าโดยรวมข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอย เนื่องจากในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าจะพิจารณาจากค่าของเสียรวมประเภทเจล ยับและหนาบาง (Yall) ซึ่งจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองของของเสียรวม (Yall) พบว่าถูกต้องตามข้อกำหนดได้แก่ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และข้อมูลมีค่าความแปรปรวนคงที่

#### 6.1.1.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทข้อบกพร่องเสียก่อน จากนั้นจึงจะหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำ

ให้สัดส่วนของเสียรวม (Yall) มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยโดยพิจารณาแยกแต่ละตัวแปรตอบสนอง อาจทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่ขัดแย้งกัน ซึ่งค่าที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทหนึ่งลดลงอาจทำให้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องอีกประเภทหนึ่งเพิ่มขึ้นได้ เป็นต้น เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ตัวแบบเต็มรูป (Full Model) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้



ก) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียประเภทเจล (Y1)

## Response Surface Regression: Y1 versus A, B, C, D, E, F

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	27	0.97030	0.035937	1.50	0.155
Linear	6	0.17451	0.029085	1.21	0.332
A	1	0.00124	0.001241	0.05	0.822
B	1	0.00336	0.003364	0.14	0.711
C	1	0.03596	0.035957	1.50	0.232
D	1	0.00139	0.001386	0.06	0.812
E	1	0.12629	0.126292	5.27	0.030
F	1	0.00627	0.006270	0.26	0.613
Square	6	0.72379	0.120632	5.04	0.002
A*A	1	0.06807	0.068066	2.84	0.104
B*B	1	0.06626	0.066258	2.77	0.109
C*C	1	0.07739	0.077393	3.23	0.084
D*D	1	0.04975	0.049748	2.08	0.162
E*E	1	0.49061	0.490606	20.49	0.000
F*F	1	0.04147	0.041474	1.73	0.200
2-Way Interaction	15	0.07200	0.004800	0.20	0.999
A*B	1	0.00059	0.000593	0.02	0.876
A*C	1	0.00351	0.003507	0.15	0.705
A*D	1	0.00129	0.001293	0.05	0.818
A*E	1	0.00034	0.000336	0.01	0.907
A*F	1	0.01123	0.011227	0.47	0.500
B*C	1	0.00160	0.001603	0.07	0.798
B*D	1	0.00477	0.004768	0.20	0.659
B*E	1	0.00526	0.005259	0.22	0.643
B*F	1	0.00013	0.000129	0.01	0.942
C*D	1	0.00241	0.002414	0.10	0.753
C*E	1	0.00012	0.000118	0.00	0.945
C*F	1	0.00121	0.001215	0.05	0.824
D*E	1	0.02933	0.029332	1.22	0.279
D*F	1	0.00026	0.000261	0.01	0.918
E*F	1	0.00994	0.009940	0.42	0.525
Error	25	0.59865	0.023946		
Lack-of-Fit	17	0.59296	0.034880	49.05	0.000
Pure Error	8	0.00569	0.000711		
Total	52	1.56894			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.154744	61.84%	20.64%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.0221	0.0515	0.43	0.671	
A	0.0054	0.0235	0.23	0.822	1.00
B	-0.0088	0.0235	-0.37	0.711	1.00
C	0.0288	0.0235	1.23	0.232	1.00
D	0.0057	0.0235	0.24	0.812	1.00
E	0.0540	0.0235	2.30	0.030	1.00
F	-0.0120	0.0235	-0.51	0.613	1.00
A*A	0.0339	0.0201	1.69	0.104	1.02
B*B	0.0334	0.0201	1.66	0.109	1.02
C*C	0.0361	0.0201	1.80	0.084	1.02
D*D	0.0289	0.0201	1.44	0.162	1.02
E*E	0.0909	0.0201	4.53	0.000	1.02
F*F	-0.0264	0.0201	-1.32	0.200	1.02
A*B	-0.0043	0.0274	-0.16	0.876	1.00
A*C	0.0105	0.0274	0.38	0.705	1.00
A*D	-0.0064	0.0274	-0.23	0.818	1.00
A*E	-0.0032	0.0274	-0.12	0.907	1.00
A*F	-0.0187	0.0274	-0.68	0.500	1.00
B*C	0.0071	0.0274	0.26	0.798	1.00
B*D	0.0122	0.0274	0.45	0.659	1.00
B*E	0.0128	0.0274	0.47	0.643	1.00
B*F	0.0020	0.0274	0.07	0.942	1.00
C*D	-0.0087	0.0274	-0.32	0.753	1.00
C*E	-0.0019	0.0274	-0.07	0.945	1.00
C*F	0.0062	0.0274	0.23	0.824	1.00
D*E	0.0303	0.0274	1.11	0.279	1.00
D*F	-0.0029	0.0274	-0.10	0.918	1.00
E*F	0.0176	0.0274	0.64	0.525	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 0.0221 + 0.0054 A - 0.0088 B + 0.0288 C + 0.0057 D + 0.0540 E - 0.0120 F + 0.0339 A^*A \\
 & + 0.0334 B^*B + 0.0361 C^*C + 0.0289 D^*D + 0.0909 E^*E - 0.0264 F^*F - 0.0043 A^*B \\
 & + 0.0105 A^*C - 0.0064 A^*D - 0.0032 A^*E - 0.0187 A^*F + 0.0071 B^*C + 0.0122 B^*D \\
 & + 0.0128 B^*E + 0.0020 B^*F - 0.0087 C^*D - 0.0019 C^*E + 0.0062 C^*F + 0.0303 D^*E \\
 & - 0.0029 D^*F + 0.0176 E^*F
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของเจล (Y1) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 61.84% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 20.64% โดยมีผลกระทบหลัก คือ อุณหภูมิหัวตาย (E) และเทอมกำลังสองของอุณหภูมิหัวตาย (E<sup>2</sup>) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทเจลอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระ (Backward elimination) แบบ Hierachical



Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป (Reduced Model) จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Y1 versus A, B, C, D, E, F

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	0.56377	0.281887	14.02	0.000
Linear	1	0.12629	0.126292	6.28	0.015
E	1	0.12629	0.126292	6.28	0.015
Square	1	0.43748	0.437482	21.76	0.000
E*E	1	0.43748	0.437482	21.76	0.000
Error	50	1.00517	0.020103		
Lack-of-Fit	42	0.99948	0.023797	33.46	0.000
Pure Error	8	0.00569	0.000711		
Total	52	1.56894			

### Model Summary

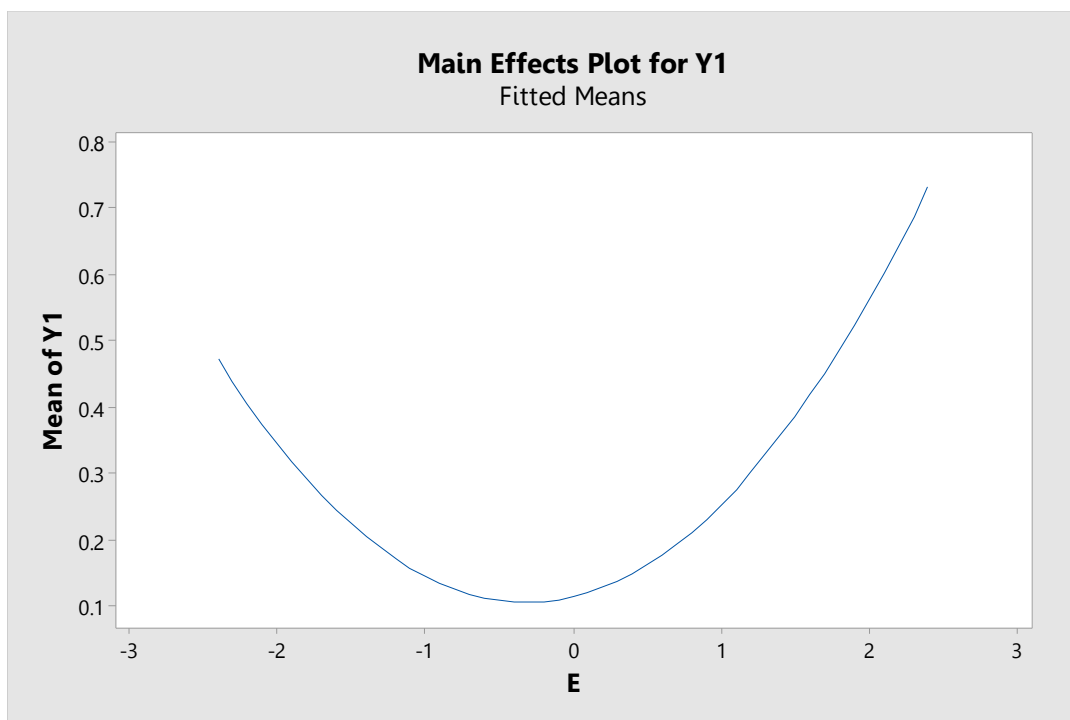
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.141786	35.93%	33.37%	24.67%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1135	0.0245	4.63	0.000	
E	0.0540	0.0215	2.51	0.015	1.00
E*E	0.0850	0.0182	4.66	0.000	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y1 = 0.1135 + 0.0540 E + 0.0850 E^2$$



รูปที่ 6. 9 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1)

จากการวิเคราะห์การลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 35.93% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 33.37% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปจะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทเจล (Y1) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลักของ อุณหภูมิหัวตาย (E) และ เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหัวตาย ( $E^2$ )

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักจากรูปที่ 6.9 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำของอุณหภูมิหัวตายจะมีของเสียประเภทเจลเกิดขึ้นมากและลดน้อยลงจนต่ำสุดที่ใกล้เคียงระดับกลางจากนั้นของเสียจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนไปที่ระดับสูง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิของหัวตายมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดความร้อนมากเกินไปจึงเกิดเม็ดเจลบนฟิล์ม ซึ่งจะเป็นลักษณะเจลดำ แต่หากอุณหภูมิต่ำเกินไปก็จะเกิดของเสียประเภทเจลด้วยเช่นกัน แต่เป็นลักษณะของเจลใส เนื่องจากความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกมีไม่พอ อีกทั้งยังทำให้เกิดถุงที่มีสีขาวขุ่นอีกด้วยซึ่งปกติจะเป็นลักษณะฟิล์มใส

## ข) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียประเภทยับ (Y2)

**Response Surface Regression: Y2 versus A, B, C, D, E, F****Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	27	0.011404	0.000422	2.91	0.004
Linear	6	0.004994	0.000832	5.73	0.001
A	1	0.000000	0.000000	0.00	0.989
B	1	0.000356	0.000356	2.45	0.130
C	1	0.000484	0.000484	3.33	0.080
D	1	0.000015	0.000015	0.10	0.752
E	1	0.000000	0.000000	0.00	1.000
F	1	0.004139	0.004139	28.49	0.000
Square	6	0.004379	0.000730	5.02	0.002
A*A	1	0.000168	0.000168	1.16	0.292
B*B	1	0.000168	0.000168	1.16	0.292
C*C	1	0.000168	0.000168	1.16	0.292
D*D	1	0.000168	0.000168	1.16	0.292
E*E	1	0.000168	0.000168	1.16	0.292
F*F	1	0.004104	0.004104	28.25	0.000
2-Way Interaction	15	0.002031	0.000135	0.93	0.544
A*B	1	0.000006	0.000006	0.04	0.840
A*C	1	0.000116	0.000116	0.80	0.380
A*D	1	0.000288	0.000288	1.98	0.171
A*E	1	0.000219	0.000219	1.50	0.231
A*F	1	0.000041	0.000041	0.28	0.602
B*C	1	0.000452	0.000452	3.11	0.090
B*D	1	0.000509	0.000509	3.50	0.073
B*E	1	0.000043	0.000043	0.29	0.592
B*F	1	0.000122	0.000122	0.84	0.369
C*D	1	0.000000	0.000000	0.00	0.980
C*E	1	0.000103	0.000103	0.71	0.408
C*F	1	0.000049	0.000049	0.34	0.567
D*E	1	0.000048	0.000048	0.33	0.569
D*F	1	0.000016	0.000016	0.11	0.741
E*F	1	0.000020	0.000020	0.14	0.714
Error	25	0.003631	0.000145		
Lack-of-Fit	17	0.003631	0.000214	*	*
Pure Error	8	0.000000	0.000000		
Total	52	0.015036			

**Model Summary**

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0120521	75.85%	49.76%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0.00067	0.00401	-0.17	0.868	
A	0.00003	0.00183	0.01	0.989	1.00
B	-0.00287	0.00183	-1.57	0.130	1.00
C	-0.00334	0.00183	-1.83	0.080	1.00
D	-0.00058	0.00183	-0.32	0.752	1.00
E	0.00000	0.00183	0.00	1.000	1.00
F	-0.00978	0.00183	-5.34	0.000	1.00
A*A	0.00168	0.00156	1.08	0.292	1.02
B*B	0.00168	0.00156	1.08	0.292	1.02
C*C	0.00168	0.00156	1.08	0.292	1.02
D*D	0.00168	0.00156	1.08	0.292	1.02
E*E	0.00168	0.00156	1.08	0.292	1.02
F*F	0.00831	0.00156	5.32	0.000	1.02
A*B	0.00044	0.00213	0.20	0.840	1.00
A*C	0.00190	0.00213	0.89	0.380	1.00
A*D	0.00300	0.00213	1.41	0.171	1.00
A*E	0.00261	0.00213	1.23	0.231	1.00
A*F	0.00113	0.00213	0.53	0.602	1.00
B*C	0.00376	0.00213	1.76	0.090	1.00
B*D	0.00399	0.00213	1.87	0.073	1.00
B*E	0.00116	0.00213	0.54	0.592	1.00
B*F	0.00195	0.00213	0.92	0.369	1.00
C*D	-0.00005	0.00213	-0.03	0.980	1.00
C*E	0.00179	0.00213	0.84	0.408	1.00
C*F	0.00124	0.00213	0.58	0.567	1.00
D*E	0.00123	0.00213	0.58	0.569	1.00
D*F	0.00071	0.00213	0.33	0.741	1.00
E*F	0.00079	0.00213	0.37	0.714	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y2 = & -0.00067 + 0.00003 A - 0.00287 B - 0.00334 C - 0.00058 D + 0.00000 E - 0.00978 F \\
 & + 0.00168 A*A + 0.00168 B*B + 0.00168 C*C + 0.00168 D*D + 0.00168 E*E + 0.00831 F*F \\
 & + 0.00044 A*B + 0.00190 A*C + 0.00300 A*D + 0.00261 A*E + 0.00113 A*F + 0.00376 B*C \\
 & + 0.00399 B*D + 0.00116 B*E + 0.00195 B*F - 0.00005 C*D + 0.00179 C*E + 0.00124 C*F \\
 & + 0.00123 D*E + 0.00071 D*F + 0.00079 E*F
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของยັบ (Y2) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 75.85% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 49.76% โดยมีผลกระทบหลัก คือ ความเร็วมอเตอร์ซักรู (F) และเทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ซักรู (F<sup>2</sup>) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทยับอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Y2 versus A, B, C, D, E, F

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	0.007866	0.003933	27.43	0.000
Linear	1	0.004139	0.004139	28.86	0.000
F	1	0.004139	0.004139	28.86	0.000
Square	1	0.003727	0.003727	25.99	0.000
F*F	1	0.003727	0.003727	25.99	0.000
Error	50	0.007170	0.000143		
Lack-of-Fit	42	0.007170	0.000171	*	*
Pure Error	8	0.000000	0.000000		
Total	52	0.015036			

### Model Summary

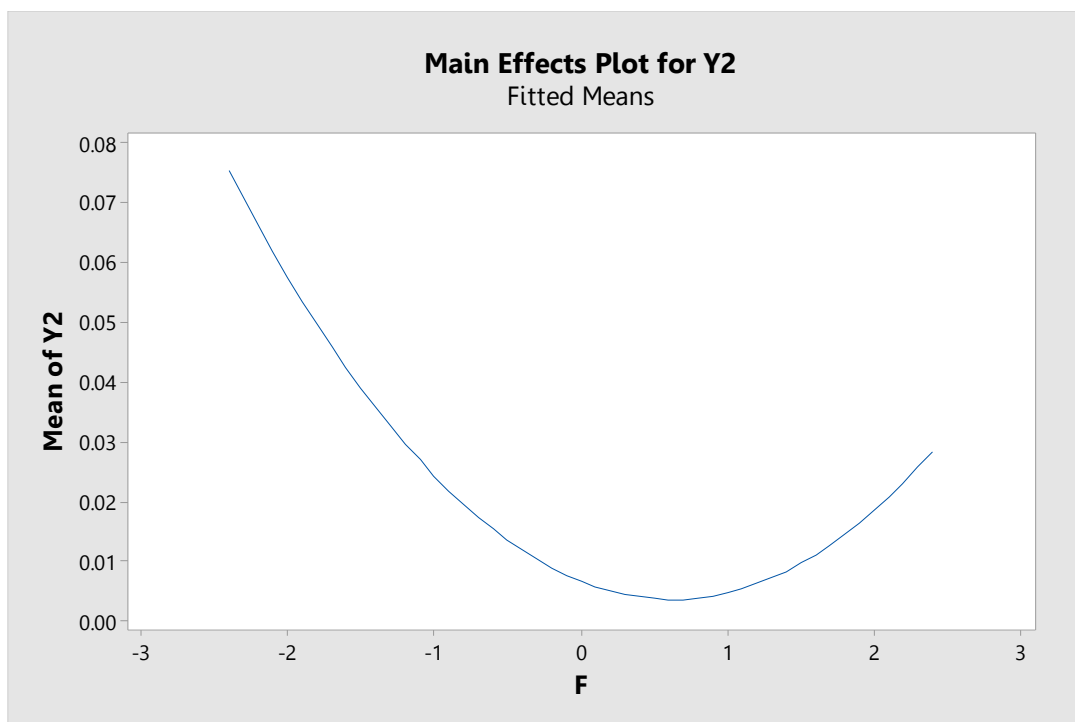
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0119747	52.32%	50.41%	33.02%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.00659	0.00207	3.18	0.003	
F	-0.00978	0.00182	-5.37	0.000	1.00
F*F	0.00784	0.00154	5.10	0.000	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y2 = 0.00659 - 0.00978 F + 0.00784 F^2$$



รูปที่ 6. 10 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทยับ (Y2)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 52.32% และ  $R^2_{adj}$  50.41% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปจะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทยับ (Y2) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลักของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) และ เทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $F^2$ )

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักจากรูปที่ 6.10 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทยับเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและค่อยๆ ลดลงจนน้อยสุดที่ระดับใกล้เคียงกลาง จากนั้นของเสียจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ที่ระดับสูงขึ้นไป เนื่องจากปัญหาของเสียเรื่องยับ จะขึ้นตรงกับค่าความหนาบางของฟิล์ม เมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวได้ช้าและไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ก่อนส่งผ่านไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปจึงส่งผลให้มีเนื้อพลาสติกออกมาได้น้อยเป็นผลให้ฟิล์มบางจึงเกิดการยับได้ง่าย แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจะทำให้บดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกหลอมถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนความหนาบางซึ่งเป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้

ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องการยับได้เช่นกัน

ค) ผลการทดลองของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

Response Surface Regression: Y3 versus A, B, C, D, E, F					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	27	0.098953	0.003665	3.45	0.001
Linear	6	0.043769	0.007295	6.88	0.000
A	1	0.000139	0.000139	0.13	0.720
B	1	0.000681	0.000681	0.64	0.430
C	1	0.004581	0.004581	4.32	0.048
D	1	0.000125	0.000125	0.12	0.735
E	1	0.000801	0.000801	0.75	0.393
F	1	0.037442	0.037442	35.29	0.000
Square	6	0.039947	0.006658	6.28	0.000
A*A	1	0.001689	0.001689	1.59	0.219
B*B	1	0.001689	0.001689	1.59	0.219
C*C	1	0.001689	0.001689	1.59	0.219
D*D	1	0.001689	0.001689	1.59	0.219
E*E	1	0.001689	0.001689	1.59	0.219
F*F	1	0.037020	0.037020	34.89	0.000
2-Way Interaction	15	0.015237	0.001016	0.96	0.522
A*B	1	0.000334	0.000334	0.31	0.580
A*C	1	0.000127	0.000127	0.12	0.732
A*D	1	0.003174	0.003174	2.99	0.096
A*E	1	0.000001	0.000001	0.00	0.981
A*F	1	0.001138	0.001138	1.07	0.310
B*C	1	0.003019	0.003019	2.85	0.104
B*D	1	0.000593	0.000593	0.56	0.461
B*E	1	0.000659	0.000659	0.62	0.438
B*F	1	0.000015	0.000015	0.01	0.907
C*D	1	0.001316	0.001316	1.24	0.276
C*E	1	0.000698	0.000698	0.66	0.425
C*F	1	0.003007	0.003007	2.83	0.105
D*E	1	0.000292	0.000292	0.28	0.604
D*F	1	0.000808	0.000808	0.76	0.391
E*F	1	0.000056	0.000056	0.05	0.820
Error	25	0.026522	0.001061		
Lack-of-Fit	17	0.026522	0.001560	*	*
Pure Error	8	0.000000	0.000000		
Total	52	0.125475			
<b>Model Summary</b>					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0.0325714	78.86%	56.03%	0.00%	

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0.0021	0.0108	-0.20	0.845	
A	-0.00179	0.00495	-0.36	0.720	1.00
B	-0.00397	0.00495	-0.80	0.430	1.00
C	-0.01028	0.00495	-2.08	0.048	1.00
D	-0.00170	0.00495	-0.34	0.735	1.00
E	0.00430	0.00495	0.87	0.393	1.00
F	-0.02940	0.00495	-5.94	0.000	1.00
A*A	0.00533	0.00423	1.26	0.219	1.02
B*B	0.00533	0.00423	1.26	0.219	1.02
C*C	0.00533	0.00423	1.26	0.219	1.02
D*D	0.00533	0.00423	1.26	0.219	1.02
E*E	0.00533	0.00423	1.26	0.219	1.02
F*F	0.02497	0.00423	5.91	0.000	1.02
A*B	-0.00323	0.00576	-0.56	0.580	1.00
A*C	0.00199	0.00576	0.35	0.732	1.00
A*D	0.00996	0.00576	1.73	0.096	1.00
A*E	-0.00014	0.00576	-0.02	0.981	1.00
A*F	0.00596	0.00576	1.04	0.310	1.00
B*C	0.00971	0.00576	1.69	0.104	1.00
B*D	0.00431	0.00576	0.75	0.461	1.00
B*E	0.00454	0.00576	0.79	0.438	1.00
B*F	0.00068	0.00576	0.12	0.907	1.00
C*D	0.00641	0.00576	1.11	0.276	1.00
C*E	-0.00467	0.00576	-0.81	0.425	1.00
C*F	0.00969	0.00576	1.68	0.105	1.00
D*E	0.00302	0.00576	0.52	0.604	1.00
D*F	0.00502	0.00576	0.87	0.391	1.00
E*F	0.00132	0.00576	0.23	0.820	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned}
 Y3 = & -0.0021 - 0.00179 A - 0.00397 B - 0.01028 C - 0.00170 D + 0.00430 E - 0.02940 F \\
 & + 0.00533 A*A + 0.00533 B*B + 0.00533 C*C + 0.00533 D*D + 0.00533 E*E + 0.02497 F*F \\
 & - 0.00323 A*B + 0.00199 A*C + 0.00996 A*D - 0.00014 A*E + 0.00596 A*F + 0.00971 B*C \\
 & + 0.00431 B*D + 0.00454 B*E + 0.00068 B*F + 0.00641 C*D - 0.00467 C*E + 0.00969 C*F \\
 & + 0.00302 D*E + 0.00502 D*F + 0.00132 E*F
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของหนาบาง (Y3) นั้นจะได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 78.86% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 56.03% โดยมีผลกระทบหลัก คือ อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) และ เทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $F^2$ ) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทหนาบางอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ และได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้



## Response Surface Regression: Y3 versus A, B, C, D, E, F

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.075419	0.025140	24.61	0.000
Linear	2	0.042023	0.021012	20.57	0.000
C	1	0.004581	0.004581	4.48	0.039
F	1	0.037442	0.037442	36.65	0.000
Square	1	0.033395	0.033395	32.69	0.000
F*F	1	0.033395	0.033395	32.69	0.000
Error	49	0.050057	0.001022		
Lack-of-Fit	41	0.050057	0.001221	*	*
Pure Error	8	0.000000	0.000000		
Total	52	0.125475			

### Model Summary

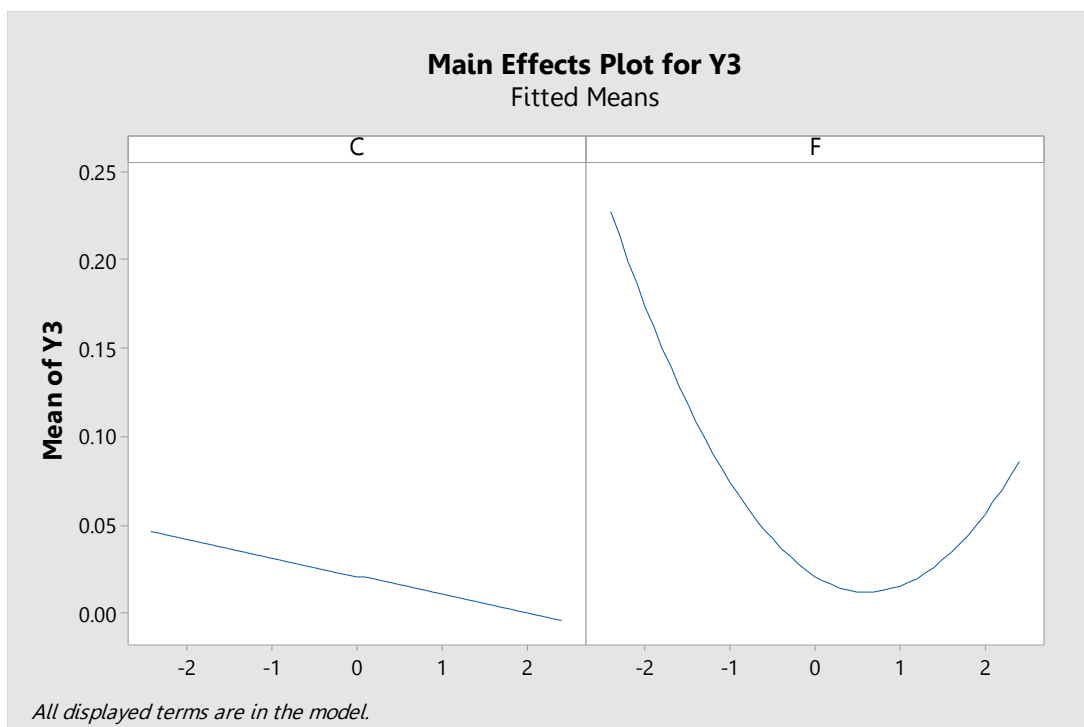
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0319619	60.11%	57.66%	35.69%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.02088	0.00553	3.78	0.000	
C	-0.01028	0.00486	-2.12	0.039	1.00
F	-0.02940	0.00486	-6.05	0.000	1.00
F*F	0.02347	0.00411	5.72	0.000	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y3 = 0.02088 - 0.01028 C - 0.02940 F + 0.02347 F^2$$



รูปที่ 6. 11 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 60.11% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 57.66% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูป จะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) และ เทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F<sup>2</sup>)

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักจากรูปที่ 6.11 ทางด้านซ้ายจะเป็นกราฟผลกระทบหลักของอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) ซึ่งกราฟมีลักษณะเป็นตรงที่มีความชันลดลง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทหนาบางเกิดขึ้นมากและค่อยๆลดลงจนมีของเสียเกิดขึ้นน้อยสุดเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ระดับสูง เนื่องจาก กระบอกสูบส่วนท้าย (C) นี้จะใช้อุณหภูมิที่สูงเพื่อให้เกิดแรงดันในการอัดฉีดพลาสติกหลอมเพื่อส่งไปยังส่วนถัดไปเพื่อขึ้นรูป เมื่อพลาสติกหลอมถูกหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้สมบูรณ์จึงทำให้พลาสติกไหลได้ต่อเนื่องส่งผลให้ความหนาบางมีความสม่ำเสมอ แต่หากอุณหภูมิกระบอกส่วนท้ายมีค่าน้อยไปจึงไม่สามารถหลอมละลายเม็ดพลาสติกได้สมบูรณ์ทำให้พลาสติกไหลได้ไม่ต่อเนื่อง มีปริมาณพลาสติกหลอมน้อยจึงส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอ

ทางด้านขวาของรูปที่ 6.11 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทหนาบางเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและค่อยๆลดลงจนน้อยสุดที่ใกล้เคียงระดับกลาง จากนั้นของ

เสียจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ที่ระดับสูงขึ้นไป เนื่องจากเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวได้ช้าและไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ก่อนส่งผ่านไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปจึงส่งผลให้มีเนื้อพลาสติกออกมาได้น้อยเป็นผลให้ฟิล์มบาง แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจะสามารถผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องความหนบางไม่สม่ำเสมอ

เนื่องจากปัจจัยนำเข้าส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนบาง (Y3) แตกต่างกันไป ผลที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า (Response Optimizer) อาจจะทำให้ของเสียประเภทเจล (Y1) ลดลง แต่ส่งผลต่อของเสียประเภทอื่นสูงขึ้น เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการรวมปัญหาของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนบาง (Y3) เข้าด้วยกัน และหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าของการทดลองนี้ เพื่อให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องรวม (Yall) น้อยที่สุด

## ง) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall)

Response Surface Regression: Yall versus A, B, C, D, E, F					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	27	1.18715	0.043969	2.46	0.013
Linear	6	0.28242	0.047071	2.63	0.041
A	1	0.00056	0.000557	0.03	0.861
B	1	0.01060	0.010603	0.59	0.449
C	1	0.00999	0.009985	0.56	0.462
D	1	0.00049	0.000494	0.03	0.869
E	1	0.14721	0.147205	8.22	0.008
F	1	0.11358	0.113580	6.34	0.019
Square	6	0.79101	0.131835	7.36	0.000
A*A	1	0.09920	0.099198	5.54	0.027
B*B	1	0.09701	0.097013	5.42	0.028
C*C	1	0.11040	0.110397	6.16	0.020
D*D	1	0.07679	0.076788	4.29	0.049
E*E	1	0.56926	0.569265	31.79	0.000
F*F	1	0.00279	0.002790	0.16	0.696
2-Way Interaction	15	0.11372	0.007581	0.42	0.957
A*B	1	0.00161	0.001612	0.09	0.767
A*C	1	0.00661	0.006607	0.37	0.549
A*D	1	0.00140	0.001396	0.08	0.782
A*E	1	0.00002	0.000019	0.00	0.974
A*F	1	0.00434	0.004336	0.24	0.627
B*C	1	0.01351	0.013513	0.75	0.393
B*D	1	0.01345	0.013450	0.75	0.394
B*E	1	0.01097	0.010968	0.61	0.441
B*F	1	0.00069	0.000686	0.04	0.846
C*D	1	0.00017	0.000174	0.01	0.922
C*E	1	0.00074	0.000736	0.04	0.841
C*F	1	0.00935	0.009348	0.52	0.477
D*E	1	0.03814	0.038142	2.13	0.157
D*F	1	0.00027	0.000266	0.01	0.904
E*F	1	0.01247	0.012466	0.70	0.412
Error	25	0.44771	0.017908		
Lack-of-Fit	17	0.44202	0.026001	36.56	0.000
Pure Error	8	0.00569	0.000711		
Total	52	1.63486			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.133822	72.62%	43.04%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.0193	0.0445	0.43	0.668	
A	0.0036	0.0203	0.18	0.861	1.00
B	-0.0156	0.0203	-0.77	0.449	1.00
C	0.0152	0.0203	0.75	0.462	1.00
D	0.0034	0.0203	0.17	0.869	1.00
E	0.0583	0.0203	2.87	0.008	1.00
F	-0.0512	0.0203	-2.52	0.019	1.00
A*A	0.0409	0.0174	2.35	0.027	1.02
B*B	0.0404	0.0174	2.33	0.028	1.02
C*C	0.0431	0.0174	2.48	0.020	1.02
D*D	0.0360	0.0174	2.07	0.049	1.02
E*E	0.0979	0.0174	5.64	0.000	1.02
F*F	0.0069	0.0174	0.39	0.696	1.02
A*B	-0.0071	0.0237	-0.30	0.767	1.00
A*C	0.0144	0.0237	0.61	0.549	1.00
A*D	0.0066	0.0237	0.28	0.782	1.00
A*E	-0.0008	0.0237	-0.03	0.974	1.00
A*F	-0.0116	0.0237	-0.49	0.627	1.00
B*C	0.0205	0.0237	0.87	0.393	1.00
B*D	0.0205	0.0237	0.87	0.394	1.00
B*E	0.0185	0.0237	0.78	0.441	1.00
B*F	0.0046	0.0237	0.20	0.846	1.00
C*D	-0.0023	0.0237	-0.10	0.922	1.00
C*E	-0.0048	0.0237	-0.20	0.841	1.00
C*F	0.0171	0.0237	0.72	0.477	1.00
D*E	0.0345	0.0237	1.46	0.157	1.00
D*F	0.0029	0.0237	0.12	0.904	1.00
E*F	0.0197	0.0237	0.83	0.412	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y_{all} = & 0.0193 + 0.0036 A - 0.0156 B + 0.0152 C + 0.0034 D + 0.0583 E - 0.0512 F + 0.0409 A*A \\
 & + 0.0404 B*B + 0.0431 C*C + 0.0360 D*D + 0.0979 E*E + 0.0069 F*F - 0.0071 A*B \\
 & + 0.0144 A*C + 0.0066 A*D - 0.0008 A*E - 0.0116 A*F + 0.0205 B*C + 0.0205 B*D \\
 & + 0.0185 B*E + 0.0046 B*F - 0.0023 C*D - 0.0048 C*E + 0.0171 C*F + 0.0345 D*E \\
 & + 0.0029 D*F + 0.0197 E*F
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของของเสียรวม (Yall) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 72.62% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 43.04% โดยมีผลกระทบหลัก คือ อุณหภูมิหัวตาย (E) และ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) และ เทอมกำลังสองของ A B C D E ที่มีผลกระทบต่อของเสียรวมอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ และได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierachical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Yall versus A, B, C, D, E, F

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	11	1.07065	0.097332	7.07	0.000
Linear	6	0.28242	0.047071	3.42	0.008
A	1	0.00056	0.000557	0.04	0.842
B	1	0.01060	0.010603	0.77	0.385
C	1	0.00999	0.009985	0.73	0.399
D	1	0.00049	0.000494	0.04	0.851
E	1	0.14721	0.147205	10.70	0.002
F	1	0.11358	0.113580	8.25	0.006
Square	5	0.78822	0.157645	11.46	0.000
A*A	1	0.09732	0.097317	7.07	0.011
B*B	1	0.09515	0.095147	6.91	0.012
C*C	1	0.10844	0.108441	7.88	0.008
D*D	1	0.07508	0.075079	5.46	0.024
E*E	1	0.56648	0.566478	41.16	0.000
Error	41	0.56421	0.013761		
Lack-of-Fit	33	0.55852	0.016925	23.80	0.000
Pure Error	8	0.00569	0.000711		
Total	52	1.63486			

### Model Summary

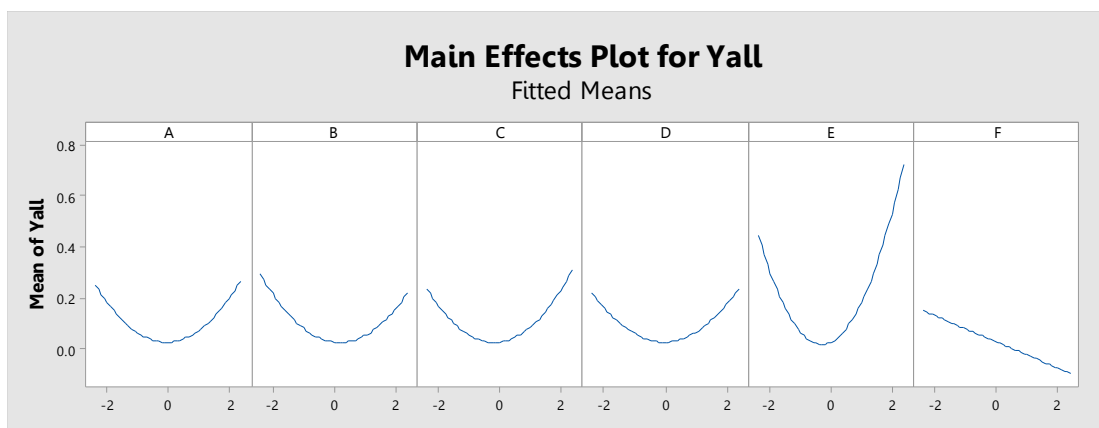
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.117309	65.49%	56.23%	3.44%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.0270	0.0352	0.77	0.448	
A	0.0036	0.0178	0.20	0.842	1.00
B	-0.0156	0.0178	-0.88	0.385	1.00
C	0.0152	0.0178	0.85	0.399	1.00
D	0.0034	0.0178	0.19	0.851	1.00
E	0.0583	0.0178	3.27	0.002	1.00
F	-0.0512	0.0178	-2.87	0.006	1.00
A*A	0.0404	0.0152	2.66	0.011	1.02
B*B	0.0399	0.0152	2.63	0.012	1.02
C*C	0.0426	0.0152	2.81	0.008	1.02
D*D	0.0355	0.0152	2.34	0.024	1.02
E*E	0.0974	0.0152	6.42	0.000	1.02

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Yall} = 0.0270 + 0.0036 A - 0.0156 B + 0.0152 C + 0.0034 D + 0.0583 E - 0.0512 F + 0.0404 A^*A + 0.0399 B^*B + 0.0426 C^*C + 0.0355 D^*D + 0.0974 E^*E$$



รูปที่ 6. 12 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 65.49% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 56.23% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูป จะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียรวม (Yall) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิหัวตาย (E) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) และเทอมกำลังสองของอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น ( $A^2$ ) อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง ( $B^2$ ) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย ( $C^2$ ) อุณหภูมิหน้าแปลน ( $D^2$ ) และ อุณหภูมิหัวตาย ( $E^2$ )

จากรูปที่ 6.12 สามารถวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและสัดส่วนของเสียรวม นั้นจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งได้แก่ปัจจัยนำเข้า อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) อุณหภูมิหน้าแปลน (D) และ อุณหภูมิหัวตาย (E) คือ มีของเสียรวมเกิดขึ้นสูงเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ระดับต่ำและจะค่อยๆลดลงเมื่อระดับเข้าใกล้ระดับกลาง จากนั้นของเสียรวมจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากระดับกลางไปที่ระดับสูง ส่วนปัจจัยความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) นั้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีค่าลดลง กล่าวคือปัจจัยนำเข้าทุกปัจจัยที่มีผลต่อของเสียรวม (Yall) นั้นจะเป็นในเรื่องของอุณหภูมิในแต่ละส่วน เนื่องจากอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อปัญหาของเสียเรื่องเจล (Y1) และของเสียเรื่องเจลนั้นมีสัดส่วนสูงที่สุดจากทั้งสามปัญหาเจล ยับ และหนาบาง ดังนั้นจึงทำให้ปัจจัยนำเข้าเรื่องอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อของเสียรวม (Yall) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- อุณหภูมิกระบอก

อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) ทำหน้าที่อัดฉีดและส่งผ่านเม็ดพลาสติกจากกรวยเพื่อหลอมเม็ดพลาสติก และส่งต่อไปยัง

ส่วนถัดไปเนื่องจากภายในกระบอกลูกสูบจะมีสกรูที่ถูกควบคุมความเร็วด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน เมื่ออุณหภูมิในกระบอกลูกสูบบมีค่าต่ำเกินไป ทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลวไม่หมดและไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อส่งผ่านไปยังส่วนถัดไปเพื่อขึ้นรูปก็จะเกิดของเสียลักษณะเจลใส และปริมาณเนื้อพลาสติกที่หลอมละลายได้ก็มีปริมาณน้อยเกินไปเป็นผลให้เกิดของเสียประเภทหนาบาง และเมื่อความหนาบางไม่เท่ากันทุกส่วนเมื่อฟิล์มถูกอัดรีดด้วยลูกกลิ้งก็จะทำให้เกิดการยับตามมา และหากอุณหภูมิกระบอกลูกสูบบมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายเร็วเกินไป และเกิดความร้อนภายในบริเวณกระบอกลูกสูบทำให้พลาสติกเกิดการไหม้เป็นผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำ

- อุณหภูมิหน้าแปลน (D)

เป็นส่วนสุดท้ายของช่วงหลอมก่อนส่งผ่านไปยังหัวตาย ทำหน้าที่หลอมพลาสติกให้กลายเป็นเนื้อเดียวกันเช่นกัน ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนสูงไปจะทำให้โป่งสั้นและสายซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากันได้ จึงส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบางและยับตามมา แต่หากอุณหภูมิหน้าแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตาย พลาสติกจึงเกิดการหลอมละลายมากขึ้นเรื่อยๆ ในส่วนที่ถูกแรงดันจากภายในขับออกมาเพื่อขึ้นรูปนั้นก็ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำได้เนื่องจากพลาสติกหลอมเกิดการไหม้ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบางได้เช่นกันเนื่องจากมีปริมาณพลาสติกไหลออกมาได้ไม่มากพอ

- อุณหภูมิหัวตาย (E)

หัวตายทำหน้าที่ขึ้นรูปถุงพลาสติก เมื่อได้รับลมก็จะถูกเป่าให้ขยายออกเป็นลักษณะคล้ายลูกโป่งทอดยาวตลอดก่อนจะเข้าสู่เครื่องรีดเพื่อให้ได้ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆต่อไป โดยค่าอุณหภูมิควรจะไม่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิหน้าแปลนไม่ห่างกันมากนักเพื่อคงสภาพสถานะของพลาสติกหลอม เมื่ออุณหภูมิของหัวตายมีค่ามากเกินไปขึ้นทำให้เกิดความร้อนมากเกินไปทำให้พลาสติกเกิดการไหม้จึงเกิดเม็ดเจลบนฟิล์ม ซึ่งจะเป็นลักษณะเจลดำ แต่หากอุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้มีความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกไม่มากพอที่จะเกิดของเสียประเภทเจลด้วยเช่นกัน แต่เป็นลักษณะของเจลใส โดยจะเกิดเจลใสในกรณีที่มีเม็ดพลาสติกบางส่วนยังไม่ถูกหลอมละลายอย่างสมบูรณ์จากในบริเวณกระบอกลูกสูบแล้วถูกส่งผ่านไปยังหัวตาย อีกทั้งยังทำให้เกิดถุงที่มีสีขาวขุ่นอีกด้วยซึ่งปกติจะเป็นลักษณะฟิล์มใส



- ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F)

เป็นตัวกำหนดความเร็วของสกรูในกระบอกสูบ หากกำหนดความเร็วน้อยไปจะทำให้สกรูหมุนช้าส่งผลให้เม็ดพลาสติกถูกบดผสมกันช้าจึงหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ช้าทำให้ได้ปริมาณพลาสติกหลอมน้อย ส่งผลให้เกิดปัญหาของเสียประเภทหนาบางและยับตามมาได้ ในขณะที่ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากจะทำให้บดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็วขึ้น และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกหลอมถูกอัดฉีดออกมาต่อเนื่องทำให้ของเสียประเภทหนาบางลดลง และเมื่อฟิล์มมีความหนาบางสม่ำเสมอจึงช่วยลดของเสียประเภทยับอีกด้วย ทั้งนี้ค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนต้องสัมพันธ์กับค่าของความเร็ว

#### 6.1.1.8 การหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimizer)

ในส่วนนี้จะทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) อุณหภูมิหน้าแปลน (D) อุณหภูมิหัวตาย (E) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) ที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall) ให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ด้วยวิธี Response Optimizer ในโปรแกรม minitab

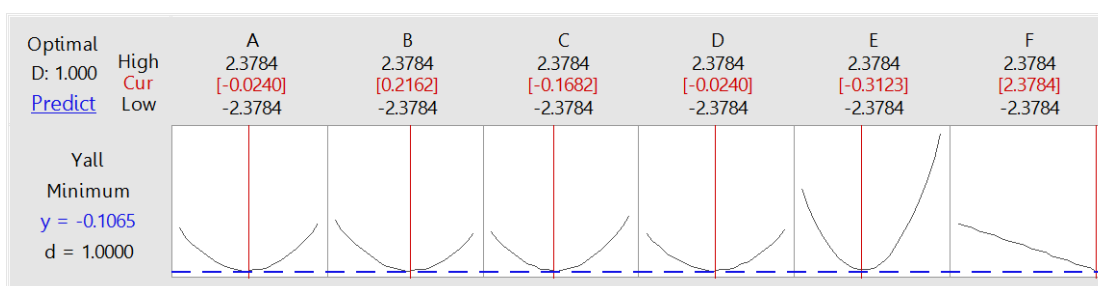
เนื่องจากของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง ก่อนการปรับปรุงกระบวนการในรุ่นนี้มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 11.03 ดังตารางที่ 6.3 ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะกำหนดค่าเป้าหมายให้น้อยที่สุด และ Upper เป็น 5 เนื่องจากต้องการลดสัดส่วนของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางสำหรับลงอย่างน้อย 50% ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6. 3 ร้อยละของเสียแต่ละประเภทก่อนปรับปรุงกระบวนการ

ประเภทของเสีย	ร้อยละ
เจล	5.54
ยับ	2.32
หนาบาง	3.17
<b>รวม</b>	<b>11.03</b>

ตารางที่ 6. 4 รายละเอียดการกำหนดเป้าหมายของตัวแปรตอบสนอง

Response	Goal	Target	Upper	Weight	Importance
Yall	Minimum	0	5	1	1



รูปที่ 6. 13 กราฟแสดงค่าของระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย ที่จะส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด

จากรูป 6.13 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัย และนำค่าที่ได้มาแปลงเป็น Uncoded Unit ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด คือ ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น 220 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง 212 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย 217 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหน้าแปลน 220 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตาย 216 องศาเซลเซียส และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 50 กิโลวัตต์ ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6. 5 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ปัจจัยนำเข้า	ค่าที่เหมาะสมจากโปรแกรม	ค่าที่นำไปใช้ทดลองหลังปรับปรุง	หน่วย
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A)	219.54	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B)	212.32	212	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C)	216.56	217	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหน้าแปลน (D)	220	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวตาย (E)	215.69	216	องศาเซลเซียส
ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F)	50	50	กิโลวัตต์

### 6.1.1.9 สรุประยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในถุงพลาสติกขนาด ถุงพลาสติก ขนาด $30 \times (6+2+2)$ นิ้ว

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยแล้ว คือ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) อุณหภูมิหน้าแปลน (D) อุณหภูมิหัวตาย (E) และ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) พบว่าทุกปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อสัดส่วนของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall) ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยทั้งหมดนี้มาทำการทดลองแบบพินผิวตบบแบบส่วนประสมกลาง มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 53 การทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยจะมีระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) 220 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (B) 212 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (C) 217 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหน้าแปลน (D) 220 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตาย (E) 216 องศาเซลเซียส และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (F) 50 กิโลวัตต์

### 6.1.2 การทดลองสำหรับถุงพลาสติกขนาด $80 \times 240$ มิลลิเมตร

#### 6.1.2.1 ปัจจัยนำเข้า

จากการคัดกรองปัจจัยนำเข้าในบทที่ 5 พบว่ามีปัจจัยที่จะทำการทดลอง 4 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิกระบอกสูบ 2) อุณหภูมิหน้าแปลน 3) อุณหภูมิหัวตาย 4) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน โดยอุณหภูมิกระบอกสูบบนเครื่องจักร BB-PP-06 มีอุณหภูมิกระบอกสูบ 2 ส่วนด้วยกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปัจจัยนำเข้า (X) 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E)

#### 6.2.1.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองคือค่าสัดส่วนร้อยละของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบาง (Y3) ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง คำนวณมาจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นหารด้วยปริมาณการผลิตในแต่ละการทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะใช้เวลา 3 ชั่วโมง ต่อ 40 กิโลกรัม

#### 6.1.2.3 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้การออกแบบพินผิวตบบแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยมีลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อประหยัดจำนวนการทดลอง

การทดลองส่วนประสมกลาง แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Runs) ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกแบบ  $2^{5-1}$  แบบไม่มีการทำซ้ำ ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยมี Resolution เท่ากับ V ซึ่งไม่มีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของสองปัจจัยใดที่เป็นคู่แฝดแฝงกันเอง

- 2) ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) จำนวน 6 การทดลอง
- 3) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) ซึ่งมีจำนวน 10 การทดลอง โดยมีค่า  $\alpha = 2$

สรุปได้ว่าการทดลองนี้จะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ดังตารางที่ 6.6 ตารางที่ 6.6 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้า (X)	-2	-1	0	1	2	หน่วย
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหน้าแปลน (C)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวตาย (D)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
มอเตอร์ขับเคลื่อน (E)	20	27.5	35	42.5	50	กิโลวัตต์

#### 6.1.2.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลอง 32 การทดลองนี้จำเป็นต้องมีการกำหนดปัจจัยภายนอกอื่นๆ นอกเหนือจาก 5 ปัจจัยนำเข้างดกล่าว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการทดลอง ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักร BB-PP-06 ในการผลิตทุกการทดลอง
- ใช้พนักงานคนเดียวกันปฏิบัติงานในทุกการทดลอง ซึ่งเวลาในการทดลองจะทำภายในเวลา 8.00-18.00 น. เท่านั้น
- ใน 1 การทดลองจะใช้ชิ้นงานในการผลิต 40 กิโลกรัม/ม้วน
- กำหนดค่าอุณหภูมิใต้ถังเม็ดพลาสติก 70 องศาเซลเซียส และ มอเตอร์ควบคุมหนาวาง 8 เฮิร์ต
- ทำความสะอาดหัวตาย และจานลมก่อนเริ่มการทดลองในรุ่นนั้นๆ
- เปลี่ยนตะแกรงใหม่ก่อนเริ่มการทดลองในรุ่นนั้นๆ
- หลังจากทดลองเสร็จ จะนำไปตัดให้ได้ความยาวตามที่กำหนด และส่งไปยังแผนกคัดกรองของเสียเพื่อทำการตรวจสอบ 100% จะใช้พนักงานที่ผ่านการตรวจสอบระบบการวัดจากในบพที่ 4 แล้วเป็นคนตรวจสอบชิ้นงาน

ในแต่ละการทดลองจะกำหนดระดับปัจจัย ตามตารางที่ 6.6 ที่ทำการสุ่มโดยโปรแกรม Minitab การดำเนินการทดลองจะทำการทดลองตามช่อง Run Order ที่ได้จากโปรแกรม Minitab และเมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละครั้งนั้นจะใช้พนักงานที่ถูกคัดเลือกไว้ในบทที่ 4 มาทำการตัดแยกของเสียเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักของของเสียต่อไป และทำการบันทึกผลการทดลองโดยพิจารณาเฉพาะของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบาง (Y3) เท่านั้น

#### 6.1.2.5 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ทั้งสิ้น 32 การทดลอง เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบาง (Y3) ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับสกรู (E) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.7 โดยตัวเลขในช่อง Y1 Y2 และ Y3 หมายถึง สัดส่วนของเสียประเภทเจล ยับ หนาบาง ตามลำดับ และ Y1\_T Y2\_T และ Y3\_T โดย Yall หมายถึง ค่าของข้อมูลที่ได้จากการแปลงด้วยวิธีเลขยกกำลังเพื่อให้แบบจำลองมีความเหมาะสมในการนำไปทดสอบการถดถอย และค่าร้อยละของเสียรวมจากข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภทที่ได้จากการแปลงค่า ตามลำดับ ซึ่งจะได้กล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 6. 7 ผลการทดลองเรียงตาม Standard Order จากโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3	Y1_T	Y2_T	Y3_T	Yall
1	9	-1	-1	-1	-1	1	0.200	0.085	0.018	0.447	0.292	0.134	0.873
2	17	1	-1	-1	-1	-1	0.290	0.320	0.029	0.539	0.566	0.170	1.274
3	11	-1	1	-1	-1	-1	0.193	0.350	0.020	0.439	0.592	0.141	1.172
4	5	1	1	-1	-1	1	0.033	0.023	0.022	0.182	0.152	0.148	0.482
5	32	-1	-1	1	-1	-1	0.048	0.300	0.008	0.219	0.548	0.089	0.856
6	25	1	-1	1	-1	1	0.080	0.032	0.010	0.283	0.179	0.100	0.562
7	26	-1	1	1	-1	1	0.081	0.020	0.009	0.285	0.141	0.095	0.521
8	12	1	1	1	-1	-1	0.024	0.410	0.010	0.155	0.640	0.100	0.895
9	18	-1	-1	-1	1	-1	0.130	0.380	0.030	0.361	0.616	0.173	1.150
10	28	1	-1	-1	1	1	0.200	0.022	0.040	0.447	0.148	0.200	0.796
11	31	-1	1	-1	1	1	0.330	0.018	0.020	0.574	0.134	0.141	0.850
12	8	1	1	-1	1	-1	0.293	0.350	0.005	0.541	0.592	0.071	1.204
13	22	-1	-1	1	1	1	0.290	0.097	0.007	0.539	0.311	0.082	0.932
14	16	1	-1	1	1	-1	0.272	0.270	0.035	0.522	0.520	0.187	1.228
15	10	-1	1	1	1	-1	0.345	0.380	0.021	0.587	0.616	0.145	1.349
16	21	1	1	1	1	1	0.280	0.092	0.026	0.529	0.303	0.161	0.994
17	4	-2	0	0	0	0	0.295	0.180	0.020	0.543	0.424	0.141	1.109
18	23	2	0	0	0	0	0.510	0.150	0.005	0.714	0.387	0.071	1.172
19	15	0	-2	0	0	0	0.061	0.210	0.010	0.247	0.458	0.100	0.805

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3	Y1_T	Y2_T	Y3_T	Yall
20	7	0	2	0	0	0	0.320	0.240	0.002	0.566	0.490	0.045	1.100
21	19	0	0	-2	0	0	0.385	0.250	0.080	0.620	0.500	0.283	1.403
22	29	0	0	2	0	0	0.400	0.060	0.003	0.632	0.245	0.055	0.932
23	13	0	0	0	-2	0	0.640	0.250	0.000	0.800	0.500	0.000	1.300
24	2	0	0	0	2	0	0.850	0.010	0.003	0.922	0.100	0.055	1.077
25	6	0	0	0	0	-2	0.045	0.580	0.070	0.212	0.762	0.265	1.238
26	14	0	0	0	0	2	0.060	0.520	0.009	0.245	0.721	0.095	1.061
27	24	0	0	0	0	0	0.086	0.130	0.010	0.293	0.361	0.100	0.754
28	3	0	0	0	0	0	0.002	0.130	0.000	0.045	0.361	0.000	0.405
29	1	0	0	0	0	0	0.002	0.050	0.001	0.045	0.224	0.032	0.300
30	27	0	0	0	0	0	0.002	0.100	0.008	0.045	0.316	0.089	0.450
31	20	0	0	0	0	0	0.002	0.170	0.004	0.045	0.412	0.059	0.516
32	30	0	0	0	0	0	0.004	0.100	0.008	0.063	0.316	0.089	0.469

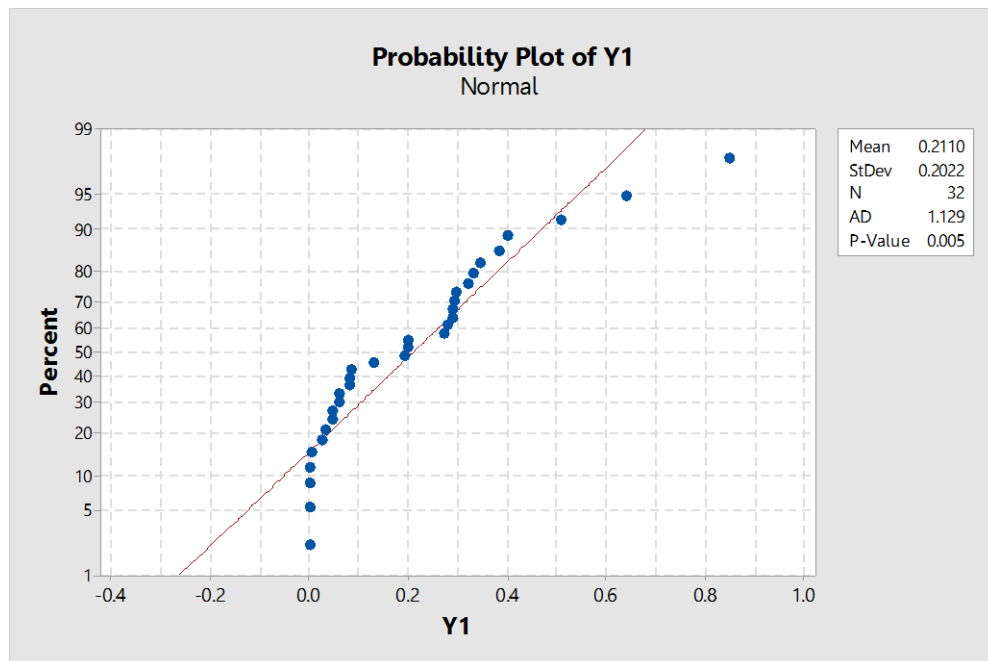
#### 6.1.2.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองกับแบบจำลอง ซึ่งการตรวจสอบส่วนตกค้างนั้นจะตรวจสอบข้อมูลจากการทดลองว่าเป็นไปตามหลักการ  $e \sim NID(0, \sigma^2)$  หรือไม่

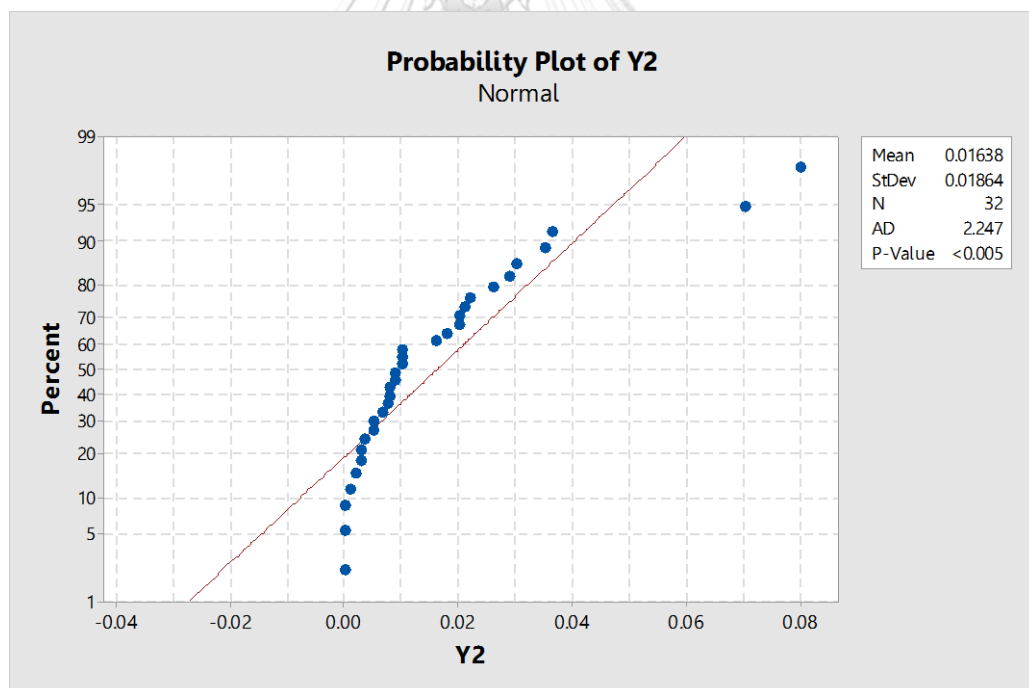
สมมติฐานในการทดสอบการแจกแจงของส่วนตกค้าง (residual) มีอยู่ 3 ข้อ คือ

1. สมมติฐานของการแจกแจงปกติ
2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ
3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

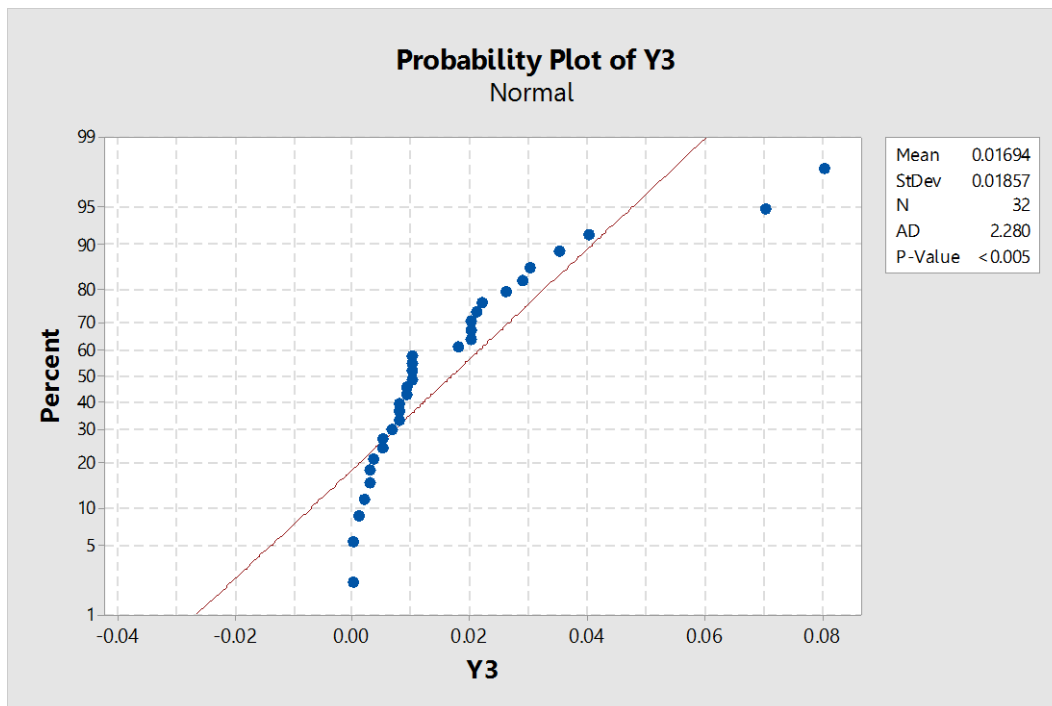
โดยการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการตรวจสอบ



รูปที่ 6. 14 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1)



รูปที่ 6. 15 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2)



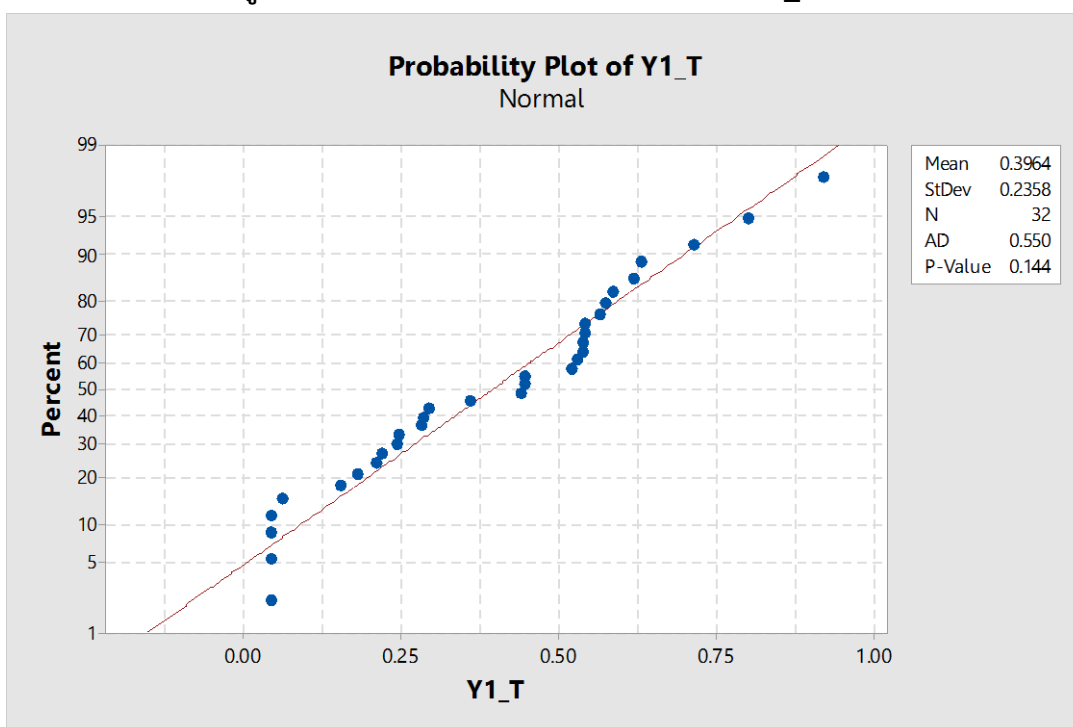
รูปที่ 6. 16 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

จากรูปที่ 6.14 6.15 และ 6.16 พบว่าผลการทดลองที่ได้นั้นส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ เนื่องจากมีค่า p-value < 0.05

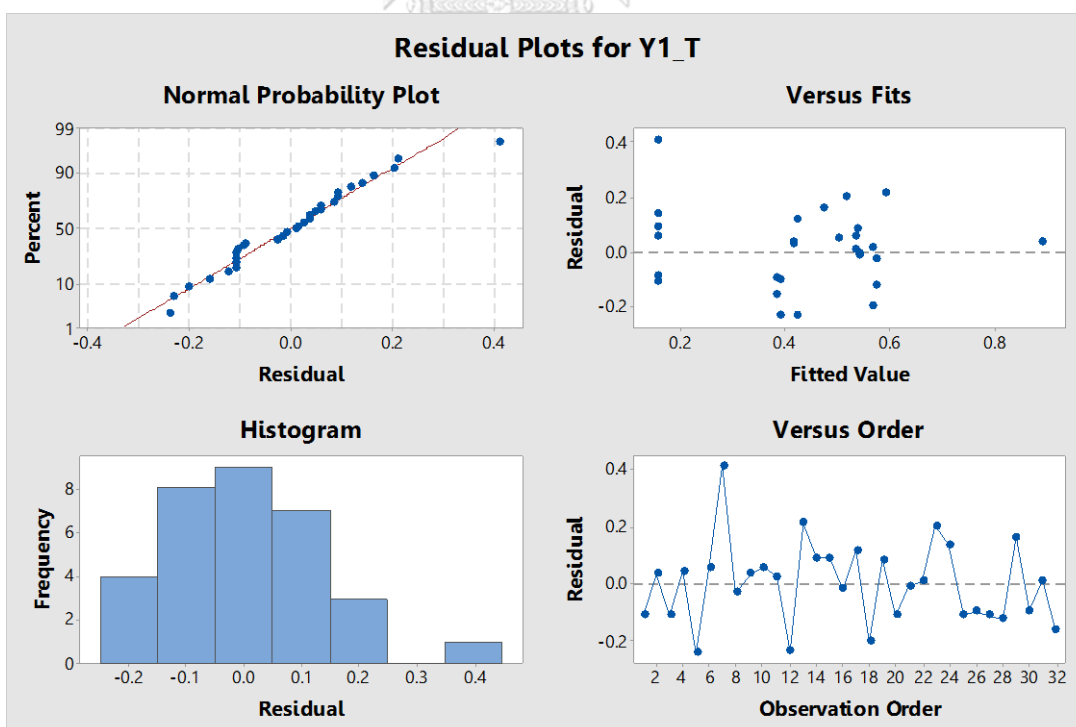
ดังนั้นข้อมูลนี้จึงมีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอย ผู้วิจัยจึงได้นำค่า Y1 Y2 และ Y3 จากตารางที่ 6.7 ไปแปลงค่าโดยใช้วิธีเลขยกกำลัง ซึ่งกำหนดให้เลขยกกำลังมีค่าเท่ากับ 0.5 (นพรัตน์ กระจ่างทอง, 2542) โดยค่าที่ได้หลังจากการแปลงแล้วจะกำหนดให้เป็น Y1\_T Y2\_T และ Y3\_T ดังตาราง 6.7 และจะขอ นำค่าหลังจากการแปลงนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยของการทดลองนี้ทั้งหมด



ก) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทเจล (Y1\_T)



รูปที่ 6. 17 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1\_T)

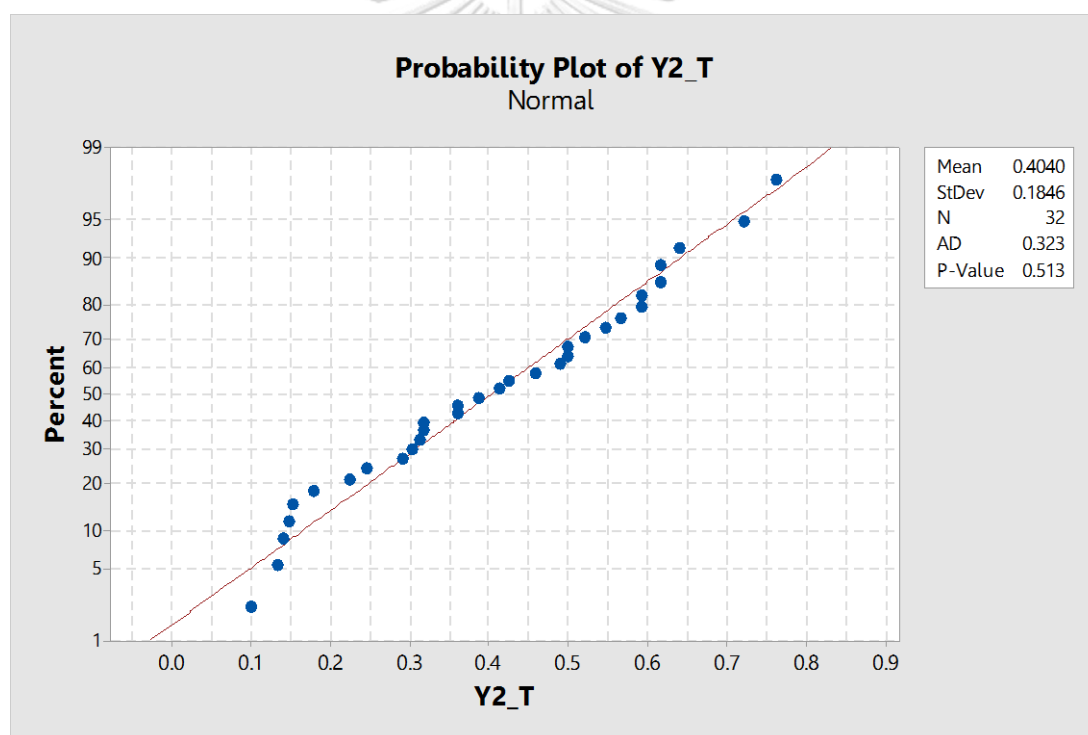


รูปที่ 6. 18 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1\_T)

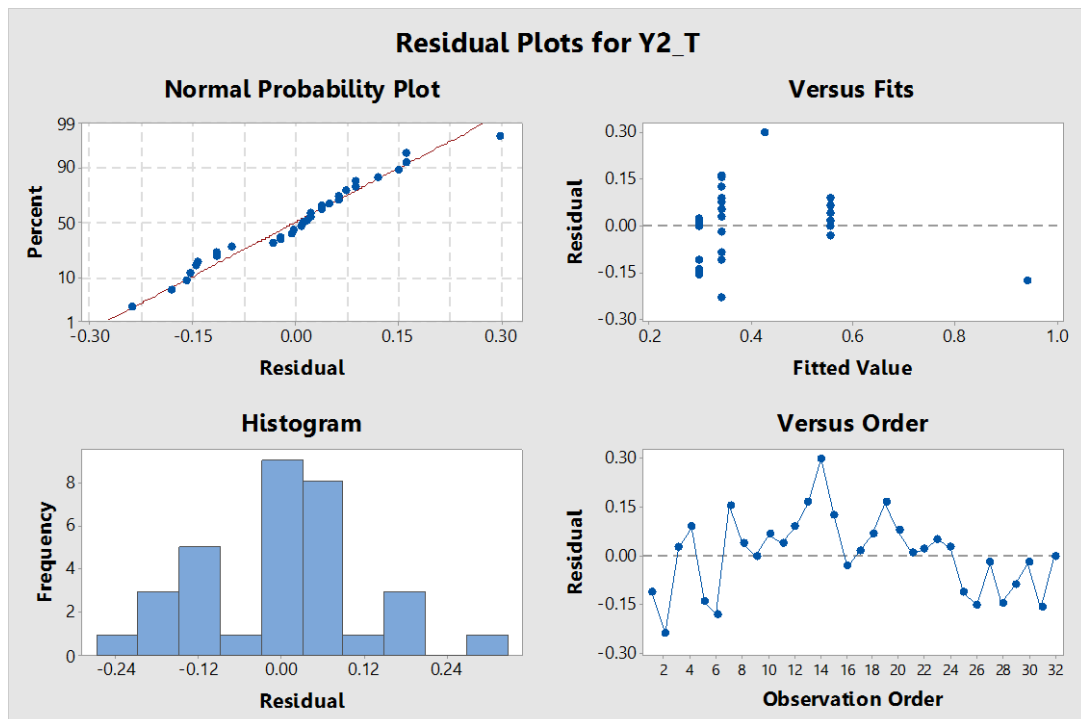
จากรูปที่ 6.17 และ 6.18 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$  ดังรูปที่ 6.17
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.18 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.18 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ข) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทยับ (Y2\_T)



รูปที่ 6. 19 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2\_T)

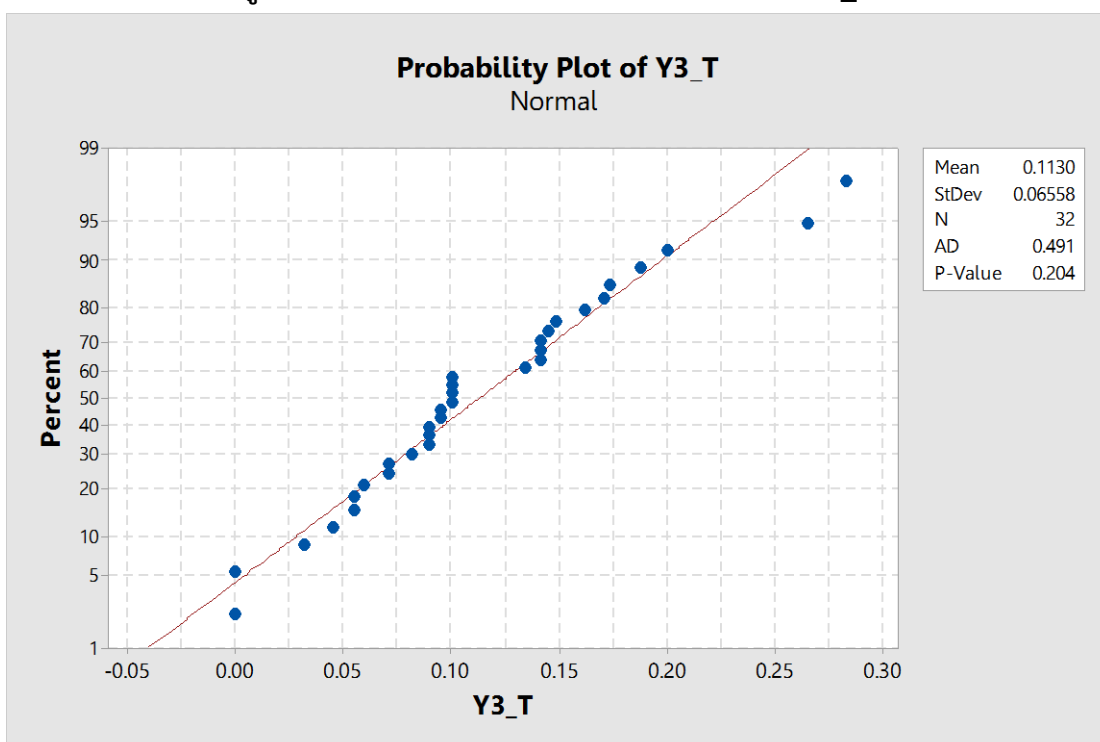


รูปที่ 6. 20 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของเลี้ยวประเภทยับ (Y2\_T)

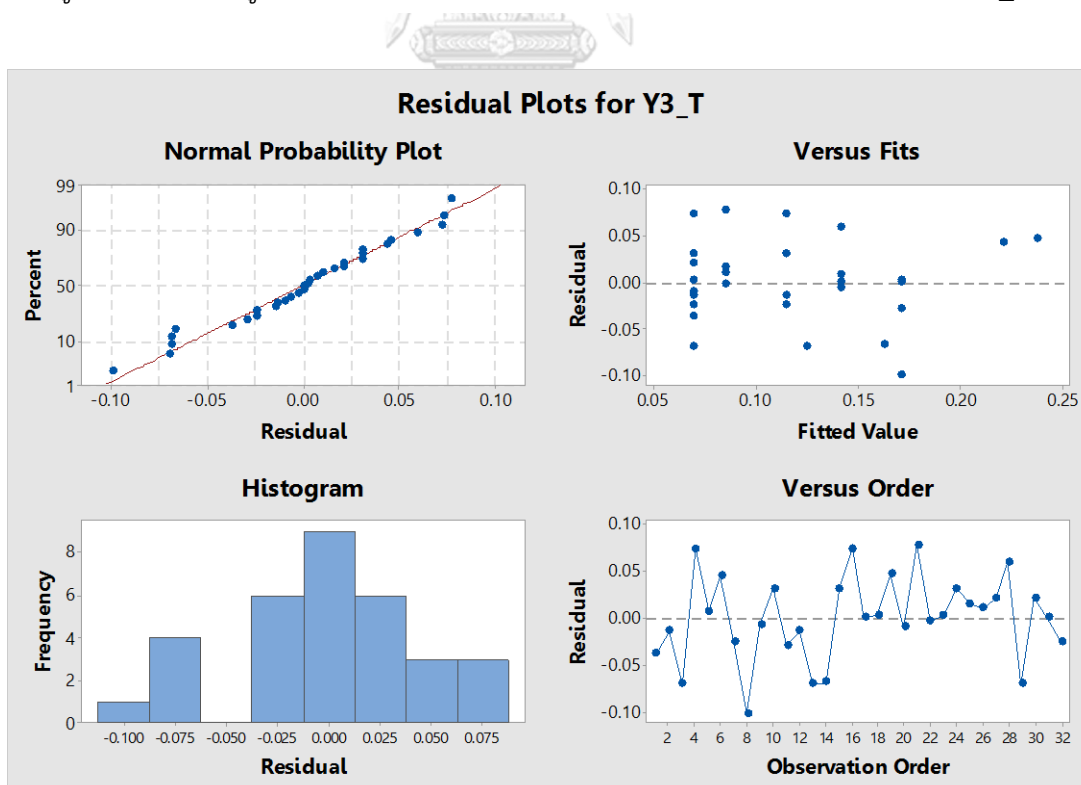
จากรูปที่ 6.19 และ 6.20 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$  ดังรูปที่ 6.19
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.20 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.20 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ค) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทหนาบาง (Y3\_T)



รูปที่ 6. 21 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3\_T)

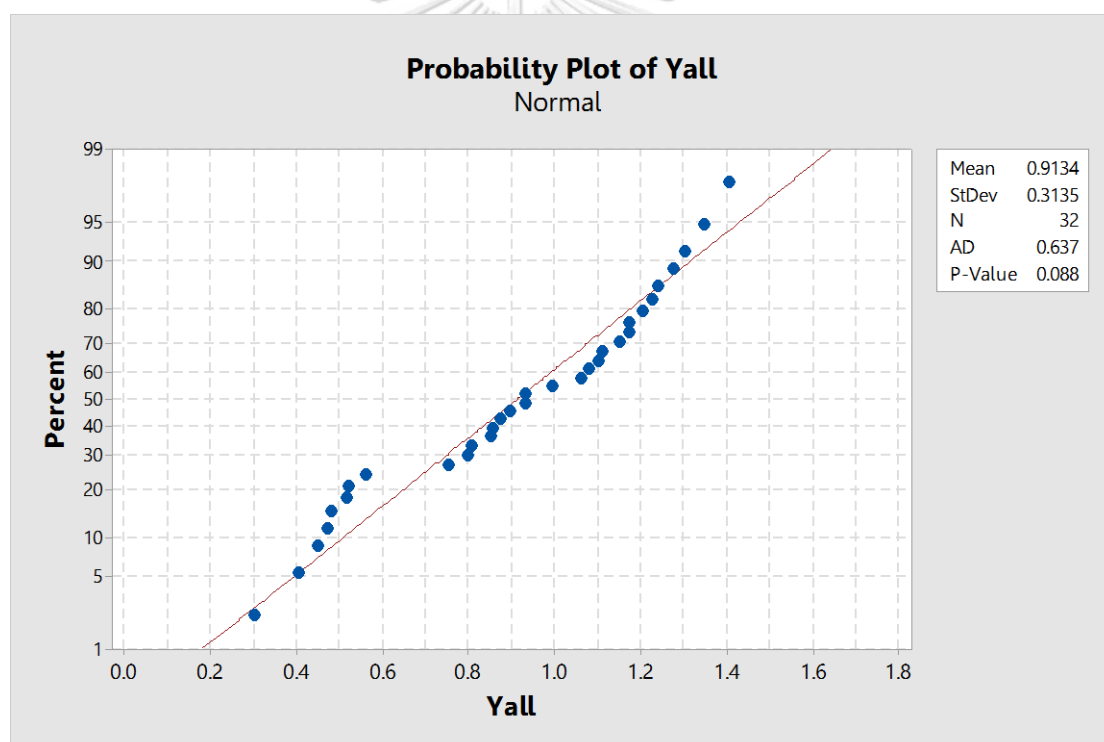


รูปที่ 6. 22 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3\_T)

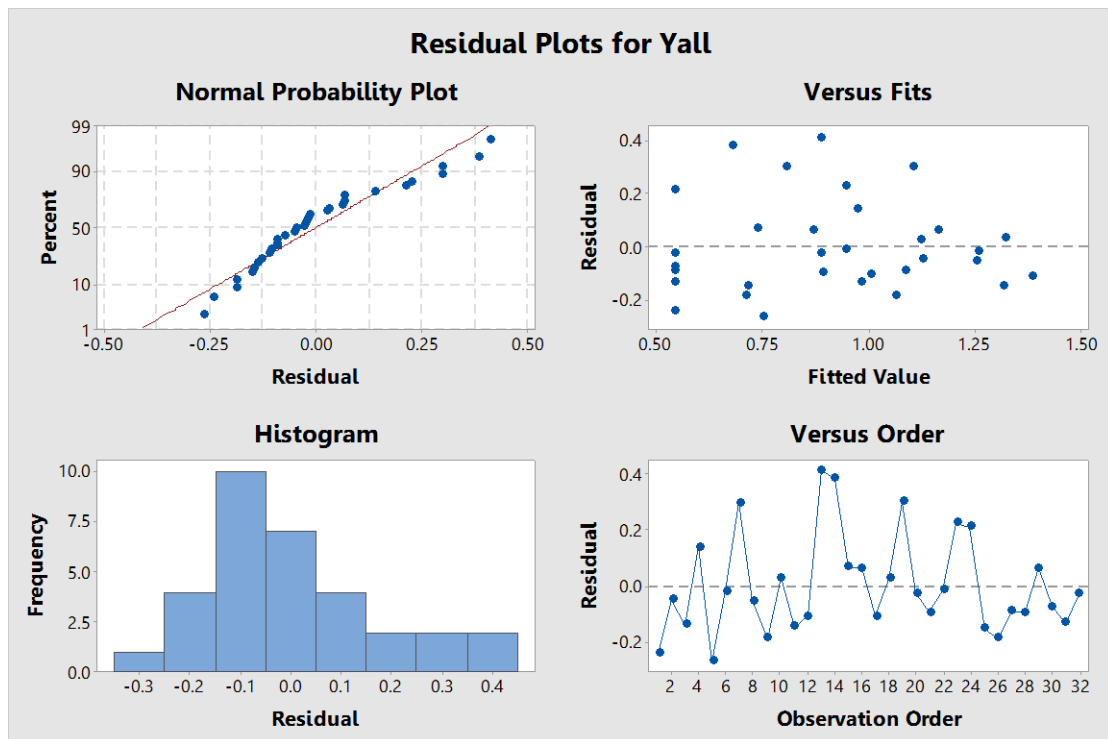
จากรูปที่ 6.21 และ 6.22 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$  ดังรูปที่ 6.21
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.22 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.22 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ง) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของของเสียรวม (Yall)



รูปที่ 6. 23 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall)



รูปที่ 6. 24 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อข้างต้น สรุปได้ว่า ข้อมูลนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอยได้เนื่องจากมีสมมติฐานที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ได้แก่ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

#### 6.1.2.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้า และสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทข้อบกพร่องเสียก่อน จากนั้นจึงจะหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้สัดส่วนของเสียรวม (Yall) มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยโดยพิจารณาแยกแต่ละตัวแปรตอบสนอง อาจทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่ขัดแย้งกัน ซึ่งค่าที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทหนึ่งลดลงอาจทำให้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องอีกประเภทหนึ่งเพิ่มขึ้นได้ เป็นต้น เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ตัวแบบเต็มรูป (Full Model) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

ก) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียประเภทเจล (Y1\_T)

## Response Surface Regression: Y1\_T versus A, B, C, D, E

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	1.31688	0.065844	1.78	0.164
Linear	5	0.15474	0.030949	0.84	0.551
A	1	0.00032	0.000321	0.01	0.927
B	1	0.01376	0.013761	0.37	0.554
C	1	0.00628	0.006281	0.17	0.688
D	1	0.13438	0.134376	3.63	0.083
E	1	0.00001	0.000005	0.00	0.991
Square	5	1.00139	0.200278	5.41	0.009
A*A	1	0.23457	0.234571	6.34	0.029
B*B	1	0.03358	0.033578	0.91	0.361
C*C	1	0.23166	0.231658	6.26	0.029
D*D	1	0.63814	0.638136	17.23	0.002
E*E	1	0.00331	0.003305	0.09	0.771
2-Way Interaction	10	0.16075	0.016075	0.43	0.900
A*B	1	0.03093	0.030928	0.84	0.380
A*C	1	0.00005	0.000050	0.00	0.971
A*D	1	0.00277	0.002772	0.07	0.789
A*E	1	0.01917	0.019173	0.52	0.487
B*C	1	0.00016	0.000161	0.00	0.949
B*D	1	0.03917	0.039165	1.06	0.326
B*E	1	0.00328	0.003281	0.09	0.771
C*D	1	0.05270	0.052705	1.42	0.258
C*E	1	0.00909	0.009089	0.25	0.630
D*E	1	0.00343	0.003425	0.09	0.767
Error	11	0.40729	0.037026		
Lack-of-Fit	6	0.35706	0.059510	5.92	0.035
Pure Error	5	0.05023	0.010045		
Total	31	1.72417			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.192422	76.38%	33.43%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1347	0.0767	1.75	0.107	
A	0.0037	0.0393	0.09	0.927	1.00
B	0.0239	0.0393	0.61	0.554	1.00
C	-0.0162	0.0393	-0.41	0.688	1.00
D	0.0748	0.0393	1.91	0.083	1.00
E	-0.0005	0.0393	-0.01	0.991	1.00
A*A	0.0894	0.0355	2.52	0.029	1.02
B*B	0.0338	0.0355	0.95	0.361	1.02
C*C	0.0889	0.0355	2.50	0.029	1.02
D*D	0.1475	0.0355	4.15	0.002	1.02
E*E	-0.0106	0.0355	-0.30	0.771	1.02
A*B	-0.0440	0.0481	-0.91	0.380	1.00
A*C	-0.0018	0.0481	-0.04	0.971	1.00
A*D	0.0132	0.0481	0.27	0.789	1.00
A*E	-0.0346	0.0481	-0.72	0.487	1.00
B*C	0.0032	0.0481	0.07	0.949	1.00
B*D	0.0495	0.0481	1.03	0.326	1.00
B*E	-0.0143	0.0481	-0.30	0.771	1.00
C*D	0.0574	0.0481	1.19	0.258	1.00
C*E	0.0238	0.0481	0.50	0.630	1.00
D*E	0.0146	0.0481	0.30	0.767	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y1\_T = & 0.1347 + 0.0037 A + 0.0239 B - 0.0162 C + 0.0748 D - 0.0005 E + 0.0894 A^*A \\
 & + 0.0338 B^*B + 0.0889 C^*C + 0.1475 D^*D - 0.0106 E^*E - 0.0440 A^*B - 0.0018 A^*C \\
 & + 0.0132 A^*D - 0.0346 A^*E + 0.0032 B^*C + 0.0495 B^*D - 0.0143 B^*E + 0.0574 C^*D \\
 & + 0.0238 C^*E + 0.0146 D^*E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของเจล (Y1\_T) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 76.38% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 33.43% โดยมีเทอมกำลังสองของอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A<sup>2</sup>) อุณหภูมิหน้าแปลน (C<sup>2</sup>) และอุณหภูมิหัวตาย (D<sup>2</sup>) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทเจลอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ และได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระ (Backward elimination) แบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป (Reduced Model) จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้



## Response Surface Regression: Y1\_T versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	1.10346	0.183910	7.41	0.000
Linear	3	0.14098	0.046993	1.89	0.157
A	1	0.00032	0.000321	0.01	0.910
C	1	0.00628	0.006281	0.25	0.619
D	1	0.13438	0.134376	5.41	0.028
Square	3	0.96248	0.320826	12.92	0.000
A*A	1	0.22822	0.228220	9.19	0.006
C*C	1	0.22533	0.225329	9.08	0.006
D*D	1	0.63086	0.630862	25.41	0.000
Error	25	0.62071	0.024829		
Lack-of-Fit	20	0.57049	0.028524	2.84	0.125
Pure Error	5	0.05023	0.010045		
Total	31	1.72417			

### Model Summary

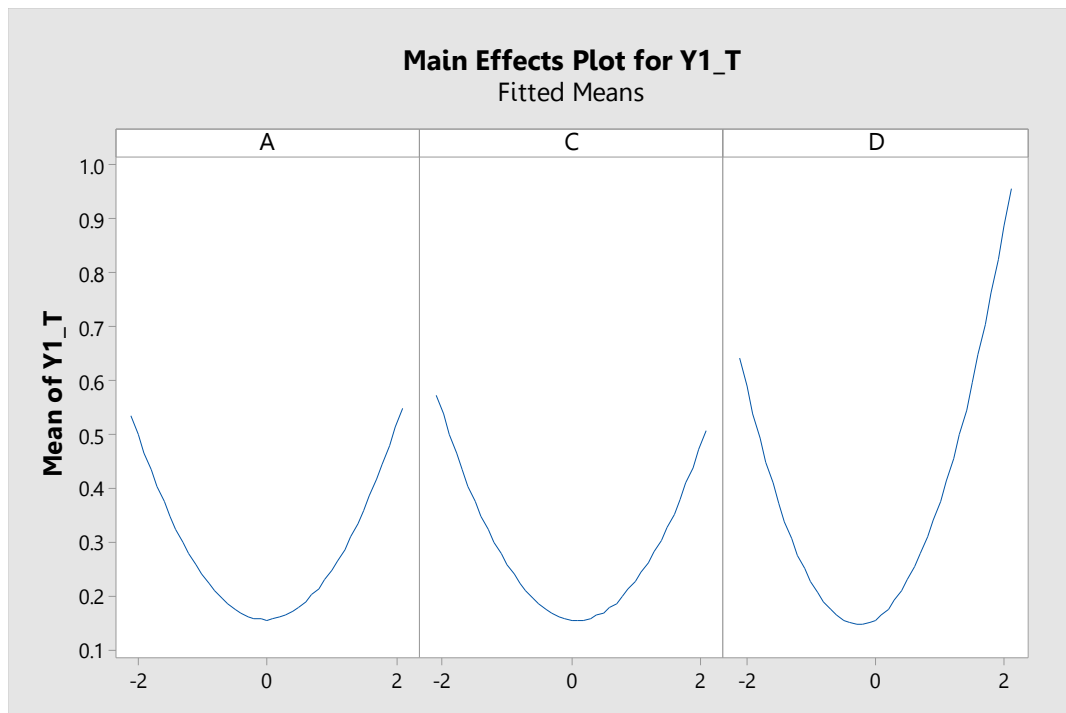
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.157571	64.00%	55.36%	23.85%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1561	0.0489	3.19	0.004	
A	0.0037	0.0322	0.11	0.910	1.00
C	-0.0162	0.0322	-0.50	0.619	1.00
D	0.0748	0.0322	2.33	0.028	1.00
A*A	0.0876	0.0289	3.03	0.006	1.01
C*C	0.0871	0.0289	3.01	0.006	1.01
D*D	0.1457	0.0289	5.04	0.000	1.01

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y1\_T = 0.1561 + 0.0037 A - 0.0162 C + 0.0748 D + 0.0876 A*A + 0.0871 C*C + 0.1457 D*D$$



รูปที่ 6. 25 กราฟผลกระทบทหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1\_T)

จากการวิเคราะห์การลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 64% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 55.36% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปแบบจะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูปแบบ ซึ่งเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทเจล (Y1) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูปแบบ ได้แก่ เทอมกำลังสองของอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น ( $A^2$ ) เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) และเทอมกำลังสองของอุณหภูมิหัวตาย ( $D^2$ )

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบทหลักจากรูปที่ 6.25 จะเห็นว่ากราฟทั้ง 3 มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทเจลเกิดขึ้นมากและลดน้อยลงจนต่ำสุดที่ใกล้เคียงระดับกลาง จากนั้นของเสียจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนไปที่ระดับสูง อธิบายผลแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังนี้

กราฟทางด้านซ้ายของรูปที่ 6.25 เป็นผลกระทบทหลักของปัจจัยอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) เป็นช่วงป้อนเม็ดพลาสติกจากกรวยเข้าสู่บริเวณภายในกระบอกสูบ ซึ่งภายในกระบอกสูบจะมีสกรูที่ถูกควบคุมความเร็วด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน เมื่ออุณหภูมิในกระบอกสูบมีค่าต่ำเกินไป ทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลวไม่หมดและไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อส่งผ่านไปยังส่วนถัดไปเพื่อขึ้นรูปก็จะเกิดของเสียลักษณะเจลใส และอุณหภูมิกระบอกส่วนต้นมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายเร็ว

เกินไป และเกิดความร้อนภายในบริเวณกระบอกสูบเป็นระยะเวลาานานทำให้พลาสติกเกิดการไหม้เป็นผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำ

กราฟตรงกลางของรูปที่ 6.25 เป็นผลกระทบหลักของปัจจัยอุณหภูมิหน้าแปลน (C) เป็นช่วงส่งพลาสติกหลอมเพื่อขึ้นรูป ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตาย พลาสติกจึงเกิดการหลอมละลายมากขึ้นเรื่อยๆ ในส่วนที่ถูกแรงดันจากภายในขับออกมาเพื่อขึ้นรูปนั้นก็ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำได้เนื่องจากพลาสติกหลอมเกิดการไหม้ เช่นเดียวกับเมื่ออุณหภูมิหน้าแปลนสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดความร้อนสะสมซึ่งทำให้พลาสติกหลอมเกิดการไหม้และเกิดเป็นของเสียประเภทเจลดำได้เช่นเดียวกัน

กราฟทางด้านขวาของรูปที่ 6.25 เป็นผลกระทบหลักของปัจจัยอุณหภูมิหัวตาย (D) เมื่ออุณหภูมิของหัวตายมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมมากจึงเกิดเม็ดเจลบนฟิล์ม ซึ่งจะเป็นลักษณะเจลดำ แต่หากอุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้มีความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกไม่มากพอก็จะเกิดของเสียประเภทเจลด้วยเช่นกัน แต่เป็นลักษณะของเจลใส โดยจะเกิดเจลใสในกรณีที่เม็ดพลาสติกบางส่วนยังไม่ถูกหลอมละลายอย่างสมบูรณ์จากในบริเวณกระบอกสูบแล้วถูกส่งผ่านมายังหัวตาย อีกทั้งยังทำให้เกิดถุงที่มีสีขาวขุ่นอีกด้วยซึ่งปกติจะเป็นลักษณะฟิล์มใส

ข) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียประเภทยับ (Y2\_T)

### Response Surface Regression: Y2\_T versus A, B, C, D, E

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	0.73472	0.036736	1.25	0.358
Linear	5	0.42858	0.085715	2.93	0.064
A	1	0.00212	0.002115	0.07	0.793
B	1	0.00012	0.000122	0.00	0.950
C	1	0.00487	0.004873	0.17	0.691
D	1	0.01856	0.018564	0.63	0.443
E	1	0.40290	0.402902	13.76	0.003
Square	5	0.25507	0.051013	1.74	0.206
A*A	1	0.00007	0.000068	0.00	0.962
B*B	1	0.01015	0.010148	0.35	0.568
C*C	1	0.00136	0.001357	0.05	0.834
D*D	1	0.01822	0.018216	0.62	0.447
E*E	1	0.21401	0.214013	7.31	0.021
2-Way Interaction	10	0.05108	0.005108	0.17	0.995
A*B	1	0.01945	0.019454	0.66	0.432
A*C	1	0.00254	0.002540	0.09	0.774
A*D	1	0.00040	0.000399	0.01	0.909
A*E	1	0.00011	0.000107	0.00	0.953
B*C	1	0.00550	0.005505	0.19	0.673
B*D	1	0.00074	0.000736	0.03	0.877
B*E	1	0.00951	0.009514	0.32	0.580
C*D	1	0.00776	0.007763	0.27	0.617
C*E	1	0.00393	0.003926	0.13	0.721
D*E	1	0.00114	0.001138	0.04	0.847
Error	11	0.32214	0.029286		
Lack-of-Fit	6	0.30182	0.050303	12.37	0.007
Pure Error	5	0.02033	0.004065		
Total	31	1.05687			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.171131	69.52%	14.10%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.3486	0.0683	5.11	0.000	
A	-0.0094	0.0349	-0.27	0.793	1.00
B	0.0023	0.0349	0.06	0.950	1.00
C	-0.0142	0.0349	-0.41	0.691	1.00
D	-0.0278	0.0349	-0.80	0.443	1.00
E	-0.1296	0.0349	-3.71	0.003	1.00
A*A	0.0015	0.0316	0.05	0.962	1.02
B*B	0.0186	0.0316	0.59	0.568	1.02
C*C	-0.0068	0.0316	-0.22	0.834	1.02
D*D	-0.0249	0.0316	-0.79	0.447	1.02
E*E	0.0854	0.0316	2.70	0.021	1.02
A*B	0.0349	0.0428	0.82	0.432	1.00
A*C	0.0126	0.0428	0.29	0.774	1.00
A*D	-0.0050	0.0428	-0.12	0.909	1.00
A*E	-0.0026	0.0428	-0.06	0.953	1.00
B*C	0.0185	0.0428	0.43	0.673	1.00
B*D	0.0068	0.0428	0.16	0.877	1.00
B*E	-0.0244	0.0428	-0.57	0.580	1.00
C*D	0.0220	0.0428	0.51	0.617	1.00
C*E	0.0157	0.0428	0.37	0.721	1.00
D*E	0.0084	0.0428	0.20	0.847	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y2\_T = & 0.3486 - 0.0094 A + 0.0023 B - 0.0142 C - 0.0278 D - 0.1296 E + 0.0015 A*A \\
 & + 0.0186 B*B - 0.0068 C*C - 0.0249 D*D + 0.0854 E*E + 0.0349 A*B + 0.0126 A*C \\
 & - 0.0050 A*D - 0.0026 A*E + 0.0185 B*C + 0.0068 B*D - 0.0244 B*E + 0.0220 C*D \\
 & + 0.0157 C*E + 0.0084 D*E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปแบบของยับ (Y2\_T) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 69.52% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 14.10% โดยมีผลกระทบหลัก คือ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) และ ทอมนกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E<sup>2</sup>) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทยับอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนทอมน ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierachical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Y2\_T versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	0.62576	0.312879	21.05	0.000
Linear	1	0.40290	0.402902	27.10	0.000
E	1	0.40290	0.402902	27.10	0.000
Square	1	0.22286	0.222857	14.99	0.001
E*E	1	0.22286	0.222857	14.99	0.001
Error	29	0.43111	0.014866		
Lack-of-Fit	24	0.41078	0.017116	4.21	0.058
Pure Error	5	0.02033	0.004065		
Total	31	1.05687			

### Model Summary

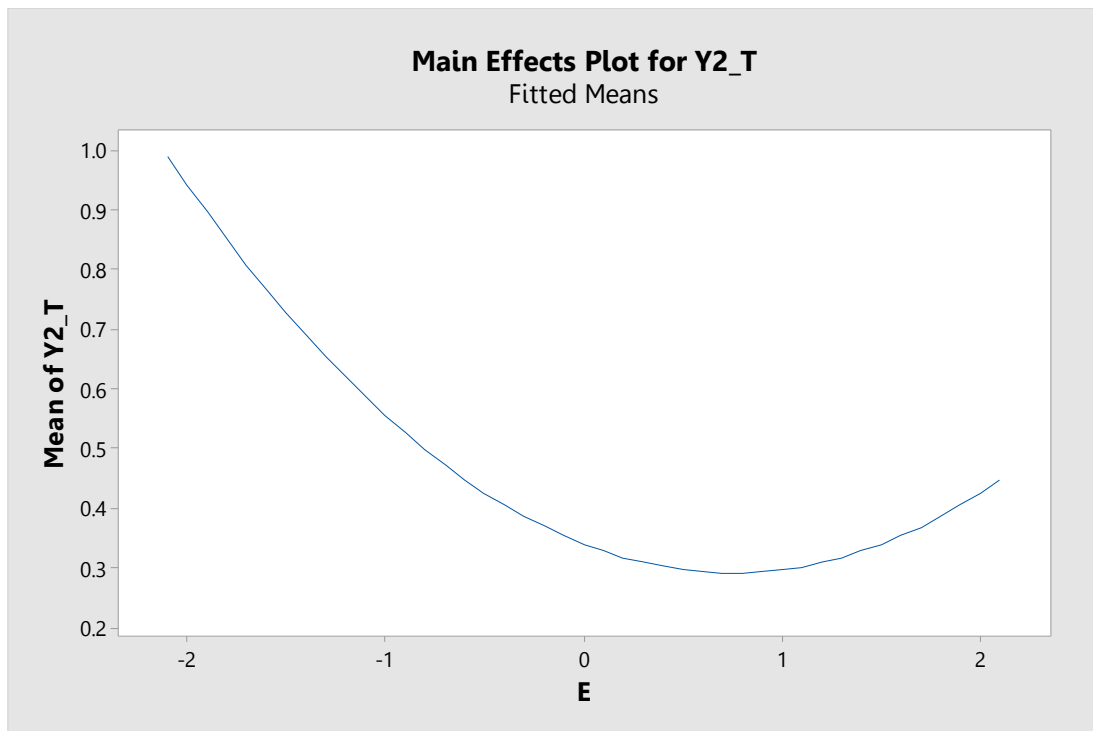
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.121926	59.21%	56.40%	10.34%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.3393	0.0273	12.45	0.000	
E	-0.1296	0.0249	-5.21	0.000	1.00
E*E	0.0862	0.0223	3.87	0.001	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y2\_T = 0.3393 - 0.1296 E + 0.0862 E^2$$



รูปที่ 6. 26 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทย่อย (Y2\_T)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 59.21% และ  $R^2_{adj}$  56.40% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปจะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทย่อย (Y2\_T) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลักของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) และ เทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $E^2$ )

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักจากรูปที่ 6.26 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทย่อยเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและค่อยๆ ลดลงจนน้อยสุดที่ระดับใกล้เคียงกลางจากนั้นของเสียจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ที่ระดับสูงขึ้นไป เนื่องจากปัญหาของเสียเรื่องยับ จะขึ้นตรงกับค่าความหนาบางของฟิล์ม เมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวได้ช้าและไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ก่อนส่งผ่านไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปจึงส่งผลให้มีเนื้อพลาสติกออกมาได้น้อยเป็นผลให้ฟิล์มบางจึงเกิดการยับได้ง่าย แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจะสามารถบดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนา

ไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนาบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องการยับได้เช่นกัน

ค) ผลการทดลองของเสียประเภทหนาบาง (Y3\_T)

Response Surface Regression: Y3_T versus A, B, C, D, E					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	0.102107	0.005105	1.80	0.159
Linear	5	0.030319	0.006064	2.14	0.136
A	1	0.000001	0.000001	0.00	0.985
B	1	0.002470	0.002470	0.87	0.371
C	1	0.019068	0.019068	6.72	0.025
D	1	0.003535	0.003535	1.25	0.288
E	1	0.005245	0.005245	1.85	0.201
Square	5	0.055393	0.011079	3.91	0.028
A*A	1	0.004973	0.004973	1.75	0.212
B*B	1	0.000619	0.000619	0.22	0.649
C*C	1	0.024172	0.024172	8.52	0.014
D*D	1	0.001297	0.001297	0.46	0.513
E*E	1	0.028985	0.028985	10.22	0.009
2-Way Interaction	10	0.016395	0.001639	0.58	0.802
A*B	1	0.003060	0.003060	1.08	0.321
A*C	1	0.001196	0.001196	0.42	0.529
A*D	1	0.000023	0.000023	0.01	0.930
A*E	1	0.001988	0.001988	0.70	0.420
B*C	1	0.002988	0.002988	1.05	0.327
B*D	1	0.000817	0.000817	0.29	0.602
B*E	1	0.002329	0.002329	0.82	0.384
C*D	1	0.002486	0.002486	0.88	0.369
C*E	1	0.001443	0.001443	0.51	0.491
D*E	1	0.000065	0.000065	0.02	0.883
Error	11	0.031204	0.002837		
Lack-of-Fit	6	0.023480	0.003913	2.53	0.163
Pure Error	5	0.007724	0.001545		
Total	31	0.133311			

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0532612	76.59%	34.03%	0.00%



**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.0597	0.0212	2.81	0.017	
A	-0.0002	0.0109	-0.02	0.985	1.00
B	-0.0101	0.0109	-0.93	0.371	1.00
C	-0.0282	0.0109	-2.59	0.025	1.00
D	0.0121	0.0109	1.12	0.288	1.00
E	-0.0148	0.0109	-1.36	0.201	1.00
A*A	0.01302	0.00983	1.32	0.212	1.02
B*B	0.00459	0.00983	0.47	0.649	1.02
C*C	0.02871	0.00983	2.92	0.014	1.02
D*D	-0.00665	0.00983	-0.68	0.513	1.02
E*E	0.03143	0.00983	3.20	0.009	1.02
A*B	-0.0138	0.0133	-1.04	0.321	1.00
A*C	0.0086	0.0133	0.65	0.529	1.00
A*D	0.0012	0.0133	0.09	0.930	1.00
A*E	0.0111	0.0133	0.84	0.420	1.00
B*C	0.0137	0.0133	1.03	0.327	1.00
B*D	-0.0071	0.0133	-0.54	0.602	1.00
B*E	0.0121	0.0133	0.91	0.384	1.00
C*D	0.0125	0.0133	0.94	0.369	1.00
C*E	-0.0095	0.0133	-0.71	0.491	1.00
D*E	0.0020	0.0133	0.15	0.883	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y3\_T = & 0.0597 - 0.0002 A - 0.0101 B - 0.0282 C + 0.0121 D - 0.0148 E + 0.01302 A^*A \\
 & + 0.00459 B^*B + 0.02871 C^*C - 0.00665 D^*D + 0.03143 E^*E - 0.0138 A^*B + 0.0086 A^*C \\
 & + 0.0012 A^*D + 0.0111 A^*E + 0.0137 B^*C - 0.0071 B^*D + 0.0121 B^*E + 0.0125 C^*D \\
 & - 0.0095 C^*E + 0.0020 D^*E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของหนาบาง (Y3\_T) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 76.59% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 34.03% โดยมีผลกระทบหลัก คือ อุณหภูมิหน้าแปลน (C) และ เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน (C<sup>2</sup>) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E<sup>2</sup>) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทหนาบางอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierachical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Y3\_T versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0.072465	0.018116	8.04	0.000
Linear	2	0.024313	0.012157	5.39	0.011
C	1	0.019068	0.019068	8.46	0.007
E	1	0.005245	0.005245	2.33	0.139
Square	2	0.048152	0.024076	10.68	0.000
C*C	1	0.023286	0.023286	10.33	0.003
E*E	1	0.028060	0.028060	12.45	0.002
Error	27	0.060846	0.002254		
Lack-of-Fit	22	0.053122	0.002415	1.56	0.328
Pure Error	5	0.007724	0.001545		
Total	31	0.133311			

### Model Summary

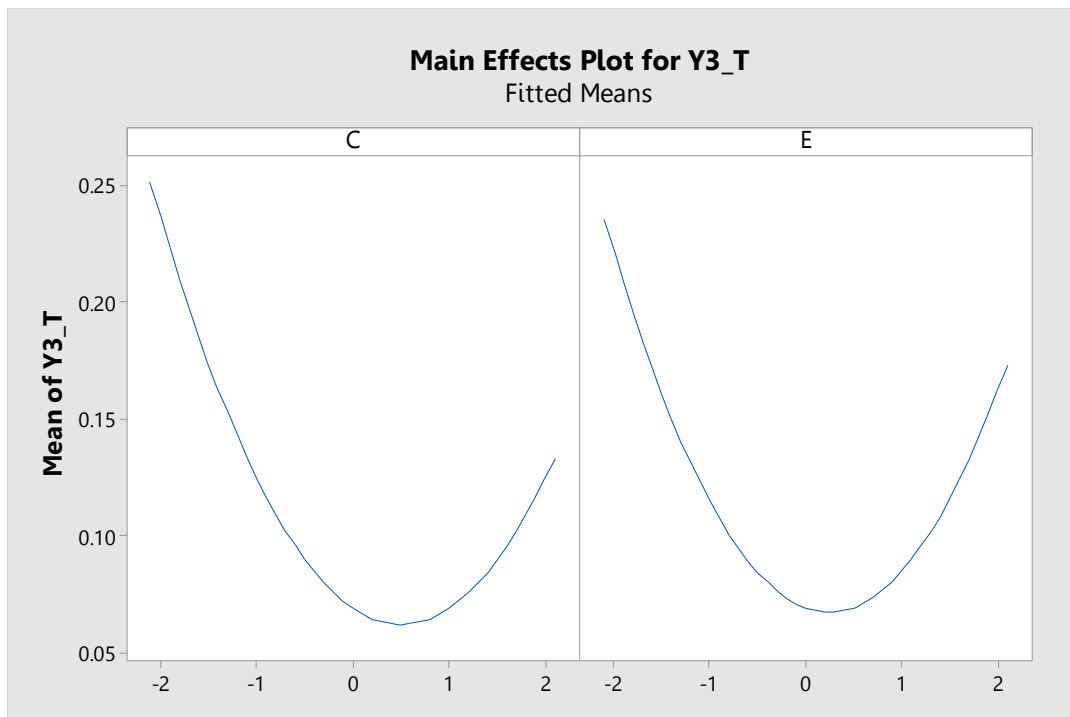
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0474715	54.36%	47.60%	4.43%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.0691	0.0127	5.45	0.000	
C	-0.02819	0.00969	-2.91	0.007	1.00
E	-0.01478	0.00969	-1.53	0.139	1.00
C*C	0.02792	0.00869	3.21	0.003	1.00
E*E	0.03065	0.00869	3.53	0.002	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y3\_T = 0.0691 - 0.02819 C - 0.01478 E + 0.02792 C^*C + 0.03065 E^*E$$



รูปที่ 6. 27 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3\_T)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 54.36% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 47.60% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูป จะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3\_T) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลัก คือ อุณหภูมิหน้าแปลน (C) และ เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $E^2$ )

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักทั้ง 2 จากรูปที่ 6.27 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทหนาบางเกิดขึ้นมากและลดน้อยลงจนต่ำสุดที่ใกล้เคียงระดับกลาง จากนั้นของเสียจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนไปที่ระดับสูง อธิบายผลแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังนี้

ทางด้านซ้ายของรูปที่ 6.27 จะเป็นกราฟผลกระทบหลักของอุณหภูมิหน้าแปลน (C) เป็นส่วนส่งพลาสติกหลอมเพื่อไปขึ้นรูป ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนสูงไปจะทำให้ไปงั่นและสายซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากันได้ จึงก่อให้เกิดของเสียประเภทหนาบาง แต่หากอุณหภูมิหน้าแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปทำให้มีปริมาณพลาสติกหลอมไหลออกมาได้ไม่มากพอจึงทำให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากัน

ทางด้านขวาของรูปที่ 6.27 เป็นกราฟผลกระทบหลักของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) เมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวได้ช้าเนื่องจากสกรูหมุนช้าทำให้ไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ก่อนส่งผ่านไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปจึงส่งผลให้มีเนื้อพลาสติกออกมาได้น้อยเป็นผลให้ฟิล์มบาง แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจะสามารถบดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนาบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องความหนาบางไม่สม่ำเสมอ

เนื่องจากปัจจัยนำเข้าส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1\_T) ยับ (Y2\_T) และหนาบาง (Y3\_T) แตกต่างกันไป ผลที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า (Response Optimizer) อาจจะทำให้ของเสียประเภทเจล (Y1\_T) ลดลง แต่ส่งผลต่อของเสียประเภทอื่นสูงขึ้น เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการรวมปัญหาของเสียประเภทเจล (Y1\_T) ยับ (Y2\_T) และหนาบาง (Y3\_T) เข้าด้วยกัน และหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าของการทดลองนี้ เพื่อให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภท (Yall\_T) รวมน้อยที่สุด

ง) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนามบาง (Yall)

## Response Surface Regression: Yall versus A, B, C, D, E

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	2.07900	0.103950	1.18	0.399
Linear	5	0.67681	0.135363	1.54	0.255
A	1	0.00084	0.000845	0.01	0.924
B	1	0.00619	0.006187	0.07	0.796
C	1	0.08245	0.082452	0.94	0.354
D	1	0.08397	0.083971	0.96	0.349
E	1	0.50336	0.503360	5.73	0.036
Square	5	1.14589	0.229179	2.61	0.086
A*A	1	0.31709	0.317089	3.61	0.084
B*B	1	0.09540	0.095395	1.09	0.320
C*C	1	0.35993	0.359934	4.10	0.068
D*D	1	0.39420	0.394200	4.49	0.058
E*E	1	0.33106	0.331058	3.77	0.078
2-Way Interaction	10	0.25629	0.025629	0.29	0.969
A*B	1	0.00841	0.008409	0.10	0.763
A*C	1	0.00607	0.006070	0.07	0.798
A*D	1	0.00140	0.001403	0.02	0.902
A*E	1	0.01086	0.010863	0.12	0.732
B*C	1	0.02004	0.020040	0.23	0.642
B*D	1	0.03859	0.038592	0.44	0.521
B*E	1	0.01136	0.011355	0.13	0.726
C*D	1	0.13509	0.135091	1.54	0.241
C*E	1	0.01440	0.014401	0.16	0.693
D*E	1	0.01006	0.010064	0.11	0.741
Error	11	0.96679	0.087890		
Lack-of-Fit	6	0.85154	0.141923	6.16	0.032
Pure Error	5	0.11525	0.023050		
Total	31	3.04578			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.296462	68.26%	10.55%	0.00%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.543	0.118	4.59	0.001	
A	-0.0059	0.0605	-0.10	0.924	1.00
B	0.0161	0.0605	0.27	0.796	1.00
C	-0.0586	0.0605	-0.97	0.354	1.00
D	0.0592	0.0605	0.98	0.349	1.00
E	-0.1448	0.0605	-2.39	0.036	1.00
A*A	0.1040	0.0547	1.90	0.084	1.02
B*B	0.0570	0.0547	1.04	0.320	1.02
C*C	0.1108	0.0547	2.02	0.068	1.02
D*D	0.1159	0.0547	2.12	0.058	1.02
E*E	0.1062	0.0547	1.94	0.078	1.02
A*B	-0.0229	0.0741	-0.31	0.763	1.00
A*C	0.0195	0.0741	0.26	0.798	1.00
A*D	0.0094	0.0741	0.13	0.902	1.00
A*E	-0.0261	0.0741	-0.35	0.732	1.00
B*C	0.0354	0.0741	0.48	0.642	1.00
B*D	0.0491	0.0741	0.66	0.521	1.00
B*E	-0.0266	0.0741	-0.36	0.726	1.00
C*D	0.0919	0.0741	1.24	0.241	1.00
C*E	0.0300	0.0741	0.40	0.693	1.00
D*E	0.0251	0.0741	0.34	0.741	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned}
 Y_{all} = & 0.543 - 0.0059 A + 0.0161 B - 0.0586 C + 0.0592 D - 0.1448 E + 0.1040 A*A + 0.0570 B*B \\
 & + 0.1108 C*C + 0.1159 D*D + 0.1062 E*E - 0.0229 A*B + 0.0195 A*C + 0.0094 A*D \\
 & - 0.0261 A*E + 0.0354 B*C + 0.0491 B*D - 0.0266 B*E + 0.0919 C*D + 0.0300 C*E \\
 & + 0.0251 D*E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของของเสียรวม (Yall) นั้นจะได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 68.26% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 10.55% โดยมีผลกระทบหลัก คือ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) ที่มีผลกระทบต่อของเสียรวมอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Yall versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	1.72112	0.215141	3.74	0.006
Linear	4	0.67063	0.167657	2.91	0.044
A	1	0.00084	0.000845	0.01	0.905
C	1	0.08245	0.082452	1.43	0.244
D	1	0.08397	0.083971	1.46	0.240
E	1	0.50336	0.503360	8.74	0.007
Square	4	1.05050	0.262624	4.56	0.007
A*A	1	0.29078	0.290784	5.05	0.035
C*C	1	0.33202	0.332019	5.76	0.025
D*D	1	0.36508	0.365078	6.34	0.019
E*E	1	0.30421	0.304214	5.28	0.031
Error	23	1.32466	0.057594		
Lack-of-Fit	18	1.20941	0.067189	2.91	0.120
Pure Error	5	0.11525	0.023050		
Total	31	3.04578			

### Model Summary

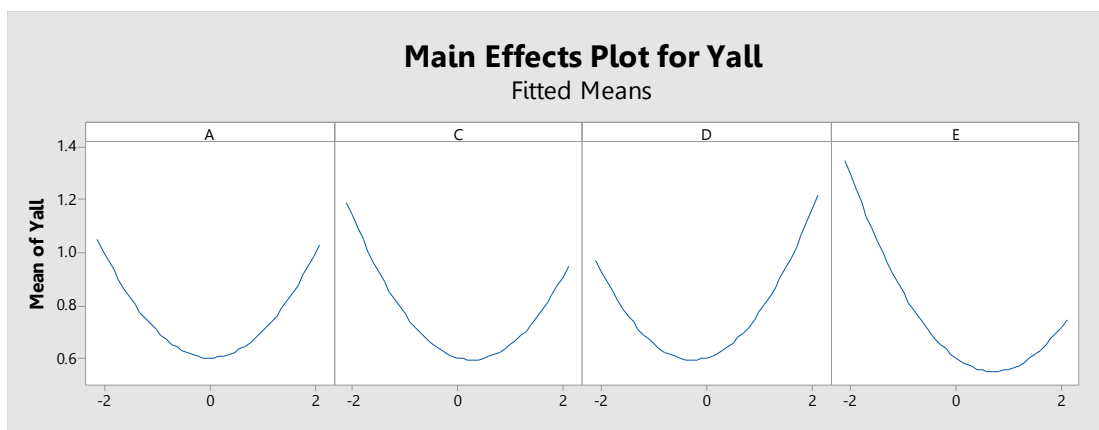
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.239987	56.51%	41.38%	0.00%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.6000	0.0848	7.07	0.000	
A	-0.0059	0.0490	-0.12	0.905	1.00
C	-0.0586	0.0490	-1.20	0.244	1.00
D	0.0592	0.0490	1.21	0.240	1.00
E	-0.1448	0.0490	-2.96	0.007	1.00
A*A	0.0992	0.0442	2.25	0.035	1.02
C*C	0.1060	0.0442	2.40	0.025	1.02
D*D	0.1112	0.0442	2.52	0.019	1.02
E*E	0.1015	0.0442	2.30	0.031	1.02

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Yall} = 0.6000 - 0.0059 A - 0.0586 C + 0.0592 D - 0.1448 E + 0.0992 A^*A + 0.1060 C^*C + 0.1112 D^*D + 0.1015 E^*E$$



รูปที่ 6. 28 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 56.51% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 41.38% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูป จะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียรวม (Yall) ได้แก่ ผลกระทบหลักของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) และเทอมกำลังสองของอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) ซึ่งต่างจากการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป คือ มีเทอมกำลังสองเพิ่มขึ้นมา จากรูปที่ 6.28 สามารถวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทุกปัจจัยจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งได้แก่ปัจจัยนำเข้า อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) คือ มีของเสียรวมเกิดขึ้นสูงเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ระดับต่ำและจะค่อยๆลดลงเมื่อระดับเข้าใกล้ระดับกลาง จากนั้นของเสียรวมจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากระดับกลางไปที่ระดับสูง กล่าวคือทุกปัจจัยนำเข้าดังกล่าวมีผลต่อของเสียรวม (Yall) ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) เป็นช่วงป้อนเม็ดพลาสติกจากกรวยเข้าสู่บริเวณภายในกระบอกสูบ ซึ่งภายในกระบอกสูบจะมีสกรูที่ถูกควบคุมความเร็วด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน เมื่ออุณหภูมิในกระบอกสูบมีค่าต่ำเกินไป ทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลวไม่หมดและไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อส่งผ่านไปยังส่วนถัดไปเพื่อขึ้นรูปก็จะเกิดของเสียลักษณะเจลใส และเมื่อปริมาณเนื้อพลาสติกที่หลอมละลายได้มีปริมาณน้อยเกินไปเป็นผลให้เกิดของเสียประเภทหนาบาง เมื่อความหนาบางไม่เท่ากันทุกส่วนเมื่อฟิล์มถูกอัดรีดด้วยลูกกลิ้งก็จะทำให้เกิดการยับตามมา หากอุณหภูมิกระบอกส่วนต้นมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลาย



เร็วเกินไป และเกิดความร้อนภายในบริเวณกระบอกสูบเป็นระยะเวลานานทำให้พลาสติกเกิดการไหม้เป็นผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำ

- อุณหภูมิหน้าแปลน (C)

เป็นช่วงส่งพลาสติกหลอมเพื่อขึ้นรูป ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนสูงไปจะทำให้โป่งสั่นและสายซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากันได้ จึงส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบางและยับตามมา แต่หากอุณหภูมิน้ำแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตายพลาสติกจึงเกิดการหลอมละลายมากขึ้นเรื่อยๆ ในส่วนที่ถูกแรงดันจากภายในขับออกมาเพื่อขึ้นรูปนั้นก็ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำได้เนื่องจากพลาสติกหลอมเกิดการไหม้นอกจากนี้ยังส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบางได้เช่นกันเนื่องจากมีปริมาณพลาสติกไหลออกมาได้ไม่มากพอ

- อุณหภูมิหัวตาย (D)

หัวตายทำหน้าที่ขึ้นรูปถุงพลาสติก เมื่อได้รับลมก็จะถูกเป่าให้ขยายออกเป็นลักษณะคล้ายลูกโป่งทอดยาวตลอดก่อนจะเข้าสู่เครื่องรีดเพื่อให้ได้ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆต่อไป โดยค่าอุณหภูมิควรจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำแปลนไม่ห่างกันมากนักเพื่อคงสภาพสถานะของพลาสติกหลอม เมื่ออุณหภูมิของหัวตายมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมมากจึงเกิดเม็ดเจลบนฟิล์ม ซึ่งจะเป็นลักษณะเจลดำ แต่หากอุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้มีความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกไม่มากพอก็จะเกิดของเสียประเภทเจลด้วยเช่นกัน แต่เป็นลักษณะของเจลใส โดยจะเกิดเจลใสในกรณีที่เม็ดพลาสติกบางส่วนยังไม่ถูกหลอมละลายอย่างสมบูรณ์จากในบริเวณกระบอกสูบแล้วถูกส่งผ่านมายังหัวตาย อีกทั้งยังทำให้เกิดถุงที่มีสีขาวขุ่นอีกด้วยซึ่งปกติจะเป็นลักษณะฟิล์มใส

- ความเร็วมอเตอร์ขับสกรู (E)

เป็นตัวกำหนดความเร็วของสกรูในกระบอกสูบ หากกำหนดความเร็วน้อยไปจะทำให้สกรูหมุนช้าส่งผลให้เม็ดพลาสติกถูกบดผสมกันช้าจึงหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ช้าทำให้ได้ปริมาณพลาสติกหลอมน้อย ส่งผลให้เกิดปัญหาของเสียประเภทหนาบางและยับตามมาได้ แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับสกรูมีค่ามากเกินไปจะสามารถบดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมาก

เป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนาบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องการยับได้เช่นกัน ทั้งนี้ค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนจะต้องสัมพันธ์กับมอเตอร์ควบคุมความหนาบางด้วยซึ่งในการทดลองได้กำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุม เพื่อให้ได้ขนาดความหนาที่ต้องการ

#### 6.1.2.8 การหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimizer)

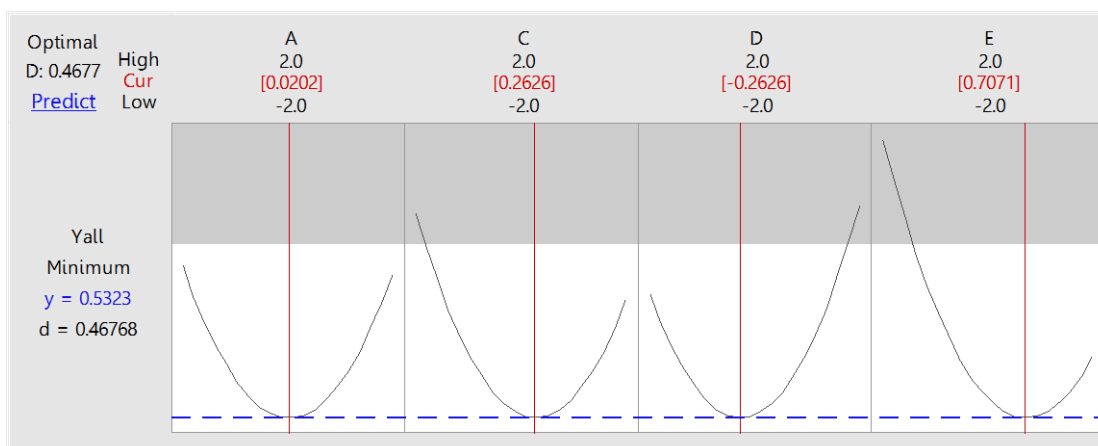
ในส่วนนี้จะทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง อย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 4 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) ที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall) ให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ด้วยวิธี Response Optimizer ในโปรแกรม minitab เนื่องจากของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง ก่อนการปรับปรุงกระบวนการนั้นมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 1.25 ดังตารางที่ 6.8 ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะกำหนดค่าเป้าหมายให้น้อยที่สุด และ Upper เป็น 0.6 เนื่องจากต้องการลดสัดส่วนของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางสำหรับลงอย่างน้อย 50% ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6. 8 ร้อยละของเสียแต่ละประเภทก่อนปรับปรุงกระบวนการ

ประเภทของเสีย	ร้อยละ
เจล	0.62
ยับ	0.27
หนาบาง	0.37
<b>รวม</b>	<b>1.25</b>

ตารางที่ 6. 9 รายละเอียดการกำหนดเป้าหมายของตัวแปรตอบสนอง

Response	Goal	Target	Upper	Weight	Importance
Yall	Minimum	0	0.6	1	1



รูปที่ 6. 29 กราฟแสดงค่าของระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย ที่จะส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด

จากรูป 6.29 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย และนำค่าที่ได้มาแปลงเป็น Uncoded Unit ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด คือ ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น 220 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย 220 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหน้าแปลน 224 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตาย 216 องศาเซลเซียส และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 40 กิโลวัตต์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าการผลิตถุงพลาสติกขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร บนเครื่องจักร BB-PP-06 อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) ไม่มีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) เท่ากับค่าเดิมก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งคือ 220 องศาเซลเซียส ดังตาราง 6.10

ตารางที่ 6. 10 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ปัจจัยนำเข้า	ค่าที่เหมาะสมจากโปรแกรม	ค่าที่นำไปทำการทดลอง	หน่วย
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A)	220.02	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B)	-	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหน้าแปลน (C)	223.94	224	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวตาย (D)	216.06	216	องศาเซลเซียส
ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E)	40.3	40	กิโลวัตต์

### 6.1.2.9 สรุประยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในถุงพลาสติกขนาด ถุงพลาสติก

ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยแล้ว คือ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) พบว่าทุกปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall) ยกเว้นปัจจัย อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยทั้งหมดนี้มาทำการทดลองโดยใช้วิธีการ ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยมีระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) 220 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหน้าแปลน (C) 224 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตาย(D) 21 องศาเซลเซียส ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) 40 กิโลวัตต์ และกำหนดอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) 220 องศาเซลเซียส ซึ่งคือค่าเดิมก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางอย่างมีความสำคัญ สำหรับการผลิตถุงพลาสติกขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร บนเครื่องจักร BB-PP-06

### 6.1.3 การทดลองสำหรับถุงพลาสติกขนาด 40 x 24 นิ้ว

#### 6.1.3.1 ปัจจัยนำเข้า

จากการคัดกรองปัจจัยนำเข้าในบทที่ 5 พบว่ามีปัจจัยที่จะทำการทดลอง 4 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิกระบอกสูบ 2) อุณหภูมิหน้าแปลน 3) อุณหภูมิหัวตาย 4) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน โดยอุณหภูมิกระบอกสูบบนเครื่องจักร BB-PP-01 มีอุณหภูมิกระบอกสูบ 2 ส่วนด้วยกัน ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการศึกษาปัจจัยนำเข้า (X) 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E)

#### 6.1.3.2 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองคือค่าสัดส่วนของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบาง (Y3) ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง คำนวณมาจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นหารด้วยปริมาณการผลิตในแต่ละการทดลอง โดยในแต่ละการทดลองจะใช้เวลา 3 ชั่วโมง ต่อ 40 กิโลกรัม

#### 6.1.3.3 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้แบบการทดลองส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยมีลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อประหยัดจำนวนการทดลอง

การทดลองส่วนประสมกลาง แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Runs) ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกแบบ  $2^{5-1}$  แบบไม่มีการทำซ้ำ ซึ่งมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยมี Resolution เท่ากับ V ซึ่งไม่มีผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของสองปัจจัยใดที่เป็นคู่แฝดแฝงกันเอง
- 2) ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) จำนวน 6 การทดลอง
- 3) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) ซึ่งมีจำนวน 10 การทดลอง โดยมีค่า  $\alpha = 2$

สรุปได้ว่าการทดลองนี้จะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ดังตารางที่ 6.11 ตารางที่ 6.11 ระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้า (X)	-2	-1	0	1	2	หน่วย
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหน้าแปลน (C)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวตาย (D)	190	207	220	232	250	องศาเซลเซียส
มอเตอร์ขับเคลื่อน (E)	10	15	20	25	30	กิโลวัตต์

#### 6.1.3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลอง 32 การทดลองนี้จำเป็นต้องมีการกำหนดปัจจัยภายนอกอื่นๆ นอกเหนือจาก 5 ปัจจัยนำเข้างดกล่าว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการทดลอง ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักร BB-PP-01 ในการผลิตทุกการทดลอง
- ใช้พนักงานคนเดียวกันปฏิบัติงานในทุกการทดลอง ซึ่งเวลาในการทดลองจะทำภายในเวลา 8.00-18.00 น. เท่านั้น
- ใน 1 การทดลองจะใช้ชิ้นงานในการผลิต 40 กิโลกรัม/ม้วน
- กำหนดค่าอุณหภูมิได้ถังเม็ดพลาสติก 70 องศาเซลเซียส และ มอเตอร์ควบคุมหนาวาง 10 เฮิร์ต
- ทำความสะอาดหัวตาย และจานลมก่อนเริ่มการทดลองในรุ่นนั้นๆ
- เปลี่ยนตะแกรงใหม่ก่อนเริ่มการทดลองในรุ่นนั้นๆ

- หลังจากทดลองเสร็จ จะนำไปตัดให้ได้ความยาวตามที่กำหนด และส่งไปยังแผนกคัดกรองของเสียเพื่อทำการตรวจสอบ 100% จะใช้พนักงานที่ผ่านการตรวจสอบระบบการวัดจากในบพที่ 4 แล้วเป็นคนตรวจสอบชิ้นงาน

ในแต่ละการทดลองจะกำหนดระดับปัจจัย ตามตารางที่ 6.12 ที่ทำการสุ่มโดยโปรแกรม Minitab การดำเนินการทดลองจะทำการทดลองตามช่อง Run Order ที่ได้จากโปรแกรม Minitab และเมื่อทำการทดลองเสร็จในแต่ละครั้งนั้นจะใช้พนักงานที่ถูกคัดเลือกไว้ในบพที่ 4 มาทำการคัดแยกของเสียเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักของของเสียต่อไป และทำการบันทึกผลการทดลองโดยพิจารณาเฉพาะของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบง (Y3) เท่านั้น

#### 6.1.3.5 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ทั้งสิ้น 32 การทดลอง เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบง (Y3) ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.12 โดยตัวเลขในช่อง Y1 Y2 และ Y3 โดย Yall หมายถึง สัดส่วนของเสียประเภทเจล ยับ หนาบง และ สัดส่วนของเสียรวมจากข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภทตามลำดับ

ตารางที่ 6. 12 ผลการทดลองเรียงตาม Standard Order จากโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3	Yall
1	4	-1	-1	-1	-1	1	0.48	0.065	0.011	0.650
2	27	1	-1	-1	-1	-1	0.38	0.28	0.031	0.836
3	14	-1	1	-1	-1	-1	0.56	0.29	0.023	1.002
4	24	1	1	-1	-1	1	0.52	0.018	0.025	0.696
5	16	-1	-1	1	-1	-1	0.32	0.31	0.007	0.714
6	22	1	-1	1	-1	1	0.41	0.022	0.012	0.542
7	12	-1	1	1	-1	1	0.46	0.026	0.007	0.570
8	21	1	1	1	-1	-1	0.42	0.34	0.015	0.882
9	15	-1	-1	-1	1	-1	0.29	0.28	0.031	0.746
10	9	1	-1	-1	1	1	0.34	0.018	0.052	0.586
11	3	-1	1	-1	1	1	0.45	0.09	0.03	0.713
12	31	1	1	-1	1	-1	0.31	0.35	0.006	0.737
13	18	-1	-1	1	1	1	0.38	0.085	0.005	0.536
14	28	1	-1	1	1	-1	0.28	0.33	0.033	0.792

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3	Yall
15	1	-1	1	1	1	-1	0.47	0.28	0.035	0.937
16	26	1	1	1	1	1	0.17	0.07	0.028	0.407
17	30	-2	0	0	0	0	0.21	0.15	0.022	0.508
18	7	2	0	0	0	0	0.3	0.17	0.009	0.565
19	10	0	-2	0	0	0	0.67	0.21	0.018	1.014
20	13	0	2	0	0	0	0.12	0.18	0.003	0.355
21	6	0	0	-2	0	0	0.79	0.21	0.102	1.319
22	5	0	0	2	0	0	0.57	0.11	0.005	0.751
23	20	0	0	0	-2	0	0.71	0.28	0.003	1.045
24	23	0	0	0	2	0	0.73	0.18	0.003	0.965
25	32	0	0	0	0	-2	0.14	0.43	0.071	0.836
26	2	0	0	0	0	2	0.12	0.42	0.017	0.670
27	11	0	0	0	0	0	0.1	0.18	0.015	0.402
28	19	0	0	0	0	0	0.13	0.14	0.001	0.302
29	8	0	0	0	0	0	0.02	0.15	0.002	0.215
30	29	0	0	0	0	0	0.087	0.07	0.009	0.252
31	25	0	0	0	0	0	0.18	0.19	0.006	0.447
32	17	0	0	0	0	0	0.09	0.11	0.008	0.289

#### 6.1.3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

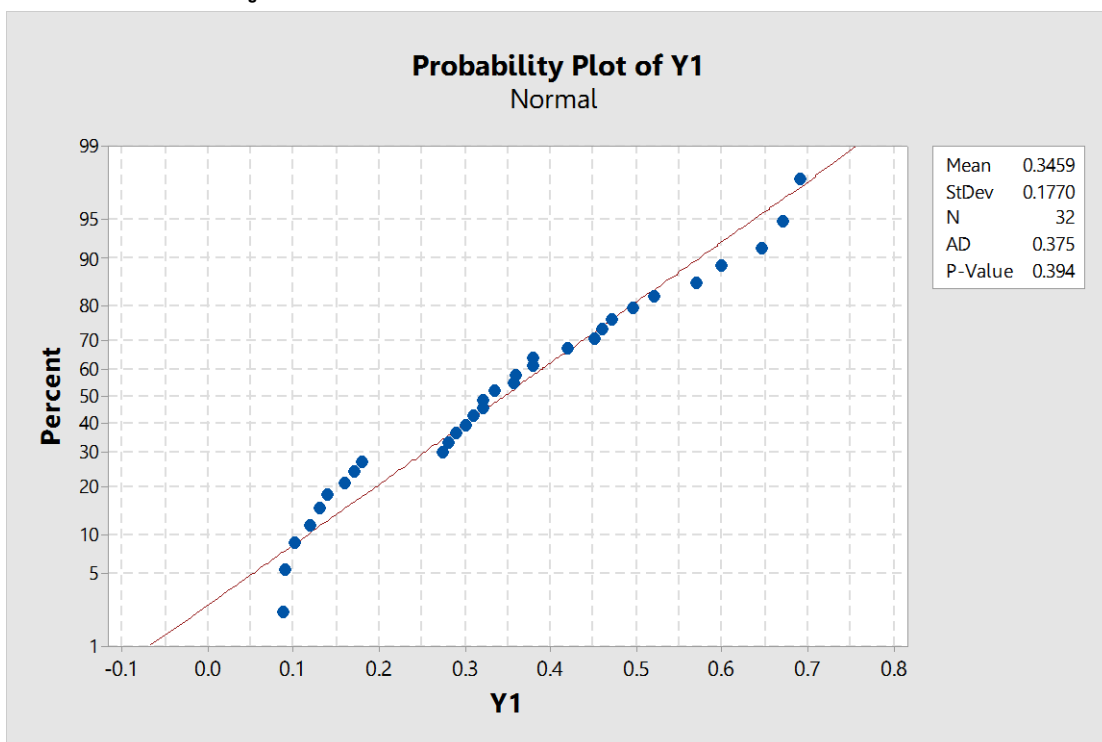
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองกับแบบจำลอง ซึ่งการตรวจสอบส่วนตกค้างนั้นจะตรวจสอบข้อมูลจากการทดลองว่าเป็นไปตามหลักการ  $e \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$  หรือไม่

สมมติฐานในการทดสอบการแจกแจงของส่วนตกค้าง (residual) มีอยู่ 3 ข้อ คือ

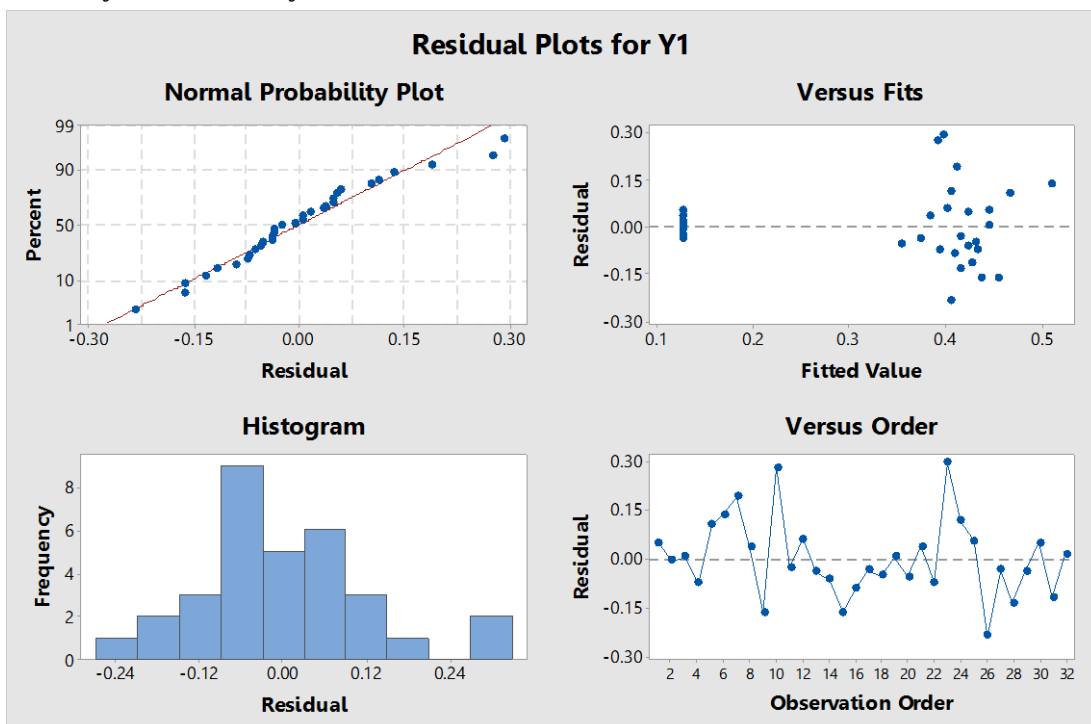
1. สมมติฐานของการแจกแจงปกติ
2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ
3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

โดยการทดสอบนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการตรวจสอบ

ก) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทเจล (Y1)



รูปที่ 6. 30 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1)



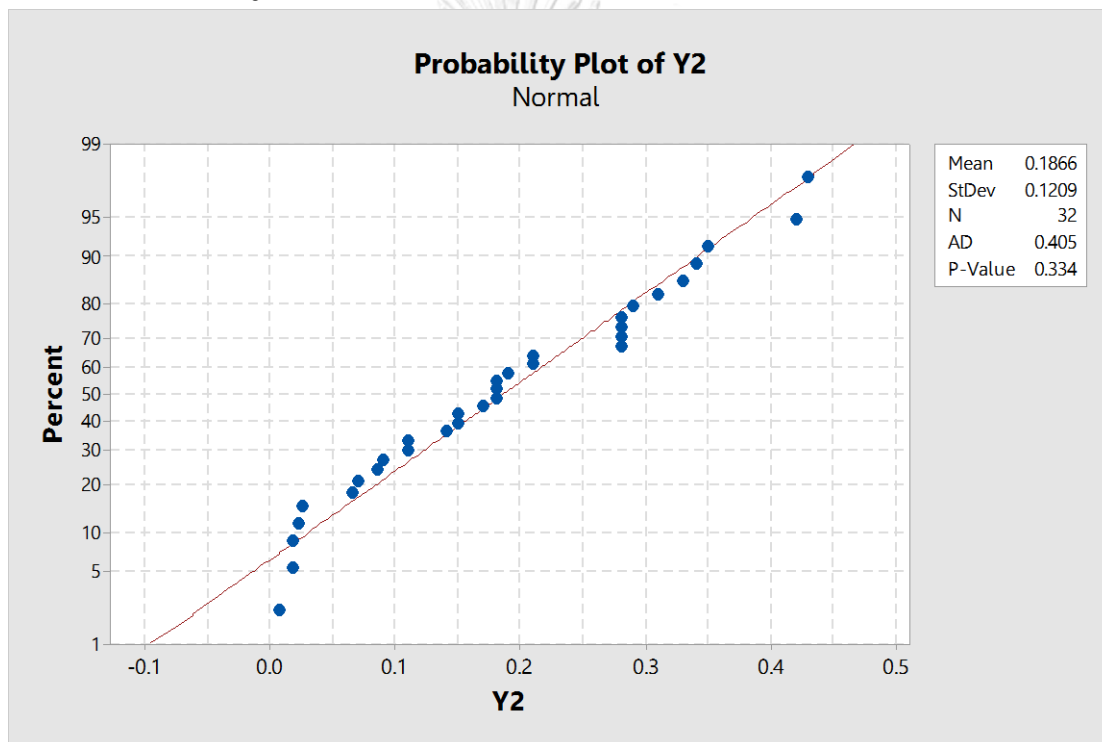
รูปที่ 6. 31 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทเจล (Y1)

จากรูปที่ 6.30 และ 6.31 พบว่า

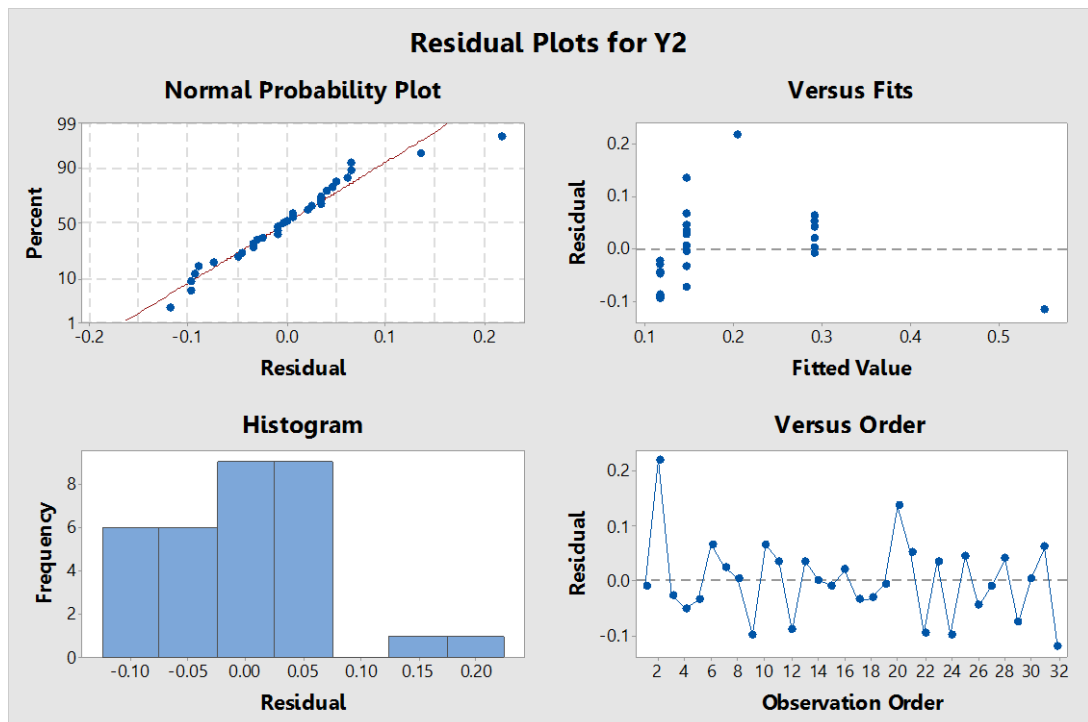


1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า p-value > 0.05 ดังรูปที่ 6.30
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.31 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.31 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ข) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทยับ (Y2)



รูปที่ 6. 32 แผนภูมิการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2)

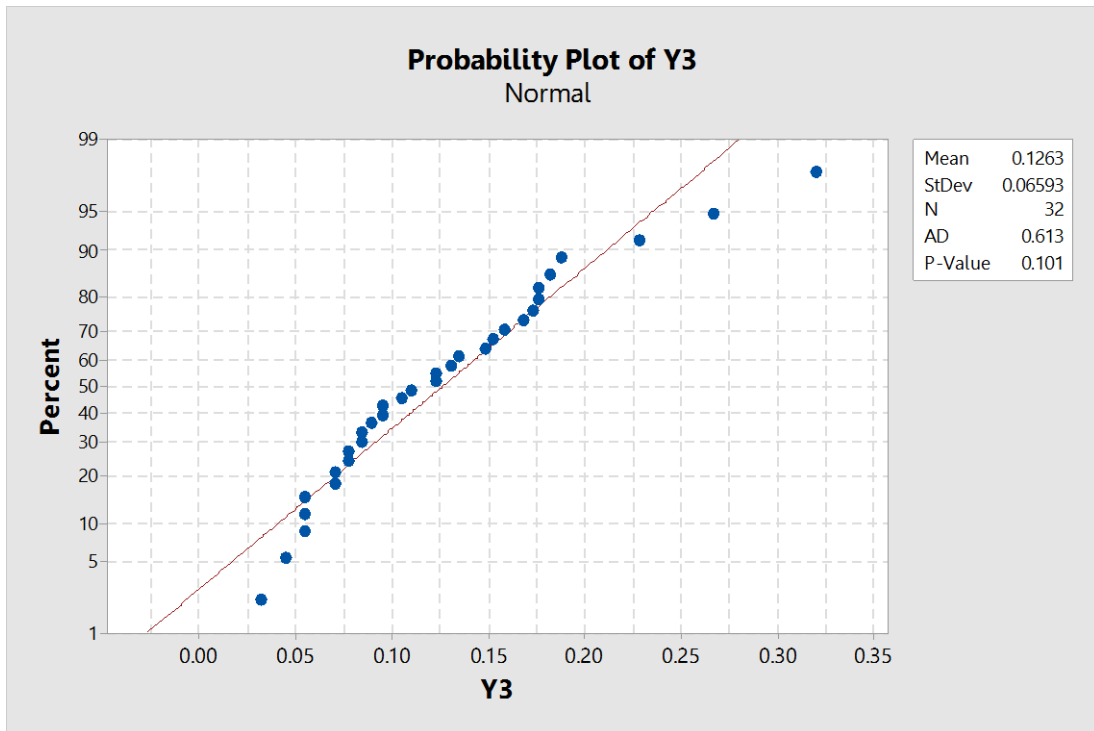


รูปที่ 6. 33 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทยับ (Y2)

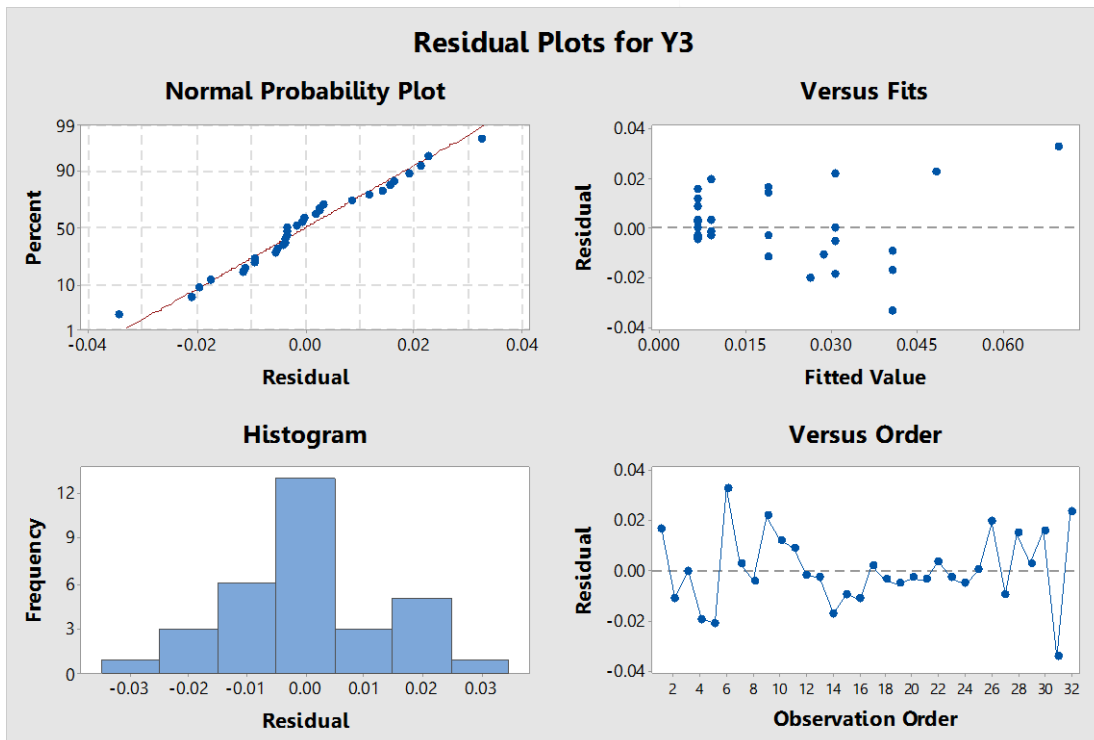
จากรูปที่ 6.32 และ 6.33 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$  ดังรูปที่ 6.32
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.33 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.33 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ค) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียประเภทหนาบาง (Y3)



รูปที่ 6. 34 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

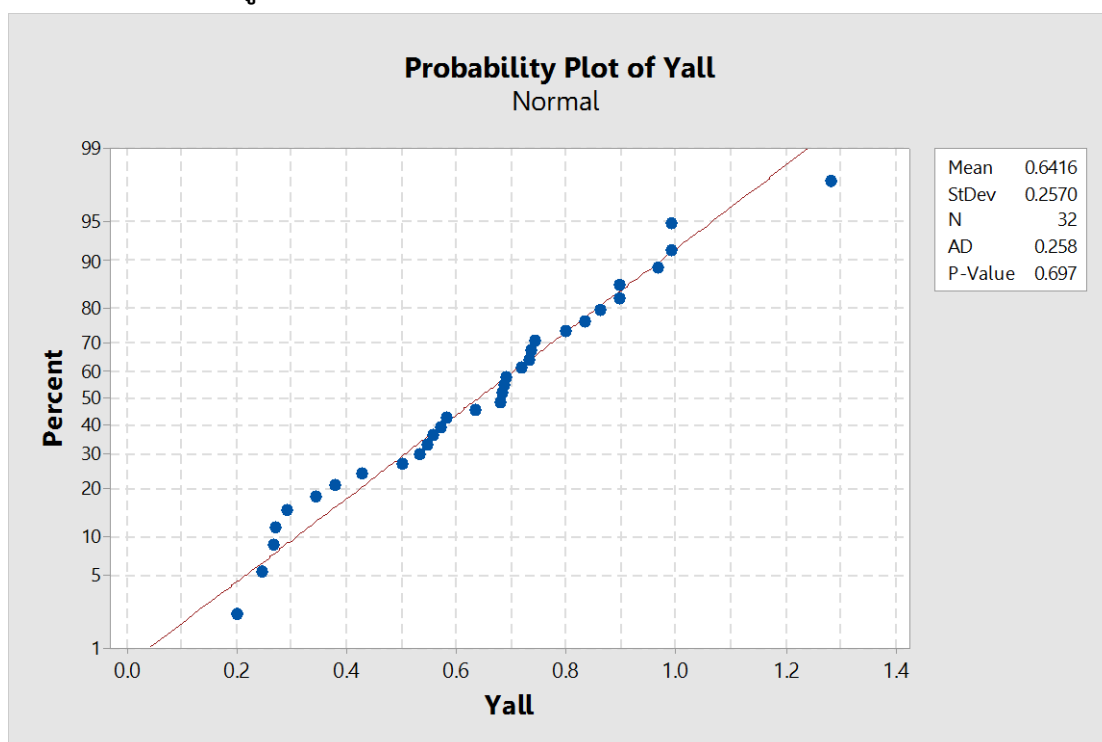


รูปที่ 6. 35 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

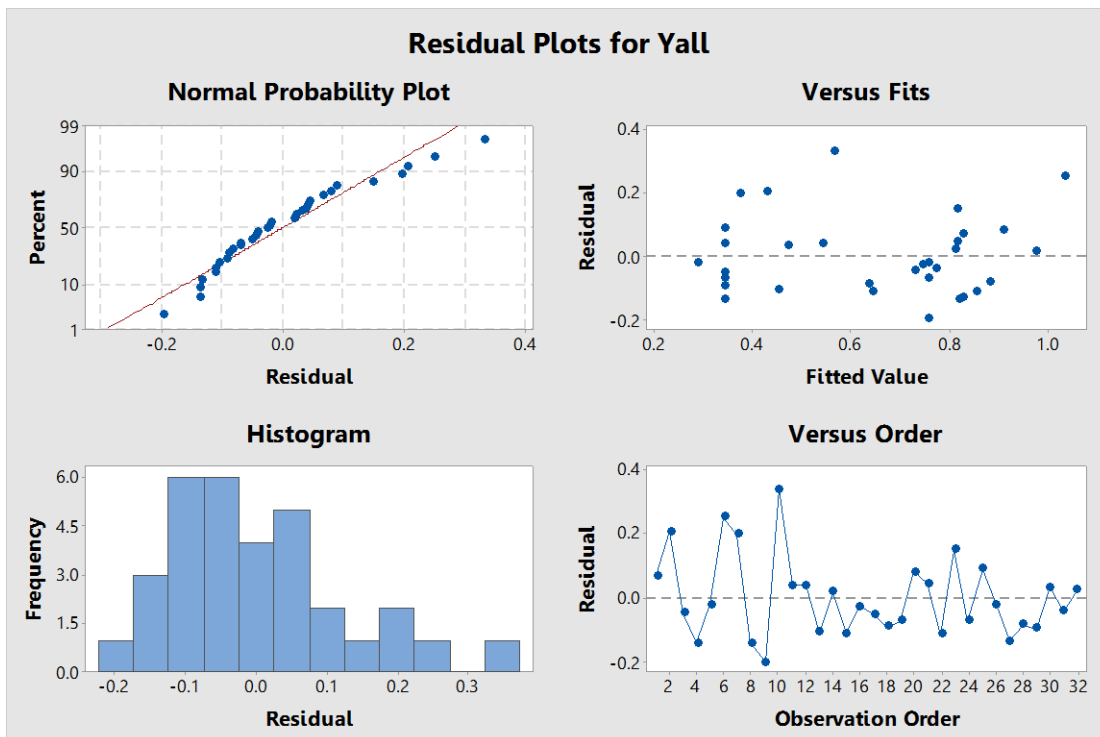
จากรูปที่ 6.34 และ 6.35 พบว่า

1. ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มใกล้เคียงเส้นตรง และพบว่าค่า  $p\text{-value} > 0.05$  ดังรูปที่ 6.34
2. ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Order ดังรูปที่ 6.35 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีแนวโน้มและรูปแบบที่แน่นอน
3. ส่วนตกค้างมีค่าความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟ Residual Versus Fits ดังรูปที่ 6.35 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบที่แน่ชัด สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ง) การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองของเสียรวม (Yall)



รูปที่ 6. 36 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของรวม (Yall)



รูปที่ 6. 37 แผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้างของของเสียรวม (Yall)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อข้างต้น สรุปได้ว่า ข้อมูลนี้มีความเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอยได้เนื่องจากมีสมมติฐานที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ได้แก่ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

#### 6.1.3.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้า และสัดส่วนของเสียแต่ละประเภทข้อบกพร่องเสียก่อน จากนั้นจึงจะหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้สัดส่วนของเสียรวม (Yall) มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยโดยพิจารณาแยกแต่ละตัวแปรตอบสนอง อาจทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่ขัดแย้งกัน ซึ่งค่าที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทหนึ่งลดลงอาจทำให้สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องอีกประเภทหนึ่งเพิ่มขึ้นได้ เป็นต้น เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) แบบเต็มรูปแบบ (Full Model) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

ก) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียประเภทเจล (Y1)

## Response Surface Regression: Y1 versus A, B, C, D, E

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	0.642315	0.032116	1.07	0.468
Linear	5	0.008405	0.001681	0.06	0.997
A	1	0.001734	0.001734	0.06	0.814
B	1	0.000536	0.000536	0.02	0.896
C	1	0.003038	0.003038	0.10	0.756
D	1	0.002948	0.002948	0.10	0.759
E	1	0.000150	0.000150	0.01	0.945
Square	5	0.561381	0.112276	3.75	0.031
A*A	1	0.156970	0.156970	5.25	0.043
B*B	1	0.111632	0.111632	3.73	0.080
C*C	1	0.227944	0.227944	7.62	0.019
D*D	1	0.105696	0.105696	3.53	0.087
E*E	1	0.028596	0.028596	0.96	0.349
2-Way Interaction	10	0.072528	0.007253	0.24	0.983
A*B	1	0.003192	0.003192	0.11	0.750
A*C	1	0.013572	0.013572	0.45	0.514
A*D	1	0.030625	0.030625	1.02	0.333
A*E	1	0.006162	0.006162	0.21	0.659
B*C	1	0.000900	0.000900	0.03	0.865
B*D	1	0.002652	0.002652	0.09	0.771
B*E	1	0.000025	0.000025	0.00	0.977
C*D	1	0.000342	0.000342	0.01	0.917
C*E	1	0.011025	0.011025	0.37	0.556
D*E	1	0.004032	0.004032	0.13	0.720
Error	11	0.329035	0.029912		
Lack-of-Fit	6	0.321467	0.053578	35.40	0.001
Pure Error	5	0.007568	0.001514		
Total	31	0.971350			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.172952	66.13%	4.54%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1571	0.0690	2.28	0.044	
A	-0.0085	0.0353	-0.24	0.814	1.00
B	-0.0047	0.0353	-0.13	0.896	1.00
C	-0.0113	0.0353	-0.32	0.756	1.00
D	0.0111	0.0353	0.31	0.759	1.00
E	0.0025	0.0353	0.07	0.945	1.00
A*A	0.0732	0.0319	2.29	0.043	1.02
B*B	0.0617	0.0319	1.93	0.080	1.02
C*C	0.0882	0.0319	2.76	0.019	1.02
D*D	0.0600	0.0319	1.88	0.087	1.02
E*E	-0.0312	0.0319	-0.98	0.349	1.02
A*B	-0.0141	0.0432	-0.33	0.750	1.00
A*C	-0.0291	0.0432	-0.67	0.514	1.00
A*D	-0.0437	0.0432	-1.01	0.333	1.00
A*E	-0.0196	0.0432	-0.45	0.659	1.00
B*C	-0.0075	0.0432	-0.17	0.865	1.00
B*D	-0.0129	0.0432	-0.30	0.771	1.00
B*E	-0.0012	0.0432	-0.03	0.977	1.00
C*D	0.0046	0.0432	0.11	0.917	1.00
C*E	-0.0262	0.0432	-0.61	0.556	1.00
D*E	-0.0159	0.0432	-0.37	0.720	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y1 = & 0.1571 - 0.0085 A - 0.0047 B - 0.0113 C + 0.0111 D + 0.0025 E + 0.0732 A^2 + 0.0617 B^2 \\
 & + 0.0882 C^2 + 0.0600 D^2 - 0.0312 E^2 - 0.0141 A^2 B - 0.0291 A^2 C - 0.0437 A^2 D \\
 & - 0.0196 A^2 E - 0.0075 B^2 C - 0.0129 B^2 D - 0.0012 B^2 E + 0.0046 C^2 D - 0.0262 C^2 E \\
 & - 0.0159 D^2 E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของเจล (Y1) นั้นจะได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 66.13% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 4.54% โดยมีเทอมกำลังสองของอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น ( $A^2$ ) และอุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทเจลอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนพารามิเตอร์ จึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระ (Backward elimination) แบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป (Reduced Model) จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Y1 versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	0.99339	0.165564	11.41	0.000
Linear	3	0.07485	0.024950	1.72	0.189
B	1	0.01602	0.016017	1.10	0.303
C	1	0.03082	0.030817	2.12	0.157
D	1	0.02802	0.028017	1.93	0.177
Square	3	0.91854	0.306179	21.11	0.000
B*B	1	0.07426	0.074257	5.12	0.033
C*C	1	0.43678	0.436777	30.11	0.000
D*D	1	0.51180	0.511800	35.28	0.000
Error	25	0.36268	0.014507		
Lack-of-Fit	20	0.34872	0.017436	6.24	0.026
Pure Error	5	0.01396	0.002792		
Total	31	1.35607			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.120446	73.25%	66.84%	19.71%

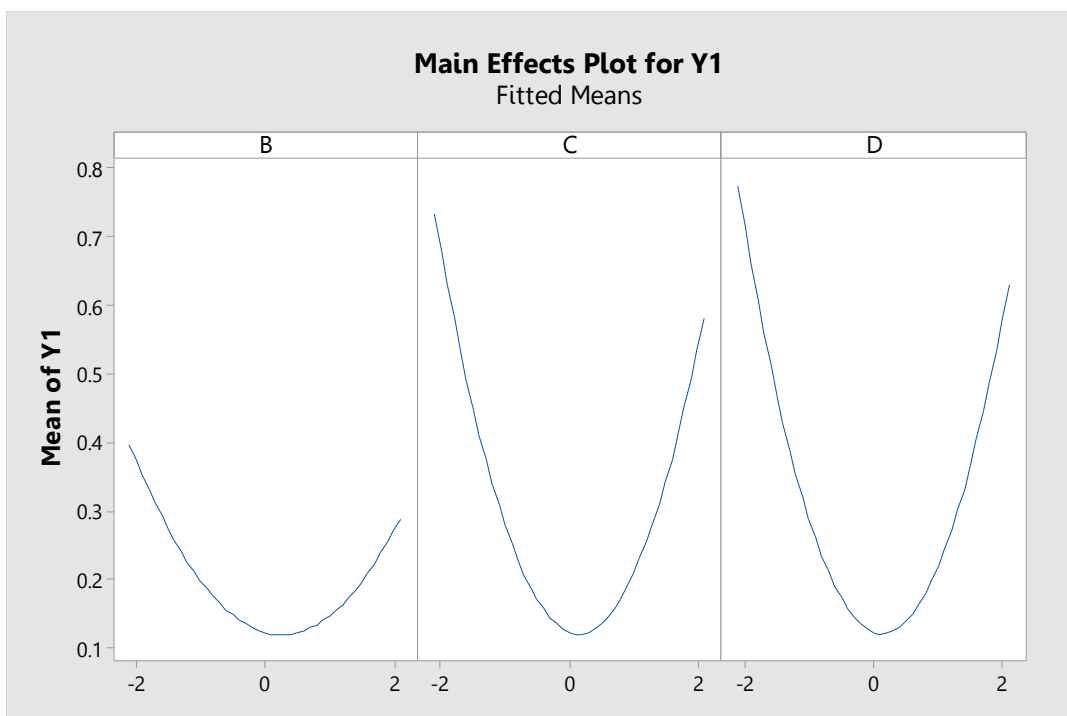
### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1234	0.0373	3.30	0.003	
B	-0.0258	0.0246	-1.05	0.303	1.00
C	-0.0358	0.0246	-1.46	0.157	1.00
D	-0.0342	0.0246	-1.39	0.177	1.00
B*B	0.0500	0.0221	2.26	0.033	1.01
C*C	0.1212	0.0221	5.49	0.000	1.01
D*D	0.1312	0.0221	5.94	0.000	1.01

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y1 = 0.1234 - 0.0258 B - 0.0358 C - 0.0342 D + 0.0500 B*B + 0.1212 C*C + 0.1312 D*D$$





รูปที่ 6. 38 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1)

จากการวิเคราะห์การลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 73.25% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 66.84% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปจะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  และค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทเจล (Y1) นั้นได้แก่ เทอมกำลังสองของอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย ( $B^2$ ) อุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) และอุณหภูมิหัวตาย ( $D^2$ ) ซึ่งเทอมที่มีผลนั้นแตกต่างจากการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักจากรูปที่ 6.38 จะเห็นว่ากราฟทั้ง 3 มีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทเจลเกิดขึ้นมากและลดน้อยลงจนต่ำสุดที่ใกล้เคียงระดับกลาง จากนั้นของเสียจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนไปที่ระดับสูง อธิบายผลแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังนี้

กราฟทางด้านซ้ายของรูปที่ 6.38 เป็นผลกระทบหลักของปัจจัยอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) เป็นส่วนหลอมเม็ดพลาสติกเข้าด้วยกัน เมื่ออุณหภูมิในกระบอกสูงมีค่าต่ำเกินไป ทำให้เม็ดพลาสติกหลอมเหลวไม่หมดและไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อเม็ดพลาสติกที่หลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์สามารถผ่านไปยังส่วนถัดไปเพื่อขึ้นรูปได้จึงส่งผลให้เกิดของเสียลักษณะเจลใส และหากอุณหภูมิกระบอกส่วนต้นมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายเร็วเกินไป และเกิดความร้อนภายในบริเวณกระบอกสูงเป็นระยะเวลาานานทำให้พลาสติกเกิดการไหม้เป็นผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำ

กราฟตรงกลางของรูปที่ 6.38 เป็นผลกระทบหลักของปัจจัยอุณหภูมิหน้าแปลน (C) เป็นช่วงส่งพลาสติกหลอมเพื่อขึ้นรูป ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตาย พลาสติกจึงเกิดการหลอมละลายมากขึ้นเรื่อยๆ ในส่วนที่ถูกแรงดันจากภายในขับออกมาเพื่อขึ้นรูปนั้นก็ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำได้เนื่องจากพลาสติกหลอมเกิดการไหม้ เช่นเดียวกับเมื่ออุณหภูมิหน้าแปลนสูงเกินไปก็จะทำให้เกิดความร้อนสะสมซึ่งทำให้พลาสติกหลอมเกิดการไหม้และเกิดเป็นของเสียประเภทเจลดำได้เช่นเดียวกัน

กราฟทางด้านขวาของรูปที่ 6.38 เป็นผลกระทบหลักของปัจจัยอุณหภูมิหัวตาย (D) เมื่ออุณหภูมิของหัวตายมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมมากจึงเกิดเม็ดเจลบนฟิล์ม ซึ่งจะเป็นลักษณะเจลดำ แต่หากอุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้มีความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกไม่มากพอก็จะเกิดของเสียประเภทเจลด้วยเช่นกัน แต่เป็นลักษณะของเจลใส โดยจะเกิดเจลใสในกรณีที่เม็ดพลาสติกบางส่วนยังไม่ถูกหลอมละลายอย่างสมบูรณ์จากในบริเวณกระบอกลูกสูบแล้วถูกส่งผ่านมายังหัวตาย อีกทั้งยังทำให้เกิดถุงที่มีสีขาวขุ่นอีกด้วยซึ่งปกติจะเป็นลักษณะฟิล์มใส

ข) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียประเภทยับ (Y2)

### Response Surface Regression: Y2 versus A, B, C, D, E

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	0.313196	0.015660	1.23	0.373
Linear	5	0.194577	0.038915	3.05	0.057
A	1	0.000018	0.000018	0.00	0.970
B	1	0.000100	0.000100	0.01	0.931
C	1	0.001520	0.001520	0.12	0.736
D	1	0.000513	0.000513	0.04	0.845
E	1	0.192425	0.192425	15.09	0.003
Square	5	0.105697	0.021139	1.66	0.225
A*A	1	0.002994	0.002994	0.23	0.638
B*B	1	0.000054	0.000054	0.00	0.949
C*C	1	0.002994	0.002994	0.23	0.638
D*D	1	0.001605	0.001605	0.13	0.729
E*E	1	0.092475	0.092475	7.25	0.021
2-Way Interaction	10	0.012922	0.001292	0.10	0.999
A*B	1	0.000885	0.000885	0.07	0.797
A*C	1	0.000203	0.000203	0.02	0.902
A*D	1	0.000000	0.000000	0.00	0.998
A*E	1	0.007268	0.007268	0.57	0.466
B*C	1	0.002475	0.002475	0.19	0.668
B*D	1	0.000018	0.000018	0.00	0.971
B*E	1	0.000743	0.000743	0.06	0.814
C*D	1	0.000410	0.000410	0.03	0.861
C*E	1	0.000770	0.000770	0.06	0.810
D*E	1	0.000150	0.000150	0.01	0.916
Error	11	0.140260	0.012751		
Lack-of-Fit	6	0.130260	0.021710	10.85	0.010
Pure Error	5	0.010000	0.002000		
Total	31	0.453456			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.112920	69.07%	12.83%	0.00%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1551	0.0450	3.44	0.005	
A	-0.0009	0.0230	-0.04	0.970	1.00
B	-0.0020	0.0230	-0.09	0.931	1.00
C	-0.0080	0.0230	-0.35	0.736	1.00
D	-0.0046	0.0230	-0.20	0.845	1.00
E	-0.0895	0.0230	-3.88	0.003	1.00
A*A	-0.0101	0.0208	-0.48	0.638	1.02
B*B	-0.0014	0.0208	-0.06	0.949	1.02
C*C	-0.0101	0.0208	-0.48	0.638	1.02
D*D	0.0074	0.0208	0.35	0.729	1.02
E*E	0.0561	0.0208	2.69	0.021	1.02
A*B	0.0074	0.0282	0.26	0.797	1.00
A*C	0.0036	0.0282	0.13	0.902	1.00
A*D	0.0001	0.0282	0.00	0.998	1.00
A*E	-0.0213	0.0282	-0.75	0.466	1.00
B*C	-0.0124	0.0282	-0.44	0.668	1.00
B*D	0.0011	0.0282	0.04	0.971	1.00
B*E	-0.0068	0.0282	-0.24	0.814	1.00
C*D	-0.0051	0.0282	-0.18	0.861	1.00
C*E	-0.0069	0.0282	-0.25	0.810	1.00
D*E	0.0031	0.0282	0.11	0.916	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 0.1551 - 0.0009 A - 0.0020 B - 0.0080 C - 0.0046 D - 0.0895 E - 0.0101 A^*A - 0.0014 B^*B \\
 & - 0.0101 C^*C + 0.0074 D^*D + 0.0561 E^*E + 0.0074 A^*B + 0.0036 A^*C + 0.0001 A^*D \\
 & - 0.0213 A^*E - 0.0124 B^*C + 0.0011 B^*D - 0.0068 B^*E - 0.0051 C^*D - 0.0069 C^*E \\
 & + 0.0031 D^*E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของยับ (Y2) นั้นจะได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 69.07% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 12.83% โดยมีผลกระทบหลัก คือ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) และเทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $E^2$ ) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทยับอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Y2 versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	0.28090	0.140449	26.49	0.000
Linear	1	0.18131	0.181308	34.19	0.000
E	1	0.18131	0.181308	34.19	0.000
Square	1	0.09959	0.099590	18.78	0.000
E*E	1	0.09959	0.099590	18.78	0.000
Error	29	0.15377	0.005303		
Lack-of-Fit	24	0.14377	0.005991	3.00	0.113
Pure Error	5	0.01000	0.002000		
Total	31	0.43467			

### Model Summary

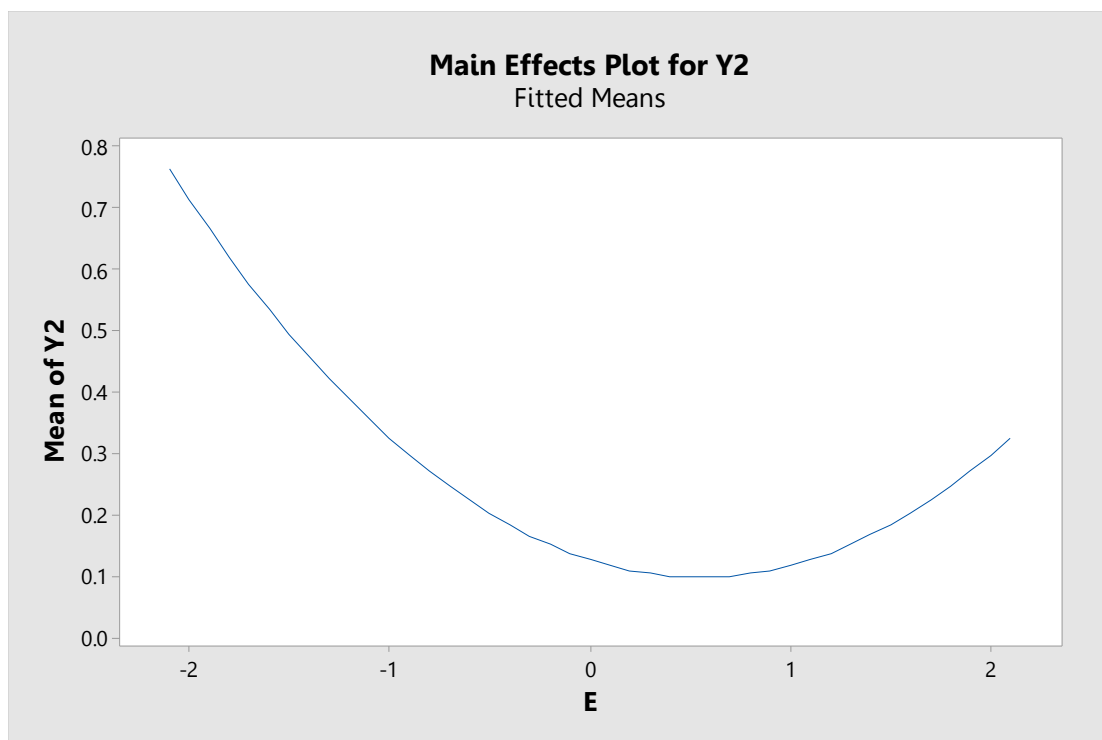
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0728185	64.62%	62.18%	5.59%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.1454	0.0163	8.93	0.000	
E	-0.0869	0.0149	-5.85	0.000	1.00
E*E	0.0576	0.0133	4.33	0.000	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y2 = 0.1454 - 0.0869 E + 0.0576 E^2$$



รูปที่ 6. 39 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทยับ (Y2)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 64.62% และ  $R^2_{adj}$  62.18% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปจะพบว่า วิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทยับ (Y2) นั้นไม่แตกต่างจากผลการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป ได้แก่ ผลกระทบหลักของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) และ เทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $E^2$ )

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักจากรูปที่ 6.39 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้ง คือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทยับเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและค่อยๆ ลดลงจนน้อยสุดที่ระดับใกล้เคียงกลาง จากนั้นของเสียจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนอยู่ที่ระดับสูงขึ้นไป เนื่องจากปัญหาของเสียเรื่องยับ จะขึ้นตรงกับค่าความหนาบางของฟิล์ม เมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวได้ช้าและไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ก่อนส่งผ่านไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปจึงส่งผลให้มีเนื้อพลาสติกออกมาได้น้อยเป็นผลให้ฟิล์มบางจึงเกิดการยับได้ง่าย แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจะสามารถบดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนาบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมี

ความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องการยับได้เช่นกัน

ค) ผลการทดลองของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

Response Surface Regression: Y3 versus A, B, C, D, E					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	0.010641	0.000532	1.51	0.243
Linear	5	0.003866	0.000773	2.20	0.129
A	1	0.000030	0.000030	0.09	0.774
B	1	0.000077	0.000077	0.22	0.649
C	1	0.002838	0.002838	8.06	0.016
D	1	0.000330	0.000330	0.94	0.354
E	1	0.000590	0.000590	1.68	0.222
Square	5	0.005017	0.001003	2.85	0.069
A*A	1	0.000015	0.000015	0.04	0.840
B*B	1	0.000008	0.000008	0.02	0.880
C*C	1	0.003061	0.003061	8.70	0.013
D*D	1	0.000170	0.000170	0.48	0.501
E*E	1	0.001803	0.001803	5.12	0.045
2-Way Interaction	10	0.001758	0.000176	0.50	0.858
A*B	1	0.000564	0.000564	1.60	0.232
A*C	1	0.000014	0.000014	0.04	0.845
A*D	1	0.000018	0.000018	0.05	0.825
A*E	1	0.000352	0.000352	1.00	0.339
B*C	1	0.000298	0.000298	0.85	0.378
B*D	1	0.000060	0.000060	0.17	0.687
B*E	1	0.000068	0.000068	0.19	0.669
C*D	1	0.000060	0.000060	0.17	0.687
C*E	1	0.000264	0.000264	0.75	0.405
D*E	1	0.000060	0.000060	0.17	0.687
Error	11	0.003872	0.000352		
Lack-of-Fit	6	0.003741	0.000623	23.83	0.002
Pure Error	5	0.000131	0.000026		
Total	31	0.014512			
<b>Model Summary</b>					
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	
	0.0187607	73.32%	24.82%	0.00%	

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.00828	0.00748	1.11	0.292	
A	0.00113	0.00383	0.29	0.774	1.00
B	-0.00179	0.00383	-0.47	0.649	1.00
C	-0.01088	0.00383	-2.84	0.016	1.00
D	0.00371	0.00383	0.97	0.354	1.00
E	-0.00496	0.00383	-1.29	0.222	1.00
A*A	0.00072	0.00346	0.21	0.840	1.02
B*B	-0.00053	0.00346	-0.15	0.880	1.02
C*C	0.01022	0.00346	2.95	0.013	1.02
D*D	-0.00241	0.00346	-0.70	0.501	1.02
E*E	0.00784	0.00346	2.26	0.045	1.02
A*B	-0.00594	0.00469	-1.27	0.232	1.00
A*C	0.00094	0.00469	0.20	0.845	1.00
A*D	-0.00106	0.00469	-0.23	0.825	1.00
A*E	0.00469	0.00469	1.00	0.339	1.00
B*C	0.00431	0.00469	0.92	0.378	1.00
B*D	-0.00194	0.00469	-0.41	0.687	1.00
B*E	0.00206	0.00469	0.44	0.669	1.00
C*D	0.00194	0.00469	0.41	0.687	1.00
C*E	-0.00406	0.00469	-0.87	0.405	1.00
D*E	0.00194	0.00469	0.41	0.687	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned}
 Y_3 = & 0.00828 + 0.00113 A - 0.00179 B - 0.01088 C + 0.00371 D - 0.00496 E + 0.00072 A^*A \\
 & - 0.00053 B^*B + 0.01022 C^*C - 0.00241 D^*D + 0.00784 E^*E - 0.00594 A^*B + 0.00094 A^*C \\
 & - 0.00106 A^*D + 0.00469 A^*E + 0.00431 B^*C - 0.00194 B^*D + 0.00206 B^*E + 0.00194 C^*D \\
 & - 0.00406 C^*E + 0.00194 D^*E
 \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปของหนาบาง (Y3) นั้นจะได้ค่า R<sup>2</sup> เท่ากับ 73.32% และ R<sup>2</sup>adj เท่ากับ 24.82% โดยมีผลกระทบหลัก คือ อุณหภูมิหน้าแปลน (C) และ เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน (C<sup>2</sup>) ที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทหนาบางอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัดจำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้



## Response Surface Regression: Y3 versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0.008246	0.002061	8.88	0.000
Linear	2	0.003428	0.001714	7.39	0.003
C	1	0.002838	0.002838	12.23	0.002
E	1	0.000590	0.000590	2.54	0.122
Square	2	0.004817	0.002409	10.38	0.000
C*C	1	0.003215	0.003215	13.85	0.001
E*E	1	0.001911	0.001911	8.24	0.008
Error	27	0.006267	0.000232		
Lack-of-Fit	22	0.006136	0.000279	10.66	0.008
Pure Error	5	0.000131	0.000026		
Total	31	0.014512			

### Model Summary

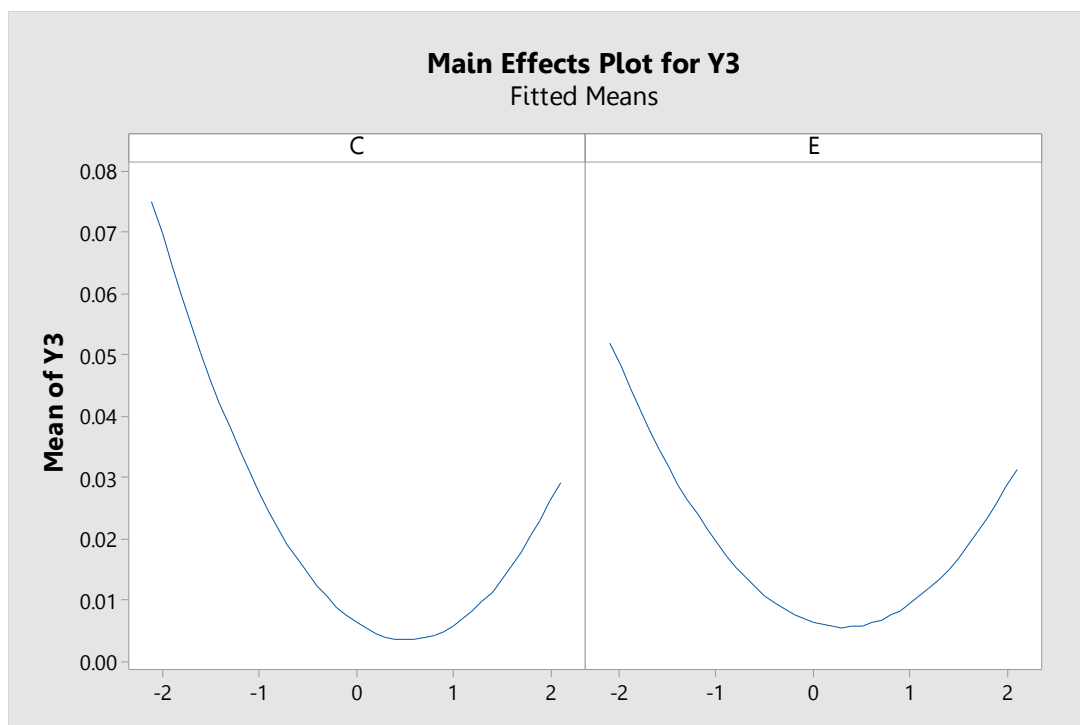
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0152347	56.82%	50.42%	0.00%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.00638	0.00407	1.57	0.129	
C	-0.01088	0.00311	-3.50	0.002	1.00
E	-0.00496	0.00311	-1.59	0.122	1.00
C*C	0.01038	0.00279	3.72	0.001	1.00
E*E	0.00800	0.00279	2.87	0.008	1.00

### Regression Equation in Uncoded Units

$$Y3 = 0.00638 - 0.01088 C - 0.00496 E + 0.01038 C^2 + 0.00800 E^2$$



รูปที่ 6. 40 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 56.82% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 50.42% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูป จะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียประเภทหนาบาง (Y3) ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิหน้าแปลน (C) และเทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $E^2$ ) ซึ่งได้ผลที่แตกต่างจากการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป

เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลักทั้ง 2 จากรูปที่ 6.40 จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งคือ ที่ระดับต่ำจะมีของเสียประเภทหนาบางเกิดขึ้นมากและลดน้อยลงจนต่ำสุดที่ใกล้เคียงระดับกลาง จากนั้นของเสียจะค่อยๆเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเปลี่ยนไปที่ระดับสูง อธิบายผลแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังนี้

ทางด้านซ้ายของรูปที่ 6.40 จะเป็นกราฟผลกระทบหลักของอุณหภูมิหน้าแปลน (C) เป็นส่วนส่งพลาสติกหลอมเพื่อไปขึ้นรูป ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนสูงไปจะทำให้โป่งสั่นและสายซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากันได้ จึงก่อให้เกิดของเสียประเภทหนาบาง แต่หากอุณหภูมิหน้าแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปทำให้มีปริมาณพลาสติกหลอมไหลออกมาได้ไม่มากพอจึงทำให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากัน

ทางด้านขวาของรูปที่ 6.40 เป็นกราฟผลกระทบหลักของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) เมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าน้อยเกินไปจะทำให้พลาสติกหลอมเหลวได้ช้าเนื่องจากสกรูหมุนช้าทำให้ไม่สามารถหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ก่อนส่งผ่านไปยังหัวตายเพื่อขึ้นรูปจึงส่งผลให้มีเนื้อพลาสติกออกมาได้น้อยเป็นผลให้ฟิล์มบาง แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจะสามารถบดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนาบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องความหนาบางไม่สม่ำเสมอ

เนื่องจากปัจจัยนำเข้าส่งผลต่อของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบาง (Y3) แตกต่างกันไป ผลที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า (Response Optimizer) อาจจะทำให้ของเสียประเภทเจล (Y1) ลดลง แต่ส่งผลต่อของเสียประเภทอื่นสูงขึ้น เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการรวมปัญหาของเสียประเภทเจล (Y1) ยับ (Y2) และหนาบาง (Y3) เข้าด้วยกัน และหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าของการทดลองนี้ เพื่อให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภท (Yall) รวมน้อยที่สุด

ง) การวิเคราะห์ผลการทดลองของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall)

## Response Surface Regression: Yall versus A, B, C, D, E

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	20	1.57184	0.078592	1.81	0.155
Linear	5	0.38046	0.076092	1.76	0.202
A	1	0.01386	0.013863	0.32	0.583
B	1	0.01924	0.019235	0.44	0.519
C	1	0.11460	0.114600	2.65	0.132
D	1	0.01357	0.013570	0.31	0.587
E	1	0.21919	0.219194	5.06	0.046
Square	5	1.06453	0.212906	4.92	0.013
A*A	1	0.01207	0.012070	0.28	0.608
B*B	1	0.05100	0.051000	1.18	0.301
C*C	1	0.56316	0.563156	13.00	0.004
D*D	1	0.50111	0.501112	11.57	0.006
E*E	1	0.14359	0.143591	3.32	0.096
2-Way Interaction	10	0.12685	0.012685	0.29	0.969
A*B	1	0.01520	0.015204	0.35	0.566
A*C	1	0.00130	0.001303	0.03	0.865
A*D	1	0.00604	0.006038	0.14	0.716
A*E	1	0.00188	0.001883	0.04	0.839
B*C	1	0.01050	0.010501	0.24	0.632
B*D	1	0.02009	0.020086	0.46	0.510
B*E	1	0.02445	0.024454	0.56	0.468
C*D	1	0.00139	0.001386	0.03	0.861
C*E	1	0.03925	0.039253	0.91	0.362
D*E	1	0.00674	0.006738	0.16	0.701
Error	11	0.47643	0.043312		
Lack-of-Fit	6	0.43984	0.073306	10.02	0.012
Pure Error	5	0.03659	0.007319		
Total	31	2.04827			

### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.208115	76.74%	34.45%	0.00%

**Coded Coefficients**

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.3407	0.0830	4.10	0.002	
A	-0.0240	0.0425	-0.57	0.583	1.00
B	-0.0283	0.0425	-0.67	0.519	1.00
C	-0.0691	0.0425	-1.63	0.132	1.00
D	-0.0238	0.0425	-0.56	0.587	1.00
E	-0.0956	0.0425	-2.25	0.046	1.00
A*A	0.0203	0.0384	0.53	0.608	1.02
B*B	0.0417	0.0384	1.09	0.301	1.02
C*C	0.1386	0.0384	3.61	0.004	1.02
D*D	0.1307	0.0384	3.40	0.006	1.02
E*E	0.0700	0.0384	1.82	0.096	1.02
A*B	-0.0308	0.0520	-0.59	0.566	1.00
A*C	0.0090	0.0520	0.17	0.865	1.00
A*D	-0.0194	0.0520	-0.37	0.716	1.00
A*E	-0.0108	0.0520	-0.21	0.839	1.00
B*C	-0.0256	0.0520	-0.49	0.632	1.00
B*D	-0.0354	0.0520	-0.68	0.510	1.00
B*E	-0.0391	0.0520	-0.75	0.468	1.00
C*D	0.0093	0.0520	0.18	0.861	1.00
C*E	-0.0495	0.0520	-0.95	0.362	1.00
D*E	-0.0205	0.0520	-0.39	0.701	1.00

**Regression Equation in Uncoded Units**

$$\begin{aligned}
 Y_{all} = & 0.3407 - 0.0240 A - 0.0283 B - 0.0691 C - 0.0238 D - 0.0956 E + 0.0203 A^*A \\
 & + 0.0417 B^*B + 0.1386 C^*C + 0.1307 D^*D + 0.0700 E^*E - 0.0308 A^*B + 0.0090 A^*C \\
 & - 0.0194 A^*D - 0.0108 A^*E - 0.0256 B^*C - 0.0354 B^*D - 0.0391 B^*E + 0.0093 C^*D \\
 & - 0.0495 C^*E - 0.0205 D^*E
 \end{aligned}$$

**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปแบบของของเสียรวม (Yall) นั้นจะได้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 76.74% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 34.45% โดยมีเทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) และ อุณหภูมิหัวตาย ( $D^2$ ) ที่มีผลกระทบต่อของเสียรวมอย่างมีนัยสำคัญ และเนื่องจากการทดลองนี้มี ปัจจัยนำเข้าหลายปัจจัย เพื่อเป็นการคัดเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญและได้แบบจำลองที่ประหยัด จำนวนเทอม ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model โดยกำหนดค่า  $\alpha = 0.05$  เพื่อหาสมการลดรูป จากการวิเคราะห์ผลในโปรแกรม minitab ได้ผลดังนี้

## Response Surface Regression: Yall versus A, B, C, D, E

### Backward Elimination of Terms

$\alpha$  to remove = 0.05

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	1.37376	0.228959	8.46	0.000
Linear	3	0.34987	0.116623	4.31	0.014
C	1	0.11544	0.115437	4.27	0.049
D	1	0.01386	0.013860	0.51	0.481
E	1	0.22057	0.220572	8.15	0.009
Square	3	1.02389	0.341296	12.61	0.000
C*C	1	0.54058	0.540580	19.97	0.000
D*D	1	0.47945	0.479447	17.72	0.000
E*E	1	0.13085	0.130845	4.83	0.037
Error	25	0.67658	0.027063		
Lack-of-Fit	20	0.63998	0.031999	4.37	0.054
Pure Error	5	0.03659	0.007319		
Total	31	2.05034			

### Model Summary

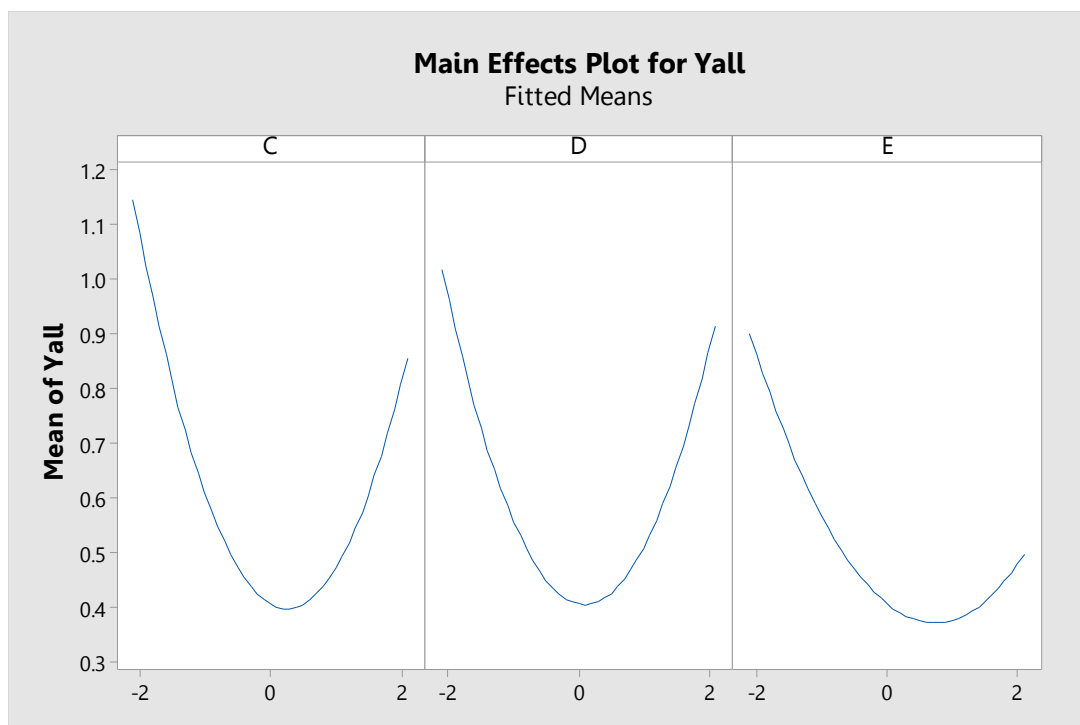
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.164509	67.00%	59.08%	41.81%

### Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.4056	0.0510	7.95	0.000	
C	-0.0694	0.0336	-2.07	0.049	1.00
D	-0.0240	0.0336	-0.72	0.481	1.00
E	-0.0959	0.0336	-2.85	0.009	1.00
C*C	0.1349	0.0302	4.47	0.000	1.01
D*D	0.1270	0.0302	4.21	0.000	1.01
E*E	0.0664	0.0302	2.20	0.037	1.01

### Regression Equation in Uncoded Units

$$\text{Yall} = 0.4056 - 0.0694 C - 0.0240 D - 0.0959 E + 0.1349 C^2 + 0.1270 D^2 + 0.0664 E^2$$



รูปที่ 6. 41 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall)

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีลดตัวแปรอิสระ พบว่าสมการการถดถอยที่ได้มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 67% และ  $R^2_{adj}$  เท่ากับ 59.08% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์การถดถอยตัวแบบเต็มรูปจะพบว่าวิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical Model มีค่า  $R^2$  น้อยกว่า และมีค่า  $R^2_{adj}$  มากกว่าวิธีตัวแบบเต็มรูป ซึ่งพบว่าเทอมที่มีนัยสำคัญต่อของเสียรวม (Yall) ได้แก่ ผลกระทบหลักของอุณหภูมิหน้าแปลน (C) ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหน้าแปลน ( $C^2$ ) เทอมกำลังสองของอุณหภูมิหัวตาย ( $D^2$ ) และเทอมกำลังสองของความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ( $E^2$ ) ซึ่งได้ผลแตกต่างจากการวิเคราะห์ตัวแบบเต็มรูป

จากรูปที่ 6.41 สามารถวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทุกปัจจัยจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งซึ่งได้แก่ปัจจัยนำเข้า อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) คือ มีของเสียรวมเกิดขึ้นสูงเมื่ออุณหภูมิอยู่ที่ระดับต่ำและจะค่อยๆลดลงเมื่อระดับเข้าใกล้ระดับกลาง จากนั้นของเสียรวมจะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจากระดับกลางไปที่ระดับสูง ซึ่งปัจจัยนำเข้างกล่าวว่ามีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางอย่างมีนัยสำคัญ อธิบายได้ดังนี้

- อุณหภูมิหน้าแปลน (C)

เป็นช่วงส่งพลาสติกหลอมเพื่อขึ้นรูป ในส่วนนี้พลาสติกจะหลอมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ หากอุณหภูมิหน้าแปลนสูงไปจะทำให้โป่งสั้นและสายซึ่งส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่เท่ากันได้ จึงส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบางและยับตามมา แต่หากอุณหภูมิน้ำแปลนต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันไม่มากพอที่จะดันพลาสติกหลอมเพื่อไปยังหัวตายพลาสติกจึงเกิดการหลอมละลายมากขึ้นเรื่อยๆ ในส่วนที่ถูกแรงดันจากภายในขับออกมาเพื่อขึ้นรูปนั้นก็ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทเจลดำได้เนื่องจากพลาสติกหลอมเกิดการไหม้นอกจากนี้ยังส่งผลต่อของเสียประเภทหนาบางได้เช่นกันเนื่องจากมีปริมาณพลาสติกไหลออกมาได้ไม่มากพอ

- อุณหภูมิหัวตาย (D)

หัวตายทำหน้าที่ขึ้นรูปถุงพลาสติก เมื่อได้รับลมก็จะถูกเป่าให้ขยายออกเป็นลักษณะคล้ายลูกโป่งทอดยาวตลอดก่อนจะเข้าสู่เครื่องรีดเพื่อให้ได้ลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆต่อไป โดยค่าอุณหภูมิควรจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำแปลนไม่ห่างกันมากนักเพื่อคงสภาพสถานะของพลาสติกหลอม เมื่ออุณหภูมิของหัวตายมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมมากจึงเกิดเม็ดเจลบนฟิล์ม ซึ่งจะเป็นลักษณะเจลดำ แต่หากอุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้มีความร้อนในการหลอมเหลวเม็ดพลาสติกไม่มากพอก็จะเกิดของเสียประเภทเจลด้วยเช่นกัน แต่เป็นลักษณะของเจลใส โดยจะเกิดเจลใสในกรณีที่เม็ดพลาสติกบางส่วนยังไม่ถูกหลอมละลายอย่างสมบูรณ์จากในบริเวณกระบอกสูบแล้วถูกส่งผ่านมายังหัวตาย อีกทั้งยังทำให้เกิดถุงที่มีสีขาวขุ่นอีกด้วยซึ่งปกติจะเป็นลักษณะฟิล์มใส

- ความเร็วมอเตอร์ขับสกรู (E)

เป็นตัวกำหนดความเร็วของสกรูในกระบอกสูบ หากกำหนดความเร็วน้อยไปจะทำให้สกรูหมุนช้าส่งผลให้เม็ดพลาสติกถูกบดผสมกันช้าจึงหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้ช้าทำให้ได้ปริมาณพลาสติกหลอมน้อย ส่งผลให้เกิดปัญหาของเสียประเภทหนาบางและยับตามมาได้ แต่หากความเร็วมอเตอร์ขับสกรูมีค่ามากเกินไปจะสามารถบดผสมเม็ดพลาสติกได้เร็ว และเมื่อได้รับความร้อนจากในกระบอกสูบเพื่อหลอมรวมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว แรงดันที่เกิดขึ้นภายในบริเวณกระบอกสูบจะทำให้มีปริมาณพลาสติกถูกอัดฉีดออกมาจำนวนมากเป็นผลให้ฟิล์มที่ได้นั้นหนาไปซึ่งก็จะไม่สัมพันธ์กับค่าของมอเตอร์ควบคุมความหนาบางที่เป็นปัจจัยควบคุมไว้ ส่งผลให้ฟิล์มมีความหนาบางไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่น ดังนั้นเมื่อความเร็ว



มอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่ามากเกินไปจึงทำให้เกิดของเสียเรื่องการยับได้เช่นกัน ทั้งนี้ค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนจะต้องสัมพันธ์กับมอเตอร์ควบคุมความหนาบางด้วยซึ่งในการทดลองได้กำหนดให้เป็นปัจจัยควบคุม เพื่อให้ได้ขนาดความหนาที่ต้องการ

#### 6.1.3.8 การหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimizer)

ในส่วนนี้จะทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง อย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 3 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) ที่ส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall) ให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ด้วยวิธี Response Optimizer ในโปรแกรม minitab

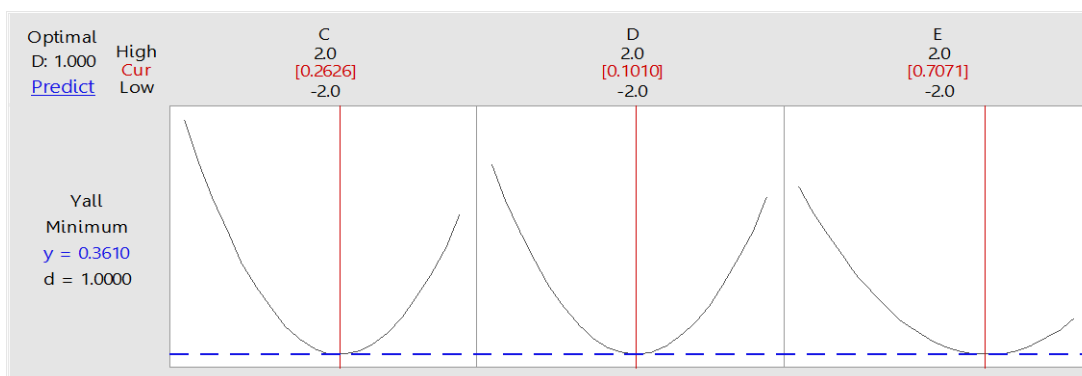
เนื่องจากของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง ก่อนการปรับปรุงกระบวนการนั้นมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 3.61 ดังตารางที่ 6.13 ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะกำหนดค่าเป้าหมายให้น้อยที่สุด และ Upper เป็น 1.7 เนื่องจากต้องการลดสัดส่วนของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางสำหรับลงอย่างน้อย 50% ดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6. 13 ร้อยละของเสียแต่ละประเภทก่อนปรับปรุงกระบวนการ

ประเภทของเสีย	ร้อยละ
เจล	1.88
ยับ	0.67
หนาบาง	1.05
รวม	3.61

ตารางที่ 6. 14 รายละเอียดการกำหนดเป้าหมายของตัวแปรตอบสนอง

Response	Goal	Target	Upper	Weight	Importance
Yall	Minimum	0	1.7	1	1



รูปที่ 6. 42 กราฟแสดงค่าของระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย ที่จะส่งผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด

จากรูป 6.42 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย และนำค่าที่ได้มาแปลงเป็น Uncoded Unit ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางน้อยที่สุด คือ ค่าอุณหภูมิหน้าแปลน 224 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตาย 222 องศาเซลเซียส และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 24 กิโลวัตต์

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าการผลิตถุงพลาสติกขนาด 40 x 24 นิ้ว บนเครื่องจักร BB-PP-01 ปัจจัยนำเข้าอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) ไม่มีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะกำหนดให้ค่าอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) และอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) เท่ากับค่าเดิมก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งคือ 218 และ 220 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 6.15

ตารางที่ 6. 15 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ปัจจัยนำเข้า	ค่าที่เหมาะสมจากโปรแกรม	ค่าที่นำไปทำการทดลอง	หน่วย
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A)	-	218	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B)	-	220	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหน้าแปลน (C)	223.94	224	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิหัวตาย (D)	221.52	222	องศาเซลเซียส
ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E)	23.54	24	กิโลวัตต์

#### 6.1.3.9 สรุประยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในถุงพลาสติกขนาด ถุงพลาสติก ขนาด 40 x 24 นิ้ว

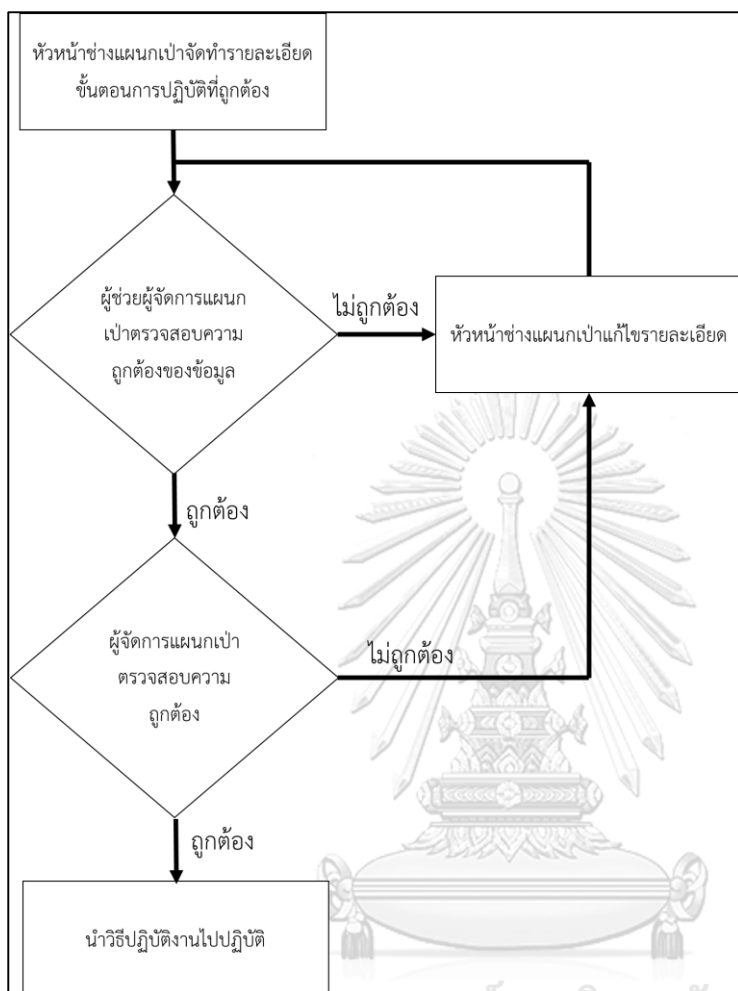
จากที่เราได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยแล้ว คือ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) อุณหภูมิหน้าแปลน (C) อุณหภูมิหัวตาย (D) และ ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E)

พบว่าทุกปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง (Yall) ยกเว้นปัจจัย อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) และอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยทั้งหมดนี้มาทำการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยจะมีระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ค่าอุณหภูมิ หน้าแปลน (C) 224 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตาย (D) 220 องศาเซลเซียส ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (E) 24 กิโลวัตต์ และกำหนดอุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (A) 218 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (B) 220 องศาเซลเซียส ซึ่งคือค่าเดิมก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการเนื่องจาก ปัจจัยดังกล่าวไม่มีผลต่อของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางอย่างมีความสำคัญ สำหรับการ ผลิตถุงพลาสติกขนาด 40 x 24 นิ้ว บนเครื่องจักร BB-PP-01

## 6.2 การสร้างวิธีปฏิบัติงาน

ในส่วนนี้จะเป็นการปรับปรุงกระบวนการสำหรับปัจจัยนำเข้าอื่นๆ ได้แก่ การขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน การขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง ตะแกรงอุดตัน หัวตาย สกปรก และจานลมสกปรก เนื่องจากในงานปฏิบัติงานของพนักงานนั้นจะปฏิบัติงานอาศัยความเคยชิน ไม่มีขั้นตอนเป็นระเบียบแบบแผน อีกทั้งยังไม่มีมีการบำรุงรักษาเครื่องจักร จะหยุดซ่อมก็ต่อเมื่อมี อุปรกรณ์ใดชำรุด ซึ่งล้วนก่อให้เกิดความสูญเสียเปล่าทั้งสิ้น ดังนั้นการสร้างวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้องนั้นมี วัตถุประสงค์เพื่อให้พนักงานเกิดความเข้าใจและสามารถปฏิบัติงานได้ถูกต้อง มีการซ่อมบำรุง เครื่องจักรภายในระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการหยุดซ่อมระหว่างผลิต อีกทั้งยังสามารถ นำไปใช้ได้กับทุกเครื่องเป่าอีกด้วย

6.2.1 การจัดทำวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในกระบวนการเป่าฟิล์มนั้นเริ่มจากหัวหน้าช่าง แผนกเป่าร่างขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้องในกระบวนการเป่าฟิล์มโดยเรียงลำดับขั้นตอนก่อนหลัง จากนั้นส่งแผนปฏิบัติงานนี้ให้ผู้ช่วยผู้จัดการแผนกเป่าตรวจสอบความถูกต้อง หากยังไม่ถูกต้อง ครบถ้วนก็ส่งกลับไปแก้ไขจนกว่าจะได้รายละเอียดขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องเหมาะสม จากนั้นส่งให้ ผู้จัดการแผนกเป่าตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งเพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลที่จัดทำ แล้วจึงนำวิธี ปฏิบัติงานนี้ไปใช้งาน ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้กับทุกเครื่องเป่าฟิล์มทุกเครื่อง โดยในการร่างขั้นตอน ปฏิบัติงานดังกล่าวนี้มาจากขั้นตอนการปฏิบัติงานในปัจจุบัน เพียงแต่ไม่มีการจัดทำเป็นเอกสารวิธี ปฏิบัติที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงควรจัดทำเอกสารวิธีปฏิบัติงาน เพื่อให้เป็นระเบียบแบบแผนในการ ปฏิบัติงานอย่างถูกต้อง โดยขั้นตอนดังกล่าวเป็นเพียงการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่จัดทำขึ้น เท่านั้น สามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 6.43



รูปที่ 6. 43 ขั้นตอนการจัดทำวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม

โดยขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์มนั้นมีลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1) รับใบสั่งผลิต (Work Order :WO) จากฝ่ายวางแผนการผลิต
- 2) เบิกเม็ดพลาสติกที่ได้มีการผสมไว้แล้ว
- 3) จัดเตรียมเม็ดพลาสติกลงในถังพักเพื่อรอการนำไปใช้งาน
- 4) เปลี่ยนตะแกรงทุก 7 วัน หรือก่อนนั้นตามที่เห็นสมควรหากมีการผลิตจำนวนมากและเกิดของเสียมาก เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาของเสียเรื่องเจล ยับ และหนابาง
- 5) ทำความสะอาดหัวตายทุกครั้งที่เปลี่ยนตะแกรงหรือเปลี่ยนรุ่นการผลิต เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนابาง

- 6) ทำความสะอาดจานลม ทุก 4 ชั่วโมง โดยให้ทำการเช็ดคราบน้ำมันออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคราบน้ำมันหยดใส่เนื้อถุ้ง และเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง
- 7) ตรวจสอบลูกกลิ้งรวบฟิล์มให้ได้ระนาบเดียวกันโดยใช้ระดับน้ำวัด
- 8) ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักร ตามค่าที่โรงงานกำหนดในแต่ละรุ่นนั้นๆ
- 9) เมื่อเครื่องจักรเริ่มเดิน ในระหว่างการผลิตนั้นให้ทำการตรวจดูทุกครั้งชั่วโมงว่ามีของเสียที่มองด้วยตาเปล่าได้เกิดขึ้นหรือไม่ เช่น เจล ยับ หรืออื่นๆ
- 10) นำเครื่องมือวัดความหนา (thickness gauge) มาวัดความหนา-บางของฟิล์มทุกครั้งชั่วโมง เพื่อป้องกันถุ้งหนาบางเป็นช่วง ซึ่งอาจสามารถสังเกตเห็นได้จากลูกโป่งเมื่อมีการสั้นหรือสาย
- 11) เมื่อผลิตได้จำนวนที่กำหนดไว้ในแต่ละม้วนแล้วให้ทำการปลดม้วนออกและนำไปจัดเก็บไว้ในบริเวณที่กำหนดไว้เพื่อรอการนำไปพิมพ์ต่อไป
- 12) นำของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตในแต่ละวันไปชั่งน้ำหนักในเวลา 8.00 น. ของวันทำงาน และนำมาบันทึกลงในใบบันทึกการผลิต

ซึ่งรายละเอียดของวิธีปฏิบัติงานที่ได้สร้างขึ้น เช่น การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักร มาจากการระดมสมองของทีมงานดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 เอกสารวิธีปฏิบัติงาน แสดงได้ดังตาราง ค.2 ในภาคผนวก ค

### 6.3 สรุปผลระยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในขณะนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มวิธีด้วยกัน คือ

- 1) การออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง โดยใช้วิธีพื้นผิวตอบ ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกสูบ อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งจะทำการทดลองในถุ้งพลาสติก 3 ขนาดด้วยกัน ได้แก่

- ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว ได้ทำการทดลองบนเครื่องจักร BB-PP-02 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น 220 °C อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง 212 °C อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย 217 °C อุณหภูมิหน้าแปลน 220 °C อุณหภูมิหัวตาย 216 °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 50 kW

- ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร ได้ทำการทดลองบนเครื่องจักร BB-PP-06 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิกระบอบกส่วนต้น 220 °C อุณหภูมิหน้าแปลน 224 °C อุณหภูมิหัวตาย 216 °C ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 40 kW สำหรับอุณหภูมิกระบอบกส่วนท้าย (B) 220 °C จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าเดิมที่ใช้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการเนื่องจากปัจจัยนี้ไม่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบอย่างมีนัยสำคัญ
  - ขนาด 40 x 24 นิ้ว ได้ทำการทดลองบนเครื่องจักร BB-PP-01 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิหน้าแปลน 224 °C อุณหภูมิหัวตาย 222 °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 24 kW สำหรับอุณหภูมิกระบอบกส่วนต้น 218 °C และอุณหภูมิกระบอบกส่วนท้าย (B) 220 °C จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าเดิมที่ใช้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการเนื่องจากปัจจัยนี้ไม่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบอย่างมีนัยสำคัญ
- 2) การสร้างวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม จัดทำขึ้นเพื่อให้พนักงานมีแนวทางในการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง สามารถเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในการทำงานให้แก่พนักงาน และเป็นการกระตุ้นให้พนักงานมีการเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานระหว่างการผลิต อีกทั้งยังทำให้มีการบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นระยะอีกด้วย

## บทที่ 7

### ระยะควบคุมคุณภาพหลังการปรับปรุง (Control Phase)

จากขั้นตอนต่างๆที่ได้ดำเนินการมานั้น ทำให้ทราบถึงปัจจัยและค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้นๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนابางน้อยที่สุด และในขั้นตอนสุดท้ายนี้ ได้แก่ การควบคุมการผลิต (Control Phase) จะเป็นการนำแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหาไปปฏิบัติจริง เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตถุงพลาสติกขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว  $80 \times 240$  มิลลิเมตร และ  $40 \times 24$  นิ้ว เพื่อแก้ปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนابาง และควบคุมไม่ให้เกิดปัญหาของเสียเพิ่มขึ้นมาอีก

#### 7.1 การควบคุมการผลิตถุงพลาสติก

##### 7.1.1 แนวทางการควบคุม

ในที่นี้จะกล่าวถึงการควบคุมการผลิต ซึ่งปัจจัยที่จะต้องควบคุม สามารถสรุปได้โดยจำแนกตามรุ่นที่ได้นำมาทำการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ดังนี้

1. ขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว มี 6 ปัจจัยที่ต้องทำการควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน
2. ขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร มี 4 ปัจจัยที่ต้องทำการควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน
3. ขนาด  $40 \times 24$  นิ้ว มี 3 ปัจจัยที่ต้องทำการควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน

ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สามารถปรับตั้งค่าได้ที่เครื่องจักร ซึ่งจะแสดงเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม ไม่มีทศนิยม จากค่าที่เหมาะสมที่ได้ในบทก่อนพบว่าการตั้งค่าปัจจัยเหล่านี้ที่ระดับดังแสดงในตารางที่ 7.1

ซึ่งใน 6 ปัจจัยข้างต้น สามารถจัดทำแนวทางการควบคุมได้พร้อมกันทั้งหมด ดังนี้

1. ศึกษาวิธีปฏิบัติงาน ก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวันเพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง แสดงดังตาราง ค.2 ในภาคผนวก ค

2. ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิกระบอกแต่ละส่วน อุณหภูมิหน้าแปลน และอุณหภูมิหัวตายทุกครั้ง ชั่วโมง ลงในแบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์ แสดงดังตาราง ค.3 ในภาคผนวก ค เนื่องจากอุณหภูมิระหว่างการผลิตสามารถเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากมีความร้อนภายในเครื่องจักรที่เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงสภาพแวดล้อมภายนอกก็สามารถส่งผลต่อค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงระหว่างผลิตได้ จึงต้องมีการควบคุมค่าอุณหภูมิให้คงที่อยู่ตลอดเพื่อป้องกันการเกิดของเสียประเภทต่างๆที่สูงขึ้น ทั้งนี้จะสามารถยอมรับค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน  $2^{\circ}\text{C}$
3. ทำการเปลี่ยนตะแกรงทุก 7 วัน โดยต้องทำความสะอาดตายทุกครั้งที่เปลี่ยนตะแกรงหรือเปลี่ยนรุ่นที่จะทำการผลิต และบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์ แสดงดังตาราง ค.3 ในภาคผนวก ค โดยกำหนดความถี่ในการเปลี่ยนตะแกรงมาจากอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยตามที่ผู้ผลิตได้มีการระบุไว้สำหรับยี่ห้ออื่นๆ และตรวจสอบจากข้อมูลการขอเบิกวัสดุในช่วงเวลาที่ผ่านมาร่วมด้วย
4. ทำความสะอาดจานลมทุก 4 ชั่วโมง และบันทึกลงในแบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์ แสดงดังตาราง ค.3 ในภาคผนวก ค โดยกำหนดความถี่ในการทำทำความสะอาดจานลมจากระยะเวลาเฉลี่ยที่พบน้ำมันหยดลงบนผิวฟิล์ม เนื่องจากบริเวณจานลมจะเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับหัวตายซึ่งเมื่อมีการผลิตไประยะเวลาหนึ่งจะมีน้ำมันหล่อลื่นจากหัวตายปนเปื้อนมากับถุงพลาสติก  
 ทั้งนี้จะกระทำโดยพนักงานที่ทำการดูแลการผลิตเครื่องจักรนั้นเป็นผู้รับผิดชอบ ซึ่งจะต้องคอยตรวจสอบแผงควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักรรวมถึงการบำรุงรักษาสภาพเครื่องจักรในเบื้องต้นดังที่ได้กล่าวสรุปไว้ในบทก่อน ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้สามารถจัดทำเป็นแผนควบคุมดังตารางที่ ค.4 ในภาคผนวก ค

#### 7.1.2 ข้อมูลหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการเป่าฟิล์มพลาสติก โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ระยะ โดยกำหนดค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของกระบวนการและการทำวิธีปฏิบัติงาน ทำการเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันว่าสัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงลดลงน้อยกว่าสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุง

การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ต้องเก็บข้อมูลนั้นคือปริมาณการผลิตในหน่วยกิโลกรัมที่จะเก็บข้อมูลของเสีย ผู้วิจัยจึงหาขนาดตัวอย่างโดยกำหนดค่าประมาณของสัดส่วนของเสียหลังปรับปรุงไว้ที่ 0.025 (2.5%) เนื่องจากคาดหวังว่าจะสามารถลดสัดส่วนของเสียลงจากก่อนปรับปรุงโดยเฉลี่ยต่อรุ่นที่ 5% ลงได้ครึ่งหนึ่ง



เนื่องจากประชากรมีขนาดใหญ่และไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน ดังนั้นขนาดตัวอย่างสามารถคำนวณได้จากสูตรไม่ทราบขนาดตัวอย่างตามวิธีทาโรยามาเน่ (Yamane) (อ้างถึงในธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2550, หน้า 48) ซึ่งสูตรในการคำนวณที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงได้ดังสมการ 7.1

$$n = \frac{z^2 p(1-p)}{e^2} \quad (7.1)$$

โดยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% กำหนดให้

$z$  คือ ค่าปกติที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น 95% โดย  $z$  มีค่าเท่ากับ 1.96

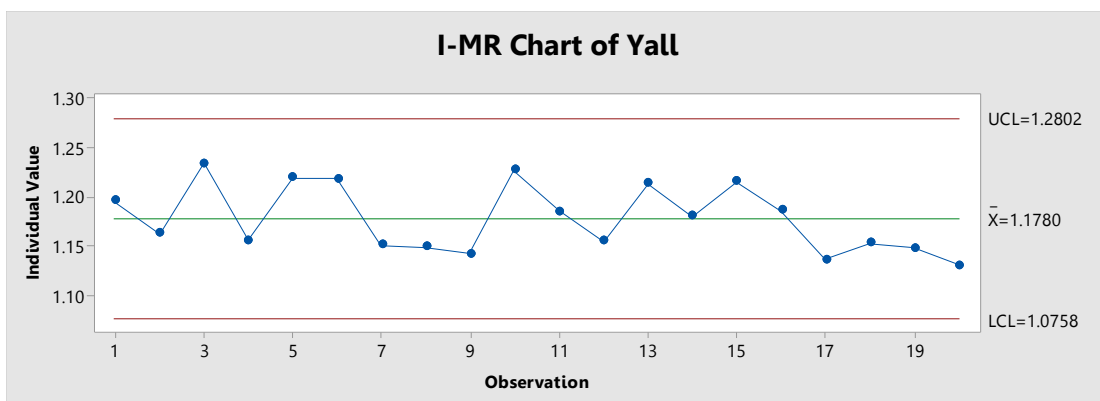
$p$  คือ ค่าประมาณสัดส่วนของเสียหลังปรับปรุงซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.025 (มีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นได้จำนวนไม่เกินร้อยละ 2.5)

$e$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าประมาณของสัดส่วนของเสียและค่าจริง ซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 0.005

จากสมการ 7.1 จะได้ว่าขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 3,746 กิโลกรัม ดังนั้นในการนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรมในบทก่อนไปทดลองปฏิบัติจริงเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุงกระบวนการต้องมีจำนวนอย่างน้อย 3,746 กิโลกรัมในแต่ละขนาดถุงพลาสติก และเนื่องจากถุงแต่ละขนาดมีปริมาณการผลิตแตกต่างกัน ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุงกระบวนการในแต่ละขนาดถุงพลาสติกจึงมีจำนวนไม่เท่ากัน

7.1.2.1 ผลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการในถุงพลาสติกขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว จากสมการ 7.1 ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 3,746 กิโลกรัม ดังนั้นผู้วิจัยสามารถทำการทดลองเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุงกระบวนการจำนวน 6,000 กิโลกรัม โดยในแต่ละวันสามารถผลิตได้ 12 ม้วนๆละ 25 กิโลกรัม คิดเป็น 300 กิโลกรัมต่อวัน หรือ 6,000 กิโลกรัมต่อ 20 วัน ซึ่งมีค่ามากกว่าขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้

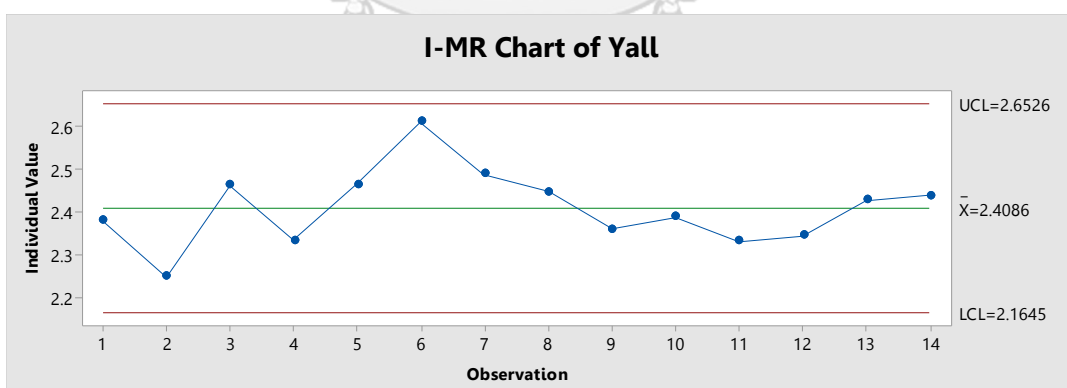
เมื่อนำข้อมูลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการในแต่ละวัน มาพลอตในแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ดังรูปที่ 7.1 พบว่าปริมาณของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางในแต่ละม้วนจะมีความคงที่ คือไม่สูงเกินกว่า UCL (Upper Center Line) และไม่ต่ำกว่า LCL (Lower Center Line) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียรวม คือ 1.18 กิโลกรัม ต่อปริมาณการผลิต 300 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 0.39



รูปที่ 7. 1 แผนภูมิควบคุมในแต่ละวัน

7.1.2.2 ผลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการในถุงพลาสติกขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร จากสมการ 7.1 ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 3,746 กิโลกรัม ดังนั้นผู้วิจัยสามารถทำการทดลองเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุงกระบวนการเป็นเวลา 14 วัน โดยในแต่ละวันสามารถผลิตได้ 12 ม้วนๆละ 40 กิโลกรัม คิดเป็น 480 กิโลกรัมต่อวัน หรือ 6,720 กิโลกรัมต่อ 14 วัน ซึ่งมีค่ามากกว่าขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้

เมื่อนำข้อมูลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการในแต่ละวัน มาพลอตในแผนภูมิควบคุม ดังรูปที่ 7.2 พบว่าปริมาณของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบางในแต่ละม้วนจะมีความคงที่ คือไม่สูงเกินกว่า UCL และไม่ต่ำกว่า LCL ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียรวม คือ 2.41 กิโลกรัม ต่อปริมาณการผลิต 480 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 0.5

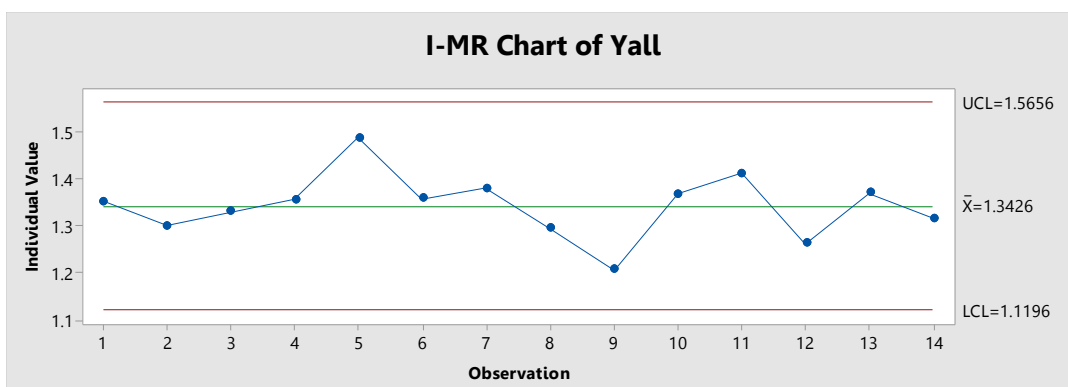


รูปที่ 7. 2 แผนภูมิควบคุมจำนวนของในแต่ละวัน

7.1.2.3 ผลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการในถุงพลาสติก 40 x 24 นิ้ว จากสมการ 7.1 ได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม คือ 3,746 กิโลกรัม ดังนั้นผู้วิจัยสามารถทำการทดลองเพื่อยืนยันผลหลังการปรับปรุงกระบวนการเป็นเวลา 14 วัน โดยในแต่ละวันสามารถผลิตได้ 8

ม้วนๆละ 40 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณการผลิต 320 กิโลกรัมต่อวัน หรือ 4,480 กิโลกรัมต่อ 14 วัน ซึ่งมีค่ามากกว่าขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้

เมื่อนำข้อมูลการทดลองหลังการปรับปรุงกระบวนการในแต่ละวัน มาพลอตในแผนภูมิควบคุม ดังรูปที่ 7.3 พบว่าปริมาณของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนابางในแต่ละม้วนจะมีความคงที่ คือไม่สูงเกินกว่า UCL และไม่ต่ำกว่า LCL ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียรวม คือ 1.34 กิโลกรัม ต่อปริมาณการผลิต 320 กิโลกรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 0.42



รูปที่ 7.3 แผนภูมิควบคุมจำนวนของในแต่ละวัน

จากการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 7.1 7.2 และ 7.3 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการนั้นสามารถลดของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนابางลงได้จริง ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าของระดับปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตถุงพลาสติกในแต่ละขนาด ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการได้ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ผลเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

ประเภท	ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว		ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร		ขนาด 40 x 24 นิ้ว	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (°C)	210	220	218	220	218	218
อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (°C)	211	212	-	-	-	-
อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (°C)	214	217	220	220	220	220
อุณหภูมิหน้าแปลน (°C)	215	220	218	224	220	224

ประเภท	ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว		ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร		ขนาด 40 x 24 นิ้ว	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
อุณหภูมิหัวตาย (°C)	220	216	218	216	215	222
ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (kW)	40	50	35	40	18	24

ตารางที่ 7. 2 สัดส่วนของข้อบกพร่องแต่ละประเภทเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

ประเภทข้อบกพร่อง	สัดส่วนข้อบกพร่องในแต่ละขนาด					
	30 x (6+2+2) นิ้ว		80 x 240 มิลลิเมตร		40 x 24 นิ้ว	
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
เจด	5.54	0.17	0.62	0.25	1.88	0.20
ยับ	2.32	0.10	0.27	0.12	0.67	0.11
หนابาง	3.17	0.11	0.37	0.13	1.05	0.11
<b>รวม</b>	<b>11.03</b>	<b>0.39</b>	<b>1.26</b>	<b>0.5</b>	<b>3.6</b>	<b>0.42</b>

จากตาราง 7.2 พบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการเป่าฟิล์มมีร้อยละของเสียประเภทเจด ยับ และหนابาง ในการผลิตถุงพลาสติกขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.39 เกิดจากของเสียประเภทเจดร้อยละ 0.17 ยับร้อยละ 0.1 และหนابางร้อยละ 0.11 ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.5 เกิดจากของเสียประเภทเจดร้อยละ 0.25 ยับร้อยละ 0.12 และหนابางร้อยละ 0.13 และในขนาด 40 x 24 นิ้ว มีของเสียรวมลดลงเหลือร้อยละ 0.42 เกิดจากของเสียประเภทเจดร้อยละ 0.2 ยับร้อยละ 0.11 และหนابางร้อยละ 0.11 ซึ่งมีมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ถึง 259,256 บาทต่อปี ทั้งนี้มูลค่าความสูญเสียสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7.2 โดยที่ข้อมูลปริมาณการผลิตโดยเฉลี่ยต่อปีได้อ้างอิงจากข้อมูลปริมาณการผลิต ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2558 ถึง พฤษภาคม 2559 ที่ได้ทำการศึกษาไว้ในบทที่ 3 สามารถแสดงดังตารางที่ 7.3

$$\text{มูลค่าความสูญเสียต่อปี} = \text{ต้นทุนของเสียต่อกิโลกรัมที่ผลิต} \times \text{ปริมาณของเสีย (กิโลกรัมต่อปี)} \quad (7.2)$$

ตารางที่ 7.3 ปริมาณการผลิตโดยเฉลี่ยต่อปีและสัดส่วนของเสียหลังปรับปรุงกระบวนการในแต่ละรุ่น

ขนาด	ปริมาณการผลิตโดยเฉลี่ยต่อปี (กิโลกรัม)	สัดส่วนร้อยละของของเสีย			มูลค่าความสูญเสีย (บาทต่อปี)		
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ต้นทุนของเสีย (บาทต่อกิโลกรัม)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลงได้
30 x (6+2+2) นิ้ว	8,611	11.03	0.39	75	71,240	2,519	68,721
80 x 240 มม.	198,782	1.26	0.50	75	187,849	74,544	113,305
40 x 24 นิ้ว	32,382	3.6	0.42	75	87,431	10,201	77,230
รวม					346,520	87,264	259,256

เนื่องจากต้นทุนของเสียมีมูลค่าคือ 75 บาทต่อกิโลกรัมที่ผลิต เกิดจาก ต้นทุนเม็ดพลาสติก เท่ากับ 50 บาท ค่าไสหุ้ย เท่ากับ 10 บาท และ ค่าแรงงาน เท่ากับ 15 บาท ต่อกิโลกรัมที่ผลิต ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นจากสมการ 7.2 และตารางที่ 7.3 จะได้มูลค่าความสูญเสียของทุกรุ่นรวมกัน  $= 2,519 + 74,544 + 10,201 = 87,264$  บาทต่อปี หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้  $346,520 - 87,264 = 259,256$  บาทต่อปี

## 7.2 สรุปผลระยะควบคุมคุณภาพหลังการปรับปรุง

จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตถุงพลาสติกทั้ง 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว 80 x 240 มิลลิเมตร และ 40 x 24 นิ้ว ทำให้ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว จึงต้องมีการควบคุมปริมาณของเสียให้อยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นในระยะการควบคุมคุณภาพนี้จะหมายถึงการควบคุมให้ปริมาณของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์มอยู่ในระดับต่ำต่อไป โดยการสร้างวิธีปฏิบัติงานเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานแก่พนักงาน รวมถึงการให้พนักงานบันทึกค่าปัจจัยต่างๆลงในแบบฟอร์ม และจัดทำแผนควบคุมเพื่อให้ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีของเสียอยู่ในระดับต่ำต่อไป ซึ่งภายในหลังทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนาบาง ของถุงพลาสติกทั้ง 3

ขนาด พบว่า ในการผลิตถุงพลาสติกขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว สามารถลดของเสียลงเหลือเพียงร้อยละ 0.39 ขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.5 และในขนาด  $40 \times 24$  นิ้ว มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือร้อยละ 0.42 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ถึง 259,256 บาทต่อปี



## บทที่ 8

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้้นำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ในกระบวนการเป่าฟิล์ม โดยแบ่งออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่ 1) ระยะนิยามปัญหา 2) ระยะการวัดปัญหา 3) ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหา 4) ระยะการปรับปรุงกระบวนการ และ 5) ระยะควบคุมคุณภาพหลังปรับปรุง

จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตใน 2 ส่วน ได้แก่ การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม และการสร้างวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง พบว่าในการผลิตถุงพลาสติกขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว สามารถลดของเสียลงเหลือเพียงร้อยละ 0.39 ขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.5 และในขนาด  $40 \times 24$  นิ้ว มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือร้อยละ 0.42 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ถึง 259,256 บาทต่อปี

#### 8.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา

สำหรับในระยะนิยามปัญหานี้ จะทำการศึกษากระบวนการผลิต จากนั้นจึงรวบรวมข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตถุงพลาสติกตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 ซึ่งจะใช้ร้อยละของของเสียเป็นตัวชี้วัด โดยจะนำเอาข้อมูลของเสียเหล่านี้มาเรียงลำดับด้วยแผนภูมิพาเรโต ซึ่งจะพบว่าของเสียจากการผลิตในกระบวนการเป่าประเภทเจล ยับ และหนาบาง รวมกันของรุ่น  $80 \times 240$  มิลลิเมตร มีสัดส่วนร้อยละ 1.26 ของปริมาณการผลิต รุ่น  $40 \times 24$  นิ้ว มีสัดส่วนร้อยละ 3.60 ของปริมาณการผลิต และรุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว มีสัดส่วนร้อยละ 11.03 ของปริมาณการผลิต ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียรวม 346,520 บาทต่อปีจาก 3 รุ่นนี้ จากมูลค่าความสูญเสียของทุกรุ่นที่มีการผลิต 997,983 บาทต่อปี

ดังนั้นในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์ม จึงจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาเพื่อลดของเสียจากการผลิตในสามรุ่นนี้ โดยในรุ่น  $80 \times 240$  มิลลิเมตร จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-06 รุ่น  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-02 และรุ่น  $40 \times 24$  นิ้ว จะทำการทดลองในเครื่องจักร BB-PP-01

## 8.2 บทสรุประยะการวัดปัญหา

ในระยณะนี้เป็นการตรวจสอบความแมนและเที่ยงของระบบการตรวจสอบของเสียจากกระบวนการเป่าของพนักงาน โดยคัดเลือกพนักงานที่มีความชำนาญในการคัดแยกของดีและของเสียมาจำนวน 3 คน โดยทำการตรวจสอบจำนวน 3 ครั้ง มีดัชนีการตรวจสอบพนักงาน เปอร์เซนต์รีพีทหะบิลิตี้ของพนักงาน เปอร์เซนต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน ดชนีความมีประสิทธิภาพของพนักงาน ดชนีการตรวจสอบที่ปฏิเสธอย่างผิดพลาด ดชนีการตรวจสอบที่ยอมรับอย่างผิดพลาด เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพรีพีทหะบิลิตี้ของการตรวจสอบ และเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับได้คือ 100%

โดยจากการทดสอบความแมนและเที่ยงของระบบการวัดของพนักงานในการตรวจสอบของเสียของกระบวนการเป่าฟิล์ม พบว่าดัชนีดังกล่าวข้างต้น มีค่าเท่ากับ 100% ทุกๆค่าดัชนี จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความแมนและเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

## 8.3 บทสรุประยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา

ในระยณะการหาสาเหตุหลักของปัญหานี้ได้นำผังก้างปลา มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ซึ่งจากการระดมสมองในที่มงาน พบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ทั้งสิ้น 22 ปัจจัย จากนั้นทำการคัดเลือกพนักงานที่มีประสบการณ์จำนวน 6 คน เป็นผู้ให้คะแนนความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง และนำเอาคะแนนที่ได้มาสร้างกราฟระดับคะแนน พบว่าร้อยละ 80 ของคะแนนรวมมาจากปัจจัยหลัก 9 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในกระบอกสูบ อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย การขาดความรู้และความเข้าใจในการทำงาน การขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง ตะแกรงอุดตัน มอเตอร์ขับสกรู หัวตาย สกปรก และจานลมสกปรก ทั้งหมดนี้เป็นปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ปัญหาออกเป็น 2 กลุ่มวิธี คือ

- 1) การออกแบบการทดลอง
- 2) การสร้างวิธีปฏิบัติงาน โดยจะนำเอาปัจจัยทั้งหมดนี้ไปทำการปรับปรุงเพื่อลดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางต่อไป



#### 8.4 บทสรุประยะการปรับปรุงกระบวนการ

ในระยะนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มวิธีด้วยกัน คือ

- 1) การออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง โดยใช้วิธีพินผิวตอป ได้แก่ อุณหภูมิกระบอบกสุบ อุณหภูมิหน้าแปลน อุณหภูมิหัวตาย และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งจะทำการทดลองในถังพลาสติก 3 ขนาดด้วยกัน ได้แก่
  - ขนาด 30x(6+2+2) นิ้ว ได้ทำการทดลองบนเครื่องจักร BB-PP-02 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิกระบอบกส่วนต้น 220 °C อุณหภูมิกระบอบกส่วนกลาง 212 °C อุณหภูมิกระบอบกส่วนท้าย 217 °C อุณหภูมิหน้าแปลน 220 °C อุณหภูมิหัวตาย 216 °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 50 kW
  - ขนาด 80x240 มิลลิเมตร ได้ทำการทดลองบนเครื่องจักร BB-PP-06 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิกระบอบกส่วนต้น 220 °C อุณหภูมิหน้าแปลน 224 °C อุณหภูมิหัวตาย 216 °C ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 40 kW สำหรับอุณหภูมิกระบอบกส่วนท้าย (B) 220 °C จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าเดิมที่ใช้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการเนื่องจากปัจจัยนี้ไม่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางอย่างมีนัยสำคัญ
  - ขนาด 40x24 นิ้ว ได้ทำการทดลองบนเครื่องจักร BB-PP-01 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิหน้าแปลน 224 °C อุณหภูมิหัวตาย 222 °C และความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 24 kW สำหรับอุณหภูมิกระบอบกส่วนต้น 218 °C และอุณหภูมิกระบอบกส่วนท้าย (B) 220 °C จะกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าเดิมที่ใช้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการเนื่องจากปัจจัยนี้ไม่ส่งผลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางอย่างมีนัยสำคัญ
- 2) การสร้างวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม จัดทำขึ้นเพื่อให้พนักงานมีแนวทางในการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง สามารถเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจในการทำงานให้แก่พนักงาน และเป็นการกระตุ้นให้พนักงานมีการเอาใจใส่ในการตรวจสอบชิ้นงานระหว่างการผลิต อีกทั้งยังทำให้มีการบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นระยะอีกด้วย

## 8.5 บทสรุประยะควบคุมคุณภาพหลังการปรับปรุง

จากการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตถุงพลาสติกทั้ง 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว 80 x 240 มิลลิเมตร และ 40 x 24 นิ้ว ทำให้ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้ว จึงต้องมีการควบคุมปริมาณของเสียให้อยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นในระยะการควบคุมคุณภาพนี้จะหมายถึงการควบคุมให้ปริมาณของเสียในกระบวนการเป่าฟิล์มอยู่ในระดับต่ำต่อไป โดยการสร้างวิธีปฏิบัติงานที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานแก่พนักงาน รวมถึงการให้พนักงานบันทึกค่าปัจจัยต่างๆลงในแบบฟอร์ม และจัดทำแผนควบคุมเพื่อให้ควบคุมกระบวนการผลิตให้มีของเสียอยู่ในระดับต่ำต่อไป ซึ่งภายในหลังทดลองเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียรวมประเภทเจล ยับ และหนابาง ของถุงพลาสติกทั้ง 3 ขนาด พบว่า ในการผลิตถุงพลาสติกขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว สามารถลดของเสียลงเหลือเพียงร้อยละ 0.39 ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.5 และในขนาด 40 x 24 นิ้ว มีปริมาณของเสียรวมลดลงเหลือร้อยละ 0.42 มีมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ถึง 259,526 บาทต่อปี ดังนั้นถือว่าแนวคิดซิกซ์ ซิกมาสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียประเภทเจล ยับ และหนابางในงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ

## 8.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

- 1) ระดับปัจจัยที่เหมาะสม สามารถใช้ได้กับการผลิตถุงพลาสติกเพียง 3 รุ่นนี้เท่านั้น
- 2) มีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนابาง นอกเหนือจาก 9 ปัจจัยที่ได้เลือกมาทำการปรับปรุง ได้แก่ การขาดการควบคุมแรงดันลม ปริมาณเม็ดพลาสติกในถังบรรจุไม่เพียงพอ ลูกกลิ้งรวบฟิล์มและตายไม่ได้ระดับ ค่าการควบคุมความหนานางไม่เหมาะสม เป็นต้น

## 8.7 ข้อเสนอแนะ

- 1) หากปรับปรุงรุ่นอื่นต้องทำการทดลองหาค่าปรับตั้งใหม่แล้วทำการจัดกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ควรใช้ค่าปรับตั้งเดียวกัน แล้วจึงทำการทดลองหาค่าปรับตั้งของแต่ละกลุ่ม
- 2) ควรศึกษาและปรับปรุงปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อสามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงได้เพิ่มขึ้น
- 3) นำแนวทางการปรับปรุงกระบวนการในงานวิจัยนี้ไปใช้ศึกษารุ่นอื่นๆ ต่อไป
- 4) เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีการเปลี่ยนพนักงานใหม่อยู่เป็นระยะ ซึ่งอาจทำให้พนักงานใหม่นั้นยังขาดความรู้และความเข้าใจในการปฏิบัติงาน จึงควรมีการอบรมและให้ความรู้แก่พนักงานสม่ำเสมอทั้งในด้านความรู้ในการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง และด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก

5) ในขั้นตอนสร้างสมการความสัมพันธ์โดยใช้วิธีลดตัวแปรอิสระ (Backward Elimination) จะมีทางเลือกในการวิเคราะห์ห้อยู่ 2 ทางเลือก คือ Hierarchical Model และ Non- Hierarchical Model โดยที่

- Hierarchical Model จะเป็นการสร้างสมการโดยการเก็บเทอมผลกระทบหลักของปัจจัยที่ปรากฏอยู่ในเทอมผลกระทบร่วมที่มีนัยสำคัญไว้ แม้ว่าเทอมผลกระทบหลักนั้นจะไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม ยกตัวอย่างเช่น แบบจำลองที่เทอมผลกระทบร่วม  $A*B$  มีนัยสำคัญก็จะต้องมีเทอมของผลกระทบหลัก A และ B ภายในสมการด้วยถึงแม้ว่าเทอมของผลกระทบหลัก A และ B จะไม่มีนัยสำคัญก็ตาม

- Non-Hierarchical Model จะเป็นการสร้างสมการโดยการตัดเทอมของปัจจัยที่ไม่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญออกทั้งหมด ซึ่งสมการที่ได้จะถูกแสดงอยู่ในรูปของหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded Unit) เท่านั้น

โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีลดตัวแปรอิสระแบบ Hierarchical ซึ่งมีข้อดีคือสมการที่ได้จะสามารถแสดงอยู่ในรูปหน่วยที่แท้จริง (Uncoded Unit) และทำให้ง่ายต่อการตีความ ซึ่งต่างจาก Non-Hierarchical ที่สมการจะแสดงอยู่ในรูปของหน่วยที่เป็นค่ารหัสเท่านั้น จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และ  $R^2_{adj}$  ระหว่าง Hierarchical Model กับ Non- Hierarchical Model โดยอาศัยข้อมูลของตัวแปรตอบสนองทั้ง 12 ตัวแปรตอบสนอง มาจากการวิเคราะห์ผลการทดลองของ  $Y_1$   $Y_2$   $Y_3$  และ  $Y_{all}$  ของทั้งสามรุ่น ที่ได้ทำการทดสอบไว้ข้างต้นพบว่า

- ค่า  $R^2$  ของ Hierarchical Model จะมีค่ามากกว่า  $R^2$  ของ Non-Hierarchical จากทั้งหมด 7 ตัวแปรตอบสนอง ซึ่งมีค่ามากกว่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.29% และมีค่า  $R^2$  เท่ากันทั้งสองรูปแบบ จากทั้งหมด 5 ตัวแปรตอบสนอง ของการทดลองทั้ง 3 รุ่น

- Hierarchical Model มี  $R^2_{adj}$  ที่สูงกว่าของ Non-Hierarchical Model สำหรับ 3 ตัวแปรตอบสนอง จากทั้งหมด 12 ตัวแปรตอบสนอง ของการทดลองทั้ง 3 รุ่น ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่ Hierarchical Model มีค่า  $R^2_{adj}$  สูงกว่า Non-Hierarchical Model จะมีค่า  $R^2_{adj}$  ที่สูงกว่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.82%

- Hierarchical Model มี  $R^2_{adj}$  ที่น้อยกว่าของ Non-Hierarchical Model สำหรับ 4 ตัวแปรตอบสนอง จากทั้งหมด 12 ตัวแปรตอบสนอง ของการทดลองทั้ง 3 รุ่น ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่

Hierarchical Model มีค่า  $R^2_{adj}$  น้อยกว่า Non-Hierarchical Model จะมีค่า  $R^2_{adj}$  ที่น้อยกว่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.08%

สำหรับงานวิจัยนี้พบว่า ผลการเปรียบเทียบข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่าค่า  $R^2$  และ  $R^2_{adj}$  ของ Hierarchical Model กับ Non-Hierarchical Model จะมีค่าใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ค่าการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่ได้จาก Hierarchical Model กับ Non-Hierarchical Model ยังมีค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก ดังตารางที่ 8.1 ซึ่งเมื่อทำการปิดค่าระดับของปัจจัยให้เป็นจำนวนเต็มเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำการปรับตั้งได้พบว่า ค่าการปรับตั้งของปัจจัยส่วนใหญ่จะมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อยและจะมีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้นคือ ค่าความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อนของการทดลองรุ่น 40 x 24 นิ้ว

ตารางที่ 8. 1 ผลการเปรียบเทียบค่าการปรับตั้งเครื่องจักรแบบ Hierarchical Model กับ Non-Hierarchical Model

รุ่น	ปัจจัยนำเข้า	Backward Elimination (Hierarchical Model)			Backward Elimination (Non-Hierarchical Model)		
		Coded	Uncoded	ค่าปรับตั้ง	Coded	Uncoded	ค่าปรับตั้ง
30 x (6+2) นิ้ว	อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (°C)	-0.0240	219.62	220	0	220	220
	อุณหภูมิกระบอกส่วนกลาง (°C)	0.2162	212.32	212	0	220	220
	อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (°C)	-0.1682	217.82	218	0	220	220
	อุณหภูมิหน้าแปลน (°C)	-0.0240	219.69	220	0	220	220
	อุณหภูมิหัวตาย (°C)	-0.3123	215.94	216	-0.3123	215.9	216
	ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (kw)	2.3784	50	50	2.3784	50	50
80 x 240 มม.	อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (°C)	0.0202	220.02	220	0	220	220
	อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (°C)	-	-	-	-	-	-
	อุณหภูมิหน้าแปลน (°C)	0.2626	223.94	224	0	220	220
	อุณหภูมิหัวตาย (°C)	-0.2626	216.06	216	0	220	220
	ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (kw)	0.7071	40.3	40	0.7071	40.3	40
40 x 24 นิ้ว	อุณหภูมิกระบอกส่วนต้น (°C)	-	-	-	-	-	-
	อุณหภูมิกระบอกส่วนท้าย (°C)	-	-	-	-	-	-
	อุณหภูมิหน้าแปลน (°C)	0.2626	223.94	224	0	220	220
	อุณหภูมิหัวตาย (°C)	0.1010	221.52	222	0	220	220
	ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน (kw)	0.7071	23.54	24	2	50	50

6) ในการทดลองรุ่น 80 x 240 มิลลิเมตร หากไม่ทำการแปลงค่าของ Y1 Y2 และ Y3 ให้มีการแจกแจงแบบปกติ ถึงแม้จะทำให้ Yall มีการแจกแจงแบบปกติแต่เมื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยแล้วจะได้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อของเสียรวมอย่างมีนัยสำคัญเพียงแค่ 2 ปัจจัยเท่านั้น ได้แก่ อุณหภูมิ หัวตายและความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน ซึ่งวิธีที่ทำการแปลงค่าก่อนตั้งในงานวิจัยนี้ จะมีปัจจัยที่เพิ่มขึ้นมาได้แก่ อุณหภูมิกระบอกส่วนต้นและอุณหภูมิหน้าแปลน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้วิธีการแปลงค่าให้มีการแจกแจงแบบปกติก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอยเพื่อให้การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยได้ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแม่นยำมากขึ้น



รายการอ้างอิง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ภาษาไทย

กรวิชัย จุฬะวะนะพันธ์. (2555). การลดความสูญเสียจากกระบวนการตัดและปิดผนึกถุงพลาสติก โดยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงพลาสติกบรรจุภัณฑ์. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.

กาญจน์ แก้วคะปวง และศิวก ร ชติโย. (2551). การออกแบบและสร้างเครื่องอัดรีดพอลิเมอร์แบบเกลียวหนอนเดี่ยว. (ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิชาเอกวิศวกรรมอุตสาหกรรม), คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2549a). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (4 ed.). กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2549b). การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) : ประมวลผลด้วย MINITAB. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

โกวิท คาทิพาทิ. (2558). การลดของเสียจากกระบวนการประกอบสปริง โดยประยุกต์ใช้วิธีการลีน ซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. Paper presented at the การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34, ขอนแก่น.

จุฑาทิพย์ ทะประสพ. (2551). การลดของเสียในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เจริญ นาคะสรรค์. (2547). กระบวนการแปรรูปพลาสติก (3 ed.). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์นิติธรรม.

ชัชฎาวรรณ ม่วงงาม และคณะ. การควบคุมการผลิตเชิงสถิติในงานเป่าฟิล์มพีพี. วารสารวิศวกรรมราชมงคลฉบับที่ 1.

ฐานันตร์ ปิ่นนาค เยาวภา ไชบาล และวรรณภา อีสอาด. (2555). ศึกษาพารามิเตอร์และหาแนวทางปรับปรุงการกระจายตัวของสีบนแผ่นฟิล์มพลาสติก. (ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต), คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ธเนตรตรี รัตนเรืองยศ. (2547). การลดของเสียสำหรับกระบวนการฉีดท่อพลาสติก. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- นพรัตน์ กระต่ายทอง. (2542). การแปลงข้อมูลให้มีการแจกแจงแบบปกติ. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาสถิติ), คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปณัยกรณ์ อังกุราภินันท์. (2544). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทนแรงดึงในแนวตะเข็บใน กระบวนการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.
- ปารเมศ ชูติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรเทพ เหลือทรัพย์สุข. (2549). สถิติสำหรับ *Six Sigma* ง่ายนิดเดียว. กรุงเทพมหานคร: อีไอแอสควร์.
- ไพโรจน์ บาลัน. (2549). การจัดการกระบวนการตามหลัก *Six Sigma*. กรุงเทพมหานคร: อีไอแอสควร์.
- ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ. (2557). การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยศวิน ศรีศักดิ์สรชาติ. (2557). การลดของเสียประเภทจุดสีในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ยุทธณรงค์ จงจันทร์. (2557). การลดของเสียในกระบวนการนึ่งยางรถยนต์. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยธนบุรี, 8(15).
- รุจิรา อุไรพงษ์. (2552). การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ด พลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรภัทร์ ภูเจริญ กาญจนา สร้อยระย้า และธนภุต จรัสรุ่งขวลี. (2546). การควบคุมคุณภาพซิกซ์ ซิก มา(มาตรฐานการควบคุมคุณภาพ (3 ed.). กรุงเทพมหานคร.
- วราภรณ์ ขำสนิท. (2551). การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มี ข้อบกพร่องหลายชนิด. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิทยา เจนจิวัฒนกุล. (2554). การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม), ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



- สมบัติ สุขนิจ. (2548). การแก้ไขปัญหาคิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ซิกมา. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โสภิตา ท้วมมี. (2550). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ), ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

### ภาษาอังกฤษ

- Breyfogle III, F. W. (1999). *Implementing Six Sigma Smart Solution Using Statistical Method*
- Cherry, J., & Seshadri, S. (2000). Six Sigma: Using Statistics to Reduce Process Variability and Costs in Radiology22, 44-49. Retrieved from
- Coronado, R. B., & Antony, J. (2002). *Critical success factors for the successful implementation of Six sigma projects in organizations*
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2005). *An introduction to six sigma & process improvement*
- Harry, M., & Schroeder, R. (2000). *Six Sigma : The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*
- John R. Wagner, J. (2016). Blown Film, Cast Film, and Lamination Processes. *A volume in Plastics Design Library*, 137-145.
- Khan., J. G., Dalu., R. S., & Gadekar., S. S. (2014). DEFECTS IN EXTRUSION PROCESS AND THEIR IMPACT ON PRODUCT QUALITY. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 3(3).
- LyondellBasell. *How to Solve Blown Film Problems*  
Available from :  
[https://www.lyondellbasell.com/globalassets/documents/polymerstechnical-literature/blown\\_film\\_problems.pdf?id=14252](https://www.lyondellbasell.com/globalassets/documents/polymerstechnical-literature/blown_film_problems.pdf?id=14252)
- Montgomery, D. C. (2005). *Design and analysis of experiments* (8 ed.). Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.

Peng, J., Wei, K., & Lui, W. (2005). Response surface optimization of the feed compositions of biodegradable packaging foams. *Packing Technology and Science An International Journal*, 18(6), 321–330.

Rauwendaal, C. (2016). Effective Troubleshooting of Extrusion Problems. *AIP Conference Proceedings*, 1779(1), 030021-030021-030021-030010.  
doi:10.1063/1.4965491

Available from : <https://doi.org/10.1063/1.4965491>

Sung Lee, J., Kwon, I., Wook Jung, H., & Chun Hyun, J. (2017). Helical instability in film blowing process: Analogy to buckling instability (Vol. 29).

Yoon, K. S., & Chang Won Park. (1999). Stability of a Blown Film Extrusion Process. *International Polymer Processing Journal of the Polymer Processing Society*, 14(4), 342-349.



ภาคผนวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

**ภาคผนวก ก****การให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ  
และหนาบาง**

ตารางที่ ก.1 แบบสอบถามการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาของเสีย  
เจล ยับ และหนาบาง

ตารางที่ ก.2 ผลการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย



แบบสอบถามการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง

ตำแหน่งงาน.....

วันที่.....

กรุณาให้คะแนนลงในช่องว่างที่กำหนด ตามความคิดเห็นของท่าน โดยที่

1 หมายถึง ปัจจัยดังกล่าวไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบาง

10 หมายถึง ปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทเจล ยับ และหนาบางมากที่สุด

ตารางที่ ก. 1 แบบสอบถามการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาของเสีย  
เจล ยับ และหนาบาง

หมวดหมู่	ลำดับ	รหัส	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา เจล ยับ และหนาบาง	เจล	ยับ	หนาบาง
คน	1	D1	ขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน			
	2	D2	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน			
	3	D3	ขาดความเอาใจใส่ ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง			
เครื่องจักร	4	D4	ตะแกรงอุดตัน			
	5	D5	หัวดายสกปรก			
	6	D6	ลูกปืนลูกกลิ้งแตก			
	7	D7	ลูกกลิ้งสกปรก			
	8	D8	ลูกกลิ้งรวบฟิล์มและดายไม่ได้ระดับ			
	9	D9	จานลมสกปรก			
วิธีการทำงาน	10	D10	อุณหภูมิในกระบอกสูบไม่เหมาะสม			
	11	D11	อุณหภูมิหน้าแปลนไม่เหมาะสม			
	12	D12	ความเร็วในการดึงม้วนฟิล์มไม่เหมาะสม			
	13	D13	ปริมาณเม็ดพลาสติกในถังบรรจุไม่เพียงพอ			
	14	D14	มอเตอร์ขับเคลื่อนมีค่าไม่เหมาะสม			
	15	D15	ขาดการควบคุมแรงดันลม			
	16	D16	อุณหภูมิหัวดายไม่เหมาะสม			
	17	D17	น้ำล้างแรงเกินไป			
	18	D18	ค่าการควบคุมความหนาบางไม่เหมาะสม			
วัตถุดิบ	19	D19	เม็ดพลาสติกและเม็ดหลอมที่นำมาผสมคุณภาพไม่ดี			
	20	D20	มีสิ่งแปลกปลอมเจือปน			
	21	D21	วัตถุดิบเกิดความชื้น			
	22	D22	มีวัตถุดิบที่มีความหนืดผสมอยู่			

ตารางที่ ก. 2 ผลการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย

หมวดหมู่	ลำดับ	รหัส	ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา เจล ยับ และหนابาง	เจล						ยับ						หนابาง					
				พนักงานคนที่						พนักงานคนที่						พนักงานคนที่					
				1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
คน	1	D1	ขาดความรู้ ความเข้าใจในการทำงาน	10	9	10	8	9	9	10	8	9	8	9	9	10	9	8	8	8	9
	2	D2	ขาดประสบการณ์ในการทำงาน	2	3	3	2	0	1	2	2	1	0	1	0	2	1	0	2	1	1
	3	D3	ขาดความเอาใจใส่ ในการตรวจสอบชิ้นงานหน้าเครื่อง	10	10	8	8	8	8	10	10	8	9	9	9	8	10	8	7	8	8
เครื่องจักร	4	D4	ตะแกรงอุดตัน	10	10	9	9	10	8	8	7	6	8	8	7	8	7	8	9	9	8
	5	D5	หัวตายสกปรก	9	9	10	10	9	10	4	4	6	5	5	4	6	5	5	6	5	4
	6	D6	ลูกปืนลูกกลิ้งแตก	0	0	0	0	0	0	4	5	4	3	5	6	2	1	2	0	0	1
	7	D7	ลูกกลิ้งสกปรก	0	0	0	0	0	0	3	2	2	3	2	1	2	1	1	2	0	0
	8	D8	ลูกกลิ้งรวบฟิล์มและตายไม่ได้ระดับ	0	0	0	0	0	0	8	10	9	7	6	8	0	0	0	0	0	0
	9	D9	จานลมสกปรก	0	0	0	0	0	0	10	10	8	9	8	8	10	10	10	9	10	9
วิธีการทำงาน	10	D10	อุณหภูมิในกระบอกสูบไม่เหมาะสม	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	11	D11	อุณหภูมิหน้าแปลนไม่เหมาะสม	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10
	12	D12	ความเร็วในการดึงม้วนฟิล์มไม่เหมาะสม	0	0	0	0	0	0	5	4	3	3	4	3	0	0	0	0	0	0
	13	D13	ปริมาณเม็ดพลาสติกในถังบรรจุไม่เพียงพอ	2	2	3	1	0	2	2	3	4	2	2	3	2	3	4	3	2	2
	14	D14	มอเตอร์ขับเคลื่อนสกรูมีค่าไม่เหมาะสม	5	6	5	5	7	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	15	D15	ขาดการควบคุมแรงดันลม	0	0	0	0	0	0	5	6	7	5	5	4	4	5	6	5	5	5
	16	D16	อุณหภูมิหัวตายไม่เหมาะสม	9	9	8	10	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	17	D17	น้ำลงแรงเกินไป	0	0	0	0	0	0	5	4	5	6	6	4	0	0	0	0	0	0
	18	D18	ค่าการควบคุมความหนานางไม่เหมาะสม	0	0	0	0	0	0	6	5	4	5	4	6	7	6	7	8	5	6
วัตถุดิบ	19	D19	เม็ดพลาสติกและเม็ดหลอมที่นำมาผสม คุณภาพไม่ดี	2	3	2	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	20	D20	มีสิ่งแปลกปลอมเจือปน	3	3	3	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	D21	วัตถุดิบเกิดความชื้น	2	2	3	1	1	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1
	22	D22	มีวัตถุดิบที่มีความหนืดผสมอยู่	1	2	1	0	0	2	1	2	2	0	1	2	3	3	2	1	1	1

## ภาคผนวก ข

### ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการ

- ตารางที่ ข. 1 ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการของขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว
- ตารางที่ ข. 2 ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการของขนาด  $80 \times 240$  มิลลิเมตร
- ตารางที่ ข. 3 ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการของขนาด  $40 \times 24$  นิ้ว



ตารางที่ ข. 1 ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการของขนาด  $30 \times (6+2+2)$  นิ้ว

วันที่	จำนวน(kg)	A	B	C	D	E	F	Y1	Y2	Y3	Yall
1	300	220	212	217	220	216	50	0.521	0.322	0.353	1.196
2	300	220	212	217	220	216	50	0.493	0.304	0.366	1.163
3	300	220	212	217	220	216	50	0.57	0.311	0.353	1.234
4	300	220	212	217	220	216	50	0.495	0.297	0.364	1.156
5	300	220	212	217	220	216	50	0.569	0.294	0.357	1.22
6	300	220	212	217	220	216	50	0.552	0.305	0.362	1.219
7	300	220	212	217	220	216	50	0.481	0.312	0.358	1.151
8	300	220	212	217	220	216	50	0.487	0.307	0.355	1.149
9	300	220	212	217	220	216	50	0.491	0.299	0.352	1.142
10	300	220	212	217	220	216	50	0.522	0.345	0.36	1.227
11	300	220	212	217	220	216	50	0.503	0.324	0.358	1.185
12	300	220	212	217	220	216	50	0.485	0.307	0.363	1.155
13	300	220	212	217	220	216	50	0.534	0.318	0.362	1.214
14	300	220	212	217	220	216	50	0.528	0.285	0.367	1.18
15	300	220	212	217	220	216	50	0.565	0.293	0.358	1.216
16	300	220	212	217	220	216	50	0.524	0.302	0.36	1.186
17	300	220	212	217	220	216	50	0.482	0.297	0.357	1.136
18	300	220	212	217	220	216	50	0.495	0.305	0.353	1.153
19	300	220	212	217	220	216	50	0.504	0.295	0.349	1.148
20	300	220	212	217	220	216	50	0.488	0.292	0.3501	1.1301



ตารางที่ ข. 2 ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการของขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร

วันที่	จำนวน(kg)	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3	Yall
1	480	220	220	220	220	35	1.206	0.483	0.69	2.379
2	480	220	220	220	220	35	1.185	0.526	0.537	2.248
3	480	220	220	220	220	35	1.179	0.552	0.732	2.463
4	480	220	220	220	220	35	1.225	0.492	0.617	2.334
5	480	220	220	220	220	35	1.201	0.582	0.681	2.464
6	480	220	220	220	220	35	1.282	0.516	0.595	2.393
7	480	220	220	220	220	35	1.224	0.674	0.591	2.489
8	480	220	220	220	220	35	1.236	0.517	0.693	2.446
9	480	220	220	220	220	35	1.193	0.464	0.702	2.359
10	480	220	220	220	220	35	1.263	0.538	0.586	2.387
11	480	220	220	220	220	35	1.173	0.612	0.546	2.331
12	480	220	220	220	220	35	1.196	0.487	0.662	2.345
13	480	220	220	220	220	35	1.184	0.67	0.473	2.327
14	480	220	220	220	220	35	1.155	0.647	0.736	2.538

ตารางที่ ข. 3 ผลการทดลองหลังปรับปรุงกระบวนการของขนาด 40 x 24 นิ้ว

วันที่	จำนวน(kg)	A	B	C	D	E	Y1	Y2	Y3	Yall
1	320	220	220	220	220	35	0.622	0.375	0.355	1.352
2	320	220	220	220	220	35	0.703	0.303	0.294	1.3
3	320	220	220	220	220	35	0.604	0.339	0.387	1.33
4	320	220	220	220	220	35	0.684	0.367	0.306	1.357
5	320	220	220	220	220	35	0.711	0.395	0.383	1.489
6	320	220	220	220	220	35	0.625	0.331	0.402	1.358
7	320	220	220	220	220	35	0.645	0.371	0.365	1.381
8	320	220	220	220	220	35	0.668	0.314	0.312	1.294
9	320	220	220	220	220	35	0.507	0.354	0.345	1.206
10	320	220	220	220	220	35	0.653	0.342	0.374	1.369
11	320	220	220	220	220	35	0.697	0.381	0.335	1.413
12	320	220	220	220	220	35	0.582	0.313	0.367	1.262
13	320	220	220	220	220	35	0.679	0.367	0.324	1.37
14	320	220	220	220	220	35	0.638	0.322	0.356	1.316

## ภาคผนวก ค

### การควบคุมคุณภาพ

ตารางที่ ค. 1 ขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม

ตารางที่ ค. 2 วิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction)

ตารางที่ ค. 3 แบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์

ตารางที่ ค. 4 แผนควบคุมการผลิต



ตารางที่ ค. 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน
เรื่อง การปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์มที่ถูกต้อง
วัตถุประสงค์ : เป็นแบบแผนทำงานสำหรับเครื่องเป่าฟิล์ม เพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง
<p>วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์มมีลำดับขั้นตอนดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) รับใบสั่งผลิต (Work Order :WO) จากฝ่ายวางแผนการผลิต</li> <li>2) เปิดเม็ดพลาสติกที่ได้มีการผสมไว้แล้ว</li> <li>3) จัดเตรียมเม็ดพลาสติกลงในถังพักเพื่อรอการนำไปใช้งาน</li> <li>4) เปลี่ยนตะแกรงทุก 7 วัน หรือก่อนนั้นตามที่เราเห็นสมควรหากมีการผลิตจำนวนมากและเกิดของเสียมาก เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาของเสียเรื่องเจล ยับ และหนابาง</li> <li>5) ทำความสะอาดหัวตายทุกครั้งที่เราเปลี่ยนตะแกรงหรือเปลี่ยนรุ่นการผลิต เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนابาง</li> <li>6) ทำความสะอาดจานลม ทุก 4 ชั่วโมง โดยให้ทำการเช็ดคราบน้ำมันออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคราบน้ำมันหยดใส่เนื้อถุง และเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาของเสียประเภทเจล ยับ และหนابาง</li> <li>7) ตรวจสอบลูกกลิ้งรวบฟิล์มให้ได้ระนาบเดียวกันโดยใช้ระดับน้ำวัด</li> <li>8) ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักร ตามค่าที่โรงงานกำหนดในแต่ละรุ่นนั้นๆ อ้างอิงจากในวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction)</li> <li>9) เมื่อเครื่องจักรเริ่มเดิน ในระหว่างการผลิตนั้นให้ทำการตรวจสอบดูทุกครั้งชั่วโมงว่ามีของเสียที่มองด้วยตาเปล่าได้เกิดขึ้นหรือไม่ เช่น เจล ยับ หรืออื่นๆ</li> <li>10) นำเครื่องมือวัดความหนา (thickness gauge) มาวัดความหนา-บางของฟิล์มทุกครึ่งชั่วโมง เพื่อป้องกันถุงหนาบางเป็นช่วง ซึ่งอาจสามารถสังเกตเห็นได้จากลูกโป่งเมื่อมีการสั้นหรือสาย</li> <li>11) เมื่อผลิตได้จำนวนที่กำหนดไว้ในแต่ละม้วนแล้วให้ทำการปลดม้วนออกและนำไปจัดเก็บไว้ในบริเวณที่กำหนดไว้เพื่อรอการนำไปพิมพ์สีต่อไป</li> <li>12) นำของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตในแต่ละวันไปชั่งน้ำหนักในเวลา 8.00น. ของวันทำงาน และนำมาบันทึกลงในใบบันทึกการผลิต</li> </ol>

ตารางที่ ค. 2 วิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction)

วิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม		
Doc no. : WI-01	Effective date :	หัวหน้าแผนก :
เรื่อง : การควบคุมของข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง		
วัตถุประสงค์ : เพื่อเป็นคู่มือในการควบคุมข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง		
ขอบเขต : ใช้งานการผลิตถุงพลาสติกขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว บนเครื่องจักร BB-PP-02		
หน้าที่ความรับผิดชอบ : พนักงานแผนกเป่าที่ดูแลรับผิดชอบเครื่องจักร BB-PP-02		
ขั้นตอนการทำงาน		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ศึกษาขั้นตอนก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวัน</li> <li>2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักร ดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> <li>● อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนต้น 220 °C</li> <li>● อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนกลาง 212 °C</li> <li>● อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนท้าย 217 °C</li> <li>● อุณหภูมิหน้าแปลน 220 °C</li> <li>● อุณหภูมิหัวตาย 216 °C</li> <li>● ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 50 kW</li> <li>● ความเร็วมอเตอร์ควบคุมหนาบาง 24 Hz.</li> <li>● อุณหภูมิได้ถังบรรจุเม็ด 70 °C</li> </ul> </li> <li>3. บันทึกค่าอุณหภูมิกระบอกสูบแต่ละส่วน อุณหภูมิหน้าแปลน และอุณหภูมิหัวตายทุกครั้งชั่วโมง ลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> <li>4. เปลี่ยนตะแกรงทุก 7 วัน โดยต้องทำความสะอาดทุกครั้งที่เปลี่ยนตะแกรงหรือเปลี่ยนรุ่นที่จะทำการผลิต และบันทึกลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> <li>5. ทำความสะอาดจานลมทุก 4 ชั่วโมง และบันทึกลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> </ol>		
เอกสารอ้างอิง : เอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน		
แบบฟอร์มที่ใช้ : แบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์		
เอกสารบันทึก : ทุกเวลา 9.00 น. ของทุกวันให้นำแบบฟอร์มบันทึกการทำงานของเมื่อวานไปให้หัวหน้าแผนกเป่าและทำการจัดเก็บเพื่อรวบรวมไว้		
** หมายเหตุ หากพบปริมาณของเสียใดเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องให้รีบแจ้งหัวหน้าแผนก		

## ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

วิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม		
Doc no. : WI-02	Effective date :	หัวหน้าแผนก :
เรื่อง : การควบคุมของข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง		
<p>วัตถุประสงค์ : เพื่อเป็นคู่มือในการควบคุมข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง</p> <p>ขอบเขต : ใช้งานการผลิตถุงพลาสติกขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร บนเครื่องจักร BB-PP-06</p> <p>หน้าที่ความรับผิดชอบ : พนักงานแผนกเป่าที่ดูแลรับผิดชอบเครื่องจักร BB-PP-06</p> <p>ขั้นตอนการทำงาน</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาขั้นตอนก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวัน</li> <li>กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักร ดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> <li>อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนต้น 218 °C</li> <li>อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนท้าย 220 °C</li> <li>อุณหภูมิหน้าแปลน 224 °C</li> <li>อุณหภูมิหัวตาย 216 °C</li> <li>ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 40 KW</li> <li>ความเร็วมอเตอร์ควบคุมหนาบาง 8 Hz.</li> <li>อุณหภูมิได้ถังบรรจุเม็ด 70 °C</li> </ul> </li> <li>บันทึกค่าอุณหภูมิกระบอกสูบแต่ละส่วน อุณหภูมิหน้าแปลน และอุณหภูมิหัวตายทุกครั้งชั่วโมง ลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> <li>เปลี่ยนตะแกรงทุก 7 วัน โดยต้องทำความสะอาดทุกครั้งที่เปลี่ยนตะแกรงหรือเปลี่ยนรุ่นที่จะทำการผลิต และบันทึกลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> <li>ทำความสะอาดจานลมทุก 4 ชั่วโมง และบันทึกลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> </ol> <p>เอกสารอ้างอิง : เอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน</p> <p>แบบฟอร์มที่ใช้ : แบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์</p> <p>เอกสารบันทึก : ทุกเวลา 9.00 น. ของทุกวันให้นำแบบฟอร์มบันทึกการทำงานของเมื่อวานไปให้หัวหน้าแผนกเป่าและทำการจัดเก็บเพื่อรวบรวมไว้</p> <p>**หมายเหตุ หากพบปริมาณของเสียใดเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องให้รีบแจ้งหัวหน้าแผนก</p>		

## ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

วิธีปฏิบัติงานในกระบวนการเป่าฟิล์ม		
Doc no. : WI-03	Effective date :	หัวหน้าแผนก :
เรื่อง : การควบคุมของข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง		
<p>วัตถุประสงค์ : เพื่อเป็นคู่มือในการควบคุมข้อบกพร่องประเภทเจล ยับ และหนابาง</p> <p>ขอบเขต : ใช้งานการผลิตถุงพลาสติกขนาด 40 x 24 นิ้ว บนเครื่องจักร BB-PP-01</p> <p>หน้าที่ความรับผิดชอบ : พนักงานแผนกเป่าที่ดูแลรับผิดชอบเครื่องจักร BB-PP-01</p> <p>ขั้นตอนการทำงาน</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>ศึกษาขั้นตอนก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวัน</li> <li>กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆบนเครื่องจักร ดังนี้ <ul style="list-style-type: none"> <li>อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนต้น 218 °C</li> <li>อุณหภูมิกระบอกสูบส่วนท้าย 220 °C</li> <li>อุณหภูมิหน้าแปลน 224 °C</li> <li>อุณหภูมิหัวตาย 220 °C</li> <li>ความเร็วมอเตอร์ขับเคลื่อน 24 KW</li> <li>ความเร็วมอเตอร์ควบคุมหนาบาง 10 Hz.</li> <li>อุณหภูมิได้ถังบรรจุเม็ด 70 °C</li> </ul> </li> <li>บันทึกค่าอุณหภูมิกระบอกสูบแต่ละส่วน อุณหภูมิหน้าแปลน และอุณหภูมิหัวตายทุกครั้งชั่วโมง ลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> <li>เปลี่ยนตะแกรงทุก 7 วัน โดยต้องทำความสะอาดทุกครั้งที่เปลี่ยนตะแกรงหรือเปลี่ยนรุ่นที่จะทำการผลิต และบันทึกลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> <li>ทำความสะอาดจานลมทุก 4 ชั่วโมง และบันทึกลงในแบบฟอร์มการบันทึกค่าพารามิเตอร์</li> </ol> <p>เอกสารอ้างอิง : เอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน</p> <p>แบบฟอร์มที่ใช้ : แบบฟอร์มบันทึกค่าพารามิเตอร์</p> <p>เอกสารบันทึก : ทุกเวลา 9.00 น. ของทุกวันให้นำแบบฟอร์มบันทึกการทำงานของเมื่อวานไปให้หัวหน้าแผนกเป่าและทำการจัดเก็บเพื่อรวบรวมไว้</p> <p>** หมายเหตุ หากพบปริมาณของเสียใดเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องให้รีบแจ้งหัวหน้าแผนก</p>		





ตารางที่ ค. 4 แผนควบคุมการผลิตถุงพลาสติก

ขนาด	ลำดับ	ปัจจัย	ค่าปรับตั้ง	หน่วย	การควบคุม		ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
					เครื่องมือ	ความถี่			
ถุงพลาสติก ขนาด 30 x (6+2+2) นิ้ว	1	อุณหภูมิกระบอบก ส่วนต้น	220	°C	ใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	ทุก 30 นาที	พนักงานประจำเครื่อง BB-PP-02	ใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้าวิศวกรเพื่อควบคุมและแก้ไข
	2	อุณหภูมิกระบอบก ส่วนกลาง	212	°C					
	3	อุณหภูมิกระบอบก ส่วนท้าย	217	°C					
	4	อุณหภูมิหน้าแปลน	220	°C					
	5	อุณหภูมิหัวตาย	216	°C					
	6	ความเร็วมอเตอร์ ขับเคลื่อน	50	kW					
	7	ความเร็วมอเตอร์ ควบคุมค่าความหนา	10	Hz					
	8	เปลี่ยนตะแกรง	ไม่มีสิ่งสกปรก			ทุก 7 วัน			
	9	ทำความสะอาด หัวตาย	ไม่มีสิ่งสกปรก						
	10	ทำความสะอาด จานลม	ลมออกสม่ำเสมอ ลูกโป่งตึงนึ่ง ไม่ ส่าย			ทุก 4 ชั่วโมง			
	11	ของเสียประเภทเจล	0.17	แผนภูมิ I-MR	ทุก 2 สัปดาห์				
	12	ของเสียประเภทยับ	0.1						
	13	ของเสียประเภทหนา บาง	0.11						

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

ขนาด	ลำดับ	ปัจจัย	ค่าปรับตั้ง	หน่วย	การควบคุม		ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
					เครื่องมือ	ความถี่			
ตู้พลาสดัก ขนาด 80 x 240 มิลลิเมตร	1	อุณหภูมิกระบอก ส่วนต้น	220	°C	ใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	ทุก 30 นาที	พนักงานประจำเครื่อง BB-PP-06	ใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้าวิศวกรเพื่อควบคุมและแก้ไข
	2	อุณหภูมิกระบอก ส่วนท้าย	220	°C					
	3	อุณหภูมิหน้า แปลน	224	°C					
	4	อุณหภูมิหัวตาย	216	°C					
	5	ความเร็วมอเตอร์ ขับเคลื่อน	40	kW					
	6	ความเร็วมอเตอร์ ควบคุมค่าความ หนา	8	Hz					
	7	เปลี่ยนตะแกรง	ไม่มีสิ่งสกปรก						
	8	ทำความสะอาด หัวตาย	ไม่มีสิ่งสกปรก						
	9	ทำความสะอาด จานลม	ลมออก สม่ำเสมอ ลูกโป่งต้องนิ่ง ไม่ส่าย						
	10	ของเสียประเภท เจล	0.25						
	11	ของเสียประเภท ยับ	0.12						
	12	ของเสียประเภท หนาบาง	0.13						

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

ขนาด	ลำดับ	ปัจจัย	ค่าปรับตั้ง	หน่วย	การควบคุม		ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
					เครื่องมือ	ความถี่			
ถุงพลาสติก ขนาด 40 x 24 นิ้ว	1	อุณหภูมิกระบอก ส่วนต้น	218	°C	ใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	ทุก 30 นาที	พนักงานประจำเครื่อง BB-PP-01	ใบตรวจสอบค่าพารามิเตอร์	แจ้งหัวหน้าวิศวกรเพื่อควบคุมและแก้ไข
	2	อุณหภูมิกระบอก ส่วนท้าย	220	°C					
	3	อุณหภูมิหน้าแปลน	224	°C					
	4	อุณหภูมิหัวตาย	222	°C					
	5	ความเร็วมอเตอร์ ขับเคลื่อน	24	kW					
	6	ความเร็วมอเตอร์ ควบคุมค่าความ หนา	10	Hz					
	7	เปลี่ยนตะแกรง	ไม่มีสิ่ง สกปรก			ทุก 7 วัน			
	8	ทำความสะอาด หัวตาย	ไม่มีสิ่ง สกปรก			ทุก 4 ชั่วโมง			
	9	ทำความสะอาด จานลม	ลมออก สม่ำเสมอ ลูกโป่งต้อง นึ่ง ไม่ส่าย			ทุก 2 สัปดาห์			
	10	ของเสียประเภท เจล	0.2			แผนภูมิ I-MR			
	11	ของเสียประเภท ยับ	0.11						
	12	ของเสียประเภท หนาบาง	0.11						

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกุศลิน กิจพงษ์นิกร เกิดเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2530 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**