

การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก

นายภูมินทร์ แจ่มเชื้อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

REDUCTION OF BUBBLE DEFECTS IN PLASTIC PACKAGING
PRODUCTION PROCESS

Mr Poomin Jamchue

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก |
| โดย | นายภูมินทร์ แจ่มเชื้อ |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็ชร์)

ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ : การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก

(REDUCTION OF BUBBLE DEFECTS IN PLASTIC PACKAGING PRODUCTION
PROCESS)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, 118 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษากระบวนการกระจายในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของของเสียฟองอากาศในพลาสติกในลอนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับเงื่อนไขของกระบวนการกระจายซึ่งได้แก่ ความเร็วของลูกกลิ้ง อุณหภูมิของเตาอบและแรงดึงพลาสติก โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface Analysis) ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken design ซึ่งสมการแสดงความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการกระจายกับของเสียฟองอากาศจะแสดงด้วยฟังก์ชันกำลังสอง โดยพบว่าเงื่อนไขในกระบวนการกระจายที่เหมาะสมจะส่งผลให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากการศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมากขึ้นจะทำให้เกิดของเสียฟองอากาศลดลงเนื่องจากเมื่อพลาสติกมีความดึงฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่ถูกเก็บไว้บนผลิตภัณฑ์แต่เมื่อพลาสติกดึงเกินไปเนื่องจากแรงดึงพลาสติกที่มากจะส่งผลให้พลาสติกเกิดการขยายและหดตัว ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศที่มากและในขณะที่เมื่ออุณหภูมิของเตาอบมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวทำละลายสามารถระเหยได้ดีแผ่นพลาสติกมีการเชื่อมติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศน้อยที่สุดคือความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตันและอุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2554

5270450821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : RESPOND SURFACE, BOX-BENHKEN, PLASTIC PACKAGING, BUBBLE DEFECTS, DRYING PROCESS/

POOMIN JAMCHUE : REDUCTION OF BUBBLE DEFECTS IN PLASTIC PACKAGING PRODUCTION PROCESS. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT TANGJITSITCHAROEN, Ph.D., 118 pp.

The aim of this research is to investigate the drying process for the dry laminates. The relations of the bubble defects in nylon - linear low density polyethylene (NY-LLDPE) film and the drying parameters (oven temperature, roller speed and tension force) are examined by using the Response Surface Analysis with the Box-Behnken design.

The model to predict the bubble defects is represented by the second-order response function. The experimentally obtained model clearly shows that the all drying conditions are the significant factors on the bubble defects. It has been proved that the developed bubble defects prediction model can be effectively used to predict the bubble defects with the 95% confident level.

The optimum drying condition, which is determined and obtained based on the consideration of the minimum bubble defects, is at the roller speed of 150 rpm, the tension force of 400 V, and the oven temperature of 85 C.

Department : Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี วยดี ต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสดวงศ์ โจรจนโรวรรณ ประธาน การสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ และ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกคีก กรรมการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านผู้ประสทาวิชาแก่ผู้วิจัยให้ ได้รับความรู้และมี ความสามารถในการศึกษาและขอขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว รวมถึงเพื่อนๆ นื่องๆ นิสิต ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ คำติชม ความรู้ต่างๆที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนข้อแนะนำ ต่างๆแก่ผู้วิจัย ตลอดการศึกษา จนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ อำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ และสถานที่ สำหรับในการทดลองครั้งนี้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 1 |
| 1.4 แนวทางการศึกษา..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.6 แผนดำเนินงานวิจัย..... | 3 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 วิธีการตรวจสอบของเสียในกระบวนการผลิต..... | 4 |
| 2.2 แนวคิดและทฤษฎี..... | 4 |
| 2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก..... | 7 |
| 2.4 फिल्मบรรจุภัณฑ์พลาสติก..... | 7 |
| 2.5 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก..... | 8 |
| 2.6 การตรวจสอบกระบวนการเป่าฟิล์ม..... | 24 |
| 2.7 แผนภาพพาเรโต..... | 25 |
| 2.8 ผังแสดงเหตุและผลหรืออิชิกาวาไดอะแกรม..... | 26 |
| 2.9 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม..... | 28 |
| 2.10 การวิเคราะห์ผล..... | 38 |
| 2.11 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 38 |

| | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... | 44 |
| 3.1 การออกแบบการทดลอง..... | 44 |
| 3.2 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง..... | 58 |
| 3.3 การกำหนดระดับของปัจจัย..... | 61 |
| 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... | 65 |
| 3.5 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง..... | 65 |
| 3.6 การวางแผนการวิจัย..... | 65 |
| 3.7 การออกแบบการทดลอง..... | 66 |
| 3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล..... | 69 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 70 |
| 4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... | 70 |
| 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ค่า P..... | 76 |
| 4.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยในกระบวนการกระจายตัวของเสียฟองอากาศ..... | 78 |
| 4.4 การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบของปัจจัยในกระบวนการกระจาย..... | 80 |
| 4.5 การวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม..... | 83 |
| 4.6 การตรวจสอบสมมติฐาน..... | 86 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบ..... | 88 |
| 4.8 การทดลองเพื่อนยืนยันผล..... | 90 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 93 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 93 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 93 |
| 5.3 อุปสรรคปัญหาในงานวิจัย..... | 94 |
| 5.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย..... | 94 |
| รายการอ้างอิง..... | 95 |
| ภาคผนวก..... | 98 |
| ภาคผนวก ก. ภาพแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... | 99 |

| | หน้า |
|---|------|
| ภาคผนวก ข. ข้อมูลการตรวจรับของเสียที่เกิดขึ้นและการจัดการของเสียในแผนกต่างๆ | 105 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 118 |

สารบัญญัตราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 แสดงวิธีการตรวจสอบคุณภาพในแต่ละแผนก..... | 25 |
| 3.1 จำนวนชิ้นงานเสียชนิดของในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 – เดือนพฤศจิกายนพ.ศ. 2553..... | 44 |
| 3.2 แสดงความเสียหายสูงสุด แยกเป็นแผนกและลักษณะความเสียหาย..... | 45 |
| 3.3 จำนวนชิ้นงานเสียชนิดของแยกเป็นแผนกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552- เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553..... | 46 |
| 3.4 จำนวนครั้งการส่งคืนสินค้าจากลูกค้าแยกเป็นแผนกในปี พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2553..... | 47 |
| 3.5 ลักษณะความเสียหายของชิ้นงานชนิดของจากแผนกครายในเดือนมกราคม พ.ศ.2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553..... | 49 |
| 3.6 ลักษณะความเสียหายในแต่ละแผนก..... | 50 |
| 3.7 ความเสียหายรายเดือนแต่ละของของเสียฟองอากาศ..... | 51 |
| 3.8 แสดงการควบคุมที่ใช้ในกระบวนการของการควบคุมการเกิดฟองอากาศ..... | 57 |
| 3.9 ตัวอย่างเงื่อนไขกระบวนการครายที่แสดงในคู่มือ..... | 62 |
| 3.10 ผลการใช้ค่าตัวแปรในกระบวนการครายต่อของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้น..... | 62 |
| 3.11 สรุประดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการกลึง..... | 66 |
| 3.12 ระดับเมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำการทดลอง..... | 67 |
| 3.13 เมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำการทดลอง..... | 68 |
| 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองของกระบวนการคราย..... | 70 |
| 4.2 ตารางแสดงของเสียฟองอากาศในกระบวนการคราย..... | 72 |
| 4.3 แสดงค่า P ที่วิเคราะห์ได้จาก Regression Coefficients for Bu..... | 76 |
| 4.4 สรุปลค่า P ที่วิเคราะห์ได้จาก Regression Coefficients for Bu..... | 78 |
| 4.5 ผลของของเสียฟองอากาศที่ความเร็วลูกกลึงต่างกัน..... | 78 |
| 4.6 ผลของของเสียฟองอากาศที่แรงดึงพลาสติกต่างกัน..... | 79 |
| 4.7 ผลของของเสียฟองอากาศที่อุณหภูมิเตาอบต่างกัน..... | 79 |
| 4.8 สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการคราย..... | 84 |
| 4.9 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผลของกระบวนการคราย..... | 84 |

สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แสดงแผนผังองค์กร..... | 6 |
| 2.1 เครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ..... | 9 |
| 2.2 เครื่องผสมและนวด..... | 9 |
| 2.3 เครื่องผสมเม็ดพลาสติก..... | 10 |
| 2.4 เครื่องทำเม็ดพลาสติกแบบร้อน..... | 10 |
| 2.5 ภาพตัดขวางแสดงตะแกรงกรอง แผ่นเบรกเกอร์และอะแดปเตอร์..... | 12 |
| 2.6 ชุดรองรับแรงเนื่องจากความดันของพลาสติกหลอม..... | 13 |
| 2.7 มอเตอร์ขับ..... | 14 |
| 2.8 ระบบเกียร์ทด..... | 14 |
| 2.9 กรวยเติมพลาสติก..... | 15 |
| 2.10 เครื่องดูดสูญญากาศ..... | 15 |
| 2.11 แสดงการควบคุมลูกโป่งในการหล่อเย็นภายใน..... | 16 |
| 2.12 ชุดดึงฟิล์ม..... | 17 |
| 2.13 ชุดม้วนฟิล์ม..... | 17 |
| 2.14 เครื่องจักรเป่าถุงพลาสติก..... | 17 |
| 2.15 เครื่องเป่าฟิล์ม..... | 18 |
| 2.16 ส่วนประกอบเครื่องเป่าฟิล์ม..... | 19 |
| 2.17 ภาพตัดขวางหัวตายเครื่องเป่าฟิล์ม..... | 20 |
| 2.18 เครื่องพิมพ์สี..... | 20 |
| 2.19 เครื่องคราย..... | 21 |
| 2.20 กระบวนครายแบบแห้ง..... | 21 |
| 2.21 กระบวนการประกบฟิล์ม..... | 22 |
| 2.22 เครื่องสลิต..... | 22 |
| 2.23 เครื่องตัดทำช่อง..... | 23 |
| 2.24 กระบวนการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดช่อง..... | 23 |
| 2.25 แผนภาพพาเรโต..... | 26 |

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.26 แผนภาพเหตุและผล..... | 27 |
| 2.27 รูปแบบระบบการทดลองทั่วไป..... | 31 |
| 2.28 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลโดยไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย..... | 32 |
| 2.29 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลโดยมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย..... | 33 |
| 2.30 พื้นผิวผลตอบแบบสามมิติ..... | 34 |
| 2.31 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบ..... | 35 |
| 2.32 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ..... | 35 |
| 2.33 วิธีการสถิติเพสแอสเกนท์..... | 36 |
| 2.34 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน..... | 38 |
| 3.1 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดของในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553..... | 46 |
| 3.2 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดของแยกเป็นแผนกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552- เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553..... | 48 |
| 3.3 ผังพาเรโตแสดงชิ้นงานเสียหายชนิดของแยกเป็นแผนกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552- เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553..... | 49 |
| 3.4 แผนภูมิแท่งแสดงความเสียหายของชิ้นงานชนิดของจากแผนกครายในเดือนมกราคม พ.ศ.2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553..... | 52 |
| 3.5 ผังพาเรโตแสดงความเสียหายของชิ้นงานชนิดของจากแผนกครายในเดือนมกราคม พ.ศ.2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553..... | 53 |
| 3.6 แสดงแผนภาพก้างปลา..... | 54 |
| 3.7 ภาพแสดงตำแหน่งที่ทำการศึกษาเงื่อนไขกระบวนการคราย..... | 61 |
| 3.8 รูปแบบเรขาคณิตของแผนการทดลอง Box-Behnken ที่ใช้ในการทดลอง..... | 67 |
| 4.1 Normal Probability Plot ของข้อมูลของเสียฟองอากาศ..... | 74 |
| 4.2 ความสัมพันธ์ Residual ของข้อมูลของเสียฟองอากาศกับลำดับการทดลอง..... | 75 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ Residual ของค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟัดสำหรับค่าของเสีย ฟองอากาศ..... | 76 |
| 4.4 สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการคราย..... | 80 |
| 4.5 พื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ..... | 81 |

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.6 แสดงพื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ..... | 82 |
| 4.7 แสดงพื้นผิวผลตอบแบบ โครงร่างของของเสียฟองอากาศ..... | 82 |
| 4.8 แสดงพื้นผิวผลตอบของสภาวะที่เหมาะสม..... | 83 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมการผลิตปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงขึ้น บริษัทผู้ผลิตต่างก็ผลิตสินค้าภายใต้คุณภาพที่ลูกค้าพึงพอใจและต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม การคืนสินค้าจากลูกค้าเป็นอีกปัญหาที่ทำให้เกิดภาระด้านต้นทุนและเกิดความเสียหายต่อภาพลักษณ์ในสินค้าของบริษัท อุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีกระบวนการผลิตเริ่มตั้งแต่ การเป่า พิมพ์สี ทราย สลิตเตอร์ ทำช่อง ซึ่งสาเหตุของความเสียหายที่เกิดกับสินค้าจนเป็นสาเหตุของการคืนสินค้านั้นมี โอกาสเกิดในทุกส่วนตั้งแต่การรับวัตถุดิบ จนถึงการขนส่งไปยังลูกค้า

ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่พยายามที่จะหาวิธีในการแก้ปัญหาซึ่งมีความแตกต่างกันตามสาเหตุที่พบ ในส่วนการผลิตฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้น สาเหตุของการคืนสินค้านั้นมักเกิดจากการผลิตสินค้าที่ไม่ ตรงตามที่ลูกค้ากำหนด เช่น ปัญหาขนาดตราสินค้าเล็กหรือใหญ่กว่าแบบ ปัญหาสีเหลืองหรือซีดจาง ปัญหา สาเหตุจากกระบวนการผลิต เช่น ช่องแตกหรือรั่ว มีฟองอากาศ สลิตข้างไม่หมด สาเหตุจากการขนส่ง เช่น กรอฟิล์มบิดเบี้ยวหรือกรอไม่แน่น รอยย่นหรือยับที่เกิดบนซองผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการทรายหรือการประกบแผ่นฟิล์มพลาสติกกับวัสดุเคลือบผิว รวมถึงพิจารณาถึงค่าตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการทรายด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง
2. เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในกระบวนการทรายหรือการประกบแผ่นฟิล์มพลาสติกกับวัสดุเคลือบผิวโดยการใช้การประกบแบบแห้ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะ การเกิดฟองอากาศ ในผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์พลาสติก ชนิดที่ไม่ใช้ลูมิเนียมที่เกิดในเครื่องจักร B

2. ศึกษาเฉพาะกระบวนการคราย โดย พารามิเตอร์ของกระบวนการคราย คือ อุณหภูมิในการอบ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง และแรงดึงพลาสติก
3. ศึกษาเฉพาะกระบวนการครายหรือการประกบแบบแห้งที่ทำให้เกิดความเสียหายภายนอก
4. ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคพื้นผิวผลตอบ แบบ Box-Behnken Design
5. ตัวชี้วัดผลลัพธ์วัดจากปริมาณของเสียที่ลดลงที่มีสาเหตุจากกระบวนการคราย

1.4 แนวทางการศึกษา

1. ศึกษาผลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีต่างๆที่จะนำมาใช้ในการวิจัย
2. รวบรวมข้อมูล ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา รวมถึงหาสาเหตุของปัญหา
3. ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคพื้นผิวผลตอบ แบบ Box-Behnken Design
4. ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลตามแผนการทดลองที่วางไว้
5. อภิปรายและวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Response Surface Methodology (RSM)
6. สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและข้อเสนอแนะ
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ปริมาณของเสียประเภทฟองอากาศของผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดของมีปริมาณลดลง
2. พัฒนาความสามารถในกระบวนการครายโดยใช้การประกบแบบแห้ง
3. เพิ่มผลผลิตของกระบวนการคราย โดยคงไว้ซึ่งคุณภาพของผิวชิ้นงาน
4. เป็นแนวทางในการลดต้นทุนในส่วนของกาวที่ใช้ ตลอดจนลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของคุณอบพลาสติก
5. สามารถนำหลักการและความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานครายแบบอื่นๆ เช่น แบบเปียก เป็นต้น
6. สามารถเข้าใจถึงกระบวนการคราย ตลอดจนการใช้การวิเคราะห์ ทางสถิติในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ปัญหา

1.6 แผนดำเนินการวิจัย

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | เดือน | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--|
| | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | |
| 1) ศึกษาผลงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีต่างๆที่จะนำมาใช้ในการวิจัย | | | | | | | | | | | | |
| 2) รวบรวมข้อมูล ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา รวมถึงหาสาเหตุของปัญหา | | | | | | | | | | | | |
| 3) ทำการออกแบบการทดลอง(Design and Analysis of Experiment) แบบ Box Behnken Design | | | | | | | | | | | | |
| 4) ทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลตามแผนการทดลองที่วางไว้ | | | | | | | | | | | | |
| 5) อภิปรายและวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการวิเคราะห์ทางสถิติและการตอบสนองเชิงพื้นผิว | | | | | | | | | | | | |
| 6) สรุปผลที่ได้จากการวิจัยและข้อเสนอแนะ | | | | | | | | | | | | |
| 7) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ | | | | | | | | | | | | |

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

ภาพรวมกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกและฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ [2] เราจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมทุกสาขา และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันเกือบทุกกิจกรรมตัวอย่างการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น ใช้ทำถังและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเคมีทำชิ้นส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรกล เครื่องใช้สำหรับเกษตรกรรม ของใช้ในครัวเรือน เฟอร์นิเจอร์บรรจุภัณฑ์ของยา อาหาร เครื่องดื่ม ทำเครื่องประดับ และเครื่องนุ่งห่ม ใช้ทำอุปกรณ์กีฬา เป็นส่วนประกอบของรถยนต์ เครื่องบิน ยานอวกาศ เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างอาคาร เป็นชิ้นส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้า และอีกมากมาย [1]

อุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกมีกระบวนการผลิตเริ่มตั้งแต่การเป่า พิมพ์สี ทราย สลิตเตอร์ ทำช่อง โดยในการตรวจสอบคุณภาพแต่ละกระบวนการจะเสนอในหัวข้อถัดไป

2.2 ข้อมูลสถานประกอบการ

2.2.1 สถานที่ตั้งและประวัติ

18/1 ม.6 ต. บางน้ำจืด อ. เมือง จ. สมุทรสาคร 74000 โดยบริษัท ควอลิตี้ แพคพรีนติ้ง 2000 จำกัด จัดตั้งเมื่อวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ.2543 โดยการรวมตัวกันของผู้มีประสบการณ์ในกลุ่มธุรกิจพลาสติกซึ่งมี คุณบุรินทร์ ศรีรัตนกานต์ เป็นผู้นำจากแนวคิดและวิสัยทัศน์ที่เล็งเห็นว่าธุรกิจที่จะจัดตั้งขึ้นใหม่นั้นน่าจะเป็นธุรกิจที่มีอนาคต รวมทั้งสามารถรองรับกับอัตราการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจของประเทศในระยะยาว ต่อมาในช่วงกลางปี พ.ศ.2545 ที่ประชุมผู้ถือหุ้นจึงมีมติเป็นเอกฉันท์ให้ดำเนิน การซื้อที่ดินในอำเภอบางน้ำจืดจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงงานในปัจจุบันเพื่อขยายธุรกิจเพิ่มเติมจากม้วนฟิล์มบรรจุนมพาสเจอร์ไรซ์ ไปสู่ผลิตภัณฑ์ประเภทงาน LAMINATION ซึ่งเป็นการพัฒนาธุรกิจไปอีกขั้นหนึ่ง

2.2.2 ข้อมูลสถานประกอบการ

2.2.3.1 ผลิตภัณฑ์หลัก บรรจุภัณฑ์พลาสติก ชนิดอ่อน มีที่ดินอาคาร โรงงาน เป็นกรรมสิทธิ์ของ บริษัท ควอลิตี้ แพคพรีนติ้ง 2000 จำกัด อาคารโรงงานอาคาร 1 ขนาดกว้าง

20 ม. x ยาว 30 ม. อาคาร 2 ขนาด กว้าง 30 ม. x 50 ม. โครงสร้างเป็น-เหล็กและคอนกรีต
กำลังการผลิต/เดือน ประมาณ 140 ตันสินค้าหลัก ถุงบรรจุภัณฑ์พลาสติก 40 % ม้วนฟิล์ม
บรรจุนมโรงเรียน 40 % ม้วนฟิล์มพลาสติกอื่นๆ 20 %

2.2.3.2 กระบวนการผลิต

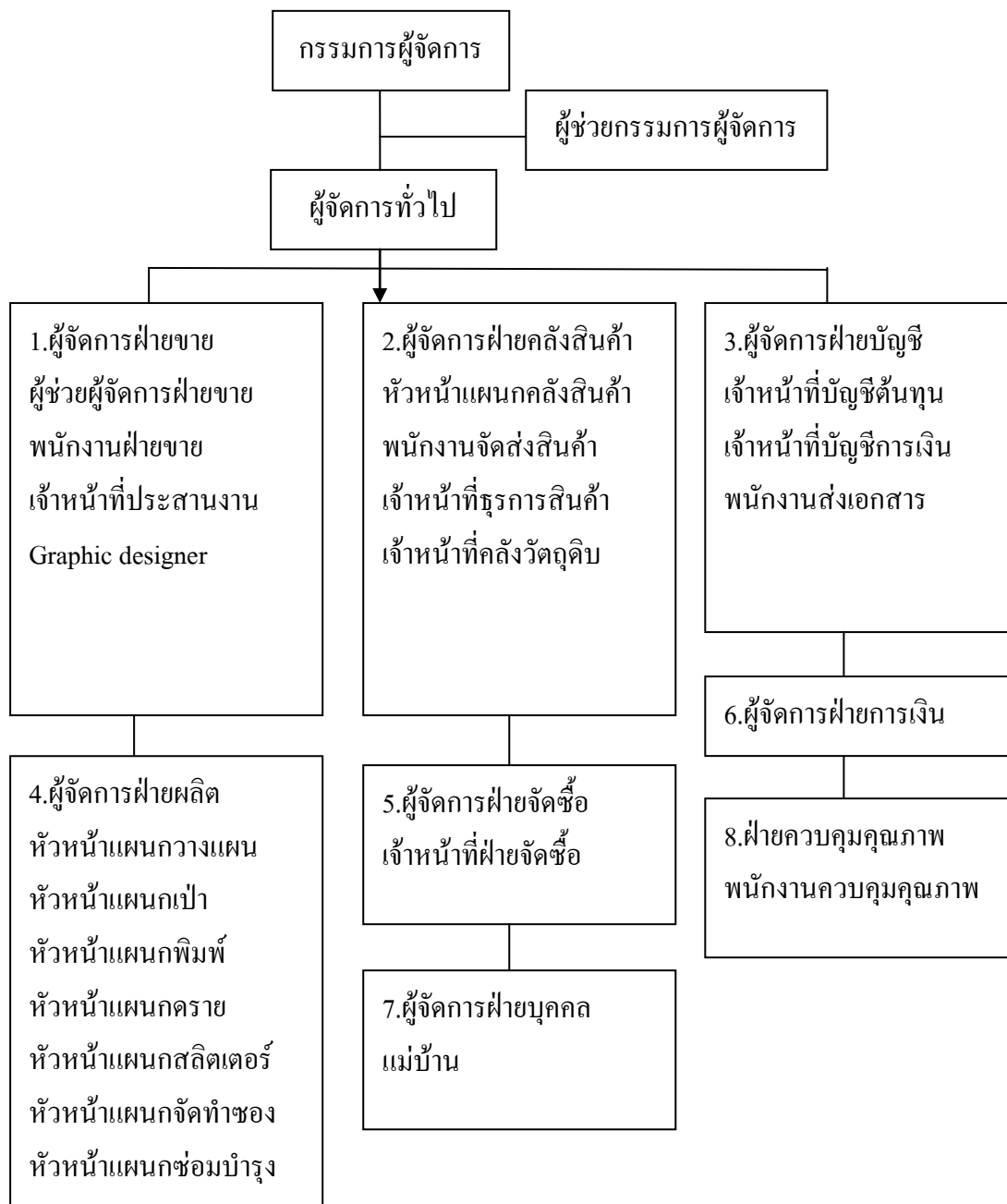
1. การเตรียมวัตถุดิบ
2. การเป่าฟิล์ม
3. การพิมพ์
4. การคราย
5. การสลิต
6. การตัดทำซอง

2.2.3.3 รายการเครื่องจักร และวัตถุดิบ เครื่องเป่า จำนวน 6 เครื่อง เครื่องพิมพ์
จำนวน 3 เครื่อง เครื่องคราย จำนวน 1 เครื่อง เครื่องสลิตเตอร์ 4 เครื่อง เครื่องตัดทำซอง 7
เครื่อง วัตถุดิบที่ใช้ ประมาณการใช้ /เดือน เม็ดพลาสติก 25 ตัน ม้วนฟิล์มชนิดอื่นๆ 3 ตัน
สีพิมพ์ 1.3 ตัน กาว 2.6 ตัน น้ำมัน 4.6 ตัน

2.2.3.4 แรงงานและกำลังการผลิต ระดับบริหาร 10 คน , ระดับปฏิบัติการ 60 คน
สถิติการหยุดซ่อมเครื่องจักร ประมาณ 2% ต่อเดือน จากจำนวนเวลาการทำงานปริมาณ
ของเสีย และเศษ จากการผลิต ประมาณ 20 ตัน ต่อเดือนค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง ค่าน้ำมัน
ประมาณ 90,000 บาท / เดือน ระบบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ISO 9001:2000 ,
ISO 22000

2.2.3.5 ด้านการตลาด/การจัดจำหน่าย ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเป็นผลิตภัณฑ์ตามคำสั่ง
และสัญญาซื้อของลูกค้าทั้งในและต่างประเทศภายใต้ลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ และตามแบบมาตรฐาน
ของลูกค้าโดยคำสั่งพิเศษซึ่งการแก้ไขแบบและข้อกำหนดทางเทคนิค ภายใต้ลิขสิทธิ์ของลูกค้า
บริษัทฯ ยังจัดทำมาตรฐานกระบวนการผลิตและข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ ในกระบวนการผลิต
ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่เป็นสากลอีกด้วยคู่มือคุณภาพฉบับนี้

2.2.3.6 การบริหารองค์กร



ภาพที่ 1.1 แสดงแผนผังองค์กร

2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลาสติก [4]

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในยุคนี้มาก เราจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมทุกสาขา และกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันเกือบทุกกิจกรรมตัวอย่างการใช้งานผลิตภัณฑ์พลาสติก

2.3.1 ชนิดของพอลิเมอร์

ในการเรียกชื่อกลุ่มของพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปในบทย่อยๆ ไปโดยทั่วไปการเรียกชื่อพอลิเมอร์ จะใช้หลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) คือ พอลิเมอร์ที่สามารถนำกลับไปหลอมใหม่หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป โดยที่สมบัติของพอลิเมอร์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ตัวอย่างพอลิเมอร์ในกลุ่มนี้ เช่น พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิเอทิลีนเทอเรพทาเลท (PET) และพอลิซันโฟน เป็นต้น

เทอร์โมเซต (thermosetting) คือ พอลิเมอร์ที่หลังจากผ่านการแปรรูปแล้ว จะแข็งตัวอย่างถาวร เนื่องจากเกิดการเชื่อมโยง (cross-linking) และเกิดเป็นร่างแหของพอลิเมอร์ (polymernetwork) การให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ชนิดนี้หลังการแปรรูปแล้ว ไม่สามารถหลอมได้อีก แต่ถ้าให้ความร้อนสูงและติดต่อกันเวลานานๆ จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและการออกซิเดชัน ซึ่งจะได้ถ่านเป็นผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเทอร์โมเซต เช่น ฟีนอลิก เมลามีนฟอรัมัลดีไฮด์ ยางธรรมชาติ ที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันแล้ว และอีพอกซี เป็นต้น

2.4 ฟิล์มบรรจุภัณฑ์พลาสติก[5]

ฟิล์มพลาสติกสำหรับบรรจุ ภัณฑ์อาหารนั้นสามารถจำแนกตามวัตถุดิบที่ใช้และวัตถุประสงค์ในการใช้งานดังนี้

1. ฟิล์มพลาสติกเดี่ยว (Single Plastic Film) มักใช้ทำถุงทั่วไป โดยมีราคาไม่สูงมาก เช่น ถุง LDPE หรือถุงเย็น และ ถุง PP หรือถุงร้อน นอกจากนี้ยังนิยมทำเป็นถุงชั้นในในกล่องกระดาษแข็งบรรจุอาหารสำเร็จรูปเพื่อการขายปลีก

2. ฟิล์มพลาสติกประกบ (Laminated Plastic Film) หมายถึงฟิล์มต่างชนิดกันที่ประกบเข้าด้วยกันหรือฟิล์มพลาสติกที่ใช้ประกบกับวัสดุอื่นๆ เช่นกระดาษแผ่นเปลวอลูมิเนียม รวมทั้งพลาสติกที่ผ่านการเคลือบด้วยไอโอดีนแล้วนำมาประกบกับฟิล์มพลาสติกอื่นๆ โดยโครงสร้างของฟิล์มพลาสติกประเภทนี้ต้องประกอบด้วยวัสดุตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป เช่น เครื่องดื่มผงสำเร็จรูปอาหารที่ต้องมาเชื่อมด้วยความร้อน บะหมี่สำเร็จรูป

3. ฟิล์มพลาสติกรีดร่วม (Coextruded Plastic Film) เป็นฟิล์มหลายชั้นซึ่งประกบด้วย

พลาสติกชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน โดยการประกบใช้วิธีรีดให้ติดกัน โดยอาหารที่ใช้บรรจุ สำหรับฟิล์มพลาสติกประเภทนี้คือ เนื้อ ไข่กรอก แสม ปลา เนยแข็ง คอร์นเฟลก นมผง น้ำมันสลัด และอาหารที่มีไขมันสูง เป็นต้น

2.5 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก

ในการผลิตฟิล์มพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นจะแตกต่างกันขึ้นกับความต้องการในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เช่น ความหนา ความยืดหยุ่น ความใส รูปทรงการออกแบบ เป็นต้นซึ่งกระบวนการผลิตนั้นจะมีขั้นตอนหลักๆดังนี้คือ

2.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

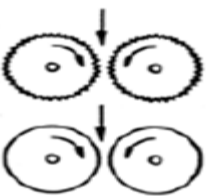

คำว่า “เตรียม” ในเทคนิคการทำงานพลาสติก หมายถึง ขั้นตอนที่สำคัญในการเตรียมพลาสติกซึ่งอยู่ในลักษณะวัตถุดิบให้พร้อมที่จะนำมาผลิตเป็นชิ้นงานได้ ซึ่งประกอบด้วยการทำเป็นเม็ดผสม (compound) ซึ่งจะทำในขณะที่เป็นของแข็ง หรือผสมขณะที่เป็นของเหลวบ่อยครั้งที่จะมีการนำเอาพลาสติกที่ออกมาจากถังปฏิกิริยามาทำงาน หรือนำมาใช้ได้ทันทีโดยปกติจะต้องนำมาผสมกับสารเสริมคุณสมบัติต่างๆ ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม ที่จะใช้เป็นวัสดุทางเทคนิคที่มีคุณสมบัติต่างๆ ตามต้องการ

2.5.2 การผสม

การผสม คือ การนำวัสดุต่างชนิดมารวมกัน และเกลี่ยให้เข้ากัน โดยการให้วัสดุเคลื่อนที่คลุกเคล้ากันจะได้สภาพการผสมที่ดี โดยการหมุนไปกวนในถังเปิดหรือปิดจะทำให้เกิดการกระแทกและเสียดสีกัน เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งจะผสมเข้ากันดี

ซึ่งจะมีเครื่องผสมแบบต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับชนิดและขนาดของพลาสติกในการผลิตพลาสติกเหลวหรือเหนียว เช่น PVC เหลว จะต้องใช้เครื่องกวน โดยปกติแล้วเครื่องผสมแบบนี้จะเป็นถังทรงกระบอก และใบพัดกวนที่ยกขึ้นลงได้ในแนวตั้ง ซึ่งถึงนี้อาจจะเป็นสองชั้นใช้สำหรับให้ความร้อน หรือหล่อเย็นได้ตามต้องการ

ซึ่งมีหลายแบบเช่นเดียวกัน ประกอบด้วยถังทรงกระบอกวางในแนวขนาน และมีเครื่องผสมซึ่งมีแกนขนานกับแกนของถังประกอบด้วยหมอนอยู่ภายในด้วยความเร็ว รอบจนถึง 50 รอบต่อนาที เครื่องมือผสมอาจจะเป็นใบพัดแผ่นบิดเป็นเกลียว หรือเหมือนใบพัดแบนได้ ส่วนใหญ่จะเป็นสองชั้น เพื่อสำหรับให้ความร้อนและหล่อเย็น โดยปกติจะใช้ผสมสารพลาสติกที่เป็นฝุ่นที่จะต้องเติมสารที่เป็นของเหลวลงไปด้วย

| เครื่องย่อยพลาสติก | การใช้งาน |
|---|---|
|  | เหมาะกับพลาสติกที่มีความเปราะ เช่น PS,PF |
|  | เหมาะกับพลาสติกที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ เช่น PVC, PE, PA, PP |

ภาพที่ 2.1 เครื่องย่อยพลาสติกแบบต่างๆ [3]

เป็นการนำเม็ดพลาสติกในแต่ละสูตรการผลิต เช่น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในอัตราส่วนต่างๆ เทผสมลงในหอสองซึ่งจะทำการกวนเม็ดพลาสติกให้เข้ากัน หลังจากนั้นจะคัดพลาสติกที่ได้ผสมกันแล้วโดยท่อพลาสติกขนาดใหญ่ไปยังเครื่องหลอมเพื่อทำการเป่าฟิล์มพบว่าอาจมีปัญหาบางอย่างเกิดขึ้น เช่น

| เครื่องผสม | การใช้งาน |
|---|---|
|  | การใช้งานแบบไม่ต่อเนื่อง เหมาะสำหรับ PE,PVC |
|  | การใช้งานแบบต่อเนื่อง เหมาะสำหรับ พลาสติกที่นำมาหลอมใหม่ได้ |

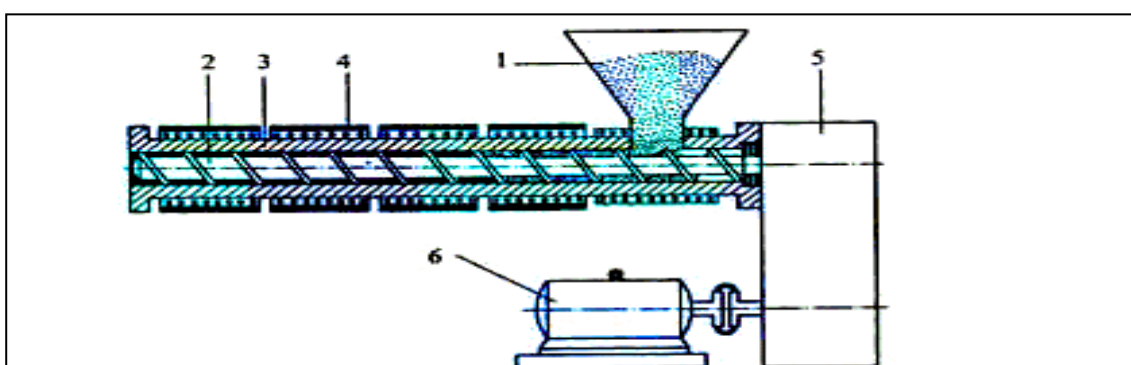
ภาพที่ 2.2 เครื่องผสมและนวด [3]

1. หากสกรูมีปัญหาเรื่องการให้ความร้อน เช่น อัตราการหมุนของสกรูเร็วเกินไป อาจทำให้การหลอมไม่ดีเท่าที่ควรจนทำให้พลาสติกหลอมไม่หมดเกิดเป็นรอยดำหนิ ในชิ้นงานเมื่อเป่าออกไป



ภาพที่ 2.3 เครื่องผสมเม็ดพลาสติก

2. กรณีสกรูหมุนช้าเนื่องจากการที่พลาสติกที่หลอมก่อน หลอมไม่ดีเท่าที่ควรทำให้เกิดการอุดตันบริเวณทางออกของสกรู ทำให้พลาสติกในสกรูอยู่ในสกรูนานขึ้นทำให้ได้รับความร้อนที่มากเกินไปทำให้พลาสติกที่เป่าออกไปยังคงร้อนทำให้ขนาดท่อฟิล์มบริเวณที่ออกจากเครื่องกับด้านบนขนาดไม่เท่ากันส่งผลต่อคุณลักษณะของงานที่ออกมา



| ชื่อส่วนประกอบ | หน้าที่การทำงาน |
|--------------------------|--|
| 1. กรวยเติม (Hopper) | - รับเม็ดพลาสติกก่อนส่งเข้ากระบอกลูกสูบ |
| 2. เกลียวหนอน (Screw) | - ริดและอัดเม็ดพลาสติกพร้อมกับขับเคลื่อนให้พลาสติกไหลออกมา |
| 3. กระบอกลูกสูบ (Barrel) | - เป็นห้องหลอมละลายของเม็ดพลาสติก |
| 4. ฮีตเตอร์ (Heater) | - ให้ความร้อนในการหลอมละลายพลาสติก |
| 5. ชุดเฟืองทด (Gear box) | - ขับเคลื่อน และเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการบิดอัดพลาสติก |
| 6. มอเตอร์ (Motors) | - เป็นต้นกำลังส่งแรงไปยังชุดเฟืองทด |

ภาพที่ 2.4 เครื่องทำเม็ดพลาสติกแบบร้อน [3]

2.5.3 อุปกรณ์ในการผสมและการหลอม

1. สกรู (Extruder Screws)

สกรูของเครื่องเอกซ์ทรูดเป็นสกรู แบบอาร์คิมิดีส (Archimedean screw) ซึ่งสกรูที่ใช้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติก มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 25 ถึง 200 มิลลิเมตร มีความยาวเป็น 20 ถึง 40 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง (20–40 D) และใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนในช่วง 5 ถึง 500 กิโลวัตต์หน้าที่หลักของสกรูของเครื่องเอกซ์ทรูดสรุปได้ดังนี้

- รับเม็ดหรือผงพลาสติกจากกรวยพลาสติกเข้ามาในกระบอ
- ผสมส่วนผสมต่างๆ คือ พลาสติก สารตัวเติม และสี เข้าด้วยกัน
- ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเป็นเนื้อเดียว
- ช่วยเพิ่มความดันของพลาสติกหลอม เพื่อเอาชนะแรงต้านทำให้สามารถส่งพลาสติกหลอมไปยังส่วนอื่นๆ ของสกรูและหัวตายได้
- ทำหน้าที่ในการส่งพลาสติกหลอมเข้าสู่ตาย

2. กระบอ (Cylinder หรือ Barrel)

หน้าที่ของกระบอในเครื่องเอกซ์ทรูดคือเป็นตัวบรรจุสกรูไว้ภายใน และเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนแก่พลาสติก ขนาดกระบอของเครื่องเอกซ์ทรูด โดยทั่วไปมีตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเครื่องเอกซ์ทรูดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ สำหรับเครื่องเอกซ์ทรูด สำหรับเครื่องเอกซ์ทรูดที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 65 ถึง 200 มิลลิเมตร แต่ยังมีเครื่องเอกซ์ทรูดที่มีขนาดใหญ่มาก คือ กระบอมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 600 มิลลิเมตร ซึ่งมีความยาวประมาณ 15 เมตร ซึ่งใช้ในโรงงานผลิตพลาสติกโดยทั่วไปกระบอในส่วนป้อนพลาสติก ซึ่งอยู่ด้านล่างกรวยเติมพลาสติก จะมีการใช้น้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันพลาสติกติดกันเป็นก้อน ให้พลาสติกไหลลงส่วนป้อนของสกรูได้สะดวกขึ้น ส่วนของกระบอที่นอกเหนือจากส่วนนี้จะห่อด้วยแผ่นตัวให้ความร้อนเป็นช่วงๆ นอกจากนี้รอบๆกระบอจะมีระบบพัดลมเป่าหรือระบบน้ำหล่อเย็น เพื่อควบคุมอุณหภูมิของพลาสติกหลอมให้ได้ตามอุณหภูมิที่ตั้ง หากความร้อนสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ระบบหล่อเย็นจะทำงาน

3. แผ่นเบรก ตะแกรงกรอง และอะแดปเตอร์ (Breaker Plate, Screen Pack and Adapter)

ส่วนปลายของกระบอของเครื่องเอกซ์ทรูด จะมีอะแดปเตอร์เป็นแผ่นโลหะกลมที่เจาะรูที่มีเส้นเบรกเกอร์ ซึ่งแสดงรายละเอียดดังภาพประกอบ แผ่นเบรกเกอร์เป็นแผ่น โลหะกลมที่เจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 ถึง 5 มิลลิเมตร



ภาพที่ 2.5 ภาพตัดขวางแสดงตะแกรงกรอง แผ่นเบรกเกอร์และอะแดปเตอร์ [3]

4. ชุดรองรับแรงเนื่องจากความดันของพลาสติกหลอม (Thrust Bearing)

การหมุนของสกรูทำให้เกิดความดันของพลาสติกหลอมภายในกระบอกรวม จึงต้องออกแบบให้กระบอกรวมมีความหนาพอที่จะรองรับความดันที่เกิดขึ้นได้ส่วนของสกรูด้านตรงกันข้ามกับหัวคานจะเป็นส่วนที่รองรับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันในกระบอกรวม ซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากความดันในกระบอกรวม ตัวอย่างกรณีสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 นิ้ว ถ้าสกรูหมุนจนพลาสติกหลอมที่ความดันภายในกระบอกรวม 20 MPa ทำให้เกิดแรงในทิศทางตรงกันข้ามที่ส่วนหลังของสกรูถึง 205 กิโลนิวตัน (20.5 ตัน) ซึ่งเป็นแรงในระดับที่สูงมาก โดยพบว่าเมื่อความดันที่สูงแล้วพลาสติกมีความหนืดจะทำให้เกิดการอุดตันของพลาสติกได้

5. ระบบเกียร์ทดและมอเตอร์ขับ (Reduction Gear and Drive Motor)

กำลังที่ใช้ในการขับให้สกรูหมุน ได้มาจากมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วของการหมุนได้ โดยมอเตอร์จะต่อกับระบบเกียร์ทดและเพลาขับ เพื่อกำหนดความเร็วในการหมุน ทอร์กของสกรู อัตราเร็วของการหมุนสกรูจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 150 รอบต่อนาที (rpm) โดยทั่วไประบบเกียร์ทดและมอเตอร์จะต้องให้สกรูหมุนด้วยอัตราคงที่ มีทอร์กสูงที่ทุกค่าของอัตราการหมุน และไม่มีการกระตุกของสกรูขณะทำการเปลี่ยนอัตราการหมุนอย่างต่อเนื่องมอเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์แบบคอมมิวเตเตอร์ (commutator motor) และมอเตอร์กระแสตรง (DC-motor) ซึ่งมีกำลังขับอยู่ในช่วง 5 กิโลวัตต์ (ใช้กับสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร) ถึง 500 กิโลวัตต์ (ใช้กับสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร)



ภาพที่ 2.6 ชุดรองรับแรงเนื่องจากความดันของพลาสติกหลอม

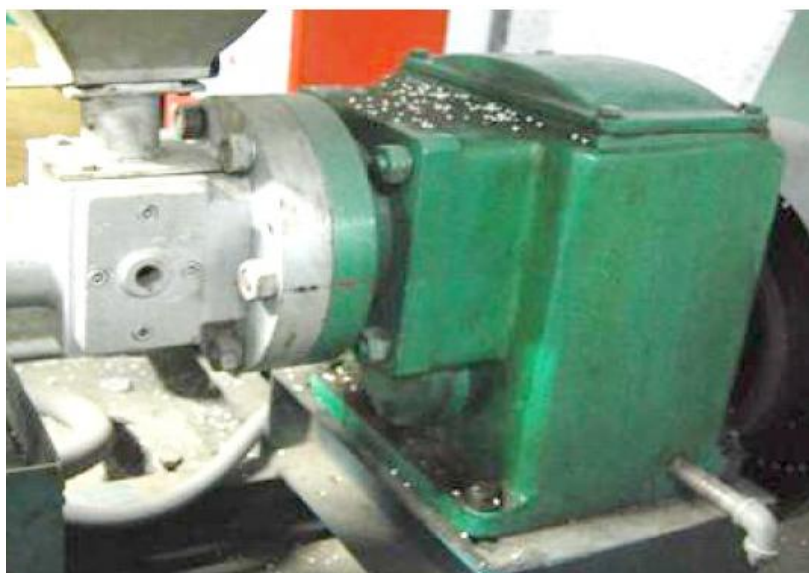
6. กรวยเติมพลาสติก (Feed Hopper)

อุปกรณ์ใช้เติมพลาสติกลงในกระบอกลงและสกรู โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นกรวยเม็ดหรือผงพลาสติกจะตกลงที่สกรู เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นผิวภายในของกรวยเติมจะมีความมันเพื่อลดแรงเสียดทาน และมักจะมีความชันมากพอที่จะให้พลาสติกไหลได้ เพื่อประสิทธิภาพในการทำงาน กรวยเติมมักจะมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- ฝาปิดเพื่อใช้ในการป้องกันฝุ่นละอองและความชื้นเข้ามาปะปนกับพลาสติก
- มีหน้าต่างแก้วหรือพลาสติกใสสำหรับสังเกตระดับของวัสดุภายในกรวยเติม
- ล้อที่ส่วนล่างของกรวยเติม เพื่อให้สามารถปิดและเปิดให้พลาสติกไหล และหยุดได้
- ในเครื่องเอกซ์ทรูดบางชนิดจะมีเครื่องเป่าอากาศร้อนเพื่อไล่ความชื้น ติดตั้งไว้ในส่วนของกรวยเติม หรือในบางกรณีต้องการเพิ่มอุณหภูมิของพลาสติกก่อนที่จะป้อนเข้าสู่สกรู
- อาจมีเครื่องกวน (agitator) เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดหรือผงพลาสติกติดกันเป็นก้อน
- อาจมีการใช้ใบกวนช่วยในการผสมกันได้ดียิ่งขึ้น
- อาจมีการติดตั้งรับควบคุมน้ำหนักพลาสติกที่เติมลงไปเพื่อให้มีความเหมาะสม



ภาพที่ 2.7 มอเตอร์ขับ



ภาพที่ 2.8 ระบบเกียร์ทด

7. อุปกรณ์ประกอบหลังการเอกซ์ทรูด

หลังจากที่พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวตายเกิดรูปร่างตามที่ต้องการแล้ว มีความจำเป็นที่จะต้องรักษารูปร่างนั้นไว้ จนกว่าพลาสติกจะแข็งตัว แล้วดึงเอาชิ้นงานที่ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง ทำการตัดให้มีความยาวตามที่ต้องการหรือทำการม้วนพับเก็บ

8. อุปกรณ์ปรับขนาด (Calibrator หรือ Sizing Systems)

หน้าที่ของหน่วยปรับขนาดคือ ทำให้ลักษณะรูปร่างและพื้น ที่หน้าตัดของชิ้นงานเป็นไปตามที่ต้องการ โดยทำให้เกิดการแข็งตัวของพลาสติกหลอม จากการสัมผัสกับหัวตายของหน่วยปรับขนาดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาพอที่จะส่งไปยังหน่วยดึง (take-off หรือ haul-off unit) ได้



ภาพที่ 2.9 กรวยเติมพลาสติก



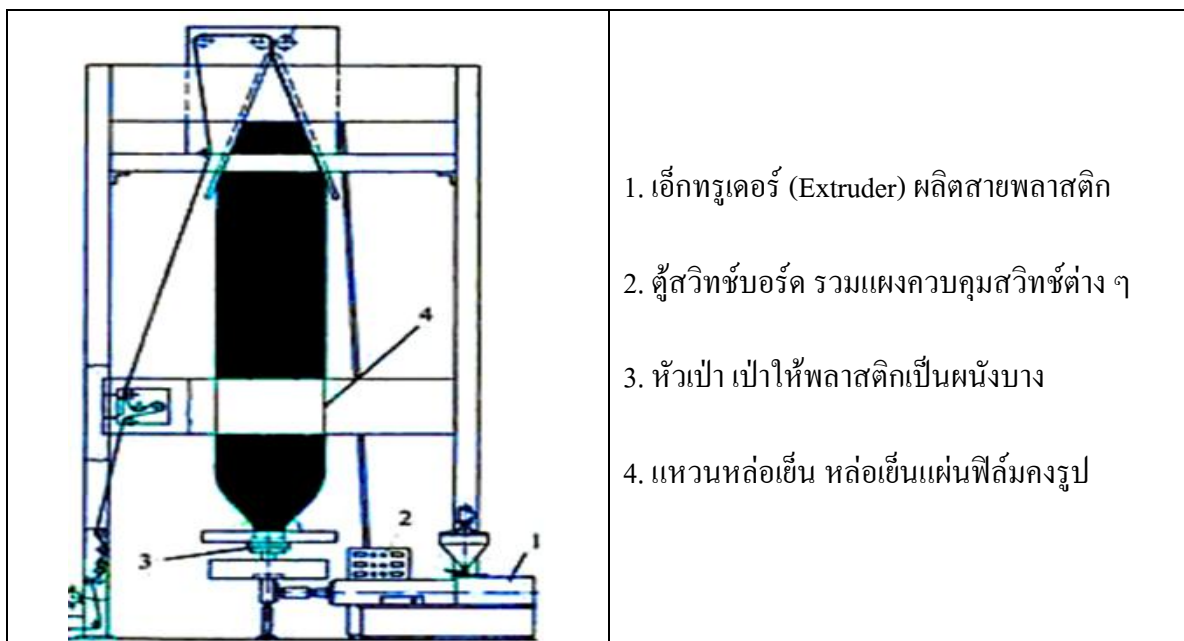
ภาพที่ 2.10 เครื่องดูดสุญญากาศ

9. อุปกรณ์ปรับขนาดภายนอกโดยใช้ลม (External Calibrator with Compressed Air)

อุปกรณ์ปรับขนาดภายนอกหมายถึงอุปกรณ์ปรับขนาดที่กำหนดลักษณะรูปร่างภายนอกของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งได้รับความนิยมอย่างสูงในการเอกซ์ทรูดท่อ ซึ่งมักจะกำหนดมาตรฐานจากเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก อุปกรณ์ปรับขนาดภายนอกโดยใช้ลมเป่า ใช้กับการปรับขนาดกับการผลิตท่อเท่านั้น โดยเฉพาะท่อที่เอกซ์ทรูดจากพีวีซี ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 355 มิลลิเมตรและท่อพอลิโอฟีนด์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 110 มิลลิเมตร ในการปรับขนาดแบบนี้จะใช้ลมที่แรงดันประมาณ 0.2 ถึง 1 บาร์

10. การหล่อเย็นภายในลูกโป่ง (Internal Bubble Cooling)

การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตฟิล์มเป่าในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาระบบการหล่อเย็นฟิล์มให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยการส่งลมเข้าไป การหล่อเย็นภายในลูกโป่ง แทนที่จะหล่อเย็นภายนอกอย่างเดียวโดยหลักการแล้วการหล่อเย็นฟิล์มทั้งด้านในและด้านนอกจะทำให้สามารถเป่าลมหล่อเย็นภายนอกด้วยความเร็วสูงได้ เนื่องจากมีการควบคุมความดันภายในลูกโป่งได้คงที่ ทำให้สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนสูงขึ้น



1. เอ็กทรูเดอร์ (Extruder) ผลิตสายพลาสติก
2. ตู้สวิตช์บอร์ด รวมแผงควบคุมสวิตช์ต่าง ๆ
3. หัวเป่า เป่าให้พลาสติกเป็นผนังบาง
4. แหวนหล่อเย็น หล่อเย็นแผ่นฟิล์มทรงรูป

ภาพที่ 2.11 แสดงการควบคุมลูกโป่งในการหล่อเย็นภายใน [25]

11. อุปกรณ์ดึงและม้วนฟิล์ม

อุปกรณ์ดึงและม้วนฟิล์มจะประกอบด้วย กรอบบีบลูกโป่ง (collapsing frame) และลูกกลิ้งบีบ (collapsing rolls) หลังจากนั้นจึงจะส่งไปยังอุปกรณ์ม้วนฟิล์ม กรอบบีบลูกโป่งจะมีลักษณะเป็นแผง ทำมุมเอียงคล้ายลิ้ม สามารถปรับมุมได้ตามต้องการส่วนใหญ่จะทำด้วยไม้เรียบ หรือทำด้วยลูกกลิ้งเล็กๆ หมุนได้อย่างอิสระ ดังภาพประกอบ



ภาพที่ 2.12 ชุดดึงฟิล์ม



ภาพที่ 2.13 ชุดม้วนฟิล์ม



ภาพที่ 2.14 เครื่องจักรเป่าถุงพลาสติก

2.5.4 กระบวนการเป่าฟิล์ม (Blown Film Processes)

2.5.4.1 กรรมวิธีการผลิตฟิล์มโดยการเป่า (Blown Film Extrusion)

การเป่าฟิล์มเป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกแบบต่อเนื่อง เช่นเดียวกับกระบวนการเอ็กซ์ทรูดแบบอื่นๆ การผลิตเริ่มต้นจากกระบวนการเอ็กซ์ทรูดท่อของเทอร์โมพลาสติกหลอมโดยเอ็กซ์ทรูดในแนวตั้งฉากกับแนวของเครื่องเอ็กซ์ทรูด หลังจากนั้นทำการดึงท่อพลาสติกในแนวแกนของการเอ็กซ์ทรูด (axial direction) แล้วใช้ลมเป่าท่อในขณะเดียวกันทำให้พลาสติกหลอมพองออกในแนวรัศมี (radial direction) เกิดเป็นลูกโป่ง ที่มีผนังบาง (thin-walled bubble) เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกโป่งจะมีค่ามากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวคายหลายเท่า ลูกโป่งที่ร้อนจะถูกหล่อเย็นด้วยลมเป่าที่ผิวด้านนอกของลูกโป่ง โดยหัวเป่ามีลักษณะเป็นวงแหวนอยู่ด้านนอกของหัวคายเรียกว่า cooling ring

เครื่องจักรเป่าถุงพลาสติก

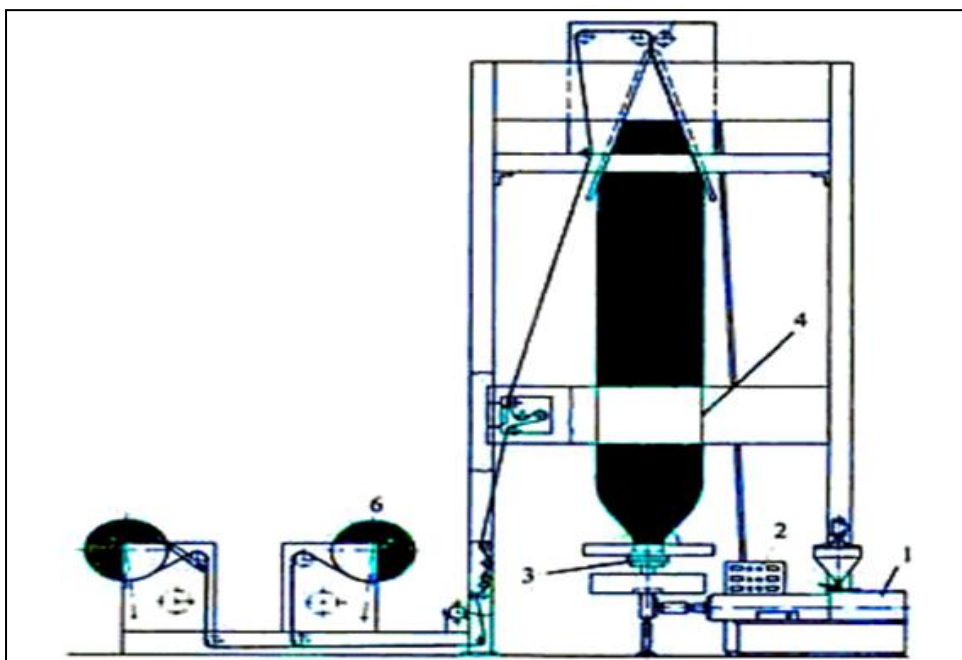
เครื่องจักรเป่าถุงพลาสติกถือว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตถุงพลาสติกมีบทบาทควบคู่กับคนงานที่ต้องเข้ามาควบคุม ดังนั้นก่อนที่จะทำการปฏิบัติงานจำเป็นที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องจักรว่ามีการทำงานและส่วนประกอบอย่างไร ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 2.15 เครื่องเป่าฟิล์ม

2.5.4.2 กระบวนการพิมพ์

หลังจากที่เครื่องเป่าทำการเป่าถุงพลาสติกออกมาเป็นม้วนแล้ว หากต้องการพิมพ์ลายถุงหรือยี่ห้อ ก็จะต้องทำการพิมพ์ถุงก่อนที่จะเข้า เครื่องตัดและเย็บถุง ม้วนพลาสติกจะถูกส่งผ่านแบบแม่พิมพ์ที่แกะเป็นลวดลายหรือยี่ห้อไว้ หากลวดลายหรือยี่ห้อนั้นมีหลายสี ก็จะต้องทำการพิมพ์ม้วนพลาสติกตามจำนวนสีที่ต้องการพิมพ์เป็นลำดับไป โดยการพิมพ์สีจะนำพลาสติกที่ทำการเป่าแล้วมาผ่านลูกกลิ้งซึ่งลูกกลิ้งจะหมุนผ่านสีบนถาดสีและจะหมุนไปเรื่อยๆตามจำนวนสีที่ต้องการ



| ชื่อ | หน้าที่ |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. เอ็กทรูเดอร์ (Extruder) | - ผลิตสายพลาสติก |
| 2. ตู้สวิทช์บอร์ด | - รวมแผงควบคุมสวิทช์ต่าง ๆ |
| 3. หัวเป่า | - เป่าให้พลาสติกเป็นผนังบาง |
| 4. แหวนหล่อเย็น | - หล่อเย็นแผ่นฟิล์มคงรูป |
| 5. ลูกกลิ้งรีด | - รีดแผ่นฟิล์มให้เรียบ |
| 6. อุปกรณ์ม้วน | - ม้วนเก็บแผ่นฟิล์ม |

ภาพที่ 2.16 ส่วนประกอบเครื่องเป่าฟิล์ม [25]



ภาพที่ 2.17 ภาพตัดขวางหัวตายเครื่องเป่าฟิล์ม



ภาพที่ 2.18 เครื่องพิมพ์สี

2.5.4.3 กระบวนการตราย

เป็นกระบวนการเคลือบพลาสติกที่ได้ทำ การพิมพ์สีเรียบร้อยแล้วมาทำการประกบกับพลาสติกหรือวัสดุอื่น เช่น แผ่นกระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์ เป็นต้น เพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรง เพิ่มความสวยงาม เพิ่มคุณสมบัติเชิงกล และเพิ่มความสามารถใช้งานของฟิล์มพลาสติก

โดยกระบวนการจะเริ่มจากกรอแผ่นฟิล์มออกจากม้วนและเคลื่อนที่ผ่านลูกกลิ้งที่จุ่มอยู่ในอ่างของกาว ซึ่งจะทำการติดกับฟิล์มพลาสติก จากนั้นก็จะทำการไล่ตัวทำละลายของกาวออกให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อกาว แล้วเคลื่อนที่ไปประกบกับพลาสติกอีกชนิดหนึ่ง แล้วทำการอบอีกครั้งเพื่อให้พลาสติกทั้งสองประกบกันได้ดี และรอเข้ากระบวนการต่อไป

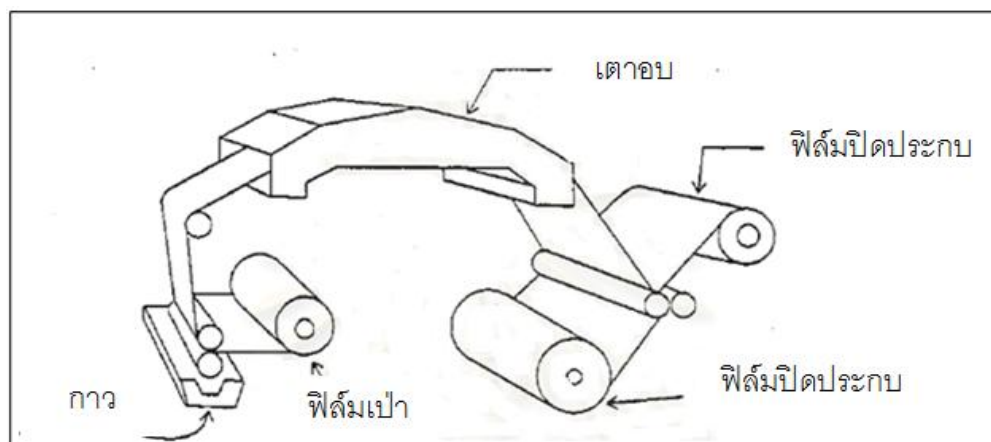
เนื่องจากชองลามิเนตที่ประกอบด้วย ฟิล์ม ONYLON ซึ่งมีคุณสมบัติในการกันการซึมของอากาศได้ดีมากทนต่อการเจาะ ทะลุได้ดี มีความใสขาว นุ่มทนความร้อนเย็นได้ดี

2.5.4.4 กระบวนการสลิต

เป็นการนำฟิล์มพลาสติกมาตัดขอบด้านข้างออก ก่อนที่จะทำการตัดทำช่องซึ่ง เป็นกระบวนการสุดท้าย ซึ่งเป็น ขอบดังกล่าวเกิดจากกระบวนการเป่าที่เป่าให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดที่ต้องการ เพื่อใช้ขอบดังกล่าวทำเครื่องหมายเพื่อใช้เป็นตำแหน่งให้เครื่องพิมพ์สีตรวจจับเพื่อให้ภาพที่เกิดไม่เกิดการเหลื่อมหรือสิดเบี้ยวไปจากแบบที่ลูกค้าต้องการ เพื่อ ใช้ทำเครื่องหมายเพื่อให้แม่พิมพ์พิมพ์ภาพและตัวอักษรทั้งสองด้านได้อย่างสมดุลไม่เกิดการบิดเบี้ยว



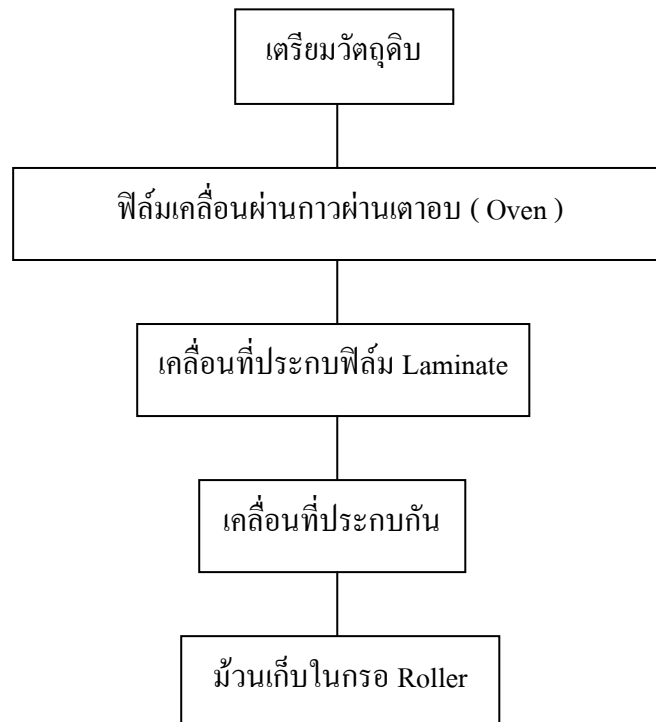
ภาพที่ 2.19 เครื่องทราย



ภาพที่ 2.20 กระบวนการแบบแห้ง [4]

2.5.4.5 กระบวนการตัดทำซอง

เมื่อผ่านกระบวนการตัดขอบด้านข้างออกแล้วก็จะเป็นการ ตัดทำซองตามขนาดที่ ลูกค้า ต้องการ ซึ่งชิ้นงานประเภทนี้จะถูกส่งออกมาเป็นม้วน ขั้นตอนการตัดจะทำให้ชิ้นงานไหลผ่าน ไบมีดที่มีความคมเพื่อแบ่งชิ้นงานตามที่ต้องการ เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาน้อยและใช้คนงานไม่มากนัก



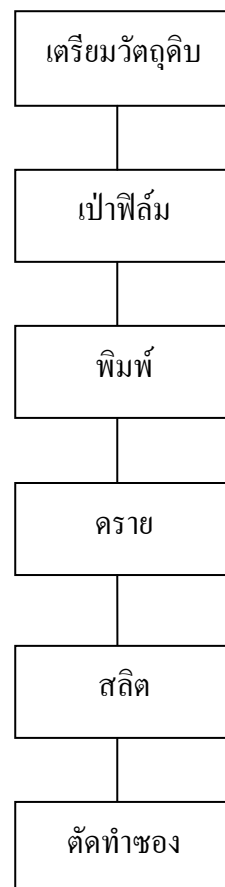
ภาพที่ 2.21 กระบวนการประกบฟิล์ม (Dry) [4]



ภาพที่ 2.22 เครื่องผลิต



ภาพที่ 2.23 เครื่องตัดทำซอง



ภาพที่ 2.24 กระบวนการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิดซอง [4]

2.6 กระบวนการตรวจสอบในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดของในแต่ละกระบวนการ

2.6.1 กระบวนการเป่า

ตรวจสอบขนาดโดยพบว่าเครื่องเป่าแต่ละเครื่องจะมีเครื่องมือในการควบคุมขนาดแต่เมื่อทำการเป่าออกมาแล้วจะมีการวัดขนาดของม้วนฟิล์มทุกๆ 5 เมตร เมื่อขนาดเล็กหรือใหญ่ไปจะทำการปรับลดความเร็วลมที่ใช้เพราะเป็นตัวแปรที่ควบคุมขนาดและจะมีการสุ่มตรวจความใสของแต่ละม้วนที่ได้ทำการเป่าออกมาโดยจะใช้เครื่องมือในการตรวจสอบคือการทดสอบโดยสายตาในกรณีที่การหลอมเหลวไม่ดี อาจทำให้เกิดรอยตำหนิในม้วนพลาสติกได้ สามารถปรับแก้โดยการปรับอุณหภูมิที่ใช้

2.6.2 กระบวนการพิมพ์

จะมีการตรวจสีและความเที่ยงตรงของสีในแต่ละม้วน โดยจะมีพนักงานนั่งหน้าเครื่องและมีหลอดไฟเพื่อตรวจสอบความชัดเจนของสีและเมื่อพบความผิดปกติก็จะทำการหยุดเครื่องเพื่อทำการแก้ไขเช่นความเข้มข้นของสีที่ใช้ กรณีที่เกิดปัญหาสีไม่ตรงกันทั้งสองด้านของแผ่นพลาสติกจะทำการปรับตั้งเครื่องจักรที่ทำการควบคุมความเที่ยงตรง ซึ่งพนักงานจะมีการปรับตั้งค่าต่างๆของเครื่องจักรยกตัวอย่างเช่น ความเร็วของลูกกลิ้ง แรงดึงพลาสติก อุณหภูมิเตาอบ ความดันที่ใช้ ชนิดของฟิล์มพลาสติกที่ใช้ เป็นต้น

2.6.3 กระบวนการทราย

ตรวจสอบความเรียบร้อยของชิ้นงาน โดยพนักงานหน้าเครื่องโดยจะทำการตรวจดูว่าสามารถเชื่อมติดได้ดีหรือไม่หากไม่เชื่อมติดก็จะทำการหยุดเครื่องและทำการปรับตั้งพารามิเตอร์ใหม่ เช่น ความเร็วของลูกกลิ้ง อุณหภูมิที่ใช้ในเตาอบ แรงดึงของพลาสติกที่ใช้ กาวที่ใช้ เป็นต้น โดยในการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบอีกทีจากหัวและท้ายม้วนเพื่อความมั่นใจอีกครั้งโดยมาตรการดังกล่าวจะได้รับการควบคุมโดยหัวหน้าแผนกที่มีส่วนรับผิดชอบ

2.6.4 กระบวนการสลิตเตอร์

เป็นการตัดพลาสติกที่ได้ทำ การเพื่อไว้ในกระบวนการข้างต้นเพื่อให้เครื่องสามารถตรวจจับตำแหน่งของพลาสติกขณะผ่านไปเครื่อง โดยในการตัดของกระบวนการสลิตนั้นจะทำการควบคุมโดยพนักงานหน้าเครื่อง โดยจะทำการดูว่าการสลิตเตอร์นั้นจะทำการตัดชิ้นส่วนงานด้วยหรือไม่เพราะนั่นคือชิ้นงานดังกล่าวจะเป็นชิ้นงานเสีย เมื่อพบความผิดปกติก็จะทำการหยุดเครื่องและทำการตัดส่วนนั้นทิ้งและเริ่มทำการตัดออกใหม่

2.6.5 กระบวนการทำซอง

เป็นการนำเอาพลาสติกมาทำเป็น ซองพลาสติกตามขนาดที่ลูกค้าต้องการ โดยใช้เครื่องจักร และในส่วนของท้ายเครื่องนั้นจะมีพนักงานหน้าเครื่อง 2 คนทำการตรวจสอบความเรียบร้อย

ของช่องพลาสติก เช่น การมีช่องแตก ช่องขาด ก่อนที่จะทำการบรรจุในกล่องเพื่อทำการส่งให้ลูกค้าโดยทั้งหมดสรุปในตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีการตรวจสอบคุณภาพในแต่ละแผนก

| แผนก | การตรวจสอบ |
|----------|--|
| เป่า | ตรวจสอบขนาด ความใสและรอยตำหนิโดยเจ้าหน้าที่สุ่มตรวจทุก 5-10 เมตร |
| พิมพ์ | ตรวจสอบภาพเหลือง ซีด จาง โดยพนักงานหน้าเครื่อง |
| คราย | ตรวจสอบคุณภาพการปิดประกบโดยพนักงานแผนกควบคุมคุณภาพทำการสุ่มตรวจหัวและท้ายม้วนทุกม้วน |
| สลิเตอร์ | ตรวจสอบความเรียบร้อยโดยพนักงานหน้าเครื่อง |
| ทำช่อง | ตรวจสอบโดยพนักงานในแผนก |

2.7 แผนภาพพารेटโต [3]

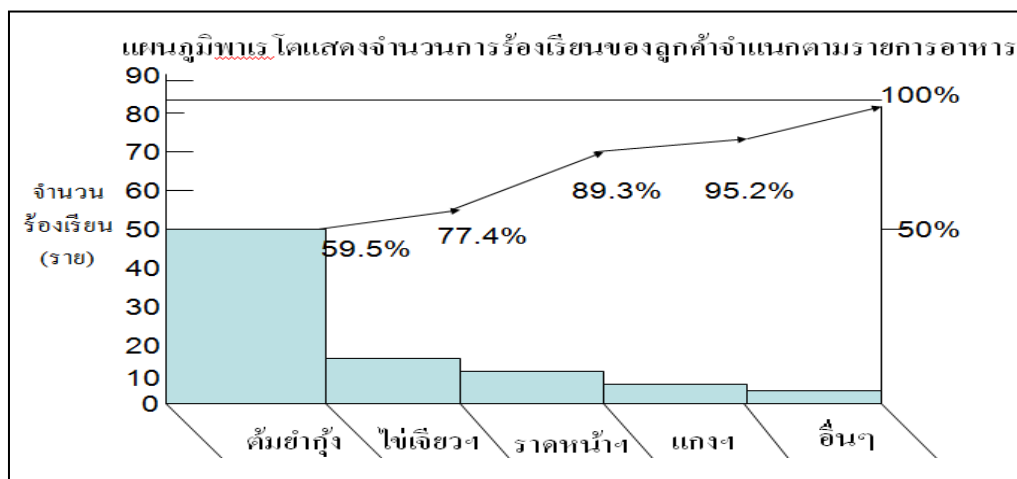
แผนภาพพารेटโต คือ ผังหรือแผนภูมิ หรือกราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า หรือขนาดหรือความถี่ในการตรวจพบปัญหา หรือหน่วยวัด หรือลักษณะจำเพาะควบคุมใด ๆ ที่มี การจำแนกประเภทออกจากกัน และเขียนต่อกันโดยเรียงลำดับตามความสำคัญ ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติอีกตัวหนึ่งที่ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายการ /จำนวน ประเภท หรือชนิดต่างๆ ของเหตุการณ์ หรือสถานการณ์อันพึงประสงค์ต่างๆ พร้อมกับระบุขนาดของความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่นำเสนอ นั้น โดยแผนภาพดังกล่าวจะอาศัยหลักการพารेटโตที่ระบุไว้ถึง “สิ่งที่มีความสำคัญมาก จำนวนเล็กน้อย (The Vital Few) และสิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยจำนวนมากมาย (The Trivial Many)”

แผนภูมิพารेटโตใช้เลือกปัญหาที่จะลงมือทำ เพราะปัญหาสำคัญในเรื่องคุณภาพมีอยู่ไม่กี่ประการ แต่สร้างข้อบกพร่องด้านคุณภาพจำนวนมาก ส่วนปัญหาปลีกย่อยมีอยู่มากมายแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพมากนัก ดังนั้นจึงควรเลือกแก้ไขปัญหาที่สำคัญซึ่งถ้าแก้ไขได้จะลดข้อบกพร่องด้านคุณภาพลงได้มาก

2.7.1 การสร้างแผนภาพพารेटโต มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. บ่งชี้ลักษณะสมบัติของกระบวนการที่จะใช้ในการสร้างแผนภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของปัญหาที่ต้องการตัดสินใจ

2. กำหนดช่วงเวลาที่จะใช้เก็บรวบรวมข้อมูล และกำหนดช่วงเวลาควรเป็นไปหลังจากศึกษาธรรมชาติของปัญหาอย่างดีแล้ว เนื่องจากในการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการแก้ไขปัญหาด้วยแผนภาพพารेटอนั้น มีความจำเป็นจะต้องทำการเปรียบเทียบภายใต้ช่วงเวลาที่เท่ากัน



ภาพที่ 2.25 แผนภาพพารेट [3]

3. ทำการกำหนดสเกล x และ y สำหรับการเขียนกราฟ โดยปกติแล้วสเกลของ y หมายถึงผล อันได้แก่ ค่าที่ใช้วัดปัญหา สำหรับสเกล x หมายถึง การจำแนกสาเหตุหรือผล
4. ทำการลากกราฟแท่งและกราฟสะสม โดยต้องให้แท่ง “อื่นๆ” อยู่ท้ายสุด มีข้อเสนอแนะว่าการเขียนแผนภาพพารेट ควรให้มีกราฟแท่งที่ใช้จำแนกประเภทประมาณ 6-10 แท่งเท่านั้น และแท่ง “อื่นๆ” ควรมีความสำคัญไม่เกิน 20% ของทั้งหมด
5. ทำการประยุกต์หลักการของพารेटกับแผนภาพดังกล่าว หากพบว่ากราฟดังกล่าวมิได้เป็นไปตามหลักการพารेट มีความจำเป็นจะต้องทำการทบทวนด้วยการเก็บ ข้อมูลใหม่ และพิจารณาตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วอีกครั้ง

2.8 ผังแสดงเหตุและผลหรืออิชิกาวาไคอะแกรม[3]

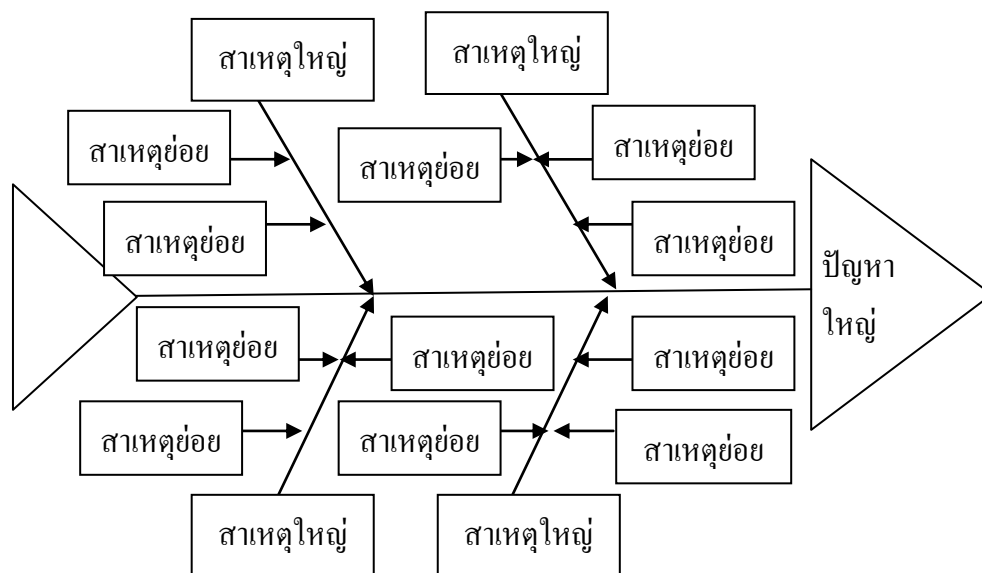
ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผังแสดงเหตุและผลเป็นแผนภาพที่มีประโยชน์อย่างมากในการนำเสนอสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับปัญหาที่พิจารณา ได้รับการพัฒนาครั้งแรกโดยศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาวา (Kaoru Ishikawa) จากแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการของชิวฮาร์ท (Shewhart) ว่า กระบวนการสามารถแยกเป็นสาเหตุหลักๆ ได้ 4 ประการ คือ คน เครื่องจักรวิธีการ และวัตถุดิบ ผังนี้จะแสดงความคิดที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่รวบรวมมา เนื่องจากผังนี้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกิ่งปลา อาจเรียกว่า ผังกิ่งปลา (นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น ผังรากไม้(Tree-root

Diagram), ฝรั่งต้นไม้ (Tree diagram), หรือฝรั่งลำน้ำ (River Diagram) ตลอดจน ฝรั่งอิชิกาวา ไคอะแกรม (Ishikawa Diagram)

เพื่อเป็นเกียรติแก่ Kaoru Ishikawa ผู้นำเอาฝรั่งชนิดนี้มาใช้ ฝรั่งนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา

นอกจากจะสามารถใช้ได้ทั้งการนำเสนอข้อมูลในรูปความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลแล้ว ยังสามารถใช้กับกิจกรรมการแก้ปัญหาแบบกลุ่มในการจัดลำดับและความสัมพันธ์ของสาเหตุ ปัญหา ในรูปของสมมติฐานของสาเหตุที่ได้มาจากการระดมสมอง

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมี ความเป็นไปได้ ซึ่งหากเรากำหนด ประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกแล้ว จะทำให้เราใช้เวลามากในการค้นหา สาเหตุ และจะใช้ เวลานานในการทำฝรั่งปลา



ภาพที่ 2.26 แผนภาพเหตุและผล [3]

ในการสร้างฝรั่งเหตุและผล มีวิธีการดังนี้

1. เลือกคุณลักษณะที่เป็นปัญหามา 1 อย่าง เขียนทางกรอบขวามือ
2. เขียนสาเหตุหลักเดิมลงบนเส้นกระดูกทั้งด้านบนและด้านล่าง
3. เขียนสาเหตุรองของแต่ละสาเหตุหลัก
4. เขียนสาเหตุย่อยของสาเหตุรองนั้น

การสร้างแผนภูมิแก๊งปลา มักจะสร้างหลังแผนภูมิพารโต คือ เมื่อวิเคราะห์จากแผนภูมิพารโต แล้วว่าจะเลือกแก้ไขข้อบกพร่องใด จะนำข้อบกพร่องที่เลือกแก้ไขมาเป็นปัญหาในแผนภูมิแก๊งปลา แล้วระดมความคิดจากบุคคลหลายๆ คนที่เกี่ยวข้อง เพื่อแยกแยะสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหา เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ประโยชน์อีกประการหนึ่งของแผนภูมิแก๊งปลา คือ นอกจากจะใช้ในการแยกแยะสาเหตุต่างๆ ในปัญหาของผลิตภัณฑ์หรือการให้บริการแล้ว ยังใช้ในการแยกแยะสาเหตุต่างๆ ของปัญหาต่างๆ ไปได้อีกด้วย

2.9 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม [3]

2.9.1 หลักการพื้นฐาน

ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การวางแผนการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามาร นำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เราได้อยู่ และถ้ายังปัญหาที่เราสนใจนั้นเกี่ยวข้องกับ ความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

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

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

หลักการพื้นฐานทั้งสามที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทดลองทุกๆชนิด ดังนั้นเราจะต้องกล่าวถึงหลักการทั้งสามนี้บ่อยครั้ง เพื่อเป็นการแสดงและเน้นให้ประโยชน์ของหลักการดังกล่าว

2.9.2 แนวทางในออกแบบการทดลอง

1. เลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยการเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยเพื่อนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง โดยต้องพิจารณาด้วยว่า จะสามารถควบคุมระดับของปัจจัยที่กำหนดได้อย่างไรและจะสามารถวัดผลได้อย่างไร และจำเป็นต้องตรวจสอบว่า ปัจจัยที่กำหนดมานั้นมีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ การกรองปัจจัย (Screening) ควรกำหนดระดับต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ และเลือกขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงให้มีความกว้างมากๆ แผนการออกแบบการทดลองที่นิยมใช้ในกรณีนี้คือ 2^k แฟกทอริอัลแฟคตอเรียล (Two-Level Fractional Factorial Designs) ซึ่งเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองตัวแปรที่มีผลต่อ ผลตอบสนอง (Screening Experiment) ซึ่งจะเป็นการลดความเสี่ยงในเรื่องความผิดพลาดในการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองตัวแปรที่มีผลต่อผลตอบสนอง และเมื่อทราบว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จึงลดขอบเขตให้แคบ

2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง นอกจากตัวแปรอิสระที่ต้องพิจารณาแล้ว ตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนองยังต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระหรือปัจจัย ตัวแปรตอบสนองสามารถมีได้มากกว่าหนึ่งตัวโดยแต่ละตัวจะต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การเลือกการออกแบบการทดลอง (Select Design) สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ การกำหนดขนาดตัวอย่าง ซึ่งจำนวนซ้ำจะต้องทำอย่างเป็นอิสระต่อกัน ประโยชน์ของการทำซ้ำคือทำให้รู้ค่าประมาณที่เกิดความผิดพลาดจากการทดลองเป็นผลให้ผู้ทำการทดลองใช้เป็นเครื่องมือในการสรุปผลความแตกต่างในเชิงสถิติได้ การเลือกการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องคำนึงถึงหลักการเบื้องต้นของการออกแบบการทดลอง นั่นคือ

การจัดกลุ่ม (Blocking)

การสุ่มตัวอย่าง (Randomization)

การกำหนดขนาดตัวอย่าง (Sample Size or Number of Replicates)

การเลือกการออกแบบการทดลองขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนอง เช่น ถ้าจำนวนปัจจัยเป็นหนึ่ง การออกแบบการทดลองที่ใช้คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เป็นทางเดียว (One Way Analysis of Variance) ถ้าจำนวนของปัจจัยมีมากกว่าหนึ่งแต่ไม่เกินห้า ควรใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) หรือถ้าจำนวนปัจจัยมีมากกว่าห้า ควรใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอริอัลแฟคตอเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นต้น

4. การทำการทดลอง (Perform Experiment) เมื่อเริ่มทำการทดลองควรจะมีแผนการทดลองอย่างระมัดระวังเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำ ถ้าเป็นไปได้ ควรมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการต้นแบบ (Pilot Plant) ซึ่งจะให้ข้อมูลด้านวัสดุการทดลอง ระบบการวัดการทดลอง และเป็นการลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการทดลอง

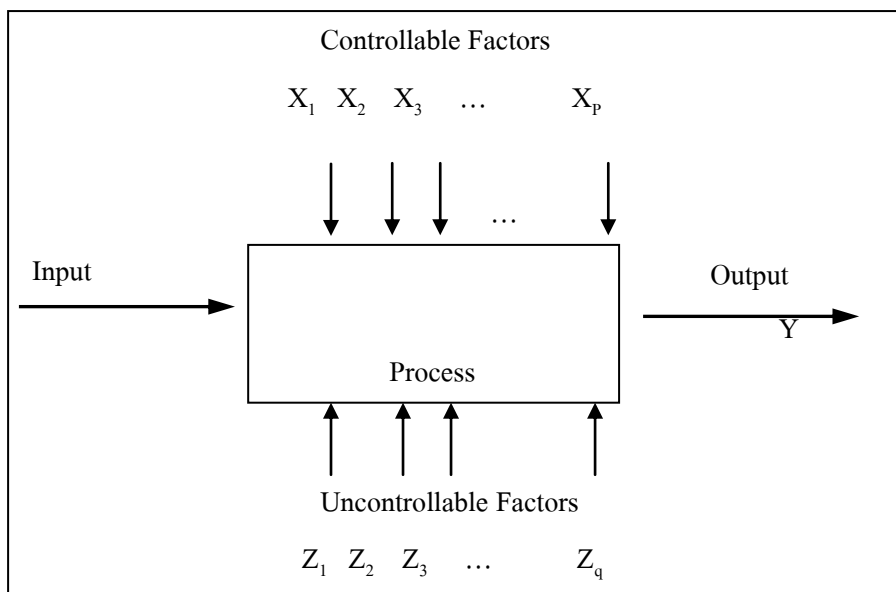
5. การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of the Data) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น Design Expert, SAS, Minitab, SPSS เป็นต้น

6. การสรุปผลการทดลองและเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทำการทดลองควรสรุปผลการทดลองและสามารถนำไปทำการปรับปรุงหรือเสนอแนะในการทดลองครั้งต่อไปได้ ผู้ทำการทดลองควรมีวิธีเสนอผลสรุปโดยใช้กราฟเพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ นอกจากนี้การทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ควรทำขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้น

7. สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นด้วย

2.9.3 หลักการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราสามารถหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ โดยจะพบว่าในงานวิจัยต่าง ๆ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) นั้นจะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถหาคำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาต่อไป



ภาพที่ 2.27 รูปแบบระบบการทดลองทั่วไป [3]

2.9.4 วัตถุประสงค์ของการทดลองทั่วไป

- 1.หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อค่าตอบสนอง (Output,y)
- 2.กำหนดค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง เพื่อให้ค่าที่ต้องการ
3. กำหนดค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง เพื่อให้ มีค่าน้อย
- 4.กำหนดค่าของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ที่มีผลต่อค่าตอบสนองเพื่อ ให้ผลตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้มีค่าน้อยที่สุด

2.9.5 หลักสำคัญในการวางแผนการทดลอง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

- 1.การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การที่ทริทเมนต์หนึ่งๆ ปรากฏในหน่วยทดลองมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงและแน่นอนของการทดลอง ทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ และทำให้สรุปผลการทดลองได้กว้างขึ้น
- 2.การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การจัดทริทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลอง โดยมีหลักว่า แต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสเท่าๆ กัน ที่จะได้รับทริทเมนต์ใดก็ได้
- 3.การบล็อก (Blocking) คือ การควบคุมความคลาดเคลื่อนโดยการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลหน่วยการทดลอง ซึ่งจะทำการทราบแหล่งความแปรปรวน แล้วแยกออกเพื่อให้เหลือเฉพาะความคลาดเคลื่อนของการทดลองที่แท้จริง

2.9.6 ชนิดของแผนการออกแบบการทดลอง [18,21,22,24]

2.9.6.1 การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียวจะต้องเก็บข้อมูล โดยระดับของปัจจัย เพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่างๆมีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียวสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์(Completely Randomized Design,CRD)

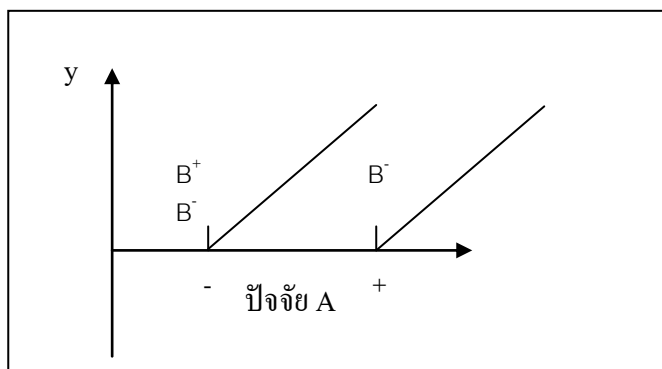
เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด โดยที่สิ่งทดลองถูกสุ่มจัดลงในหน่วยการทดลอง เป็นแผนที่มีประสิทธิภาพดีมากถ้าหน่วยของการทดลองมีความสม่ำเสมอ และประยุกต์ใช้ในงานพัฒนา สูตรการพัฒนากกรรมวิธีการผลิต การศึกษาอายุการเก็บ การทดสอบทางประสาทสัมผัส การสุ่มไม่จำเป็นต้องทำซ้ำเท่ากัน แต่เพื่อความสะดวกนิยมใช้เท่ากัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยที่ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากสิ่งทดลองเท่านั้น

2.9.6.2 การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomized Block Design, RBD)

เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียวและมีปัจจัยรบกวนที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง ซึ่งต้องทำการกำจัดผลที่เกิดจากปัจจัยรบกวนดังกล่าวทิ้ง โดยใช้วิธีการบล็อก

2.9.6.3 การทดลองแบบแฟคตอเรียล (Factorial Design)

เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูง โดยจะสนใจปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป เป็นการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น โดยมุ่งศึกษาอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อม ๆ กัน และสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนองอาจกล่าวได้ว่า การออกแบบเชิงแฟคตอเรียล (Factorial Design) เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ ปัจจัย



ภาพที่ 2.28 การออกแบบเชิงแฟคตอเรียล โดยไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

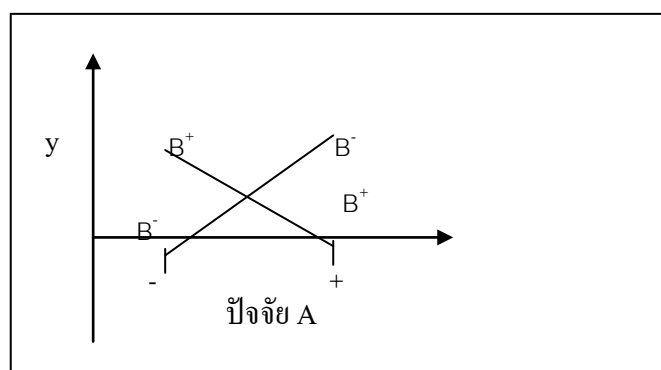
จากรูปที่ จะเห็นว่า ในกรณีที่ปัจจัยทั้งสองไม่มีอันตรกิริยาซึ่งกันและกัน ลักษณะกราฟของเส้น B^+ และ B^- จะขนานกัน และในกรณีที่ปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาระหว่างกัน ลักษณะกราฟของเส้น B^+ และ B^- จะไม่ขนานกัน

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบแฟกตอเรียลกรณีที่มี 2 ปัจจัยคือ ปัจจัย A มี a ระดับ และปัจจัย B มี b ระดับและทดลอง n ครั้ง คือ

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk} ; i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, n$$

แฟกตอเรียล รูปแบบของการออกแบบทดลองแบบแฟกตอเรียลที่สำคัญ

การออกแบบเชิงแฟกตอเรียลเชิง 2^k ใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ -1 และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการช่วยกรองปัจจัยที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกก่อนสำหรับการทดลองที่มีหลายปัจจัย



ภาพที่ 2.29 การออกแบบเชิงแฟกตอเรียลโดยมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

การออกแบบเชิงแฟกตอเรียลเชิง 3^k เป็นการออกแบบเชิงแฟกตอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ใช้กับการทดลองที่มีหลายปัจจัย ระดับของปัจจัย 3 ระดับ ใน k ปัจจัย คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ -1 ระดับกลาง ใช้สัญลักษณ์ 0 และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 การออกแบบเชิงแฟกตอเรียลเชิง 3^k เหมาะสมกับผู้ทดลองที่สนใจกับผล ตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกการทดลองแบบอื่นได้ดังนี้

1.3.3.1 การออกแบบการทดลองแบบอื่นๆ

1.3.3.2 การออกแบบการทดลองแบบเนสต์เต็ด (Nested Design)

1.3.3.3 การออกแบบการทดลองแบบสปลิตพล็อต (Split-Plot Design)

1.3.3.4 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

2.9.6.4 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) [17,19,24]

วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology ,RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการ สร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ตัวอย่างเช่น สมมติว่าวิศวกรเคมีคนหนึ่งต้องการที่จะหาระดับของอุณหภูมิ (X_1) และความดัน (X_2) ที่จะทำให้ผลผลิตของกระบวนการมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลผลิตของกระบวนการนี้เป็นฟังก์ชันของระดับของอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือ

$$y = f(X_1, X_2) + \varepsilon \quad (2-1)$$

โดยที่ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากทดลอง ถ้าเรากำหนดว่า

$E(y) = f(X_1, X_2) = f(X_1, X_2)$ ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้คือ

$$\eta = f(X_1, X_2) \quad (2-2)$$

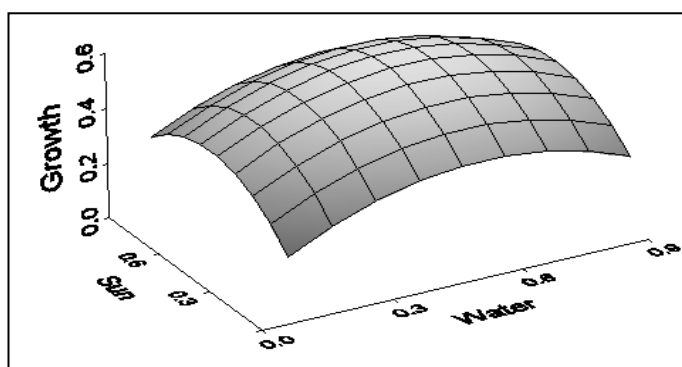
ซึ่งเราจะเรียกว่า พื้นผิวตอบ (Response Surface)

โดยมากแล้วเราจะแสดงพื้นผิวตอบในรูปแบบของกราฟฟิก ตัวอย่างในรูป โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้เรามองรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น โดยมากแล้วเราจะพล็อตเส้นโครงร่าง (Control Plot) ของพื้นผิวตอบดังแสดงในรูป ในการสร้างเส้นโครงร่างเช่นนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ x_1 และ x_2 เส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบที่เท่ากันค่าหนึ่ง

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2-3)$$

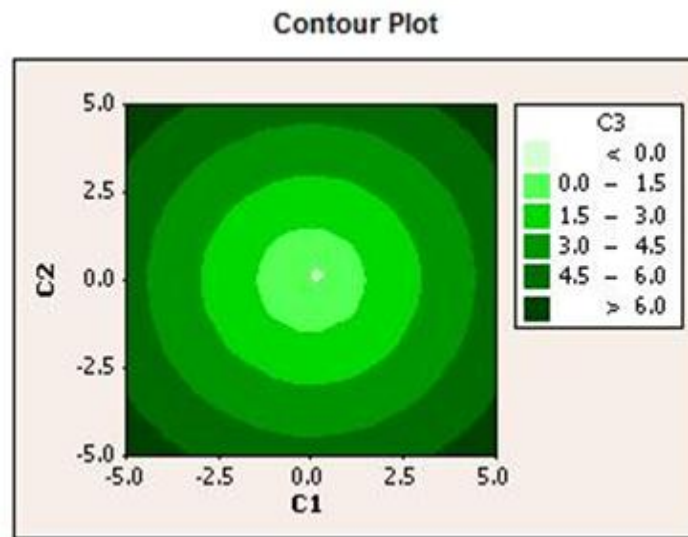
แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องกับในระบบ เราจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2-4)$$



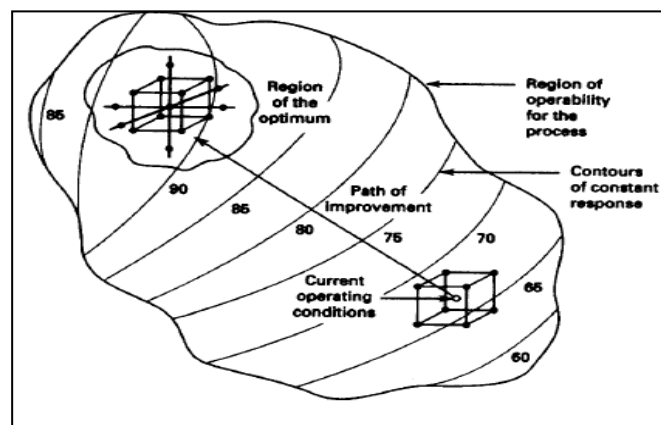
ภาพที่ 2.30 พื้นผิวผลตอบแบบสามมิติ

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบสนองส่วนมากจะใช้แบบจำลองหนึ่งในสองแบบที่กล่าวมานี้
 แน่ใจว่าแบบจำลองพหุนามที่กล่าวมานี้จะไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิว
 ทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่ทว่าถ้าพื้นผิวที่เราสนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลอง
 เหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร



ภาพที่ 2.31 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบ

วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณ
 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองแบบพหุนาม ถ้าเราทำการออกแบบการทดลอง
 เพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบสำหรับการสร้างพื้นผิวตอบสนองเรียกว่าการออกแบบ
 พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design)



ภาพที่ 2.32 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ

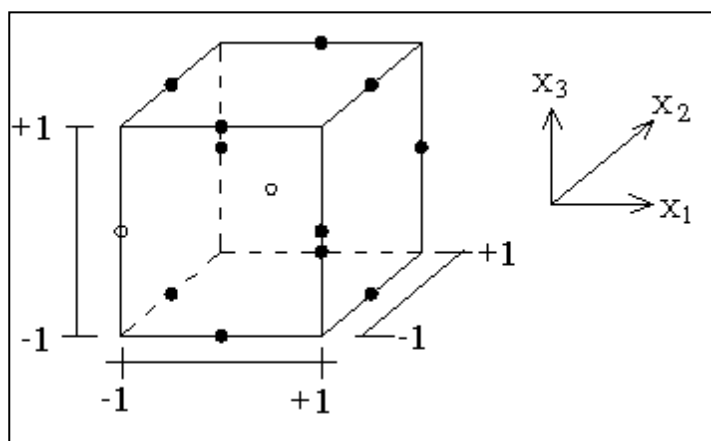
2.9.6.5 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) [3]

การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ได้ถูกพัฒนาโดย นายบ็อก และนายเบ็นท์เค็น ซึ่งได้พัฒนาประสิทธิภาพการออกแบบการทดลองแบบสามระดับสำหรับฟิตพื้นผิวตอบสนองที่มีสมการอันดับสอง (second-order)

ซึ่งเมื่อเทียบกับการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite แล้วจะพบว่า การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจะได้เปรียบดังนี้

1. จำนวนการออกแบบที่ต้องการมีการยืดหยุ่นและครอบคลุมมากกว่าเนื่องจากการออกแบบ Central Composite จะใช้จุดศูนย์กลางเพื่อคำนวณตัวประมาณของค่าความผิดพลาดบริสุทธิ์เฉพาะจุดศูนย์กลางที่ถูกรันในบล็อกเดียวกันเท่านั้น
2. ในกรณีที่มีข้อจำกัดของประสิทธิภาพและจำนวนการทำการทดลองในกระบวนการ พบว่าการออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน จะไม่มีการรวมที่จุดใดจุดหนึ่งของลูกบาศก์ แต่จะมีการควบคุมด้วยขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่าง ซึ่งจะเหมาะสมมากสำหรับการทดลองที่มีระดับปัจจัยที่แพง

จากตาราง 2.2 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัว รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.33



ภาพที่ 2.33 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

สังเกตว่าการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ การกระทำเช่นนี้

เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ ที่แพงมากหรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ

การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบสามระดับสำหรับพืดพื้นผิวตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย

วิธีการในการออกแบบโครงสร้างการทดลองนั้นมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก โครงสร้างการออกแบบการทดลองจะอยู่ในรูปแบบที่สมดุล กลุ่มไม่สมบูรณ์ (balance incomplete block design) ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลองแบบสมดุล กลุ่มไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีตเมนต์ และ 3 บล็อก

ตารางที่ 2.2 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

| การทดลอง | X_1 | X_2 | X_3 |
|----------|-------|-------|-------|
| 1 | -1 | -1 | 0 |
| 2 | -1 | 1 | 0 |
| 3 | 1 | -1 | 0 |
| 4 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | -1 | 0 | -1 |
| 6 | -1 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 | -1 |
| 8 | 1 | 0 | 1 |
| 9 | 0 | -1 | -1 |
| 10 | 0 | -1 | 1 |
| 11 | 0 | 1 | -1 |
| 12 | 0 | 1 | 1 |
| 13 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 0 | 0 |

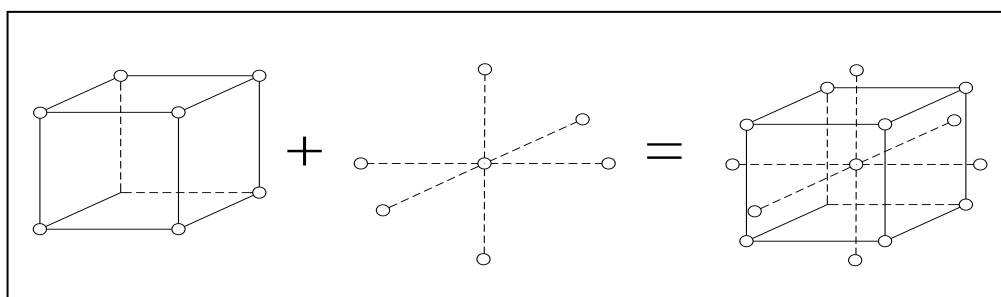
2.10 การวิเคราะห์ผล [3]

2.10.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) [3]

เทคนิคในการจัดสรรความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่มของข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยต่างๆ ตามแหล่งที่ทำให้เกิดความแปรปรวน สมการเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน คือ

ความแปรผันทั้งหมด = ความแปรผันจากปัจจัย + ความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล

สมการดังกล่าว ได้จากข้อคิดที่ว่าความแตกต่างกันของข้อมูลอาจมีมาจากสาเหตุของความแปรผันโดยธรรมชาติของข้อมูล (หรือความผิดพลาดแบบสุ่ม) เพียงอย่างเดียว หรืออาจจะมาจากการที่ปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดหรือหลาย ๆ ปัจจัยทำให้เกิดความแปรผัน ทำให้สามารถสร้างสมการได้ 4 ลักษณะ



Factorial
Points

Center Points & Axial Point
(6 + 6 runs)

Central Composite
(Box-Wilson) Design

ภาพที่ 2.34 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลอง CCD [3]

โดยใช้สถิติในการทดสอบคือ ตัวสถิติ F โดยที่

$$F = \frac{\text{ผลบวกกำลังสองของปัจจัย}}{\text{องศาความอิสระของปัจจัย}}$$

ผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม / องศาความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม

เปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า $F_{\alpha, a, b}$ จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ F โดยที่ α = ระดับนัยสำคัญ a = องศาความอิสระของปัจจัย b = องศาความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม

ถ้า $F > F_{\alpha, a, b}$ ยอมรับอิทธิพลของปัจจัย และถ้า $F \leq F_{\alpha, a, b}$ ปฏิเสธอิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติในการทดลองที่มีปัจจัยที่เราสนใจ ศึกษา 2 ตัว คือ A และ B เราต้องการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ 3 อย่าง คือ

1. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย A คือ

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H : \tau \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

2. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย B คือ

$$H : \beta = \beta = \dots = \beta = 0$$

$$H : \beta \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

3. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย คือ

$$H : (\tau\beta) = 0 \text{ ทุก } i, j$$

$$H : (\tau\beta) \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

2.10.2 การหาค่า P (P Value)

โดยทั่วไป เมื่อต้องการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานนั้น สิ่งที่น่าสนใจ คือ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) จะถูกยอมรับหรือปฏิเสธ ถ้าถูกยอมรับ หมายถึง สมมติฐานเป็นจริง และถ้าถูกปฏิเสธ หมายถึง สมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง จึงมีการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ เพื่อที่จะบอกยอมรับหรือปฏิเสธ Null Hypothesis เราเรียกว่า Probability Value (P-Value) ค่า P - Value นี้จะอ้างอิงอยู่กับ α โดยที่ P-Value คือค่าจริง (Actual) ของ Probability ซึ่งได้จากการคำนวณส่วน α คือเส้นกำหนดหรือจุดแบ่งระหว่างการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักซึ่งก็คือ Probability เหมือนกัน โดยจะยอมรับสมมติฐานหลัก ถ้า P-Value มากกว่า α และปฏิเสธ ถ้า P-Value เท่าหรือน้อยกว่า

2.10.3 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Residual Analysis)

สำหรับการศึกษาอิทธิพลของปัจจัย 2 ปัจจัย และผลจากการทดสอบอิทธิพลร่วมพบว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยนั้น จึงเขียนตัวแบบสถิติของการทดลองนี้ซึ่งไม่มีอิทธิพลร่วม คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \quad (2-11)$$

เมื่อ y_{ijk} คือ ค่าตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรตาม

μ คือ ค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นค่าคงที่

τ_i คือ ค่าที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของปัจจัย

ε_{ijk} คือ ค่าที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

ก่อนที่จะสรุปผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ควรตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบสถิตินี้ ก่อน เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบก็คือการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน ขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนคือ การคำนวณค่าประมาณของความคลาดเคลื่อนของตัวแบบการทดลองแฟคทอเรียลที่มี 2 ปัจจัย และ 2 ปัจจัยนั้นไม่มีอิทธิพลร่วมกัน

2.11 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Alain Rouyer , Le Mesnue Fuoque and Fresne Le plan [13]

ได้ทำการศึกษาและพบว่า พลาสติกจำพวกที่หลอมเหลวได้มักจะมีจุดอ่อนตัว อยู่ที่มากกว่า 120 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะส่งผลต่อการเชื่อมติดของพลาสติก โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ ระหว่าง 110 ถึง 140 C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พลาสติกมักมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเชื่อมติดและเนื่องจากว่าพลาสติกแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ ที่เปลี่ยนไปเมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดปัญหาการเกิด ครีบของพลาสติก การเกิดรอย หรือลายของพลาสติกและทั้งนี้ขึ้นกับความหนาของแผ่นพลาสติกด้วยซึ่งส่งผลต่อการผลิตโดยรวม

S.L.C. Ferreira et al. [7]

ได้ทำการศึกษาประโยชน์และข้อจำกัดของวิธี Box-Behnken Design ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบการค้นหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งโดยสรุปแล้วพบว่าวิธีนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การตอบสนองเชิงพื้นผิวเนื่องจาก ใช้ในการประมาณตัวแปรของสมการ Quadratic หรือใช้ในการตรวจสอบช่องว่างของแบบจำลอง และมีการตรวจสอบ ความเชื่อมั่นและเมื่อทำการเปรียบเทียบในหลายวิธีการพบว่าวิธี Doehlert matrix และ Box-Behnken Design มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี central composite design และ three-level full factorial designs ตามลำดับ

Krebs et al. [11]

ได้ทำการศึกษาพบว่าอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเกิดพันธะ และการเชื่อมติดที่ดีของพลาสติกของสารจำพวกแก้วที่ดีที่สุดคือ 60 ถึง 100 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นช่วงที่เกิด glass temperature ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่มีการไหลที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นกับความเรียบและความสะอาดของอุปกรณ์ด้วย คือเมื่อผิวของ Mold มีความเรียบที่มากกว่าที่พลาสติกจะมีโอกาสในการเกิดร่องรอยเป็นไปได้อย่างและชนิดของแก้วก็ยังส่งผลต่อการเชื่อมติดของพลาสติกทั้งสองชนิดอีกด้วยคือเมื่อแก้วเกิด Bonding ที่ดีกับพลาสติกจะทำให้การเชื่อมติดมีประสิทธิภาพมากขึ้น

Fickes [12]

ได้ทำการศึกษาพบว่าทั้งอุณหภูมิและแรงดันของ ลูกกลิ้งซึ่งมีผลต่อ อัตราเร็วของ Roller ความแข็งของ Roller ต่างส่งผลต่อการเกิดพันธะของพลาสติกที่นำมาประกบกัน เช่น ความเร็วของ Roller จะส่งผลต่อการกระจายตัวของ Adhesive และการเชื่อมติดในขณะที่ความดันจะส่งผลต่อการยึดเกาะที่ดีของ Adhesive อุณหภูมิจะส่งผลต่อการ เคลื่อนตัวหรือการไหลของ Adhesive ดังนั้นโดยสรุปแล้วการที่ Adhesive มีประสิทธิภาพจะทำให้กระบวนการ Laminate มีประสิทธิภาพตามด้วย

Edward F. Hagan & Karl H. Dietz [8]

ได้ทำการศึกษาระบวนการ ปิดประกบแบบแห้ง โดยทำการศึกษาตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อกระบวนการอันจะส่งผลต่อการยับของแผ่นฟิล์มและการเสียรูป โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่ม Roller speed จาก 60 , 120 , 180 รอบต่อวินาทีนั้นพบว่าเวลาที่ฟิล์มจะอยู่ในกระบวนการก็น้อยลงด้วย เนื่องจากการมีอัตราเร็วที่มากขึ้นจะทำให้ฟิล์มเสียรูปได้ง่ายหากใช้เวลาในกระบวนการนาน ในขณะที่เมื่อใช้ความดันที่มากขึ้นเวลาที่ฟิล์มอยู่ในกระบวนการมากขึ้นด้วย

นาคยา เอื้อพิทักษ์สกุล [15]

ได้ทำการศึกษาฟิล์มที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน ซึ่งอุณหภูมิมีผลต่อการเชื่อมติด โดยที่ประกอบด้วยฟิล์มพอลิโพรพิลีนเป็นหลัก จำนวน 5 ประเภท จากโรงงานอุตสาหกรรมคือ OPP/PE/LLDPE OPP/PE OPP/PP OPP/PP และ OPP/MCPP มาปิดผนึกด้วยความร้อน เพื่อใช้ศึกษาปัจจัยที่มีต่อความสมบูรณ์ของรอยผนึก โดยพิจารณาทั้งเครื่องปิดผนึกและฟิล์มที่ใช้ โดยการวัดค่าความแข็งแรงของรอยผนึกและดูรูปแบบของการขาด หลังจากนั้นจะศึกษาหาวิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่สอดคล้องต่อรอยผนึก โดยการวัดค่าความแข็งแรงรอยผนึก ความทนต่อการลอก และความแข็งแรงของรอยผนึกขณะร้อน

การปิดผนึกด้วยความร้อนจะใช้เครื่องปิดผนึกด้วยความร้อนแบบเทอร์ที่มีการให้ความร้อนอย่างต่อเนื่อง และนำรอยปิดผนึกออกในขณะที่ยังร้อนอยู่ การเพิ่มอุณหภูมิแก่ทั้งปิดผนึกและเวลาในการปิดผนึก จะมีผลทำให้ความแข็งแรงของรอยผนึกสูงขึ้นในระยะหนึ่ง จนกระทั่งถึงอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการปิดผนึก หรือถึงจุดที่มีการเปลี่ยนรูปแบบของการขาด แล้วจึงจะทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกเริ่มคงที่ ส่วนความดันในการปิดผนึก จะมีผลต่อความแข็งแรงของรอยผนึกน้อยมาก หากฟิล์มที่มีสารปิดผนึกหนา จะให้ความแข็งแรงของรอยผนึกสูงกว่าฟิล์มที่มีสารปิดผนึกบาง แต่ฟิล์มจากวัสดุหลักที่หนา จะให้ค่าความแข็งแรงของรอยผนึกต่ำกว่าฟิล์มจากวัสดุหลักที่บาง วิธีการปิดผนึกด้วยความร้อนที่เหมาะสมควรใช้อุณหภูมิแก่ทั้งปิดผนึก ที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของสารปิดผนึกเล็กน้อย โดยให้ความร้อนเพียงพอต่อการหลอมสารปิดผนึกเท่านั้น โดยมีเวลาในการปิดผนึกที่เพียงพอที่จะให้สารปิดผนึกมีอุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว และเกิดพันธะที่ผิวสัมผัสได้ ส่วนความดันในการปิดผนึกควรใช้ค่าความดันต่ำเพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวของรอยผนึก

R.J Asheley , M.A. Cochran [6]

ได้ทำการศึกษากการใช้ Adhesive ในพลาสติกบรรจุภัณฑ์ได้พบว่าพลาสติกแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการซึมผ่านของอากาศหรือความชื้นแตกต่างกัน โดยแต่ละชนิดจะมีค่าคงที่ดังกล่าวที่แตกต่างกันซึ่งโดยส่วนใหญ่ ที่ใช้จะเป็นพลาสติกจำพวก Polyurethane ถ้าต้องการพลาสติกที่มี

ความแข็งแรงก็ควรใช้ Polyester ส่วนจำพวกที่ป้องกันการซึมผ่านจะใช้พลาสติกจำพวก Foil โดยฟิล์มที่เลือกใช้เพื่อการปิดประกบต้องมีความสามารถในการทนต่อการได้รับความร้อนแบบต่อเนื่อง

V.N. Gaitonde et al. [9]

ได้ทำการศึกษาสิ่งที่ส่งผลต่อการหลุดลอกออกของพลาสติกที่ได้มีการเติมสารอื่นเข้าไป ทำให้ผิวหน้าดีขึ้น เช่น สารที่ทนต่อ การรับแรง เช่น ความเร็วของลูก กกลิ่ง ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ และยังทำการและยังมีการจำลองสมการเพื่อให้สามารถเชื่อมโยงตัวแปรในสมการเพื่อให้รู้ผลลัพธ์ ที่ได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นและนอกนั้นอาจจะเสริมให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีมากขึ้น

K. Palanikumar [10]

ได้ทำการจำลองรูปแบบเพื่อให้ทราบความไม่เรียบผิวของชิ้นงานพลาสติกโดยใช้การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง โดยปัจจัยหลักๆที่ส่งผลต่อชิ้นงานคือ ความเร็วของลูกกกลิ่ง โดยพบว่ายิ่งลูกกกลิ่งที่มีความเร็วที่มากจะทำให้พื้นผิวเกิดความไม่เรียบหรือแม้กระทั่งความเร็วในการป้อนชิ้นงานเข้าเครื่อง โดยพบว่ายิ่งมีความเร็วที่มากก็ทำให้ความเรียบผิวน้อยลงไปด้วยเช่นกัน

Chavalit Sangswasd et al. [14]

งานวิจัยการศึกษาการควบคุมการผลิตเชิงสถิติในงานเป่าฟิล์มพีพีนี้ เกิดขึ้นจากการที่ผู้วิจัยพบปัญหาข้อบกพร่องของฟิล์มในกระบวนการผลิต จึงมีแนวคิดที่จะนำความรู้และเทคนิคทางสถิติมาใช้ควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมความหนาและความแข็งแรงของฟิล์มให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด โดยให้ความสำคัญกับตัวแปรความถี่ของมอเตอร์ที่ใช้หมุนสกรู ผลการทดลองพบว่าสามารถนำวิธีการควบคุมกระบวนการผลิตเชิงสถิติมาใช้ในงานเป่าฟิล์มพีพีได้ในเบื้องต้น

ข้อมูลที่ได้รับชี้ให้เห็นว่าการควบคุมความถี่ของมอเตอร์หมุนสกรู เป็นการควบคุมปริมาณการไหลของพลาสติกเหลว มีผลส่งต่อการควบคุมความหนาของแผ่นฟิล์ม โดยพบว่าเมื่อทำการปรับลดความถี่ของมอเตอร์หมุนสกรูจากเดิมที่โรงงานใช้ปฏิบัติงานอยู่เป็นประจำที่ 15.06 Hz ให้เหลือ 14.98 Hz หรือเหลือเพียง 99.46 % ของความถี่เดิม ฟิล์มพีพีที่ได้จะมีความหนาและความแข็งแรงอยู่ในมาตรฐานที่โรงงานและลูกค้ายอมรับ ตลอดจนมีวนฟิล์มที่ได้จะมีคุณภาพ รูปทรงไม่บิดเบี้ยวไม่สร้างปัญหาต่อแผนกพิมพ์สีและตัด และยังประหยัดต้นทุนด้วย เนื่องจากประหยัดพลังงานและวัตถุดิบ แต่ถ้าเพิ่มความถี่ของมอเตอร์หมุนสกรูเป็น 15.14 Hz หรือ 100.53 % ของความถี่เดิม ฟิล์มพีพีจะมีความหนาเพิ่มขึ้นค่าพิสัยความถี่เฉลี่ยแตกต่างกันพอสมควร ค่าการหนานางไม่เท่ากันของฟิล์มเพิ่มขึ้น อีกทั้งไม่เป็นการลดต้นทุนการผลิตด้วย

Edward F. Hagan & Karl H. Dietz [16]

ได้ทำการศึกษากระบวนการปิดประกบ Lamination แบบแห้ง ได้พบว่าปัจจัย ที่ส่งผลต่อการเกิดรอยยับใ นชิ้นงานคือความดันที่ใช้ของตัวลูก กกลิ่ง อุณหภูมิของระบบที่ใช้ขณะดำเนิน

กระบวนการ และในกระบวนการสุดท้ายคือการรักษาเงื่อนไขในการผลิตให้คงที่ตลอดก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากกระบวนการ โดยสรุปแล้วสิ่งที่ส่งผลต่อการเกิดรอยยับคือ

- 1.lamination roll temperatures (อุณหภูมิของ Roller)
- 2.lamination pressure ความดันที่ใช้
- 3.Thick dry film resists ความหนาของฟิล์ม
- 4.Thin polyester base films ความหนาของฟิล์มที่ใช้รองเคลือบ
- 5.Long hold times between lamination เวลาที่ใช้ในกระบวนการ
- 6.slow cooling of panels after lamination ระยะเวลาอยู่ในระบบหลังจากการเย็นตัว

สมเกียรติ ตั้งจิตสถิตเจริญ, สมชาติ อารยพิทยา [22]

จุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการลดคราบน้ำมันที่ขึ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ โดยจะพิจารณาจากร้อยละของของเสียของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ที่มีคราบน้ำมันน้อยที่สุด และประยุกต์ใช้วิธีการของทากูชิและวิธีพื้นผิวผลตอบการทดลองถูกออกแบบขึ้นโดยวิธีการของทากูชิ ซึ่งเมทริกซ์การทดลองประกอบด้วยพารามิเตอร์ของเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติทั้ง 9 พารามิเตอร์ จากการทดลองพบว่าทุกพารามิเตอร์มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยที่อุณหภูมิของถัง แวกคัม เป็นพารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อร้อยละของของเสียของชิ้นส่วนที่มีคราบน้ำมัน รองลงมา คือ รอบเวลาของถังครายเออร์ รอบเวลาของสเปรย์ภายในถังครายเออร์, รอบเวลาของถังคิฟฟิงที่ 2 รอบเวลาของถังคิฟฟิงที่ 1 รอบเวลาของถังเวทิง รอบเวลาของถังอัลตราโซนิก รอบเวลาของถังแวกคัม และอุณหภูมิของถังครายเออร์ ตามลำดับ

สมเกียรติ ตั้งจิตสถิตเจริญ, สมชาติ อารยพิทยา [23]

ได้ทำการสืบหาเงื่อนไขและพารามิเตอร์ค่าความหยาบผิวโดยศึกษาหาค่าพารามิเตอร์การตัดที่เหมาะสมของการตัดที่แตกต่างกันโดยการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับหารูปแบบสมการแบบจำลองซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ในการตัด เพื่อพยากรณ์ถึงความหยาบผิวที่น้อยที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการป้อนตัดส่งผลมากที่สุดต่อความหยาบผิว โดยใช้เทคนิคพื้นผิวผลตอบ แบบ Box-Behnken Design ทำให้ได้สมการถดถอยของพารามิเตอร์ โดยความหยาบผิวจะสูงขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนตัดให้สูงขึ้น แต่จะลดลงเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการศึกษาและพัฒนา เพื่อสืบหาเงื่อนไขในการครายหรือการประกบแผ่นฟิล์มพลาสติกกับวัสดุเคลือบผิว (Lamination) ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยการใช้การประกบแบบแห้ง รวมถึงพิจารณาถึงค่าตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการคราย ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง ดังนั้นในการทดลองจะทำการแปรผันปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการเกิดขึ้นงานเสีย เพื่อควบคุมคุณภาพของงานให้มีคุณภาพตามที่กำหนด โดยการออกแบบการทดลองจะนำเสนอในรูปแบบของการวิเคราะห์ปัญหาที่จะทำการแก้ไขและการทำการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้โดยจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ปัญหาในการทดลอง

เพื่อทำการวิเคราะห์หาปัญหาของกระบวนการ ซึ่งพบว่าหากเกิดปัญหาในแต่ละแ ผลก็จะทำการผลิตใหม่ทันที เพื่อให้ทันต่อ ความต้องการของลูกค้าโดยจำนวนชิ้นงานที่สูญเสียแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนชิ้นงานเสียชนิดซองในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

| เดือน | จำนวนงานต่อเดือน | |
|------------|------------------------|--------------|
| | 3,000,000 ซอง | |
| | ชิ้นงานเสียชนิดซอง(ใบ) | |
| | ปี พ.ศ. 2552 | ปี พ.ศ. 2553 |
| มกราคม | 124,510 | 84,110 |
| กุมภาพันธ์ | 75,460 | 83,460 |
| มีนาคม | 31,240 | 141,230 |
| เมษายน | 25,460 | 95,460 |
| พฤษภาคม | 11,220 | 155,120 |
| มิถุนายน | 54,630 | 11,240 |
| กรกฎาคม | 85,460 | 42,130 |

ตารางที่ 3.1 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดของในเดือนมกราคมพ.ศ.2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553(ต่อ)

| เดือน | จำนวนงานต่อเดือน | |
|-----------|---------------------------|--------------|
| | 3,000,000 ชอง | |
| | ชิ้นงานเสียหายชนิดของ(ใบ) | |
| | ปี พ.ศ. 2552 | ปี พ.ศ. 2553 |
| สิงหาคม | 98,540 | 34,120 |
| กันยายน | 12,450 | 48,960 |
| ตุลาคม | 54,630 | 29,650 |
| พฤศจิกายน | 87,450 | 34,170 |
| ธันวาคม | 54,120 | N/A |
| รวม | 715,170 | 759,650 |

โดยในการค้นหาสาเหตุนั้นมักจะให้ฝ่ายผลิตเป็นระบบสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นโดยทั้งนี้ จะมีการประชุมเพื่อหาข้อสรุปร่วมกันจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้องโดยในการระบุสาเหตุดังกล่าวจะทำให้ ท้นที่ที่มีการตรวจพบเพื่อให้สามารถแก้ไขได้ทันที่และเมื่อทำการแยกแผนกที่ พบของเสียมากที่สุดแสดงดังตารางที่ 3.2

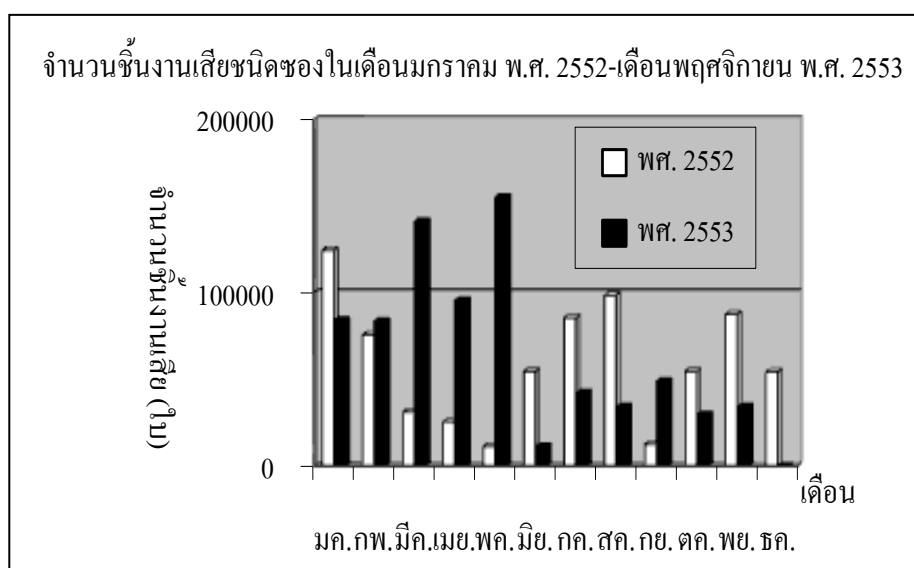
ตารางที่ 3.2 แสดงความเสียหายสูงสุด แยกเป็นแผนกและลักษณะความเสียหาย

| ลำดับที่ | ลำดับที่ | ลักษณะความเสียหาย | แผนกที่รับผิดชอบ | จำนวนที่เสียหาย (ชอง) |
|----------|----------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|
| 1 | มกราคม พ.ศ. 2552 | ข้อรสน้ำของไม่ตรงกับภาพ | ฝ่ายวางแผนการผลิต | 124,510 |
| 2 | สิงหาคม พ.ศ. 2552 | ชองไม่ได้ขนาด | แผนกทำชอง | 98,540 |
| 3 | มกราคม พ.ศ. 2553 | สีไม่ได้คุณภาพ | แผนกจัดซื้อ | 84,110 |
| 4 | กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 | สีไม่เหมือนพิมพ์ | แผนกพิมพ์สี | 83,460 |
| 5 | มีนาคม พ.ศ. 2553 | สีซีด สีต่าง | แผนกพิมพ์สี | 141,230 |
| 6 | พฤษภาคม พ.ศ.2553 | ฟองอากาศด้านหลัง | แผนกทราย | 155,120 |

จากตารางแสดงให้เห็นว่าเกิดของเสียขึ้นในแผนกทรายในปริมาณที่มากที่สุด

1. เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2553 ซึ่งเกิดจากการมีฟองอากาศในผลิตภัณฑ์

2. เดือนมีนาคม พ.ศ. 2553 ซึ่งเกิดจากการมีสี่ชนิดงานในแผนกพิมพ์สี
3. เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ซึ่งเกิดจากชื่อของรสน้ำของไม้ตรงกับภาพของฝ้ายวางแผนการผลิต
4. เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2552 เกิดจากชื่อไม้ได้ขนาดซึ่งมาจากแผนกทำช่องโดยพบว่าความเสียหายดังกล่าวมีปริมาณ 98,540 ซอง
5. เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 พบว่าเกิดปัญหาสีไม่ได้คุณภาพ ซึ่งแผนกจัดซื้อเป็นผู้ทำการจัดซื้อสินค้าเข้ามาใช้ในกระบวนการ



ภาพที่ 3.1 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดซองในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

จากภาพที่ 3.1 จะแสดงให้เห็นชัดเจนว่าของเสียในช่วงเดือนมีนาคม ถึง มิถุนายนที่มีความแตกต่างกันชัดเจนเนื่องจากเกิดปัญหาในเครื่องจักรที่ไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขกระบวนการผลิตได้มีประสิทธิภาพและเกิดจากการที่โรงงานอยู่ในช่วงการซ่อมบำรุงประจำปี

ตารางที่ 3.3 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดซองแยกเป็นแผนกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

| แผนก | ชิ้นงานเสียหายชนิดซอง (ใบ) | | | เปอร์เซ็นต์ |
|-------|------------------------------|--------------|---------|-------------|
| | ปี พ.ศ.2552 | ปี พ.ศ. 2553 | รวม | |
| เป่า | 1,450 | 1,040 | 2,490 | 0.17 |
| พิมพ์ | 3,650 | 286,520 | 291,070 | 20.35 |
| คราย | 4,370 | 709,570 | 747,940 | 52.31 |

ตารางที่ 3.3 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดของแยกเป็นแผนกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-
เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553(ต่อ)

| แผนก | ชิ้นงานเสียหายชนิดของ (ใบ) | | | เปอร์เซ็นต์ |
|-----------|------------------------------|--------------|----------|-------------|
| | ปี พ.ศ.2552 | ปี พ.ศ. 2553 | รวม | |
| สลิตเตอร์ | 1,340 | 2,320 | 3,660 | 0.26 |
| ทำช่อง | 72,800 | 28,170 | 100,970 | 7.07 |
| หลายแผนก | 65,460 | 154,450 | 219,910 | 15.38 |
| อื่นๆ | 14,640 | 48,190 | 63,830 | 4.46 |
| รวม | 163,710 | 1,230,260 | 1430,340 | 100 |

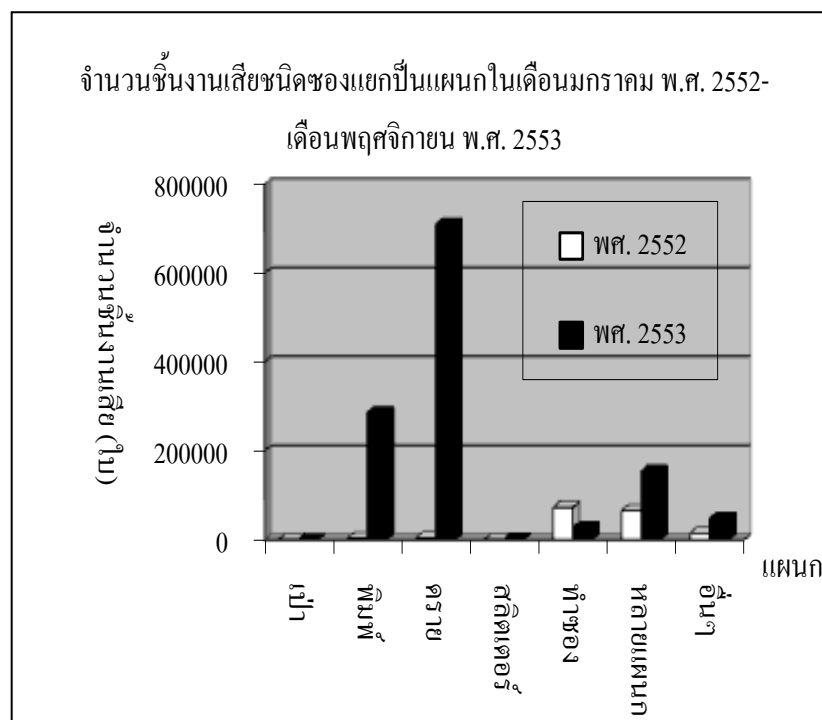
และเมื่อทราบแล้วว่าแผนกครายให้ของเสียหายมากที่สุดจากตาราง 3.3 ก็จะมาทำการวิเคราะห์เป็นจำนวนครั้งที่ลูกคามีการคืนสินค้าดังตารางที่ 3.4ซึ่งพบว่าแผนกครายให้ของเสียหายที่สุดซึ่งนั้นสามารถพบได้ว่าแผนกครายจะเป็นแผนกที่สนใจทำการศึกษานี้เนื่องจากในโรงงานมีกระบวนการที่หลากหลายจึงเลือกศึกษาเฉพาะบางแผนก

ตารางที่ 3.4 จำนวนครั้งการส่งคืนสินค้าจากลูกค้าแยกเป็นแผนกในปี พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2553

| แผนก | จำนวนงานที่ส่งคืนกลับมา(ครั้ง) | | | เปอร์เซ็นต์ |
|-----------|--------------------------------|--------------|-----|-------------|
| | ปี พ.ศ.2552 | ปี พ.ศ. 2553 | รวม | |
| เป่า | 7 | 8 | 15 | 5.74 |
| พิมพ์ | 32 | 14 | 46 | 17.62 |
| คราย | 32 | 20 | 52 | 19.92 |
| สลิตเตอร์ | 33 | 10 | 43 | 16.47 |
| ทำช่อง | 34 | 17 | 51 | 19.54 |
| หลายแผนก | 15 | 14 | 29 | 11.11 |
| อื่นๆ | 16 | 9 | 25 | 9.50 |

จากตาราง 3.4 ให้ผลการสังเกตไปในทางเดียวกันกับตาราง 3.3 คือ แผนกครายจะมีจำนวนครั้งการส่งคืนสินค้ามากที่สุด จากข้อมูลในตารางสามารถแสดงโดยใช้แผนภูมิแท่งได้ดัง แสดงในภาพที่ 3.2 ซึ่งแสดงจำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดของแยกเป็นแผนก

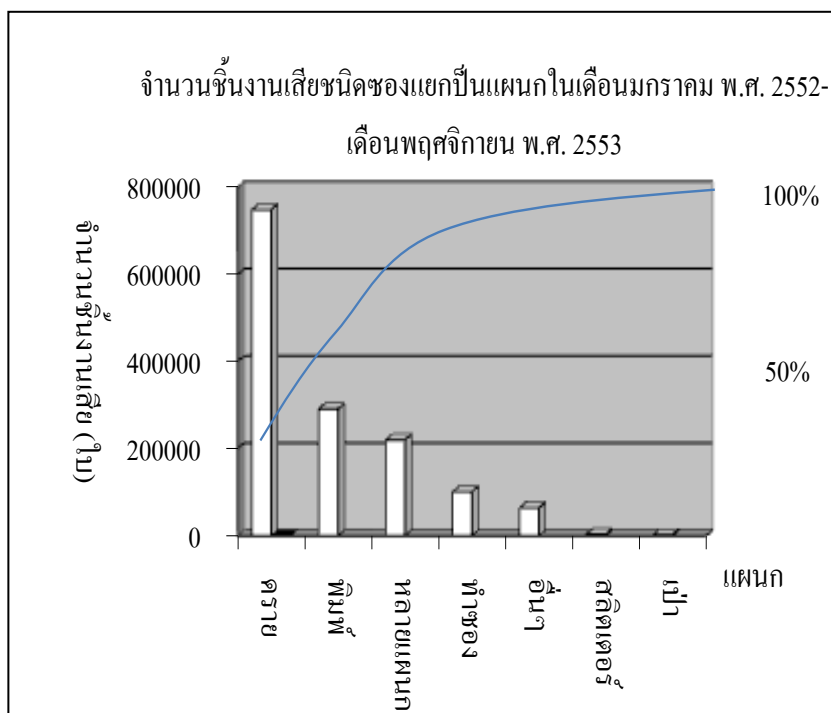
และเมื่อใช้เทคนิคพารेटโตเพื่อแสดงความสำคัญของปัญหา แสดงดังตารางที่ 3.4 แสดงออกมาลักษณะเดียวกันคือ ของเสียจากแผนกครายมีปริมาณมากที่สุด



ภาพที่ 3.2 จำนวนชิ้นงานเสียชนิดของแยกเป็นแผนกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-
เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

เมื่อพบว่าปัญหาดังกล่าวมีการเกิดขึ้นบ่อยครั้งและมีปริมาณความเสียหายเกิดขึ้นมากก็จะทำการแก้ไขเป็นลำดับแรกเพื่อลดของเสียโดยรวมทั้งหมดในกระบวนการซึ่งหากทำการแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นต้นจะทำให้ผู้ทำการศึกษาค้นคว้าต้องเลิกปัญหาใดมาใช้ในการศึกษาในงานวิจัย ซึ่งโดยสรุปแล้วสามารถเลิกปัญหาที่เกิดจากกระบวนการครายมาแก้ปัญหาเนื่องจากมีปริมาณของเสียมากที่สุดและเมื่อเทียบกับแผนกอื่นๆแล้วยังมีความแตกต่างกันอยู่มาก ดังนั้นเมื่อเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละแผนกได้ดังนี้

1. แผนกคราย
2. แผนกพิมพ์
3. เกิดจากหลายแผนก
4. แผนกทำซอง
5. แผนกสลิตเตอร์
6. แผนกเป้า



ภาพที่ 3.3 ผังพาเรโตแสดงชิ้นงานเสียหายชนิดของแยกเป็นแผ่นกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-
เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

จากภาพที่ 3.3 เมื่อมั่นใจว่าแผ่นครายไ้ของเสียมากที่สุดจะมาทำการวิเคราะห์ชนิดของเสียที่เกิดขึ้น
โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงลักษณะของเสียแต่ละแผ่นกสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ลักษณะความเสียหายในแต่ละแผ่นก

| แผ่นก | ชนิดความเสียหาย |
|-----------|--|
| เป่า | ฟิล์มสีคล้ำ, ล้างหัวครายไม่สะอาดทำให้สีปนกันบนเนื้อฟิล์ม, ฟิล์มเป็นเม็ดเจลใส, หนาบางไม่ได้ |
| พิมพ์ | สีลาก, ภาพหล่อม, สีคล้ำ, ขึ้นบล๊อคผิด |
| ดราด | ช่องลอก, ฟิล์มแยกชั้น, ครายใส่ฟิล์มกลับด้าน, ฟองอากาศ, ครายยับ, จุดดำของแมลง, ม้วนไม่เรียบ |
| สลิตเตอร์ | แกนเป็นเหลี่ยม, แกนยาวกว่าเนื้อฟิล์ม, ม้วนไหลกรอไม่แน่น, รอยต่อเกิน |
| ตัดทำช่อง | ช่องแตก, ซิลข้างไม่เท่ากัน, ช่องยับ, ชายถุงยาว, ก้นช่องติด |
| หลายแผ่นก | งานเกินออร์เดอร์, แกนเบี้ยว, ทำบล๊อคผิด, แก้ไขงานให้ลูกค้าเช่นเปลี่ยนทิศทางการเข้าม้วน |
| อื่นๆ | การรับคำสั่งผิดพลาด การดูแลแบบที่ผิดพลาด มีกลิ่น ไม่มีการระบุ เม็ดฝุ่น |

และเมื่อพบแล้วว่าแผนกครายมีของเสียมากที่สุดต่อไปจะทำการวิเคราะห์ชนิดของเสียที่เกิดขึ้นดัง
แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ลักษณะความเสียหายของชิ้นงานชนิดชองจากแผนกครายในเดือนมกราคม พ.ศ.2552-
เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553

| ลักษณะความเสียหายของชิ้นงาน ชนิดชอง | จำนวนความเสียหาย (ใบ) | เปอร์เซ็นต์ความเสียหาย |
|--|-----------------------|------------------------|
| ฟองอากาศ | 775,130 | 54.27 |
| ชองลอก | 249,180 | 17.44 |
| ครายยับ | 202,570 | 14.19 |
| มีจุดดำ | 101,440 | 7.10 |
| มีวนไม่เรียบ | 50,170 | 3.51 |
| อื่นๆ | 49,850 | 3.49 |
| รวม | 1,430,340 | 100 |

จากตารางแสดงให้เห็นที่มาของของเสียในแต่ละแผนกที่มีการกำหนดโดยฝ่ายผลิตร่วมกับ
ฝ่ายอื่นๆ

โดยลักษณะความเสียหายดังกล่าวสรุปดังตารางที่ 3.5 ก่อให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์
และทำให้เกิดการคืนสินค้าส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของบริษัท ได้ดังนี้คือ

1. ฟองอากาศในชองพลาสติก

เนื่องจากลักษณะผลิตภัณฑ์จะเป็นการประกบพลาสติก 2 ชนิดเข้าด้วยกัน การเกิดฟองอากาศมักจะ
เกิดระหว่างพลาสติกที่ประกบกันทั้งสองทำให้เกิดเป็นลักษณะปุ่มอากาศเล็กๆบนชองผลิตภัณฑ์
ด้านนอก มีขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตรโดยส่วนใหญ่จะเกิดบริเวณด้านข้างของผลิตภัณฑ์
เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่พลาสติกถูกบีบอัดให้ปล่อยออกทางด้านข้างของชองผลิตภัณฑ์

2. การเกิดชองลอก

จะเป็นลักษณะที่เกิดจากพลาสติกทั้งสองชนิดประกบติดกันไม่ดีเมื่อเข้าสู่กระบวนการตัดทำ ชองทำ
ให้ชองเกิดการลอกหลุดออกจากกันได้ง่ายมักเกิดบริเวณปาก ชองผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นบริเวณที่
ไม่มีการปิดผนึกเนื่องจากรอการบรรจุผลิตภัณฑ์และทำการปิดผนึกโดยลูกค้าต่อไป

3. ทรายยับ

เป็นความเสียหายในลักษณะที่ผลิตภัณฑ์เกิดรอยยับหรือย่นทั้งลักษณะที่เป็นริ้ว เป็นคลื่นหรือเป็นรอยย่น โดยมักจะเกิดขึ้นมักจะพบบริเวณด้านข้างของม้วนพลาสติกเนื่องจากในขณะที่ม้วนบริเวณด้านข้างจะตึงน้อยที่สุดหรืออาจเกิดจากการประกบติดกันไม่ดีของพลาสติกทั้งสองชนิดเมื่อทำการม้วนจึงเกิดการเลื่อนหลุดและยับได้ง่าย

4. มีจุดดำ

เป็นลักษณะคล้ายกับฟองอากาศแต่ลักษณะจุดจะเป็นสีดำหรือสีอื่น ๆ ขนาดประมาณ 1-3 เซนติเมตรกระจายตัวอยู่เป็นกระจุก โดยมากมักจะพบบริเวณกลางม้วนของพลาสติกเนื่องจากมักตรวจพบได้ยากโดยอาจเกิดเกิดจากปัญหาฝุ่นละออง แมลง เศษสิ่งสกปรกที่ปนมากับกาวที่ ใช้ประกบพลาสติกทั้งสอง หรือจากการเกิดรอยไหม้จากการอบเป็นระยะเวลานาน

5. ม้วนไม่เรียบ

เป็นลักษณะที่ม้วนพลาสติกเกิดการซ้อนทับกัน เกิดการบิดเบี้ยว การไหลออกจากแนวแกนของม้วนพลาสติกหรือม้วนพลาสติกบางส่วนลึกเข้าไปในแกนของพลาสติก ทำให้ม้วนพลาสติกเกิดความไม่เสมอลอดม้วนและส่งผลกระทบต่อม้วนพลาสติกทั้งหมด โดยมักมีสาเหตุมาจากการบิดเบี้ยวของแกนพลาสติกหรือการพลาสติกถูกดึงให้ตึงด้วยแรงที่ไม่สมดุลกัน

โดยจากตารางแสดงให้เห็นว่า การเกิดฟองอากาศภายในช่องเป็นลักษณะของเสียที่พบมากที่สุดและหากแสดงข้อมูลเป็นรายเดือนพบว่าแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

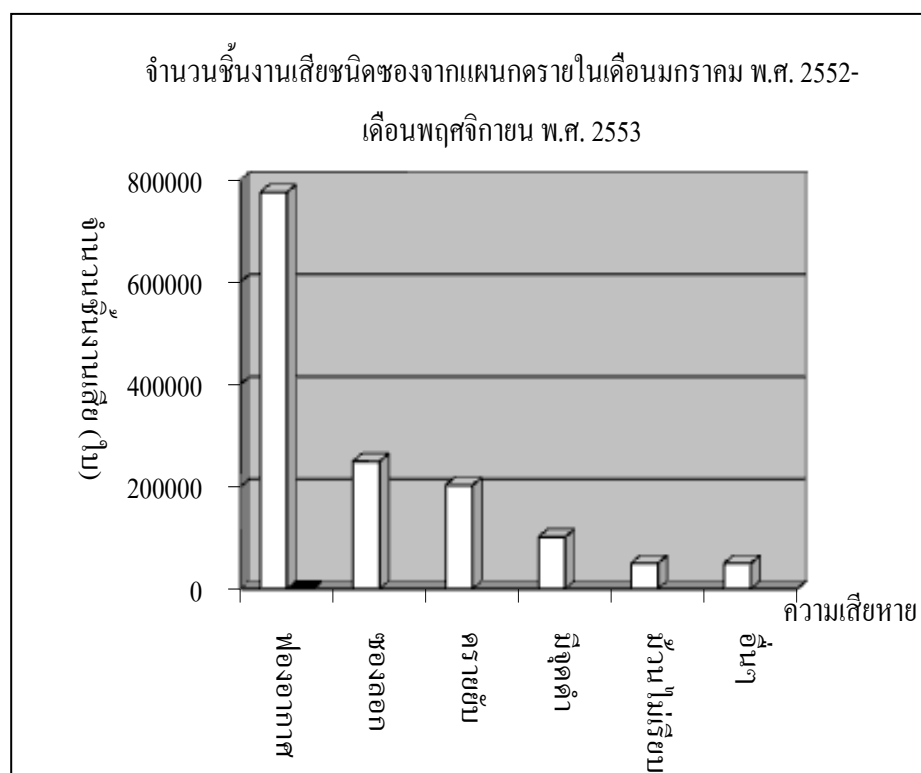
ตารางที่ 3.7 จำนวนชิ้นงานเสียชนิดช่องของแผนกทรายในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553

| เดือน | จำนวนชิ้นงานเสียฟองอากาศ(ช่อง) | |
|------------|--------------------------------|--------------|
| | ปี พ.ศ. 2552 | ปี พ.ศ. 2553 |
| มกราคม | 37,562 | 21,052 |
| กุมภาพันธ์ | 49,696 | 25,166 |
| มีนาคม | 52,217 | 31,568 |
| เมษายน | 29,716 | 17,241 |
| พฤษภาคม | 31,001 | 23,795 |
| มิถุนายน | 42,052 | 26,520 |
| กรกฎาคม | 50,125 | 20,562 |
| สิงหาคม | 32,156 | 24,562 |

ตารางที่ 3.7 จำนวนชิ้นงานเสียหายชนิดของของแผนกทรายในเดือนมกราคม พ.ศ. 2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 (ต่อ)

| เดือน | จำนวนชิ้นงานเสียฟองอากาศ(ซอง) | |
|-----------|-------------------------------|--------------|
| | ปี พ.ศ. 2552 | ปี พ.ศ. 2553 |
| กันยายน | 38,569 | 27,911 |
| ตุลาคม | 45,630 | 49,723 |
| พฤศจิกายน | 35,001 | 43,005 |
| ธันวาคม | 20,208 | N/A |
| รวม | 464,005 | 311,125 |

จากตารางที่ 3.5 และ 3.6 ทำให้ทราบว่าของเสียฟองอากาศมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับปัญหาของเสียชนิดอื่นๆและจากตารางที่ 3.5 แสดงเป็นแผนภูมิแท่งได้ดังนี้

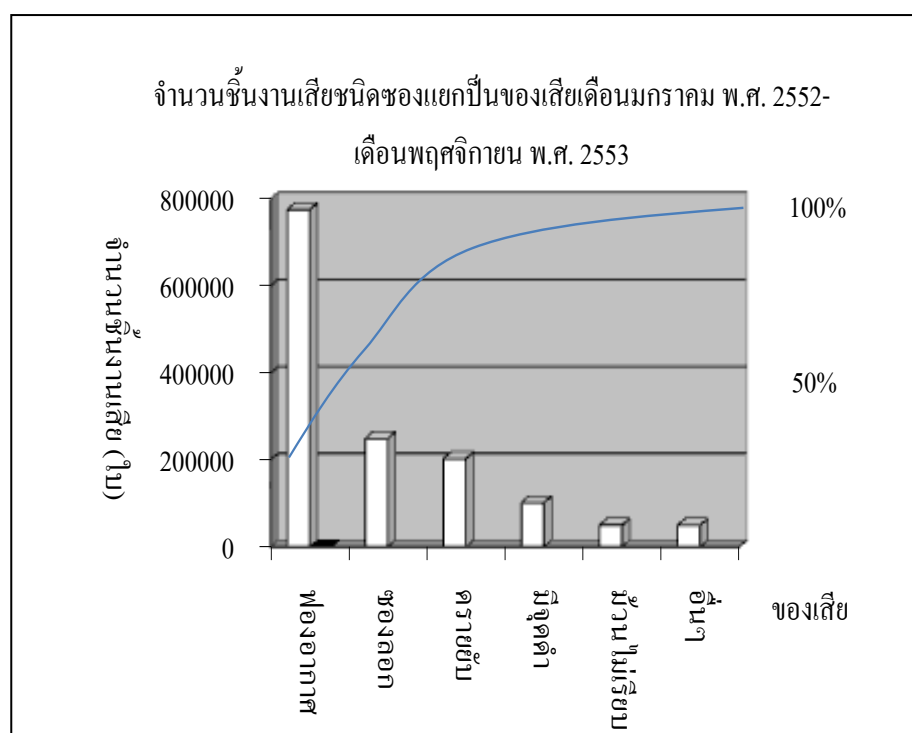


ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแท่งแสดงความเสียหายของชิ้นงานชนิดของจากแผนกทรายในเดือนมกราคม พ.ศ.2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553

จากภาพที่ 3.4 แผนภูมิแท่งแสดงให้เห็นว่าการเกิดฟองอากาศเป็นความเสียหายที่พบมากที่สุด และทำให้เกิดการคืนสินค้าของลูกค้ามากที่สุด และเมื่อใช้แผนภาพพาร์โตใน ภาพที่ 3.5 ก็สามารถแสดงชัดเจนว่าของเสียฟองอากาศเป็นของเสียที่พบมากที่สุด

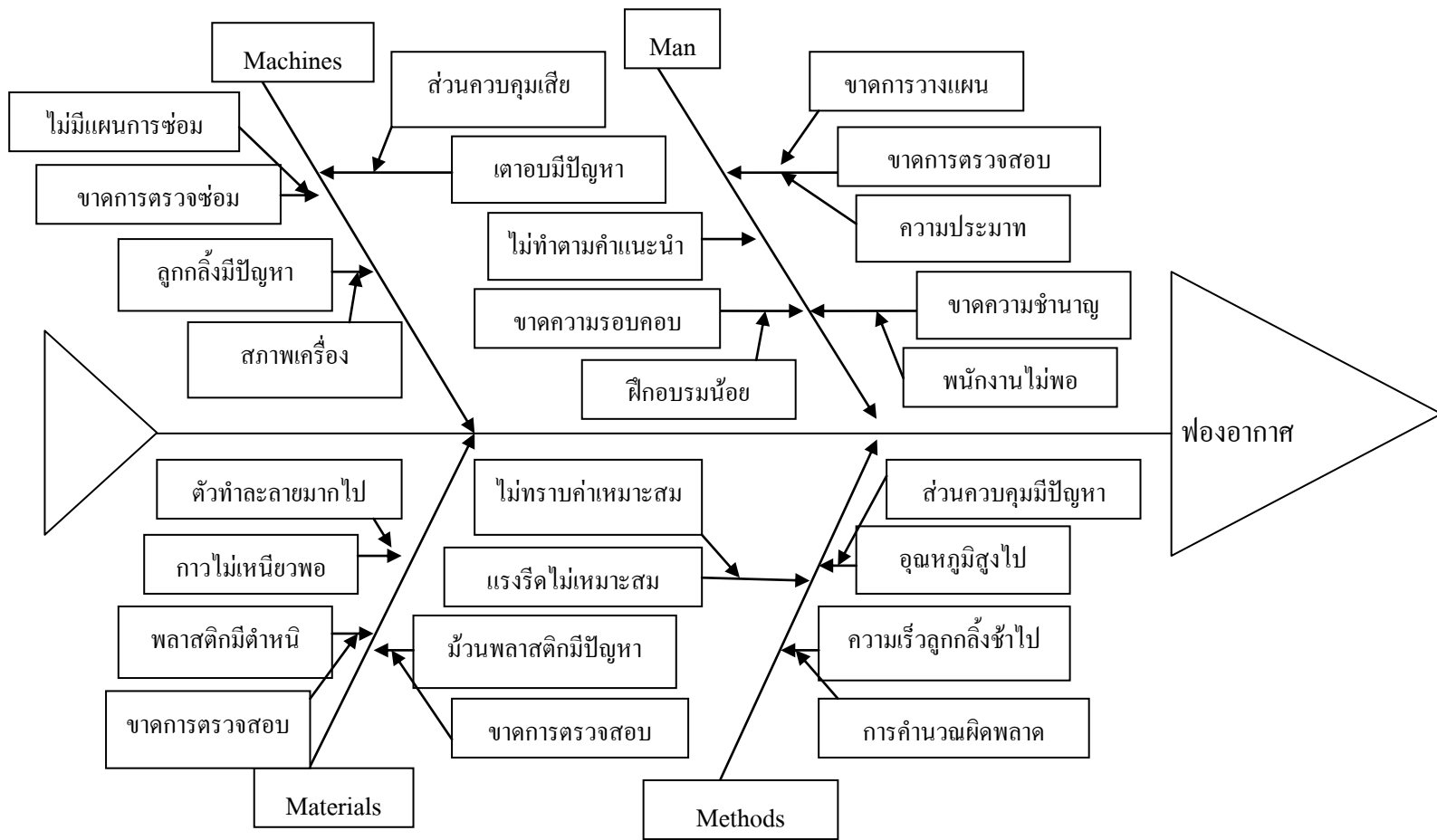
เมื่อใช้แผนภาพพาร์โตเพื่อแสดงความสำคัญของปัญหา ให้ผลออกมาลักษณะเดียวกันคือการเกิดฟองอากาศ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานได้อย่างชัดเจนและเป็นปัญหาแรกที่ผู้ทำวิจัยได้ทำการเลือกแก้ปัญหาเป็นอันดับแรกเนื่องจากส่งผลกระทบต่อภาพรวมของกระบวนการทั้งหมด

เนื่องจากจากหลักการของพาร์โตซึ่งเป็นการเลือกลำดับการแก้ปัญหาโดยจะทำการแก้ปัญหาจากลำดับความสำคัญที่มากที่สุดซึ่งจากปัญหาดังกล่าวผู้ทำวิจัยได้เห็นแล้วว่าปัญหาของการเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาที่พบมากและพบบ่อยมากที่สุด ทำให้ผู้ศึกษาเลือกที่จะเลือกปัญหาการเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์มาทำการศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาต่อไปเนื่องจากมีความสัมพันธ์กับแหล่งที่มาของปัญหา คือ ในกระบวนการทราย



ภาพที่ 3.5 ผังพาร์โตแสดงความเสียหายของชิ้นงานชนิดของแยกปีนของเสียในเดือนมกราคม พ.ศ.2552-เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2553

สรุปจากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าแผนกทรายเป็นแผนกที่สนใจที่จะทำการศึกษา เนื่องจากก่อให้เกิดของเสียมากที่สุด และของเสียที่ทำการศึกษาคือการเกิดของเสียฟองอากาศ เนื่องจากมีจำนวนสูงที่สุดเช่นกัน โดยเมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแสดงได้ดังแผนภาพก้างปลา



ภาพที่ 3.6 แผนภาพพารโตแสดงสาเหตุการเกิดพองอากาศในซอง

โดยเมื่อพิจารณาจากแผนภาพข้างปลาแล้วพบว่าสาเหตุของการเกิดของเสียในแผนกทรายสามารถอธิบายได้ดังนี้

1.Man หรือ สาเหตุที่เกิดจากคน เช่น ผู้ปฏิบัติงาน พนักงาน ทั้งที่เป็นพนักงานประจำและพนักงานชั่วคราวที่ เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตนั้นๆ ซึ่งจากปัญหาของการเกิดฟองอากาศนั้นพบว่าสาเหตุที่น่าจะเกิดจากคน มีดังนี้

1.1 ไม่มีการตรวจสอบงานทั้งก่อนและหลังการผลิต

ซึ่งอาจเกิดจากการขาดความรับผิดชอบในการเอาใจใส่ของพนักงาน หรือการสื่อสารที่ผิดพลาดของพนักงาน เช่น สั่งให้ตรวจสอบทุก ม้วนแต่กลับตรวจสอบแค่บางม้วน เป็นต้น

1.2 ความไม่ชำนาญงาน

ซึ่งน่าจะมาจากการขาดการฝึกอบรมอย่างต่อเนื่อง และความประมาทเลินเล่อของพนักงานเองซึ่งอาจเกิดจากความเมื่อยล้าจากการทำงาน

1.3 การขาดประสบการณ์ของพนักงาน

ทำให้การทำงานเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่พนักงานใหม่ยังไม่มี ความเคยชินในงานที่ทำ หรืออาจจะเกิดจากกรณี ที่จ้างพนักงานชั่วคราวในกรณี ที่มีการผลิตที่มากจนพนักงานที่มีอยู่ไม่เพียงพอ

1.4 การไม่ปฏิบัติตามคู่มือการทำงาน (Work Instruction : WI)

ซึ่งอาจเกิดจากการไม่เอาใจใส่ของพนักงาน หรือ ความไม่ชัดเจนของเอกสารเนื่องจากการ ขาดชำระดูหรืออ่านเข้าใจยาก

2.Machine หรือ เครื่องจักรรวมถึงอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตในกระบวนการนั้นๆ ซึ่งจากปัญหาของการเกิดฟองอากาศนั้นพบว่าสาเหตุที่น่าจะเกิดจากเครื่องจักร มีดังนี้

2.1 อุณหภูมิที่ใช้ไม่เหมาะสม

ซึ่งน่าจะมีสาเหตุจากการใช้อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมคือเมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไป ทำให้พลาสติกเกิดการขยายตัวที่มาก เมื่อนำออกมาจากเครื่องทำให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็ว เกิดฟองอากาศขึ้นภายในช่อง และในกรณีที่ใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปทำให้กาวที่ใช้ในการเชื่อมติดระหว่างแผ่นพลาสติกกับพลาสติกเคลือบ ระบายออกมาไม่หมดเกิดการเลื่อนจากแบบและฟองอากาศแทรกเข้าไปได้

2.2 เครื่องอัดรีดให้แรงอัดรีดที่ใช้ไม่เหมาะสม

เช่นในกรณีที่ใช้แรงอัดรีดที่มากเกินไป อาจส่งผลให้พลาสติกเกิดการยืดออก และเมื่อนำไปประกบกับพลาสติกเคลือบ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลาสติกคนละชนิด ทำให้เกิดการขยายตัวที่แตกต่างกันจนทำให้เมื่อเกิดการหดตัวของพลาสติกฟองอากาศจึงเข้าไปแทรกได้ แต่ในกรณีที่มีการใช้แรงอัดรีดที่

น้อยเกินไป ทำให้การเชื่อมติดระหว่างแผ่นพลาสติกกับพลาสติกเคลือบไม่ดีเท่าที่ควรเกิดการแทรกของฟองอากาศได้ง่าย

2.3 Roller มีตำหนิ เช่นมีเศษสิ่งสกปรก หรือเกิดการสึกหรอ

ทำให้เมื่อทำการเชื่อมติดกัน แล้วเกิดรอยตำหนิเป็นจุดเริ่มของการเกิดฟองอากาศ ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้งานมานานและการขาดการตรวจสอบก่อนจะใช้งาน

2.4 การปรับตั้งสายพานมีปัญหา

คือในกรณีที่ปรับตั้งการหมุนของสายพานที่เร็วเกินไป ทำให้อาจจะทำให้พลาสติกยังไม่เชื่อมติดกันได้ไม่ทันจะดีเท่าที่ควร หรือ กรณีที่ปรับตั้งให้หมุนช้าเกินไปทำให้ใช้เวลาในการอบที่นานขึ้น เกิดการขยายตัวของพลาสติกและหดตัวอย่างรวดเร็วเมื่อนำออกจากเครื่องเกิดฟองอากาศแทรกในช่องพลาสติกได้

3.Method หรือ วิธีการ หมายถึงวิธีการที่ใช้ในการผลิตซึ่งจากปัญหา ่องการเกิดฟองอากาศนั้นพบว่าสาเหตุที่น่าจะเกิดจากวิธีการทำงาน มีดังนี้

3.1 อุณหภูมิอบที่ใช้ไม่เหมาะสม

เช่น การใช้อุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงเกินไปซึ่งสาเหตุมักเกิดจากการที่ขาดความชำนาญในการปรับตั้งเครื่องจักร หรือการที่เครื่องจักรมีอายุการใช้งานที่มากดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เพื่อให้ได้ในคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเลยมีการควบคุมที่ยาก

3.2 ช่วงเวลาในการอบที่เหมาะสม

เช่น การปรับตั้งเวลาที่ใช้มากหรือน้อยเกินไป ในกรณีที่เครื่องจักรขาดการเชคสภาพก่อนใช้งานทำให้เมื่อทำการผลิตแล้วมักพบปัญหาในขณะที่ทำการผลิตบ่อยครั้งและนอกจากนี้คือเมื่อเครื่องเกิดปัญหา เมื่อทำการปรับค่าเครื่องแล้วจึงไม่สามารถควบคุมให้คงที่ตามที่ต้องการ หรือในกรณีที่เครื่องจักรต้องรับสภาพการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น งานที่เคลือบอลูมิเนียมและงานที่ไม่เคลือบอลูมิเนียม ซึ่งมีสภาพการผลิตและเงื่อนไขการผลิตที่แตกต่างกัน กล่าวคือถ้าอบนานเกินไปจะทำให้พลาสติกเกิดการขยายตัวที่มากและหดตัวอย่างรวดเร็ว และหากอบโดยใช้เวลาน้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการเชื่อมติดไม่ดีเกิดฟองอากาศได้ง่าย

3.3 ใช้แรงรีดที่ไม่เหมาะสม

เช่นในกรณีที่แรงรีดที่มากเกินไปจะทำให้พลาสติกเกิดการยืดตัวและหดตัวอย่างกะทันหัน ซึ่งพลาสติกที่ใช้ในผลิตภัณฑ์มีพลาสติกหลายชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเมื่อมีการใช้แรงรีดชนิดเดียวกันแต่พลาสติกต่างชนิดกันก็ทำให้เกิดการยืดหดที่ต่างกัน ในกรณีที่แรงรีดน้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการเชื่อมติดไม่ดี ซึ่งแรงดังกล่าวเกิดจากการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนจะทำการผลิตซึ่งแสดงให้เห็น

เห็นว่าค่าดังกล่าวสามารถปรับตั้งได้ตามต้องการก่อนทำการผลิตหรือทำการหยุดเครื่องเมื่อเกิดปัญหาและทำการตั้งค่าใหม่ตามที่เห็นสมควร

3.4 แรงดึงที่ใช้ไม่เหมาะสม

นั่นคือเมื่อทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อให้เกิดแรงดึงนั้นจะส่งผลต่อการดึงพลาสติกทั้งสองด้านของเครื่องจักรนั่นคือหากแรงดึงทั้งสองด้านไม่สมดุลกันจะทำให้พลาสติกดึงหรือหย่อนที่แตกต่างกันเกิดปัญหาฟองอากาศได้ หรือการที่ใช้แรงดึงที่มากเกินไปอาจทำให้พลาสติกขาดได้ หรือสีในผลิตภัณฑ์เกิดการเหลืองหรือสีซีดได้ซึ่งจะทำให้มีวันดังกล่าวเป็นของเสียทั้งม้วนหรือการที่ใช้แรงดึงที่น้อยเกินไปจะทำให้เกิดการหย่อนของแผ่นพลาสติกและอาจมีฟองอากาศค้างอยู่ในแผ่นพลาสติกหรือเกิดการที่มีวันพลาสติกยับได้

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสาเหตุของวิธีการที่ส่งผลต่อการเกิดฟองอากาศแล้วพบว่าแผ่นหรือส่วนที่มีผลต่อการควบคุมค่าตัวแปรดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงการควบคุมที่ใช้ในเครื่องทรายในกระบวนการของการควบคุมการเกิดฟองอากาศ

| ตัวแปรในกระบวนการ | การควบคุม |
|--|---|
| 1.อุณหภูมิในการอบพลาสติก | ปรับตั้งอุณหภูมิจากเครื่องอบในกระบวนการทราย |
| 2.เวลาที่ใช้ในการอบพลาสติก | ปรับตั้งช่วงเวลาได้จากเครื่องที่ใช้ในกระบวนการทราย |
| 3.ความเร็วของลูกกลิ้ง | สามารถปรับตั้งได้จากเครื่องในกระบวนการฉีด กระบวนการพิมพ์ กระบวนการทราย |
| 4.แรงดึงแผ่นพลาสติกขณะที่กำลังปิดประกบ | สามารถปรับตั้งได้จากเครื่องในกระบวนการทรายซึ่งเป็นขั้นตอนการปิดประกบ |

แสดงให้เห็นว่ากระบวนการทรายจะเป็นกระบวนการที่ควบคุมปัจจัยส่วนใหญ่ที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียจำพวกฟองอากาศสอดคล้องกับสถิติแผนกที่เกิดของเสียมากที่สุด ทำให้ ผู้วิจัยเลือกแผนกทรายเป็นแผนกที่ทำการศึกษาทดลองและเลือกการเกิดฟองอากาศเป็นปัญหาที่ทำการแก้ไขเป็นอันดับแรก

4. Material หรือวัตถุดิบ ซึ่งจากปัญหาของการเกิดฟองอากาศนั้นพบว่าสาเหตุที่น่าจะเกิดจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองซึ่งได้แก่ พลาสติกเป่า พลาสติกปิดประกบ กาว ตัวทำละลาย อุปกรณ์ตรวจวัด มีดังนี้

4.1 กาวที่ใช้ไม่เหนียวมากพอ

เนื่องจากการที่ใช้ตัวทำละลายที่มากเกินไปทำให้การเชื่อมติดไม่ดีเท่าที่ควร หรือการเลือกใช้ตัวทำละลายที่ระเหยยากทำให้เมื่ออบแล้วตัวทำละลายระเหยออกไปไม่หมดเกิดการเชื่อมติดไม่ดี และเกิดฟองอากาศได้ง่าย

4.2 พลาสติกที่ใช้มีสมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

เช่น การหดตัวมากเกินไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง หรือการขยายตัวที่มากเกินไปเมื่อโดนความร้อน ทำให้เกิดฟองอากาศได้ง่าย ซึ่งส่งผลกระทบต่อมวลพลาสติกทั้งหมดโดยรวมเพราะเมื่อสินค้ามีการคืนกลับมาจะคืนกลับมาทั้งหมดทางโรงงานต้องมาทำการแยกอีกครั้งเพื่อแก้ไขเฉพาะส่วนที่เสียหายจริงๆเท่านั้น

4.3 แผ่น Laminate มีรอยตำหนิ

ทำให้เกิดการแทรกของฟองอากาศ ซึ่งอาจเกิดจากการขนส่งที่ผิดพลาดหรือขาดการตรวจสอบก่อนที่จะทำการผลิต

4.4 แผ่นพลาสติกขาด หรือรั่ว

เนื่องจากไม่มีคุณภาพ หรือพลาสติก

ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวเมื่อทราบแล้วว่าแผนกทรายทำให้เกิดของเสียฟองอากาศมากที่สุด และเมื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการเกิดฟองอากาศโดยแผนภาพก้างปลายังทำให้ทราบว่าสาเหตุจากเครื่องทรายส่งผลเป็นอย่างมากต่อการเกิดของเสีย โดยการเลือกปัจจัยและผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาเนื่องจากเครื่องทรายดังกล่าวแสดงได้ดังต่อไปนี้

3.2 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

เป็นการพิจารณาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลองซึ่งจะทำให้สามารถทราบถึงขอบเขตของการศึกษาและทราบถึงความจำเป็นในการศึกษาแต่ละปัจจัยเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

3.2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียหายของผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเสียหายของผลิตภัณฑ์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 5 ปัจจัยหลักๆ ซึ่งได้แก่

1. ปัจจัยเนื่องจากคน (Man)
2. ปัจจัยเนื่องจากเครื่องจักร (Machine)
3. ปัจจัยเนื่องจากวัตถุดิบ (Material)
4. ปัจจัยเนื่องจากวิธีการ (Method)

จากแผนภาพก้างปลาทราบว่าในการพิจารณาสาเหตุของความเสียหายเมื่อพิจารณาจากสาเหตุต่างๆพบว่า

1. Man คือสาเหตุที่เกิดจากคนนั้นอาทิเช่น

1.1 ความชำนาญงาน เนื่องจากขาดการฝึกอบรม หรือการประมาทเลินเล่อ จะพบว่าน่าจะเกิดจากนโยบายในของทางบริษัทในการจัดฝึกอบรมพนักงาน หรือความเข้มงวดของผู้มีส่วนรับผิดชอบป้องกันการปฏิบัติงานที่ประมาท

1.2 การขาดประสบการณ์ เนื่องจากพนักงานอาจจะเป็นพนักงานใหม่หรือพนักงานที่รับมาทำงานชั่วคราวในกรณีที่ภาระงานเร่งด่วน ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นถึงว่าปัจจัยดังกล่าวจะขึ้นกับนโยบายทางบริษัท เช่น ขั้นตอนการรับพนักงานของฝ่ายบุคคล เป็นต้น

1.3 การไม่ทำตามคู่มือการทำงาน อาจ เกิดจากการที่เอกสารอาจมีการชำรุดซึ่งสามารถทำการเปลี่ยนหรือปรับปรุงให้ดีขึ้นได้และการที่พนักงานขาดความเอาใจใส่ ก็สามารถแก้โดยการสร้างจิตสำนึกให้แก่พนักงาน

2. Material หรือวัตถุดิบ ยกตัวอย่างเช่น

2.1 พลาสติกมีสมบัติเปลี่ยนไป เนื่องจากอาจมีการยืดหรือหดมากเกินไปซึ่งนั่นขึ้นกับคุณสมบัติภายในของพลาสติก ดังนั้นฝ่ายจัดซื้อและฝ่ายผลิตควรทำการคัดเลือกให้ตรงกับความต้องการเพื่อให้ตรงกับเงื่อนไขในการผลิตของกระบวนการที่ใช้

2.2 กาวที่ใช้คุณภาพไม่ดี เช่น การที่กาวแห้งช้าหรือเร็วมากเกินไปทำให้การเชื่อมติดไม่ดี หรือการที่ไม่สามารถเข้ากับตัวทำละลายได้ดีทำให้ตัวทำละลายระเหยยาก ดังนั้นฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพควรทำการคัดเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานของบริษัท

2.3 แผ่นเคลือบมีรอยตำหนิ ซึ่งนั่นเป็นผลจากลูกค้าที่ได้มีการสั่งซื้อจากภายนอก ดังนั้นฝ่ายจัดซื้อควรมีการตรวจสอบคุณภาพที่เข้มงวดก่อนจะนำเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตเนื่องจากอาจทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์โดยรวม

ซึ่งจากปัจจัยทั้งสองพบว่าส่วนใหญ่จะขึ้นกับนโยบายของบริษัทและการควบคุมของฝ่ายต่างๆ ซึ่งนอกเหนือจากการควบคุมของผู้ทำวิจัยจึงได้ทำการตัดปัจจัยต่างๆดังกล่าวข้างบนออกไปไม่นำมาพิจารณาในงานวิจัย

3.Method หรือวิธีการยกตัวอย่างเช่น

3.1 พนักงานวางพลาสติกผิดด้าน ทำให้พลาสติกเกิดการยับตัวได้ง่ายและชิ้นงานนั้นเป็นของเสียทันทีซึ่งจากการศึกษาพบว่ามีเกิดขึ้นน้อยมากๆ

3.2 การเสนอของพนักงานขณะปฏิบัติงาน เช่นกรณีที่พนักงานไม่สามารถควบคุม การปรับตั้งอุณหภูมิให้สัมพันธ์กับปัญหาที่เจอ

ซึ่งจากปัจจัยดังกล่าวพบว่าวิธีการทำงานจะไม่นำมาวิจัยในครั้งนี้เนื่องจากจะมีความเกี่ยวข้องกับการฝึกอบรม รวมถึงหากพิจารณาจากจำนวนพนักงานแล้วพบปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยง่ายเนื่องจากพนักงานมีจำนวนไม่มากนักในแต่ละแผนกและหากทำการศึกษาในส่วนของ เครื่องจักรพนักงานสามารถที่จะปรับปรุงวิธีการทำงานได้เช่นกัน

3.2.2 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อเป็นเกณฑ์ให้ทราบว่าในการเลือกปัจจัยในการทดลองในกระบวนการมีเกณฑ์อย่างไร จากการคัดเลือกปัจจัยเนื่องจากวิธีการ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเสียหายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในกระบวนการสามารถเลือกปัจจัยต่างๆโดยพิจารณาดังนี้

1. พารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ทำการเลือกเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถปรับตั้งและควบคุมได้จากเครื่องจักร
2. เป็นพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามชนิดของผลิตภัณฑ์แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะทำเฉพาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลือบอูมิเนียม
3. เป็นพารามิเตอร์ที่ย่อมให้มีการปรับตั้งและทำการทดลอง
4. เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในกระบวนการเมื่อได้ทำการสอบถามจากพนักงานผู้ผลิต
5. เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วจากแผนภาพ ก้างปลาต้องเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาที่สนใจในการศึกษาอย่างแท้จริงซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป

3.2.3 การจัดลำดับความสำคัญนั้นสามารถจัดลำดับได้ดังนี้

1. อุณหภูมิที่ใช้ในเตาอบ เนื่องจาก

1.1 การเชื่อมตานั้นจะมีการใช้กาวเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีการผสมตัวทำละลายเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในแผ่นพลาสติกจากนั้นจะมีการระเหยตัวทำละลายก่อนที่จะเหลือเฉพาะส่วนของกาวเพื่อให้เกิดการเชื่อมติด

1.2 พลาสติกจะมีการเปลี่ยนแปลงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ กล่าวคือเมื่อพลาสติกได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติที่รวดเร็ว

2. ความเร็วของลูกกลิ้ง เนื่องจาก

2.1 นอกจากกาวที่ใช้ซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว พบว่าเมื่อกาวจะทำการเชื่อมติดที่ดี จะต้องอาศัยแรงกดเนื่องจากลูกกลิ้งที่เป็นตัวพาแผ่นพลาสติกให้เคลื่อนที่ติดกันทั้งพลาสติกจากบริษัทและพลาสติกเคลือบผิว

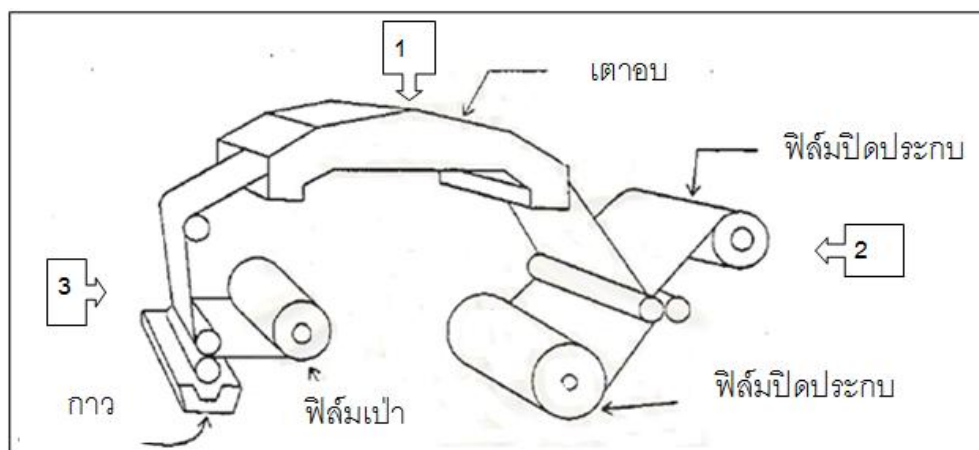
2.2 มักมีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการที่ใช้ความเร็วที่มากมักใช้กับพลาสติกที่มีความหนาเนื่องจากจะทำให้เกิดแรงกดที่มาก

3. แรงดึงที่ใช้พลาสติก เนื่องจาก

3.1 เป็นแรงที่ทำให้พลาสติกมีความตึงแน่นไม่ทำให้พลาสติกเกิดการข่น หรือเกิดการเชื่อมติดไม่ดีแต่ปัจจัยดังกล่าวขึ้นกับความเร็วของลูกกลิ้งมากที่สุด

3.2 มักมีการกำหนดค่าที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากส่งผลต่อการเชื่อมติดเพียงเล็กน้อยเพราะโดยจุดประสงค์จะทำให้พลาสติกมีรูปร่างที่คงที่ขณะอยู่ในเครื่อง ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวจึงได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองขึ้นมา 3 พารามิเตอร์ ดังนี้

1. อุณหภูมิในการอบของเตาอบ
2. ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง
3. แรงดึงพลาสติก



ภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของพารามิเตอร์ในการทดลอง

3.3 การกำหนดระดับของปัจจัย

การกำหนดระดับของปัจจัย (Level) จะกำหนดเป็นแบบคงที่ โดยอาศัยข้อมูลเชิงเทคนิคของบริษัทผู้ผลิตที่แนะนำจากคู่มือการใช้งานและนอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์จากข้อมูลที่มีการเก็บไว้โดยฝ่ายผลิตซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.9 ตัวอย่างเงื่อนไขในกลุ่มมือการใช้งานที่เครื่องทรายสามารถปรับตั้งได้

| เงื่อนไขในเครื่องจักร | ค่าที่ใช้ |
|---------------------------------|-----------|
| ความเร็วของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) | 50 - 200 |
| อุณหภูมิของเตาอบ (องศาเซลเซียส) | 50 - 120 |
| แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | 300 - 800 |

โดยจากตารางที่ 3.9 พบว่าค่าที่เครื่องทรายสามารถปรับตั้งได้เป็นค่าที่ค่อนข้างกว้างดังนั้นจึงอาศัยข้อมูลจากการทดลองเดิมเพื่อให้การกำหนดระดับการทดลองมีความแม่นยำมากขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ผลของการใช้ค่าตัวแปรในกระบวนการผลิตกับของเสียที่เกิดขึ้น

| วันที่ตรวจพบ | เงื่อนไขการผลิต | | | เปอร์เซ็นต์ของเสียฟองอากาศ |
|------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | ความเร็วลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 12 พค. พศ. 2552 | 200 | 400 | 85 | 12.56 |
| 12 พค. พศ. 2552 | 200 | 400 | 80 | 11.45 |
| 27 พค. พศ. 2552 | 60 | 400 | 85 | 10.03 |
| 27 พค. พศ. 2552 | 60 | 400 | 80 | 12.12 |
| 24 มีย. พศ. 2552 | 150 | 650 | 80 | 9.65 |
| 24 มีย. พศ. 2552 | 150 | 700 | 80 | 13.23 |
| 30 มีย. พศ. 2552 | 150 | 350 | 80 | 12.23 |
| 30 มีย. พศ. 2552 | 150 | 350 | 80 | 13.56 |
| 8 มีค. พศ. 2553 | 150 | 400 | 110 | 10.58 |
| 8 มีค. พศ. 2553 | 150 | 425 | 105 | 11.87 |
| 22 มีค. พศ. 2553 | 150 | 400 | 60 | 11.58 |
| 22 มีค. พศ. 2553 | 150 | 425 | 70 | 12.59 |

ค่าที่แสดงในตารางที่ 3.10 เป็นค่าที่ได้จากการศึกษาข้อมูลย้อนหลังและจากการวิเคราะห์ของฝ่ายผลิตในช่วงที่มีการผลิตในช่วงแรกของผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมไนลอนซึ่งเมื่อฝ่ายผลิตได้ทำการวิเคราะห์และจากการตรวจพบของเสียที่มากจึงมีการปรับตั้งค่าให้มีความเหมาะสมมากขึ้น ซึ่ง

เป็นค่าเดียวกับที่ได้เลือกมาใช้ในการศึกษา แต่เนื่องจากก็ยังเป็นช่วงที่กว้างอยู่แม้ของ เสียจะมีค่าลดลงดังนั้นผู้ศึกษาจึงสนใจหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศที่ลดลง

จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เครื่องสามารถปรับตั้งได้ในขณะที่อุณหภูมิเตาอบและแรงดึงพลาสติกมีค่าระหว่างกลางของช่วงที่แนะนำ พบว่าของเสียฟองอากาศจะมีค่าที่มากขึ้นเนื่องจากความเร็วที่มากเกินไปเวลาในการปิดประกบกันมีน้อยลงพลาสติกมีการเชื่อมติดกัน ไม่มีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้จากตารางแสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงดึงพลาสติกมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เครื่องสามารถปรับตั้งได้ในขณะที่อุณหภูมิ เตาอบและความเร็วลูกกลิ้งมีค่าระหว่างกลางของช่วงที่แนะนำพบว่าของเสียฟองอากาศจะมีค่าที่มากขึ้นเนื่องจากแรงดึงพลาสติกที่มากเกินไปทำให้พลาสติกมีการยืดตัวที่มากและไม่สามารถกลับมารูปเดิมได้ทำให้เกิดความอ่อนตัวของพลาสติกและมีฟองอากาศเกิดขึ้น

และจากตารางแสดงให้เห็น ว่าเมื่ออุณหภูมิเตาอบมีค่าใกล้เคียงค่าสูงสุดและต่ำสุดที่เครื่องสามารถปรับตั้งได้ในขณะที่ความเร็วลูกกลิ้งและแรงดึงพลาสติกมีค่าระหว่างกลางของช่วงที่แนะนำพบว่าของเสียฟองอากาศจะมีค่าที่มากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเตาอบที่มากเกินไปทำให้กาวมีการกระจายตัวที่น้อยลงด้วยนี้ ึ่งจากตัวทำละลายมีปริมาณที่น้อยเกินไปการเชื่อมติดจึงไม่มีประสิทธิภาพ

จากข้อมูลทั้งหมดดังกล่าวจึงทำการเลือกช่วงเงื่อนไขการผลิตได้โดยอาศัยข้อมูลจากการทดลอง ค่าที่เกิดจากการแนะนำของกลุ่มและการแนะนำของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานได้ดังนี้

- 1) อุณหภูมิในการอบของเตาอบ 3 ค่า ดังนี้ 75, 80, 85 องศาเซลเซียส
- 2) ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 3 ค่า ดังนี้ 80, 115, 150 รอบต่อนาที
- 3) แรงดึงพลาสติก 3 ค่า ดังนี้ 400, 425, 450 นิวตัน

การเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้ศึกษา

ผลิตภัณฑ์ที่เลือกศึกษาคือ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อลูมิเนียมในการเคลือบนั้นหมายถึง พลาสติกส่วนที่นำมาเคลือบ (Laminate) มีองค์ประกอบของอลูมิเนียม ซึ่งมีเหตุผลดังนี้คือ

1. ผลิตภัณฑ์จะมีความหนาแน่นมากกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไป เงื่อนไขที่ใช้ในการผลิตเช่น อุณหภูมิที่ใช้ออบจึงต้องใช้สูงกว่าพลาสติกทั่วไป
2. มีการผลิตในปริมาณที่มากจึงเหมาะสำหรับเลือกใช้ในการศึกษา
3. ในการเชื่อมติดของผลิตภัณฑ์จะต้องอาศัยปัจจัยทั้งสามปัจจัย คือ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง อุณหภูมิในการอบ และแรงดึงพลาสติก เป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตซึ่งต่างจากผลิตภัณฑ์

ชนิดอื่น เช่นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆจะไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของแรงดึงเนื่องจากไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากนัก

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.4.1 फिल्मพลาสติก

เป็นฟิล์มที่ได้จากการกระบวนการพิมพ์และทำการส่งต่อมาเพื่อทำการปิดประกบกับพลาสติกเคลือบ (Laminate) อีกชนิด โดยลักษณะพลาสติกที่ได้จากการพิมพ์จะเป็นการพิมพ์แล้วทำการม้วนเป็นกรอเพื่อส่งต่อไปยังส่วนของคราย

3.4.2 फिल्मพลาสติกเคลือบ (Laminate)

เป็นพลาสติกที่ได้จากการผู้ผลิตรายอื่น โดยฟิล์มที่นำมาประกอบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติอื่นๆของผลิตภัณฑ์ เช่น เพิ่มความแข็งแรง เพื่อความสวยงาม หรือเพื่อคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่น ป้องกันความชื้น ป้องกันกลิ่น เป็นต้น โดยลักษณะจะเป็นฟิล์มที่ม้วนเป็นกรอกกลม เช่นเดียวกับฟิล์มพลาสติกที่ได้จากกระบวนการพิมพ์ของบริษัท

3.4.3 กาวชนิดน้ำ (Adhesive)

เป็นกาวที่ใช้ผสมกับตัวทำละลาย เพื่อช่วยในการติดประกบกันระหว่าง फिल्मพลาสติกและฟิล์มพลาสติกเคลือบ โดยตัวทำละลายจะระเหยออกไปเมื่อผ่านส่วน ของเตาอบโดยกาวที่ใช้คือ PP-95930-I-9300 จาก Cosmo Scientex ประเทศมาเลเซีย โดยมีเอทิลอะซีเตทเป็นส่วนผสม

3.4.4 เครื่องคราย (Dryer)

เป็นเครื่องครายแบบอัตโนมัติโดยกระบวนการครายเป็นการประกบแบบแห้ง โดยมีเงื่อนไขการผลิตอื่น ๆ คือในการทดลองครั้งนี้จะใช้พลาสติกในลอนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำความหนา 12 ไมโครเมตรและมีเงื่อนไขในการปรับตั้งเครื่องครายคือ แรงปด้อยเพลลา 300 นิวตัน แรงเก็บเพลลา 100 นิวตัน แรงปด้อยฟิล์ม 430 นิวตัน

แรงกดลูกยาง 4000 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร แรงกดมีด 1000 นิวตันต่อตาราง เซนติเมตร แรงกดคางเคลือบ 4 เมกะพาสคัล เครื่องครายชนิดครายแห้งที่ใช้คือ CM1001 LN-LD-100 จาก Long Man Industrial และเงื่อนไขในการทดลองจะใช้ตามคำแนะนำในกลุ่มมือการใช้เครื่องจักรและแหล่งพลังงานจะใช้พลังงานไฟฟ้า 90 เฮอร์เซ็นต์ จากแก๊สธรรมชาติ 10 เฮอร์เซ็นต์ เนื่องจากทางโรงงานเห็นว่าน่าจะช่วยลดค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนได้และนอกจากนี้เงื่อนไขต่างๆในการผลิตยังมีการควบคุม โดยบริษัทที่ดำเนินการขายเครื่องจักรให้โรงงาน โดยจะมีการตรวจสอบทุกๆ 6 เดือนจากบริษัทผู้ผลิตอีกด้วย

3.5 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. การเตรียมม้วนพลาสติกที่จะนำมาปิดประกบทั้งสองม้วน
2. ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์และเครื่องมือซึ่งประกอบด้วย กาว ค่าต่างๆที่ใช้ในเครื่องจักร เป็นต้น
3. นำม้วนพลาสติกใส่ในกรอ (Roller) แล้วทำการเปิดเครื่องทำการผลิต
4. ตรวจสอบการเดินเครื่องจักรอย่างใกล้ชิดเนื่องจากอาจมีปัญหาก่อเกิดขึ้นจากพลาสติกหรือเครื่องจักร โดยสิ่งที่ทำการตรวจสอบคือ ความเที่ยงตรงของพลาสติก หรือ การแนบสนิทกันของพลาสติกที่เมื่อมีการปิดประกบกัน เป็นต้น
5. เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นจะทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เช่น การที่เก็ดย่อยจะทำการตัดส่วนที่เป็นรอยย่นทิ้งแล้วทำการปรับเงื่อนไขในเครื่องจักรใหม่
6. เมื่อเครื่องจักรดำเนินไปได้ประมาณครึ่งม้วนพลาสติกฝ่ายตรวจสอบคุณภาพจะทำการตัดชิ้นส่วนพลาสติกและมาทำการวัดความหนาของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปิดประกบเพื่อให้ทราบว่ามีปริมาณกาวมากเกินไปหรือไม่ คือเมื่อค่าความหนาที่วัดได้หนากว่าความหนาแผ่นพลาสติก 2 แผ่นที่ติดประกบกันแสดงว่ากาวที่ใช้มากเกินไป ก็จะทำการปรับสูตรความเข้มข้นของกาวหรือปรับตั้งเงื่อนไขเครื่องจักร
7. เมื่อทำการปิดประกบแล้ว จะนำพลาสติกที่ได้ทำการปิดประกบมาทำการเขียนบันทึกข้อมูลที่ได้ เช่น วัน เวลา ผู้ปฏิบัติงาน ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และรายละเอียดอื่นๆ
8. นำพลาสติกดังกล่าวเข้าสู่อบเพื่อทำการอบต่ออีกอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมงก่อนส่งไปยังแผนกถัดไป

3.6 การวางแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพหุคูณผลตอบซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

3.7.1 การออกแบบการทดลองในกระบวนการทราย

จากการเลือกปัจจัย ที่มีผลต่อการเกิดของเสียฟองอากาศ ผู้วิจัยกำหนดค่าที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1. อุณหภูมิในการอบของเตาอบ 3 ค่า ดังนี้ 75, 80, 85 องศาเซลเซียส
2. ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 3 ค่า ดังนี้ 80, 115, 150 รอบต่อนาที
3. แรงดึงพลาสติก 3 ค่า ดังนี้ 400, 425, 450 นิวตัน

โดยระดับในการทดลองที่เลือกใช้มี 3 ระดับในแต่ละปัจจัยดังแสดงต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการอบ
 - ระดับต่ำ 75 องศาเซลเซียส
 - ระดับกลาง 80 องศาเซลเซียส
 - ระดับสูง 85 องศาเซลเซียส

2. ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง
 - ระดับต่ำ 80 รอบต่อนาที
 - ระดับกลาง 115 รอบต่อนาที
 - ระดับสูง 150 รอบต่อนาที

3. แรงดึงพลาสติก
 - ระดับต่ำ 400 นิวตัน
 - ระดับกลาง 425 นิวตัน
 - ระดับสูง 450 นิวตัน

ตารางที่ 3.11 สรุประดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองของกระบวนการทราย

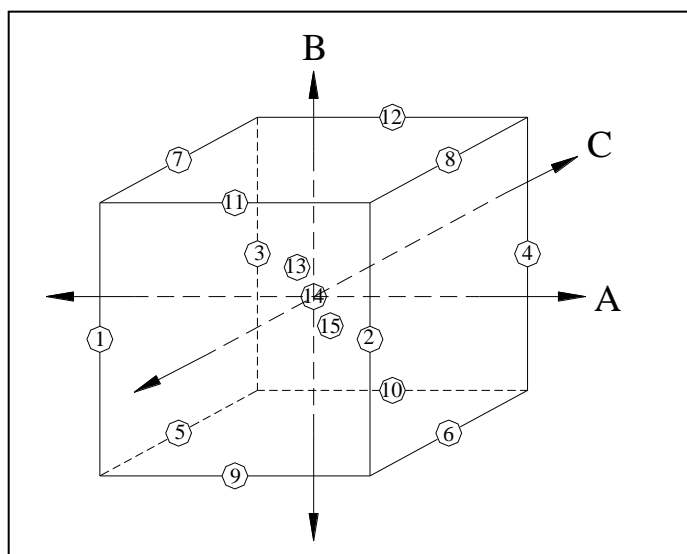
| ปัจจัย | สัญลักษณ์ | ระดับต่ำ | ระดับกลาง | ระดับสูง |
|-----------------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส) | T | 75 | 80 | 85 |
| ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) | R | 80 | 115 | 150 |
| แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | F | 400 | 425 | 450 |

3.7 การออกแบบการทดลอง

เมื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่ทำการศึกษาก่อนแล้วนำไปออกแบบการทดลองแบบพหุคูณผลตอบ โดยการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ซึ่งได้รูปแบบของการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.8 ดังนี้

3.7.1 การทดลองแบบ Box- Behnken (Box- Behnken Design)

การทดลองนี้เป็นการทดลองปัจจัยที่ 3 ระดับ (3-level design) ในการสร้างสมการตัวแบบโดยใช้หลักการของการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2^2 ผสมกับจุดกึ่งกลาง (Central Point)



ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ 3.8 รูปแบบเลขาคณิตของแผนการทดลอง Box-Behnken ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.9 แสดงเมตริกในการออกแบบการทดลองซึ่งกำหนดตามระดับต่ำ กลาง และสูง โดยพบว่าระยะห่างของแต่ละระดับจะมีค่าเท่ากันเช่น อุณหภูมิจะห่างกัน 5 องศาเซลเซียส ความเร็วลูกกลิ้งห่างกัน 35 รอบต่อนาที และแรงดึงพลาสติกห่างกัน 25 นิวตัน

ตารางที่ 3.12 ระดับเมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำการทดลอง

| ปัจจัย/หน่วย | ระดับการตั้งค่า | | | สัญลักษณ์ |
|-----------------------------------|-----------------|----------|---------|-----------|
| | ต่ำ (-1) | กลาง (0) | สูง (1) | |
| อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส) | 75 | 80 | 85 | T |
| ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) | 80 | 115 | 150 | R |
| แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | 400 | 425 | 450 | F |

จากรูปที่ 3.12 ทำให้ทราบว่า การทดลองนี้เป็นการทดลองปัจจัยที่ 3 ระดับ ดังตารางที่ 3.9 (3-level design) เพื่อได้สมการตัวแบบเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรในกระบวนการและของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้น โดยใช้หลักการของการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ 2^2 ผสมกับจุดกึ่งกลางทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งหมดดังตารางที่ 3.10 ซึ่งมีการทดลองซ้ำกัน 2 ครั้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 3.13 เมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำารทดลอง

| Std Order | Run Order | Processing Factor | | | %Bubble defects (Bu) |
|--------------|--------------|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Roller speed (R) | Tension force (F) | Oven temperature (T) | |
| 1 | 26 | 80 | 400 | 80 | |
| 2 | 12 | 150 | 400 | 80 | |
| 3 | 24 | 80 | 450 | 80 | |
| 4 | 16 | 150 | 450 | 80 | |
| 5 | 15 | 80 | 425 | 75 | |
| 6 | 11 | 150 | 425 | 75 | |
| 7 | 14 | 80 | 425 | 85 | |
| 8 | 27 | 150 | 425 | 85 | |
| 9 | 7 | 115 | 400 | 75 | |
| 10 | 6 | 115 | 450 | 75 | |
| 11 | 1 | 115 | 400 | 85 | |
| 12 | 22 | 115 | 450 | 85 | |
| 13 | 13 | 115 | 425 | 80 | |
| 14 | 21 | 115 | 425 | 80 | |
| 15 | 5 | 115 | 425 | 80 | |
| 16 | 8 | 80 | 400 | 80 | |
| 17 | 4 | 150 | 400 | 80 | |
| 18 | 19 | 80 | 450 | 80 | |
| 19 | 30 | 150 | 450 | 80 | |
| 20 | 29 | 80 | 425 | 75 | |
| 21 | 3 | 150 | 425 | 75 | |
| 22 | 28 | 80 | 425 | 85 | |
| 23 | 25 | 150 | 425 | 85 | |
| 24 | 10 | 115 | 400 | 75 | |
| 25 | 17 | 115 | 450 | 75 | |

ตารางที่ 3.13 เมตริกการออกแบบการทดลองพร้อมการสุ่มลำดับการทำการทดลอง

| Std Order | Run Order | Processing Factor | | | %Bubble defects (Bu) |
|-----------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | | Roller speed (R) | Tension force (F) | Oven temperature (T) | |
| 26 | 18 | 115 | 400 | 85 | |
| 27 | 20 | 115 | 450 | 85 | |
| 28 | 2 | 115 | 425 | 80 | |
| 29 | 23 | 115 | 425 | 80 | |
| 30 | 9 | 115 | 425 | 80 | |

3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.8.1 วิธีการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นผิวผลตอบ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองโดยวิธีพื้นผิวผลตอบ ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

3.8.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ การทดลอง

การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบจะพิจารณาค่า P ที่ได้จากการทดลองในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 95% ที่ความเชื่อมั่นระดับนี้ให้ความถูกต้องและมีความเหมาะสม โดยที่ถ้าค่า P น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลกระทบต่อของเสียฟองอากาศ ถ้าค่า P มากกว่า 0.05 แสดงว่า ปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลกระทบต่อผลกระทบท่อของเสียฟองอากาศ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาและพบว่าการเกิดของเสียฟองอากาศในกระบวนการทราย เป็นปัญหาที่สนใจในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของเสียที่มากและเป็นแผนกที่ก่อให้เกิดของเสียที่มากเช่นเดียวกันซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับจำนวนการส่งสินค้าคืนของลูกค้าและหลังจากนั้นมาทำการเลือกปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาพบว่า ความเร็วลูกกลิ้ง อุณหภูมิเตาอบและแรงดึงพลาสติกมีผลมากต่อการเกิดของเสียฟองอากาศในกระบวนการทรายเมื่อได้ทำการวิเคราะห์จากแผนภาพก้างปลาและนโยบายของบริษัท

หลังจากนั้นมีการกำหนดระดับปัจจัยที่ทั้งสามเพื่อทำการออกแบบการทดลองโดยใช้ Box-Behnken พบว่าปัจจัยที่เลือกเมื่อได้พิจารณาจากการแนะนำของกลุ่มการใช้งานของเครื่องและจากการเก็บข้อมูลของฝ่ายผลิตประกอบกันพบว่าได้ปัจจัยในการทดลองสามระดับดังแสดงข้างต้นแล้วทำการทดลองเก็บข้อมูลของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้นตามที่ได้วางแผนการทดลองตามหลัก Box-Behnken แสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการทดลองทั้ง 3 กระบวนการ โดยปรับค่าของปัจจัยตามทีออกแบบการทดลองไว้

4.1.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของกระบวนการทราย

4.1.1.1 ผลการทดลองของกระบวนการทราย

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตาราง 3.10 ของกระบวนการทราย เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองของกระบวนการทราย

| เงื่อนไขการผลิต | | | พลาสติกทราย(ซอง) |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| ความเร็วลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 80 | 400 | 80 | 2000 |
| 150 | 400 | 80 | 3000 |
| 80 | 450 | 80 | 2000 |

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองของกระบวนการทราย(ต่อ)

| เงื่อนไขการผลิต | | | พลาสติกทราย(ซอง) |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| ความเร็วลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 150 | 450 | 80 | 2000 |
| 80 | 425 | 75 | 3000 |
| 150 | 425 | 75 | 3000 |
| 80 | 425 | 85 | 3000 |
| 150 | 425 | 85 | 2000 |
| 115 | 400 | 75 | 2000 |
| 115 | 450 | 75 | 2000 |
| 115 | 400 | 85 | 2000 |
| 115 | 450 | 85 | 2000 |
| 115 | 425 | 80 | 2000 |
| 115 | 425 | 80 | 3000 |
| 115 | 425 | 80 | 2000 |
| 80 | 400 | 80 | 2000 |
| 150 | 400 | 80 | 2000 |
| 80 | 450 | 80 | 2000 |
| 150 | 450 | 80 | 3000 |
| 80 | 425 | 75 | 2000 |
| 150 | 425 | 75 | 2000 |
| 80 | 425 | 85 | 2000 |
| 150 | 425 | 85 | 2000 |
| 115 | 400 | 75 | 2000 |
| 115 | 450 | 75 | 3000 |
| 115 | 400 | 85 | 2000 |
| 115 | 450 | 85 | 2000 |

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองของกระบวนการคราย(ต่อ)

| เงื่อนไขการผลิต | | | พลาสติกคราย(ซอง) |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------|
| ความเร็วลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 150 | 450 | 80 | 2000 |
| 80 | 425 | 75 | 3000 |
| 150 | 425 | 75 | 3000 |

และเมื่อพิจารณาจำนวนของเสียต่อจำนวนการผลิตทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สามารถแสดง
ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงของเสียฟองอากาศในกระบวนการคราย

| จำนวนการ ทดลอง | การ ทดลองที่ | เงื่อนไขการผลิต | | | ฟองอากาศ (เปอร์เซ็นต์) |
|-------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | | ความเร็ว ลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึง พลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 1 | 26 | 80 | 400 | 80 | 2.78 |
| 2 | 12 | 150 | 400 | 80 | 2.28 |
| 3 | 24 | 80 | 450 | 80 | 2.60 |
| 4 | 16 | 150 | 450 | 80 | 2.70 |
| 5 | 15 | 80 | 425 | 75 | 2.67 |
| 6 | 11 | 150 | 425 | 75 | 2.70 |
| 7 | 14 | 80 | 425 | 85 | 3.01 |
| 8 | 27 | 150 | 425 | 85 | 2.60 |
| 9 | 7 | 115 | 400 | 75 | 2.45 |
| 10 | 6 | 115 | 450 | 75 | 2.23 |
| 11 | 1 | 115 | 400 | 85 | 2.18 |
| 12 | 22 | 115 | 450 | 85 | 2.98 |
| 13 | 13 | 115 | 425 | 80 | 2.57 |
| 14 | 21 | 115 | 425 | 80 | 2.57 |

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงของเสียฟองอากาศในกระบวนการทราย (ต่อ)

| จำนวนการ ทดลอง | การ ทดลองที่ | เงื่อนไขการผลิต | | | ฟองอากาศ (เปอร์เซ็นต์) |
|-------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | | ความเร็ว ลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึง พลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 15 | 5 | 115 | 425 | 80 | 2.57 |
| 16 | 8 | 80 | 400 | 80 | 2.78 |
| 17 | 4 | 150 | 400 | 80 | 2.28 |
| 18 | 19 | 80 | 450 | 80 | 2.60 |
| 19 | 30 | 150 | 450 | 80 | 2.70 |
| 20 | 29 | 80 | 425 | 75 | 2.67 |
| 21 | 3 | 150 | 425 | 75 | 2.70 |
| 22 | 28 | 80 | 425 | 85 | 3.01 |
| 23 | 25 | 150 | 425 | 85 | 2.60 |
| 24 | 10 | 115 | 400 | 75 | 2.45 |
| 25 | 17 | 115 | 450 | 75 | 2.23 |
| 26 | 18 | 115 | 400 | 85 | 2.18 |
| 27 | 20 | 115 | 450 | 85 | 2.98 |
| 28 | 2 | 115 | 425 | 80 | 2.57 |
| 29 | 23 | 115 | 425 | 80 | 2.60 |
| 30 | 9 | 115 | 425 | 80 | 2.55 |

โดยในการคิดของเสียจะคิดจาก

$$\% \text{ ของเสียฟองอากาศ} = (\text{ช่องพลาสติกที่เกิดฟองอากาศ} / \text{ช่องพลาสติกทั้งหมด}) \times 100$$

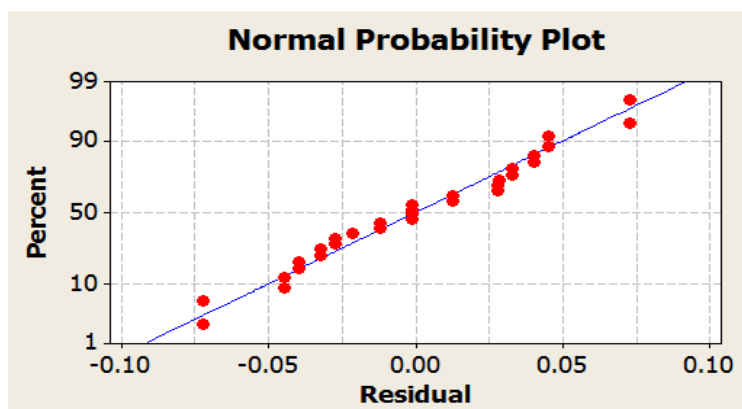
1 ม้วน เท่ากับ 2000 ช่อง (1 ม้วน เท่ากับ 10 กิโลกรัม)

4.1.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของกระบวนการทราย

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ จากการทดลองของกระบวนการทราย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและเชื่อถือได้ของข้อมูล โดยพิจารณาในเรื่องของการกระจายตัวแบบปกติ ความอิสระของข้อมูลและความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูลโดยพิจารณาดังนี้

1. การทดสอบการกระจายแบบปกติ (Normality)

นำ Residual ของข้อมูลมาพล็อตกราฟเพื่อตรวจสอบการกระจาย ของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกราฟที่ได้จากการพล็อตมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือประมาณเกือบเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ Normal Probability Plot ของข้อมูลของเสียฟองอากาศ ดังภาพที่ 4.1 จากภาพที่ 4.1 กราฟที่ได้จากการพล็อตข้อมูลของเสียฟองอากาศมีลักษณะประมาณเกือบเป็นเส้นตรง และค่า R-Sq มีค่าสูงแสดงว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้เมื่อข้อมูลมีการกระจายแบบปกติจึงสามารถอธิบายโดยใช้ตามสมมติฐานและตามทฤษฎีต่างๆทางสถิติได้

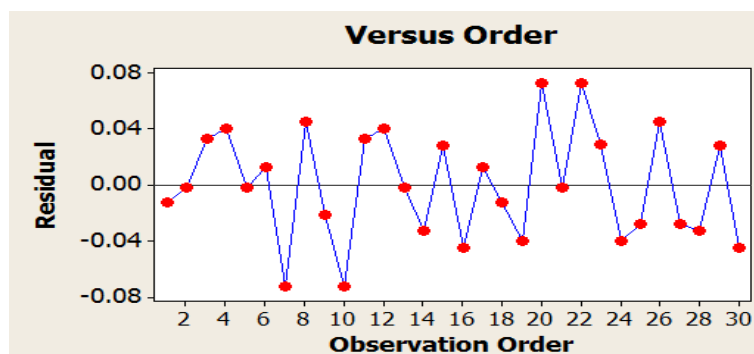


S = 0.0472670 R-Sq = 97.24% R-Sq(adj) = 96.00%

ภาพที่ 4.1 Normal Probability Plot ของข้อมูลของเสียฟองอากาศ

2. การทดสอบความเป็นอิสระแก่กัน

นำ Residual ของข้อมูลของเสียฟองอากาศพล็อตกับลำดับการทดลองเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่าง Residual โดยความสัมพันธ์ของ Residual ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือการจัดกระจาย แสดงว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังภาพที่ 4.2 นั้นหมายถึงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการเก็บข้อมูลจะไม่ส่งผลต่อการทดลองถัดไปหรือจะไม่ได้รับผลจากการทดลองที่ผ่านมาทำให้เกิดความน่าเชื่อถือในผลการทดลองและพบว่ากรณีที่ข้อมูลเป็นอิสระต่อกันจะทำให้สามารถเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะที่สนใจศึกษาเท่านั้นได้เพราะในแต่ละครั้งของการทำการทดลองไม่มีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งกันและกันหรือไม่การทดลองผิดพลาด สามารถทำการทดลองใหม่ได้โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการทดลองในครั้งถัดๆไป

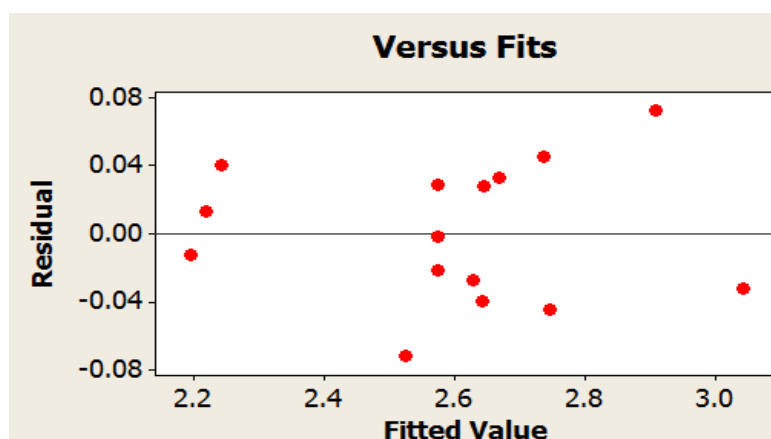


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ Residual ของข้อมูลของเสียฟองอากาศกับลำดับการทดลอง

จากรูปจะเห็นว่ากราฟของ Residual ไม่มีรูปแบบแน่นอนหรือมีการกระจาย แสดงว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูล

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการพล็อต Residual และ Fit value ถ้าความสัมพันธ์ของ Residual ไม่มีรูปแบบแน่นอนหรือกระจาย แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ความสัมพันธ์ Residual ของค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตสำหรับ ของเสียฟองอากาศ



ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ Residual ของค่าส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตสำหรับค่าของเสียฟองอากาศ

จากภาพที่ 4.3 จากการพิจารณาค่า Residual และ Fit value พบว่า กราฟไม่มีลักษณะของการลู่เข้าหรือลู่ออก และไม่มีรูปแบบปรากฏให้เห็น แสดงว่า ข้อมูลมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งการที่ข้อมูลมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอทำให้คาดเดาได้ว่าปัจจัยที่เลือกมาในการทดลองเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตอย่างแท้จริงเพราะเมื่อทำการทดลองที่เงื่อนไข

ต่างๆผลตอบสนองที่ได้ก็มีความแตกต่างกันไปตามที่ได้เปลี่ยนเงื่อนไขการผลิต นั่นหมายความว่าไม่มีปัจจัยหนึ่งปัจจัยใดที่เลือกมาในการทดลองที่ไม่ส่งผลเลยต่อการกระบวนการผลิต

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิธีการวิเคราะห์ค่า P

เพื่อเป็นการทดสอบว่าปัจจัยในการทดลอง เช่น แรงดึงพลาสติก อุณหภูมิเตาอบ ความเร็วลูกกลิ้ง เป็นต้น มีผลต่อผลการตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของงานคราย

1. วิเคราะห์จาก Regression Coefficients for Bu โดยใช้การวิเคราะห์การตอบสนองเชิงพื้นที่ในการวิเคราะห์หาค่า P ของปัจจัยต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือค่า P น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบต่อของเสียฟองอากาศทั้งหมดยกเว้นอุณหภูมิของเตาอบ (Oven temperature) กับอุณหภูมิของเตาอบ (Oven temperature) เนื่องจากมีค่า P คือ 0.227 ในขณะที่ค่าอื่นๆมีค่า P คือ 0.000 ซึ่งสาเหตุที่ปัจจัยด้านอุณหภูมิของเตาอบเมื่อพิจารณาร่วมกันกับอุณหภูมิของเตาอบแล้ว พบว่าไม่ส่งผลต่อผลการตอบสนอง อุณหภูมิที่ได้มีการแนะนำให้ใช้ในคู่มือของเครื่องครายนั้นเป็นอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมกับพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน เป็นต้น ดังนั้นแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิก็พบว่ายังเป็นช่วงที่พลาสติคยังคงรักษาคุณสมบัติได้เช่นเดิม จึงไม่ส่งผลต่อการเกิดของเสียฟองอากาศมากนัก

ตารางที่ 4.3 แสดงผลจากการวิเคราะห์ได้จาก Regression Coefficients for Bu

| ปัจจัย | Coef. | SE Coef. | T | P |
|-------------------------------------|----------|----------|---------|-------|
| Constant | 2.57167 | 0.01930 | 133.270 | 0.000 |
| Roller speed | -0.09750 | 0.01182 | -8.251 | 0.000 |
| Tension force | 0.10250 | 0.01182 | 8.674 | 0.000 |
| Oven temperature | 0.09000 | 0.01182 | 7.616 | 0.000 |
| Roller speed * Roller speed | 0.15167 | 0.01739 | 8.720 | 0.000 |
| Tension force * Tension force | -0.13333 | 0.01739 | -7.666 | 0.000 |
| Oven temperature * Oven temperature | 0.02167 | 0.017309 | 1.246 | 0.227 |
| Roller speed * Tension force | 0.15000 | 0.01671 | 8.976 | 0.000 |
| Roller speed * Oven temperature | -0.11000 | 0.01671 | -6.582 | 0.000 |
| Oven temperature * Tension force | | 0.25500 | 0.01671 | 0.000 |

จากตารางที่ 4.3 เมื่อวิเคราะห์จากค่า P ของแต่ละเงื่อนไขกระบวนการครายสามารถสรุปได้ดัง
ตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า P ที่วิเคราะห์ได้จาก Regression Coefficients for Bu

| ปัจจัย | ค่า P |
|-------------------------------------|-------|
| Constant | 0.000 |
| Roller speed | 0.000 |
| Tension force | 0.000 |
| Oven temperature | 0.000 |
| Roller speed * Roller speed | 0.000 |
| Tension force * Tension force | 0.000 |
| Oven temperature * Oven temperature | 0.227 |
| Roller speed * Tension force | 0.000 |
| Roller speed * Oven temperature | 0.000 |
| Oven temperature * Tension force | 0.000 |

จากตารางที่ 4.4 สามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. ผลของความเร็วลูกกลิ้งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05
2. ผลของแรงดึงพลาสติกส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05
3. ผลของอุณหภูมิเตาอบส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05
4. ผลของอันตรกิริยาระหว่างความเร็วลูกกลิ้งกับความเร็วลูกกลิ้งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05
5. ผลของอันตรกิริยาระหว่างแรงดึงพลาสติกกับแรงดึงพลาสติกส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05
6. ผลของอันตรกิริยาระหว่างความเร็วลูกกลิ้งกับแรงดึงพลาสติกส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05
7. ผลของอันตรกิริยาระหว่างความเร็วลูกกลิ้งกับอุณหภูมิของเตาอบส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05

8. ผลของอันตรกิริยาระหว่างอุณหภูมิเตาอบกับแรงดึงพลาสติกส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนอง (ของเสียฟองอากาศ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % คือ ค่า P น้อยกว่า 0.05

4.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยในกระบวนการครายต่อของเสียฟองอากาศ

เมื่อทำการแยกพิจารณาที่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียฟองอากาศในกระบวนการครายแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 – 4.7

จากตารางที่ 4.5 ผลของของเสียฟองอากาศที่ความเร็วลูกกลิ้งต่างกัน โดยผลของความเร็วลูกกลิ้งต่อของเสียฟองอากาศในกระบวนการครายพบว่าของเสียฟองอากาศจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมีค่ามากขึ้นเนื่องจากฟองอากาศจะถูกไล่ออกมา จากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสามารถนำไป ชักกับกระบวนการผลิตอื่นที่มีลักษณะคล้ายกันทำให้พนักงานสามารถลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนทำการผลิตลงได้ซึ่งนั่นคือประสิทธิภาพในการผลิต ที่เพิ่มมากขึ้นและนอกจากนี้ยังสามารถทำให้พนักงานไม่ต้องทำหน้าที่หลายอย่างในเวลาเดียวกันเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

ตารางที่ 4.5 ผลของของเสียฟองอากาศที่ความเร็วลูกกลิ้งต่างกัน

| เงื่อนไขการผลิต | | | ของเสียฟองอากาศ (เปอร์เซ็นต์) |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| ความเร็วลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 80 | 425 | 85 | 3.01 |
| 150 | 425 | 85 | 2.60 |

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าความเร็วลูกกลิ้งที่มากขึ้นจะทำให้ของเสียฟองอากาศลดลง ทั้งนี้การทดลองดังกล่าวทำการทดลองที่แรงดึงพลาสติก 425 นิวตันและอุณหภูมิของเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.6 ผลของของเสียฟองอากาศที่ แรงดึงพลาสติกต่างกัน โดย ผลของแรงดึงพลาสติกต่อของเสียฟองอากาศในกระบวนการคราย พบว่าเมื่อพลาสติกตึงเกินไปเนื่องจากแรงดึงพลาสติกที่มากจะส่งผลให้พลาสติกเกิดการขยายและหดตัวเกิดของเสียฟองอากาศที่มาก ซึ่งนั่นคือเมื่อพนักงานจะมีการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนจะทำการผลิตก็สามารถทำนายถึงแนวโน้มของค่าที่เหมาะสมที่จะใช้ ซึ่งพบว่าอาจจะนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตที่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

เช่น พลาสติกที่มีการทนต่อความร้อนและอุณหภูมิในช่วงเดียวกัน หรือในความเร็วรอบลู กกลิ้งที่เท่ากัน เป็นต้น

ตารางที่ 4.6 ผลของของเสียฟองอากาศที่แรงดึงพลาสติกต่างกัน

| เงื่อนไขการผลิต | | | ของเสียฟองอากาศ (เปอร์เซ็นต์) |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| ความเร็วลูกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 115 | 400 | 85 | 2.18 |
| 115 | 450 | 85 | 2.98 |

จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าแรงดึงพลาสติกที่ลดลงจะทำให้ของเสียฟองอากาศลดลงทั้งนี้การทดลองดังกล่าวทำการทดลองที่ความเร็วลูกลิ้ง 115 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิของเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.7 ผลของของเสียฟองอากาศที่อุณหภูมิเตาอบต่างกัน โดยผลของอุณหภูมิเตาอบต่อของเสียฟองอากาศในกระบวนการคราย พบว่าเมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวทำละลายสามารถระเหยได้ดีแผ่นพลาสติกมีการเชื่อมติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ พบว่าเมื่อความเร็วลูกลิ้งมากขึ้นจะทำให้เกิดของเสียฟองอากาศลดลง ซึ่งเป็นจุดประสงค์ในการทดลองครั้งนี้ และเมื่อของเสียฟองอากาศที่ลดลงจะส่งผลให้พนักงานลดเวลาที่ปรับตั้งเครื่องจักรได้อีกด้วย

ตารางที่ 4.7 ผลของของเสียฟองอากาศที่อุณหภูมิเตาอบต่างกัน

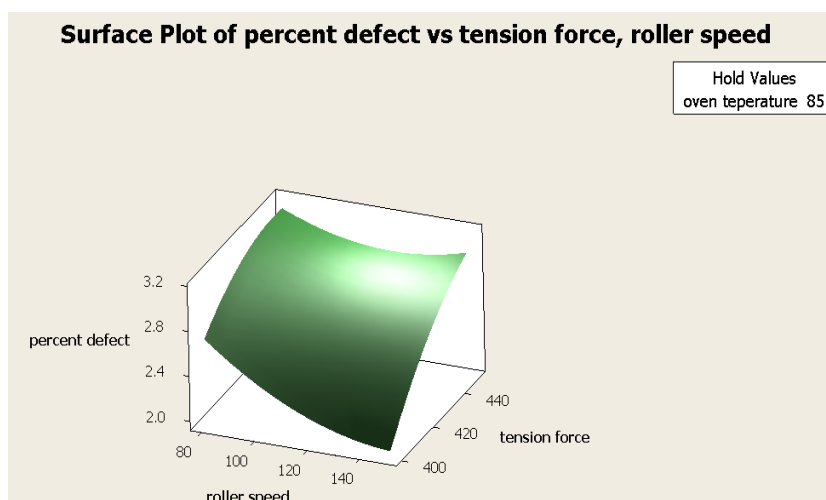
| เงื่อนไขการผลิต | | | ของเสียฟองอากาศ (เปอร์เซ็นต์) |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| ความเร็วลูกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิเตาอบ (องศาเซลเซียส) | |
| 115 | 400 | 75 | 2.45 |
| 115 | 400 | 85 | 2.18 |

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าแรงดึงพลาสติกที่ลดลงจะทำให้ของเสียฟองอากาศลดลงทั้งนี้การทดลองดังกล่าวทำการทดลองที่ความเร็วลูกลิ้ง 115 รอบต่อนาทีและอุณหภูมิของเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

สรุปคือ เนื่องจากเมื่อพลาสติกมีความตึงฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะไม่ถูกเก็บไว้บนผลิตภัณฑ์ และหากแรงตึงพลาสติกที่มากจะส่งผลให้พลาสติกเกิดการขยายและหดตัวเกิดของเสียฟองอากาศที่มาก ในขณะที่เดียวกัน เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวทำละลายสามารถระเหยได้ดีแผ่นพลาสติกมีการเชื่อมติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ นั่นเป็นเพราะตัวทำละลายที่ใช้เป็นแคสสารที่ทำให้กาวมีการกระจายตัวที่ดีขึ้นแต่ไม่มีผลต่อการยึดเกาะดังนั้นควรมีการไล่ตัวทำละลายออกโดยใช้อุณหภูมิของเตาอบที่เหมาะสม

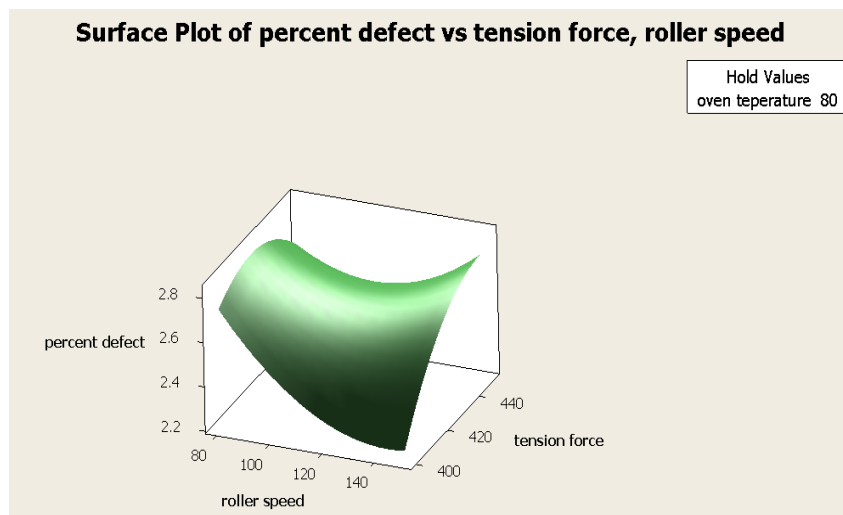
4.4 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยในกระบวนการครายต่อของเสียฟองอากาศโดย พื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ

เนื่องจากการวิเคราะห์โดยใช้พื้นผิวผลตอบที่แสดงผลในรูปแบบ surface plot และ contour plot จะให้ความสัมพันธ์ในรูปแบบสามมิติในความสัมพันธ์กับของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้นซึ่งจะทำให้อธิบายความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการครายและของเสียฟองอากาศได้อย่างชัดเจน โดยจากภาพที่ 4.4 แสดงพื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ (Percent defect) กับความเร็วลูกกลิ้ง (Roller speed) และแรงตึงพลาสติก (Tension force) ที่อุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียสแสดงให้เห็นว่าของเสียฟองอากาศจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมีค่ามากขึ้นเนื่องจากฟองอากาศจะถูกไล่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแนวโน้มของของเสียฟองอากาศจะมีค่ามากขึ้นเมื่อแรงตึงพลาสติกมีค่ามากขึ้น เนื่องจากจะทำให้พลาสติกมีการยึดและหดตัวที่เร็วเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและที่มุมล่างขวาของรูปจะเป็นตำแหน่งที่มีของเสียฟองอากาศน้อยที่สุดคือความเร็วลูกกลิ้งประมาณ 150 รอบต่อนาทีและแรงตึงพลาสติกประมาณ 400 นิวตัน



ภาพที่ 4.4 พื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ

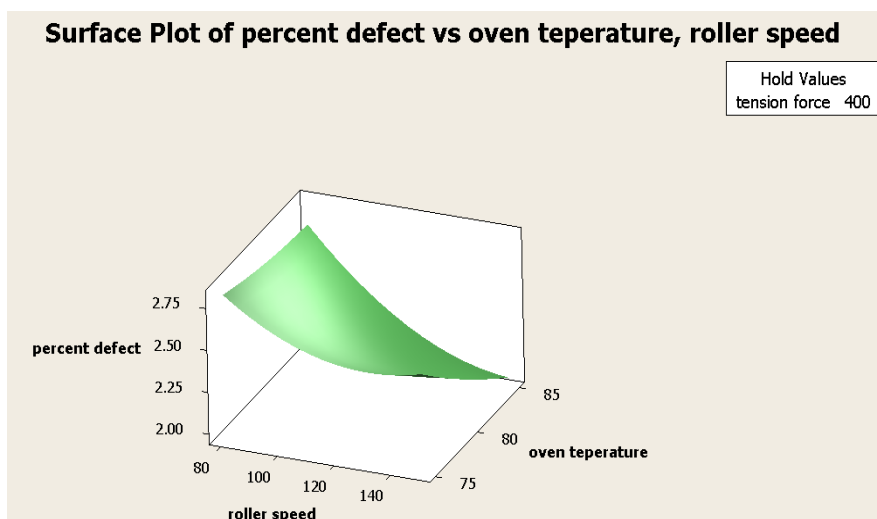
จากภาพที่ 4.5 แสดงพื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ (Percent defect) กับความเร็วลูกกลิ้ง(Roller speed) และแรงดึงพลาสติก (Tension force) ที่อุณหภูมิเตาอบ 80 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าของเสียฟองอากาศจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมีค่ามากขึ้น และแนวโน้มของของเสียฟองอากาศจะมีค่ามากขึ้นเมื่อแรงดึงพลาสติกมีค่ามากเช่นเดียวกับรูปที่ 4.5 และจากรูปพบว่าเมื่อความเร็วลูกกลิ้งประมาณ 100 รอบต่อนาทีและแรงดึงพลาสติกที่ประมาณ 420 นิวตันของเสียฟองอากาศ กลับมีการลดลงเนื่องจากความเร็วลูกกลิ้งที่น้อยเกินไปการแนบสนิทระหว่างพลาสติกเกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควรแม้แรงดึงพลาสติกจะมีค่ามากเนื่องจากแรงดึงพลาสติกเป็นแรงดึงที่เกิดในแนวขวางซึ่งส่งผลต่อการแนบสัมผัสของพลาสติกที่ค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 4.5 แสดงพื้นผิวผลตอบระหว่างความเร็วรอบของลูกกลิ้งและแรงดึงพลาสติกที่อุณหภูมิของเตาอบ 80 องศาเซลเซียส

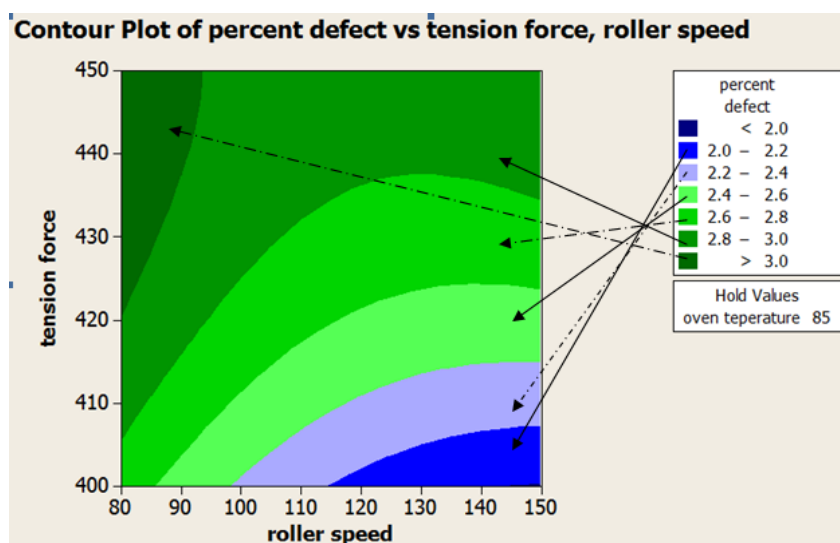
จากภาพที่ 4.6 แสดงพื้นผิวผลตอบของของเสียฟองอากาศ (Percent defect) กับความเร็วลูกกลิ้ง(Roller speed) และอุณหภูมิของเตาอบ (Oven Temperature) ที่แรงดึงพลาสติก 400 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าของเสียฟองอากาศจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วลูกกลิ้งมีค่ามากขึ้นเนื่องจากฟองอากาศจะถูกไล่ออกมาจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในขณะที่เมื่ออุณหภูมิของเตาอบมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลงเนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวทำละลายสามารถระเหยได้ดีแผ่นพลาสติกมีการเชื่อมติดกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากรูปพบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 85 องศาเซลเซียสที่เตาอบ ความเร็วลูกกลิ้ง 100 รอบต่อนาที ของเสียพลาสติกกลับมีการเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วลูกกลิ้งที่ช้าเกินไปในขณะที่อุณหภูมิเตาอบสูงจะทำให้พลาสติก

มีการอ่อนตัวได้ง่ายแต่ในขณะที่ความเร็วลูกกลิ้งที่เข้าการประกบกันเกิดขึ้นไม่ดีเท่าที่ควรทำให้พลาสติกที่กำลังอ่อนตัวเกิดการหดตัวเมื่อผ่านลูกกลิ้งไปจึงเกิดของเสียที่มาก



ภาพที่ 4.6 แสดงพื้นผิวผลตอบระหว่างความเร็วรอบของลูกกลิ้งและอุณหภูมิของเตาอบที่แรงดึงพลาสติก 400 นิวตัน

จากภาพที่ 4.7 แสดงพื้นผิวผลตอบแบบโครรงว่าง (Contour plot) ของของเสียฟองอากาศ (Percent defect) ความเร็วลูกกลิ้ง (Roller speed) และแรงดึงพลาสติก (Tension force) อุณหภูมิของเตาอบ (Oven Temperature) 85 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าของเสียฟองอากาศจะมีแนวโน้มลดลงคือประมาณ 2.0 – 2.2 เปอร์เซ็นต์



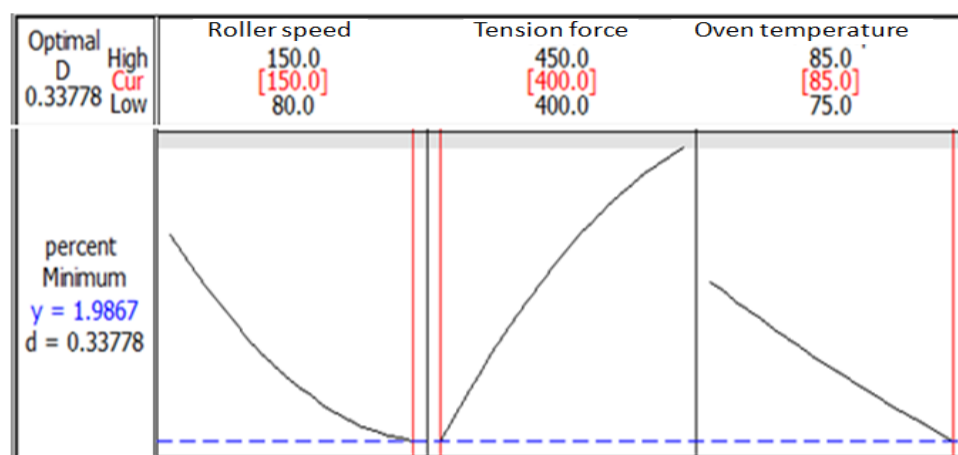
ภาพที่ 4.7 รูปพื้นผิวผลตอบแบบโครรงว่างของเสียฟองอากาศ

เมื่อความเร็วลูกกลิ้งมีค่ามากขึ้นเนื่องจากฟองอากาศจะถูกไล่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และแนวโน้มของของเสียฟองอากาศจะมีค่ามากขึ้นเมื่อแรงดึงพลาสติกมีค่ามากขึ้นเนื่องจากจะทำให้พลาสติกมีการยืดและหดตัวที่เร็วเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ได้ง่าย เมื่อทราบผลของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตแล้วจึงทำการหาปัจจัยในกระบวนการผลิตที่เหมาะสมซึ่งเป็นจุดประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้

4.5 การหาสถานะที่เหมาะสม

เมื่อทราบแล้วว่าแต่ละปัจจัยส่งผลอย่างไรที่มีนัยสำคัญอย่างไรต่อของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้นจากนั้นจะทำการหาเงื่อนไขกระบวนการครายที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดของเสียฟองอากาศที่น้อยที่สุดซึ่งเป็นจุดประสงค์หนึ่งของการวิจัยครั้งนี้ โดยการหาเงื่อนไขกระบวนการครายที่เหมาะสมจะใช้การวิเคราะห์การตอบสนองเชิงพื้นผิว สามารถช่วยในการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียฟองอากาศ โดยจะพิจารณาที่ผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนอง Bu เป็นหลัก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ควรจะเป็นค่าที่ต่ำที่สุด เนื่องจากเราต้องการของเสียฟองอากาศน้อยที่สุด

จากภาพที่ 4.8 เป็นผลจากการวิเคราะห์การตอบสนองเชิงพื้นผิวเพื่อให้ได้กระบวนการครายที่เหมาะสมซึ่งแสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขการครายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองคือ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตันและอุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.8 สถานะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการคราย

ซึ่งจากกรณีดังกล่าวพบว่าค่าที่เหมาะสมของความเร็วลูกกลิ้งและอุณหภูมิเตาอบพบว่าเป็นค่าบนสุดของการทดลองและค่าแรงดึงพลาสติกเป็นค่าต่ำสุดของการทดลองซึ่งหากพิจารณาเช่นนี้พบว่าหากมีการขยายค่าการทดลองดังกล่าวให้มากขึ้นหรือลดลงจะสามารถได้ค่าของเสียที่มาก

เนื่องจากในกระบวนการของการเลือกปัจจัยในการทดลองเพื่อให้ได้ระดับต่ำ กลางและสูงนั้น ได้นำข้อมูลที่ได้มีการทดลองความเร็วลูกกลิ้งและอุณหภูมิเดอบที่สูงขึ้นและทำให้แรงดึงพลาสติกที่ต่ำลง ซึ่งพบว่าให้ของเสียฟองอากาศในปริมาณที่มากกว่าที่ได้จากการทดลองตามเงื่อนไขกระบวนการครายที่เหมาะสมดังกล่าว

จากตารางที่ 4.8 เป็นผลจากการ วิเคราะห์ สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการครายซึ่งของเสียฟองอากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการการใช้เงื่อนไขในการทดลองดังกล่าวคือ 1.98667 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเมื่อทำการทดลองในกระบวนการผลิตจริง

ตารางที่ 4.8 แสดงผลจากการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการคราย

| Goal | Lower | Target | Upper | Weight | Import |
|---|-------|--------|-------|--------|--------|
| percent defect Minimum | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 |
| Global Solution | | | | | |
| roller speed = 150 | | | | | |
| tension force = 400 | | | | | |
| oven temperature = 85 | | | | | |
| Predicted Responses percent defe. = 1.98667 | | | | | |
| desirability = 0.337778 | | | | | |
| Composite Desirability = 0.337778 | | | | | |

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ถึงเงื่อนไขกระบวนการครายที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.9 เพื่อให้สามารถให้ทางโรงงานสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้จริงตามที่ได้ทำการทดลองดังกล่าว

ตารางที่ 4.9 สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในกระบวนการคราย

| ปัจจัย | สัญลักษณ์ | ค่าที่เหมาะสม |
|-----------------------------------|-----------|---------------|
| อุณหภูมิในการอบ (องศาเซลเซียส) | T | 85 |
| ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (รอบ/นาที) | R | 150 |
| แรงดึงพลาสติก (นิวตัน) | F | 400 |

จากตารางที่ 4.10 เป็นผลของการเกิดของเสียฟองอากาศที่สภาวะเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม เมื่อนำคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แสดงของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้นเทียบกับที่ได้จากการวิเคราะห์

ผลตอบจะแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 พบว่าของเสียฟองอากาศเกิดขึ้น 2.1571 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่ค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้คือ 1.98667 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเมื่อเทียบกับช่วงที่ผ่านมาพบว่ามีค่าที่ลดลงดังแสดงในผลการทดลองในลำดับถัดไป

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การเกิดของเสียฟองอากาศที่สภาวะเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสม

| กระบวนการคราย | | | ของเสียฟองอากาศ (Bu) | | | | การวิเคราะห์ ผลตอบ |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------|---------------|--------|-----------------------|
| ความเร็ว ลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที) | แรงดึง พลาสติก (นิวตัน) | อุณหภูมิ เตาอบ(องศา เซลเซียส) | ที่เกิดจริง (เปอร์เซ็นต์) | | | | |
| | | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | |
| 150 | 400 | 85 | 2.1802 | 2.1901 | 2.1011 | 2.1571 | 1.98667 |

จากตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การเกิดของเสียฟองอากาศที่สภาวะเงื่อนไขการผลิตที่เหมาะสมพบว่ามีค่าลดลงเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตที่ผ่านมาที่ไม่ทราบเงื่อนไขการผลิตและมีการปรับตั้งค่าแปรเปลี่ยนไปจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมทำให้เกิดของเสียชนิดต่างๆรวมถึงของเสียฟองอากาศเกิดขึ้นซึ่งโดยสรุปแล้วปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเทียบกับที่สามารถลดลงได้แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดของเสียฟองอากาศที่ลดลง

| การทดลอง | เปอร์เซ็นต์ที่เกิดขึ้น |
|------------------------|------------------------|
| ก่อนการทดลอง | 6.1758% |
| หลังการทดลอง | 2.1571% |
| ค่าน้อยสุดที่เป็นไปได้ | 1.9866% |
| เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงได้ | 65.07% |

จากตารางที่ 4.11 เมื่อคิดเปอร์เซ็นต์ของเสียฟองอากาศที่ลดลงคือ 65.07 เปอร์เซ็นต์ซึ่งคิดเป็นทั้งสิ้น 0.4018 กิโลกรัมต่อม้วน จากเดิม 0.6176 กิโลกรัมต่อม้วน (เมื่อ 1 ม้วนเท่ากับ 10 กิโลกรัม และ 1 กิโลกรัมคิดเป็น 200 ชองพลาสติก) หรือลดได้จากเดิมประมาณ 80 กิโลกรัมต่อเดือน(คิดจากกำลังการผลิตเดือนละ 200 ม้วนต่อเดือน)

4.6 การตรวจสอบสมมติฐาน

เพื่อทำการทดสอบว่าการลดลงของของเสียฟองอากาศมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และในการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งพบว่าการเก็บข้อมูลจากจำนวนช่องต่อการผลิต 900 ช่องใน 1 ครั้ง ซึ่งกล่าวได้ว่าข้อมูลมีแนวโน้มสู่การกระจายตัวแบบปกติ

4.6.1 การตรวจสอบสมมติฐานการลดลงของสัดส่วนของเสียฟองอากาศ

$$H_0 : P_1 = P_2$$

$$H_1 : P_1 > P_2$$

เมื่อ P_1 คือ สัดส่วนของเสียฟองอากาศก่อนเปลี่ยนเงื่อนไขกระบวนการครายให้เหมาะสม

P_2 คือ สัดส่วนของเสียฟองอากาศหลังเปลี่ยนเงื่อนไขกระบวนการครายให้เหมาะสม

โดยการทดสอบสมมติฐานนี้เพื่อพิจารณาว่าหลังจากที่ได้มีการเปลี่ยนเงื่อนไขในกระบวนการครายซึ่งได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง แรงดึงพลาสติก และอุณหภูมิเตาอบแล้วจะส่งผลต่อการลดลงของสัดส่วนของเสียฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

| Test and confidence interval for Two proportions | | | |
|---|-----|-----|----------|
| Sample | X | N | Sample P |
| 1 | 180 | 900 | 0.20000 |
| 2 | 1 | 900 | 0.00022 |
| Estimate for P(1) – P(2) : -0.19978 | | | |
| 95% CI for P(1) – P(2) : (-1.0504120 , -0.0147014) | | | |
| Test for P(1)-P(2) = 0 (Vs not = 0) : Z = -4.74 P-Value = 0.000 | | | |

ภาพที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติตรวจสอบสมมติฐานการลดลงของสัดส่วนของเสียฟองอากาศ

โดยการทดลองแต่ละครั้งจะมีปริมาณช่องที่ผลิตในแต่ละครั้งคือ 900 ช่อง (N) และนับจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น (X) จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลงจาก 60/1000 เป็น 20/1000 และจากการตรวจสอบสมมติฐานการลดลงของสัดส่วนของเสียฟองอากาศเมื่อมีการใช้เงื่อนไขกระบวนการครายที่เหมาะสมแล้วพบว่า มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากค่า P มีค่าน้อยกว่า 0.05

สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากเมื่อมีการใช้อุณหภูมิเตาอบที่สูงขึ้นคือ ที่ 85 องศาเซลเซียสตัวทำละลายจะมีการระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่เดียวกันเมื่อความเร็วของลูกกลิ้งที่มากขึ้นซึ่งมีค่าประมาณ 150 รอบต่อนาทีจะทำให้พลาสติกมีความตึงแน่นและแนบ

สนิทได้เป็นอย่างดีแต่ในขณะที่หากแรงดึงพลาสติกมีค่ามากเกินไปจะทำให้พลาสติกเกิดการยืดและหดตัวที่เร็วทำให้เกิดของเสียเกิดขึ้นซึ่งแรงดึงพลาสติกที่เหมาะสมคือประมาณ 400 นิวตัน

4.6.2 การตรวจสอบสมมติฐานการลดลงของค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียฟองอากาศ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

เมื่อ σ_1^2 คือ ค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียฟองอากาศก่อนเปลี่ยนเงื่อนไขกระบวนการครายให้เหมาะสม

σ_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียฟองอากาศหลังเปลี่ยนเงื่อนไขกระบวนการครายให้เหมาะสม

โดยการทดสอบสมมติฐานนี้เพื่อพิจารณาว่าหลังจากที่ได้มีการเปลี่ยนเงื่อนไขกระบวนการครายซึ่งได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง แรงดึงพลาสติก และอุณหภูมิเตาอบแล้วจะส่งผลต่อการลดลงของค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เนื่องการลดลงของสัดส่วนของเสียควรมีการลดลงอย่างใกล้เคียงกัน ไม่มีการกระจายของค่าของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้น

| Test for equal Variances | | | | |
|--|----------|----------|-----|--------------|
| Test for equal Variances for Bu defects | | | | |
| ConFiv 95.00000 | | | | |
| Bonferroni confidence interval for standard deviations | | | | |
| Lower | Sigma | Upper | N | Factor level |
| 1.9041254 | 2.101214 | 2.510422 | 900 | improve |
| F test (Normal distribution) | | | | |
| Test statistic : 2.453 | | | | |
| P value : 0.000 | | | | |

ภาพที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติตรวจสอบสมมติฐานการลดลงของค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียฟองอากาศ

จากผลการทดลองพบว่าค่าความแปรปรวนของจำนวนของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลงจาก 1.21 เป็น 0.40 และจากการตรวจสอบสมมติฐานการลดลงของค่าความแปรปรวนของจำนวน

ของเสียฟองอากาศเมื่อมีการใช้เงื่อนไขกระบวนการทรายที่เหมาะสมแล้วพบว่า มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากค่า P มีค่าน้อยกว่า 0.05

สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากเมื่อมีการควบคุมเงื่อนไขในกระบวนการทรายที่เหมาะสมของเสียที่เกิดขึ้นนั้นจะมีปริมาณที่ลดลงและมีสัดส่วนที่คงที่โดยพบว่า อุณหภูมิเตาอบที่เหมาะสมคือเมื่อความเร็วของลูกกลิ้งที่มากขึ้นจะทำให้พลาสติกมีแรงดึงในแนวยาวที่ตึงแน่น โดยค่าที่ใช้คือประมาณ 150 รอบต่อนาทีแต่ในขณะที่หากแรงดึงพลาสติกมีค่ามากเกินไปจะทำให้พลาสติกเกิดการยืดและหดตัวที่เร็วทำให้เกิดของเสียเกิดขึ้นซึ่งแรงดึงพลาสติกที่เหมาะสมคือประมาณ 400 นิวตันในขณะที่ที่ 85 องศาเซลเซียสของเตาอบจะส่งผลต่อการใช้ในการเชื่อมติดนั้นคือตัวทำละลายจะมีการระเหยออกมาจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบ

เป็นการหาความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ของเสียฟองอากาศและเงื่อนไขในกระบวนการทรายซึ่งได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง แรงดึงพลาสติกและอุณหภูมิของเตาอบ เพื่อใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ในรูปของสมการกำลังสองโดยมีประโยชน์เพื่อให้พนักงานและผู้ศึกษาได้มีความเข้าใจมากขึ้นต่อความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการและของเสียที่เกิดขึ้น โดยความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบของเสียฟองอากาศ(Response) โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยวิเคราะห์จากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทุกตัว ที่มีผลต่อการเกิดฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้สัมประสิทธิ์ของปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบต่างๆกัน

| ปัจจัย | ผลตอบสนอง |
|----------------------------------|--------------|
| Constant | 40.3160 |
| Roller speed | -0.0538333 |
| Tension force | 0.00251905 |
| Oven temperature | -0.915381 |
| Roller speed * Roller speed | 0.000123810 |
| Tension force * Tension force | -2.13333E-04 |
| Roller speed * Tension force | 0.000171429 |
| Roller speed * Oven temperature | -6.28571E-04 |
| Oven temperature * Tension force | 0.00204000 |

สมการแสดงความสัมพันธ์ที่มีผลต่อของเสียฟองอากาศแสดงด้วยฟังก์ชันกำลังสองเพื่อใช้เป็นสมการทำนายการเกิดของเสียฟองอากาศ คือ

$$Bu = 40.316 - 0.053833R + 0.00251905F - 0.915381T + 0.00012381R^2 - 0.000213333F^2 + 0.000171429(R*F) - 0.000628571(R*T) + 0.00204(F*T)$$

เมื่อ T คืออุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

R คือความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (รอบต่อนาที)

F คือแรงดึงพลาสติก (นิวตัน)

จากตารางที่ 4.7 จะพบว่าเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ของเงื่อนไขการผลิตในกระบวนการครายจะส่งผลต่อสมการเพื่อใช้ทำนายของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้น นั่นคือหากเครื่องหมายเป็นลบจะส่งผลแบบผกผันคือเมื่อเพิ่มเงื่อนไขในกระบวนการผลิตจะทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศลดลง ในขณะที่หากเครื่องหมายเป็นบวกจะส่งผลแบบผันตรงกับการเกิดของเสียฟองอากาศนั่นคือเมื่อเพิ่มเงื่อนไขในกระบวนการผลิตจะทำให้ของเสียฟองอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบต่าง ๆ กัน

| ปัจจัย | ผลตอบสนอง | การให้ผลตอบ |
|----------------------------------|------------|-------------|
| ความเร็วลูกกลิ้ง (Roller speed) | -0.0538333 | แบบผกผัน |
| แรงดึงพลาสติก (Tension force) | 0.00251905 | แบบผันตรง |
| อุณหภูมิเตาอบ (Oven temperature) | -0.915381 | แบบผกผัน |

ซึ่งจากตารางที่ 4.13 ซึ่งแสดงเครื่องหมายของ สัมประสิทธิ์ของปัจจัย ที่มีผลต่อผลตอบต่าง ๆ กันก็พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าของกระบวนการครายที่เหมาะสมอีกด้วย เมื่อได้สมการที่ใช้ประมาณพื้นผิวผลตอบสนองด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย จะต้องมีการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบว่าสมการมีความเหมาะสมและถูกต้องหรือไม่ ดังต่อไปนี้

การตรวจสอบสมมติฐาน

1. ตรวจสอบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของสมการมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่ โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \text{All } \beta_i = 0$$

$$H1 : \text{At least one } \beta_i \neq 0$$

และใช้สถิติทดสอบ คือ $F = MSR/MSE$

จากตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 78.38 ซึ่งมีค่ามากกว่า $F_{0.05,9,20}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.39 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ของสมการไม่เท่ากับศูนย์ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ($P < 0.05$)

2. ตรวจสอบว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ตัวแบบมีความเหมาะสมกับข้อมูล

H_1 : ตัวแบบไม่ความเหมาะสมกับข้อมูล

และใช้สถิติทดสอบ คือ $F = MS_{LOF}/MS_{PE}$

จากตารางที่ 4.14 ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 1.64 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า $F_{0.05,3,17}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.20 นั่นคือไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถสรุปได้ว่าตัวแบบที่ได้มีความเหมาะสมกับข้อมูล

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับของเสียฟองอากาศ (Bu)

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
|----------------|----|---------|----------|----------|--------|-------|
| Regression | 9 | 1.57595 | 1.575947 | 0.175105 | 78.38 | 0.000 |
| Linear | 3 | 0.44980 | 0.449800 | 0.149933 | 67.11 | 0.000 |
| Square | 3 | 0.32915 | 0.329147 | 0.109716 | 49.11 | 0.000 |
| Interaction | 3 | 0.79700 | 0.797000 | 0.265667 | 118.91 | 0.000 |
| Residual Error | 20 | 0.04468 | 0.044683 | 0.002234 | | |
| Lack-of-Fit | 3 | 0.04340 | 0.043400 | 0.014467 | 1.64 | 0.210 |
| Pure Error | 17 | 0.00128 | 0.001283 | 0.000075 | | |
| Total | 29 | 1.62063 | 8.976 | | | |

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของของเสียฟองอากาศ ที่ได้ แสดงให้เห็นว่าสมการถดถอยกำลังสองมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าความเร็วลูกกลิ้ง แรงดึงพลาสติกและอุณหภูมิขึงเตาอบมีความสัมพันธ์กับของเสียฟองอากาศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

4.8 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองและสมการ

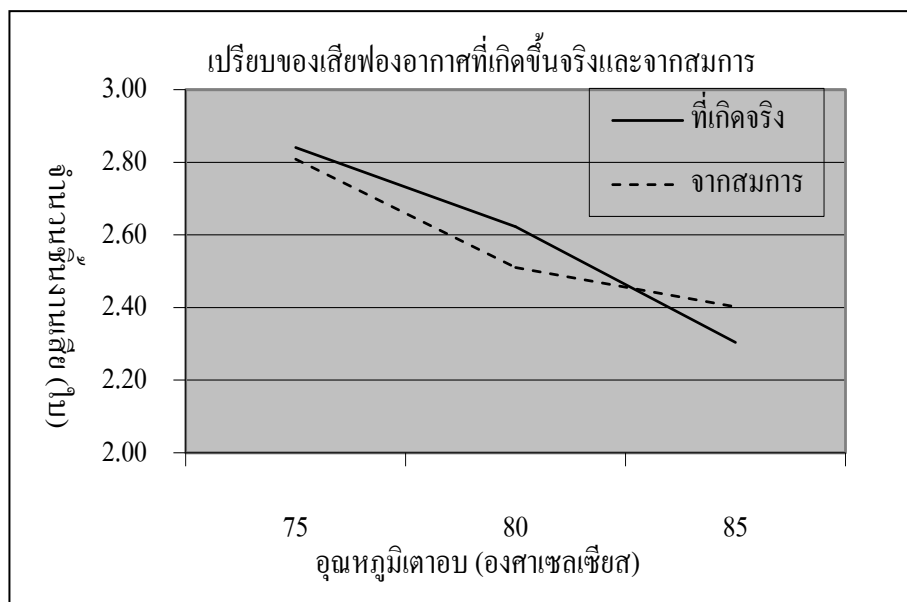
หลังจากได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากสมการที่ทำนายคือ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตันและอุณหภูมิเตาอบ 80 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ของเสียจากการทำนายด้วยสมการคือ 2.24 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการผลิตจริงให้ของเสียออกมา 2.19 เปอร์เซ็นต์

จากนั้นนำค่าปัจจัยทั้งสามที่ได้ไปทำการทดลอง ซึ่งทำการทดลองจำนวน 6 การทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของเสียฟองอากาศจากการทดลองเพื่อยืนยันผลในกระบวนการทราย

| การทดลองที่ | กระบวนการทราย | | | ของเสียฟองอากาศ (Bu) | | | จากการทำนาย | ความคลาดเคลื่อน(%) |
|-------------|---------------|-----|----|-------------------------------|------------|--------|-------------|--------------------|
| | R | F | T | ที่เกิดขึ้นจริง (เปอร์เซ็นต์) | | | | |
| | | | | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | เฉลี่ย | | |
| 1 | 80 | 400 | 75 | 2.9802 | 2.7016 | 2.8409 | 2.80845 | 1.53 |
| 2 | 115 | 425 | 80 | 2.7145 | 2.5301 | 2.6223 | 2.51003 | 4.28 |
| 3 | 150 | 450 | 85 | 2.2296 | 2.3772 | 2.3034 | 2.40186 | -4.27 |

จากตาราง 4.15 แสดงให้เห็นว่าของเสียที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิตจริงและที่ได้จากการทำนายจากสมการ พบว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อยเมื่อทำการทดลองยืนยัน 3 ครั้งซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมการทำนายการเกิดของเสียฟองอากาศสามารถนำไปใช้ในกระบวนการได้อย่างน่าเชื่อถือ



ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบ ของเสียฟองอากาศ ระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริง กับค่าที่ทำนายจากผลการทดลอง

จากตารางที่ 4.16 เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อยืนยันผลของ กระบวนการทรายเมื่อนำมาสร้างกราฟดังแสดงใน ภาพที่ 4.11 ก็สามารยืนยันได้ว่าสมการที่ใช้ทำนายปริมาณ องเสีย ฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกได้ค่าออกมาที่ใกล้เคียงกันมาก สามารถใช้ทำนายได้ในกระบวนการจริงที่มีการผลิตในแบบเดียวกัน ส่งผลให้โรงงานสามารถลดเวลาที่สูญเสียไปเพื่อหาค่าที่เหมาะสมก่อนเริ่มกระบวนการผลิตรวมทั้งลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษากระบวนการครายในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของของเสียฟองอากาศในพลาสติก กับเงื่อนไขของกระบวนการคราย โดยค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศ น้อยที่สุดคือความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตันและอุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ สรุปผลที่ได้จากการทดลองได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบแบบ Box-Behnken Design ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขกระบวนการครายกับปริมาณของเสียฟองอากาศที่เกิดขึ้นพร้อมยังสามารถหาเงื่อนไขกระบวนการครายที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศน้อยที่สุดได้ ในงานวิจัยครั้งนี้ยังใช้หาความสัมพันธ์ในรูปแบบ สมการกำลังสองเพื่อแสดง การเกิดของเสียฟองอากาศ โดยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียฟองอากาศคือ ความเร็วลูกกลิ้ง แรงดึงพลาสติก และอุณหภูมิเตาอบ

2. เงื่อนไขการ ครายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองคือ ความเร็วลูกกลิ้ง 150 รอบต่อนาที แรงดึงพลาสติก 400 นิวตันและอุณหภูมิเตาอบ 85 องศาเซลเซียส

3. สมการความสัมพันธ์ระหว่างของเสียฟองอากาศ (Bu) กับเงื่อนไขในกระบวนการผลิต ซึ่งได้แก่ ความเร็วลูกกลิ้ง (R) แรงดึงพลาสติก (T) และอุณหภูมิเตาอบ (F) คือ

$$Bu = 40.316 - 0.053833R + 0.00251905F - 0.915381T + 0.00012381R^2 - 0.00021333F^2 + 0.000171429(R*F) - 0.000628571(R*T) + 0.00204(F*T)$$

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การจัดเก็บข้อมูลในการผลิตยังไม่มีระบบที่ชัดเจนเช่น ควรเพิ่มการจัดเก็บในรูปแบบซอฟต์แวร์ เพื่อง่ายต่อการค้นหาและจัดเก็บ เป็นต้น

2. เครื่องครายที่ใช้ยังมีข้อจำกัดบางประการซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการผลิตเช่น การที่มีลูกกลิ้งเฉพาะในแนวยาวทำให้พลาสติกตั้งในแนวเดียวหากมีลูกกลิ้งในแนวด้านข้างหรือมีความ

ยาวที่เกินออกไปจะทำให้พลาสติกมีการตึงแน่นในแนวขวางทำให้การปิดประกบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. หากมีการเพิ่มค่าต่างๆในเงื่อนไขกระบวนการทรายควรพิจารณาจากขอบเขตที่ได้มีการแนะนำในคู่มือเครื่องจักรและการศึกษาวิจัยรวมถึงจากการเก็บสถิติของเสียที่เกิดขึ้นจากฝ่ายผลิตประกอบด้วย

5.3 อุปสรรคปัญหาในงานวิจัย

1. เนื่องจากการผลิตมีความไม่ต่อเนื่อง อาจมีการแทรกเข้ามาแบบเร่งด่วนซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องและความต่อเนื่องในการปฏิบัติงานของพนักงาน
2. พนักงานหน้าเครื่องทำหน้าที่หลายอย่างในเวลาเดียวกันเช่น ยกม้วนพลาสติก ปรับตั้งเครื่อง ตรวจสอบกาวที่ใช้ เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมการผลิต

5.4 ข้อจำกัดในงานวิจัย

ในการทดลองบางครั้งไม่สามารถกำหนดเงื่อนไขกระบวนการทรายได้ตามที่วางไว้เนื่องจากบางครั้งเกิดปัญหาในระหว่างการผลิต ทำให้มีการปรับแก้เงื่อนไขกระบวนการผลิตในระหว่างทำการผลิตในครั้งนั้นแต่พบในจำนวนครั้งที่น้อยเมื่อเทียบกับการทดลอง

รายการอ้างอิง

- [1] บรรณ เลง ศรีนิล. Plastic; plastic-materials and plastic welding. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2519.
- [2] จุมพล หนีมพานิช. ศักยภาพอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ , สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยสหวิทยาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.
- [3] สมชาติ อารยพิทยา. การสืบหาเงื่อนไขการตัดโลหะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการตัดแบบแห้ง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ , สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [4] เจริญ นาคะสรรค์. เทคโนโลยีพลาสติกเบื้องต้น . พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ฟอเพจปริ้นติ้ง , 2546.
- [5] นาดยา เอื้อพิทักษ์สกุล. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [6] R.J Asheley , M.A. Cochran . Adhesive in Packaging ,1995.
- [7] S.L.C. Ferreira. Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods . Analytica Chimica Acta , 2007.
- [8] Edward F. Hagan & Karl H. Dietz . Dry Film Lamination Process Effects of Lamination Parameters on Wrinkling and Dimensional Properties of Dry Film and Copper-Clad Laminate . DuPont Photopolymer & Electronic Materials Research Triangle Park NC.
- [9] V.N. Gaitonde et al..Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced plastic composites . journal of materials processing technology, 2008.
- [10] K. Palanikumar . Modeling and analysis for surface roughness in machining glass fibre reinforced plastics using response surface methodology . Materials and Design 28 , 2007.

- [11] Krebs et al., Film lamination process, United State Patent Application Publication , 2008.
- [12] Fickes . Liquid Lamination Process . United State Patent Application Publication , 2008.
- [13] Alain Rouyer , Le Mesnue Fuoque and Fresne Le plan. Methods of packaging an adhesive composition and corresponding package article . United State Patent Application Publication , 2008.
- [14] ชวลิต แสงสว่างดี.การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง ภูมิศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2550.
- [15] นาคยา เอื้อพิทักษ์สกุล. การปิดผนึกความร้อนของฟิล์มพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน.สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [16] Edward F. Hagan & Karl H. Dietz .Dry Film Lamination Process Effects of Lamination Parameters on Wrinkling and Dimensional Properties of Dry Film and Copper-Clad Laminate . DuPont Photopolymer & Electronic Materials Research Triangle Park NC.
- [17] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, พุทธิวุฒิ วสินสันต์, สวภักดิ์ กิจพิทยาฤทธิ์, ชาญณรงค์ รุ่งเรือง และ ดวงตา ละเอียดดี . การตรวจติดตามกระบวนการกัดแบบหัวบอลสำหรับอลูมิเนียมด้วยวิธีการตัดแบบลมเป่า แบบเปียก และแบบละออง โดยการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ , การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประเทศไทย, 2553.
- [18] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญและธีรยุทธ์ ยักษ์วี. การปรับปรุงคุณภาพของกระเบื้องปัสกิตโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง , คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย , 2552.

- [19] Somkiat T, Somchart A, Sirichan T. In-Process Monitoring and Prediction of Surface Roughness on CNC Turning by using Response Surface Analysis, Proceedings of the 36th International MATADOR Conference, 2010.
- [20] ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และจันทนา จันทโร. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2542.
- [21] ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.
- [22] นันทวัฒน์ นันยา. การลดคราบน้ำมันที่ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ด้วยเครื่องล้างไฮโดรคาร์บอนแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2553.
- [23] Le Mesnue Fuoque and Fresne Le plan. Methods of packaging an adhesive composition and corresponding package article. United State Patent Application Publication , 2008.
- [24] Channarong Rungruang and Somkiat Tangjitsicharoen. Investigation of dry cutting and mist cutting in ball end milling based on response surface analysis, Proceedings of the 40th International Conference on Computer & Industrial Engineering, 2010.
- [25] John L. Predicting LLDPE Blown Film Properties with Statistical Design of Experiments, Proceedings of the Polyolefins VII Conference, 1991.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาพแสดงเครื่องมือและสถานที่ทำการทดลอง



ภาพที่ 1 พลาสติกโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำและฟิล์มปิดประกบ



ภาพที่ 2 เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ



ภาพที่ 3 ฟิล์มไนลอนพอลิเอทิลีน รอการเข้ากระบวนการพิมพ์และดราย



ภาพที่ 4 เครื่องดราย (Drying Machine)



ภาพที่ 5 พนักงานนำม้วนพลาสติกใส่ในเครื่องดราย



ภาพที่ 6 เครื่องพิมพ์สี



ภาพที่ 7 การตรวจสอบสีโดยสายตาของพนักงาน



ภาพที่ 8 พนักงานตรวจสอบของเสียที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 9 เครื่องควบคุมเงื่อนไขการผลิตในกระบวนการทราย



ภาพที่ 10 แสดงเครื่องวัดและชั่ง



ภาพที่ 11 ตู้อบพลาสติก



ภาพที่ 12 ผลิตภัณฑ์ที่รอการตัดทำซอง



ภาพที่ 13 ผลิตภัณฑ์ที่รอการส่งไปยังลูกค้า

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการตรวจรับของเสียที่เกิดขึ้นและการจัดการของเสียในแผนกต่างๆ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างสรุปการรับสินค้าคืนประจำเดือนมกราคม พ.ศ. 2552

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่คัดได้ | จำนวนที่ สูญเสีย | สาเหตุที่คืน |
|--|------------------|-----------|-----------------|-------------|----------------|---------------------|---|
| 1/52.ซอง Friskies | 6/1/52 | 5101271 | บารุงไทย | 44,110 ใบ | - | 44110 | ข้อผิดพลาดหน้าซองไม่ตรงกับภาพ |
| 2./52ซองข้าว 5 กก. ตรากระต่ายทอง | 6/1/52 | 5101136 | โรงสีคูเป็งเส็ง | 5915 ใบ | - | 5915 | ลูกค้าต้องการงานม้วน |
| 3./52ซองข้าว 1 กก. ตรา MAMA GOLD | 6/1/52 | 5101458 | พรีเมี่ยมแพค | 15000 ใบ | - | 15000 | งานเรียงคำผิดพลาดสเปคจาก MAMA GOLD เป็น GOLD MAMA |
| | 6/1/52 | 5101380 | โควิท | 12 ม้วน | - | 72 | สีคล้ำไม่ตรงสเปค |
| 5./52 ซองวุ้นผลไม้ รวม NC 1000 กรัม | 8/1/52 | 5101381 | คุณขวัญทิพย์ | 14424 ใบ | 11401 | 3023 | ซองลอก |
| 6./52 ฟิล์มนมรสจืด นมโรงเรียน | 17/1/52 | - | วังน้ำเย็น | 51 กล่อง | 23 กล่อง | 196 | สีลาก,แกนเบี้ยว,รอนขกริด บนม้วน |

ตารางที่ 2 ตัวอย่างสรุปการรับสินค้าคืนประจำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

| ชื่องาน | วันที่รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่ตัดได้ | จำนวนที่สูญเสีย | สาเหตุที่คืน |
|---|--------------|-----------|-------------|-------------|----------------|-----------------|--------------------|
| ช่องแวกคัม 190*220 | 6/2/52 | 5200092 | แปซิฟิค | 1765 | - | 1765 | เม็ดฝุ่นสีดำ |
| ช่องแวกคัม 250*270 | - | 5101455 | - | 442 | - | 442 | - |
| ช่องแวกคัม 220*240 | - | 5101452 | - | 1253 | - | 1253 | - |
| ช่องแวกคัม | - | 5101107 | - | 173 | - | 173 | - |
| ม้วน B2S | 7/2/52 | 5200100 | ไซเบอร์พรีน | 28.9 กก. | 28.9 กก. | | กรอบไม่แน่นม้วนไหล |
| ช่องอาหาราซิน 90 WG พรอสิวร สีฟ้า | 12/2/52 | 5200120 | เอราวิณ | 10065 ใบ | 10065 | | ภาพเหลือง |
| ม้วน ENERGY BOOST รสหมู 1600 ม. | 16/2/52 | 5100553 | เอสไอพี | 9.89(1) | - | 9.89 | เสียสี |
| รวมสินค้าที่ลูกค้าส่งคืนมา 10 ครั้ง 6588 ใบ | | | | | | | |

ตารางที่ 3 ข้อมูลสินค้ารับคืนจากลูกค้าปี พ.ศ. 2552

| เดือน | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน | พฤษภาคม | มิถุนายน | กรกฎาคม | สิงหาคม | กันยายน | ตุลาคม | พฤศจิกายน | ธันวาคม | รวม |
|-------------------|--------|------------|--------|--------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|-----|
| จำนวน ครั้ง | 9 | 10 | 16 | 8 | 6 | 20 | 18 | 29 | 15 | 16 | 16 | 18 | 181 |
| คิดเป็น ร้อยละ | 4.97 | 5.52 | 8.84 | 4.42 | 3.31 | 11.05 | 9.94 | 16.02 | 8.29 | 8.84 | 8.84 | 9.94 | |

ตารางที่ 4 สรุปสาเหตุและจำนวนการรับคืน ปี พ.ศ. 2552

| แผนก | จำนวนครั้งที่รับคืน | สรุปสาเหตุที่ลูกค้าส่งสินค้าคืน | คิดเป็นร้อยละ |
|-----------|---------------------|---|---------------|
| เป่า | 7 | ฟิล์มสีคล้ำ, ล้างหัวทรายไม่สะอาดทำให้สีปนกันบนเนื้อฟิล์ม, ฟิล์มเป็นเม็ดเจลาโต, หนาบางไม่ได้ | 3.87 |
| พิมพ์ | 32 | สีลาก, ภาพเหลือง, สีคล้ำ, ขึ้นบล็อคผิวด | 17.68 |
| ทราย | 23 | ช่องลอก, ฟิล์มแยกชั้น, ทรายใส่ฟิล์มกลับด้าน | 12.71 |
| สลิตเตอร์ | 34 | แกนเป็นเหลี่ยม, แกนยาวกว่าเนื้อฟิล์ม, ม้วนไหลกรอไม่แน่น, รอยต่อเกิน | 18.78 |
| ตัดทำซอง | 54 | ซองแตก, ซิลข้างไม่เท่ากัน, ซองยับ, ซายถุงยาว, ก้นซองติด | 29.83 |
| อื่นๆ | 31 | งานเกินออร์เดอร์, แกนเบี้ยว, ทำบล็อคผิวด, แก้ไขงานให้ลูกค้าเช่น เปลี่ยนทิศทางการเข้าม้วน | 17.13 |

ตารางที่ 5 สรุปการรับสินค้าคืนปี พ.ศ. 2553

| รายการ | | ประจำเดือน | | | |
|--------------|----------------------|------------|------------|--------|--------|
| | | มกราคม | กุมภาพันธ์ | มีนาคม | เมษายน |
| ประเภทงานคืน | | | | | |
| งานชอง | | 11 | 7 | 4 | 17 |
| งานม้วน | | 6 | 12 | 9 | 7 |
| งานชอง | เกิดจากกระบวนการผลิต | 7 | 5 | 3 | 9 |
| | -เป่า | - | - | - | - |
| | -พิมพ์ | - | 1 | 1 | 1 |
| | -ดราย | - | 1 | - | 1 |
| | -สลิต | - | - | - | - |
| | -ทำชอง | 7 | 3 | 2 | 7 |
| | เกิดจากสาเหตุอื่นๆ | 4 | 2 | 1 | 8 |

ตารางที่ 6 ตัวอย่างสรุปการรับสินค้าคืนประจำเดือนมกราคม พ.ศ. 2553

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่ตัดได้ | จำนวนที่ สูญเสียบ | สาเหตุที่คืน |
|------------------|------------------|-----------|-------------------------------|-------------|----------------|----------------------|--------------------------------|
| สวนจิตร | 4/1/2552 | 5201120 | ถุงข้าว 5 กก. สวนจิตรลดดา | 469.50 กก. | 451 กก. | 19 | ชิลกันไม่ติด-ทำซอง |
| สวนจิตร | 13/1/2553 | 5201316 | ถุงข้าว 5 กก. สวนจิตรลดดา | 23 กก. | 23 กก. | - | รั่ว-ทำซอง |
| ทุ่งกุลาแคร์รี่ | 13/1/2553 | 5201670 | ฟิล์มนมรสจืด (นมโรงเรียน) | 63.50 กก. | 62.42 กก. | 1.08 | แกนเบี้ยว-อื่นๆ |
| | - | - | - | (5 กล่อง) | (5 กล่อง) | - | - |
| ทีเคดับบลิว | 9/1/2553 | 5201289 | ซองกึ่ง OCEAN ROYALE 340 g | 10,037 ใบ | 10,037 ใบ | - | เกิน ORDER-อื่นๆ |
| เนเจอร์เบสฟู๊ดส์ | 11/1/2553 | 5201806 | ซองชิป 50 แผ่น | 15,705 ใบ | 15,155 ใบ | 550 | ชิปไม่สวย,ชิปไม่สนิท-ทำ ซอง |
| เอลซาร์โร | 11/1/2553 | 5201559 | ซองคอร์ชิฟรส เค็มพิเศษ | 299 ใบ | 229 ใบ | - | เนื้อฟิล์มไม่เหมือนเดิม-เป่า |

ตารางที่ 7 ตัวอย่างสรุปการรับสินค้าคืนประจำเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553

| ชื่องาน | วันที่รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่ตัดได้ | จำนวนที่สูญเสีย | สาเหตุที่คืน |
|-------------------|--------------|-----------|------------------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| ชินเจนทา ครอบ | 8/2/2553 | 5300059 | ม้วนแอกทารา 25 WG 2 กรัม | 34.66 กก. | - | 34.66 | พิมพ์เป็นฝ้าสีฟ้า-พิมพ์ |
| โปรเทคชั่น | - | - | (4x500 เมตร) | (24,800 ใบ) | - | - | - |
| (1ม้วน=5,000ใบ) | - | - | (1x480 เมตร) | - | - | - | - |
| บำรุงไทย | 2/2/2553 | 5201829 | ซองSelect450 g | 32,000 ใบ | - | 32,000 | สีไม่เหมือน-พิมพ์ |
| ชาลีการเกษตร | 2/2/2553 | 5201387 | ซองเคมีเกษตร 1 กก. | 2,400 ใบ | - | 2,400 | ฟิล์มลอก-อื่นๆ |
| เชียงใหม่เฟรมิลค์ | 8/2/2553 | 5300069 | ฟิล์มนมรสจืด (นมโรงเรียน) | 500.30 กก. | 495.42 กก. | 4.88 | แกนเบี้ยว-อื่นๆ |
| อสค.ปราณบุรี | 8/2/2553 | 5201784 | ฟิล์มนมรสจืด (นมโรงเรียน) | 96.06 กก. | 95.82 กก. | 0.24 | แกนเบี้ยว-อื่นๆ |
| - | - | - | - | (7 กล่อง) | (7 กล่อง) | - | - |

ตารางที่ 8 ตัวอย่างสรุปการรับสินค้าคืนของ บจก.ชินเจนทา ครอบคลุมปี พ.ศ. 2553

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่ตัดได้ | จำนวนที่ สูญเสีย | สาเหตุที่คืน |
|-----------------|------------------|-----------|-----------------------------|-------------|----------------|---------------------|-------------------------|
| ชินเจนทา ครอบ | 8/2/2553 | 5300059 | ม้วนแอกทารา 25 WG 2 กรัม | 34.66 กก. | - | 34.66 กก. | พิมพ์เป็นฝ้าสีฟ้า-พิมพ์ |
| โปรเทคชั่น | - | - | (4x500 เมตร) | (24,800 ไบ) | - | (24,800 ไบ) | - |
| (1ม้วน=5,000ไบ) | - | - | (1x480 เมตร) | - | - | - | - |
| ชินเจนทา ครอบ | 19/2/2553 | 5300059 | ม้วนแอกทารา 25 WG 2 กรัม | 102.52 กก. | - | 102.52 กก. | พิมพ์เป็นฝ้าสีฟ้า-พิมพ์ |
| โปรเทคชั่น | - | - | (1ม้วน=5,000ไบ) | (71,900 ไบ) | - | (71,900 ไบ) | - |
| ชินเจนทา ครอบ | 27/2/2553 | 5300059 | ม้วนแอกทารา 25 WG 2 กรัม | 7.08 กก. | - | 7.08 กก. | พิมพ์เป็นฝ้า-พิมพ์ |
| โปรเทคชั่น | - | - | (1ม้วน=5,000ไบ) | (1 ม้วน) | - | (1 ม้วน) | - |
| ชินเจนทา ครอบ | 15/3/2553 | 5300059 | ม้วนแอกทารา 25 WG 2 กรัม | 54.90 กก. | - | - | ขอบข้างเล็ก, เปื้อนสี, |

ตารางที่ 9 ตัวอย่างสรุปการรับสินค้าคืนที่ส่งให้แผนกผลิต

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่ คัดได้ | จำนวนที่ สูญเสียบ | สาเหตุที่คืน |
|--------------------|------------------|-----------|------------------------------|-------------|--------------------|----------------------|---------------------------------|
| หจก.ชาเขียว | 18/12/2552 | 5200109 | ม้วนฟอยจิงรสดั้งเดิม | 72.80 กก. | - | - | กรอบไม่แน่น-สลิค |
| | - | - | - | (10 ม้วน) | - | - | - |
| เชียงใหม่เฟรชมิลค์ | 8/2/2553 | 5300069 | ฟิล์มนมรสจืด (นมโรงเรียน) | 500.30 กก. | - | - | แกนเบี้ยว-อื่นๆ |
| - | - | - | - | (37 กล่อง) | - | - | - |
| เชียงใหม่เฟรชมิลค์ | 10/2/2553 | 5300069 | ฟิล์มนมรสจืด (นมโรงเรียน) | 29.72 กก. | - | - | แกนเบี้ยว-อื่นๆ |
| - | - | - | - | (3 กล่อง) | - | - | - |
| อสค.เชียงใหม่ | 25/2/2553 | 5300067 | ฟิล์มนมโรงเรียน | 28.12 กก. | - | - | แกนเบี้ยว,ม้วนไม่ เรียบ-สลิค |
| - | - | - | - | (2 กล่อง) | - | - | - |
| ผลิตภัณฑ์อาหาร | 27/4/2553 | 5300542 | ถุงกะทิร้อนขาวขุ่น 10 กก. | 11 ห่อ | - | - | รั่ว-ทำซอง |

ตารางที่ 10 ตัวอย่างสรุปรายการสินค้าที่อยู่ในพื้นที่

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวนรับคืน | จำนวนที่ คัดได้ | จำนวนที่ สูญเสีย | สาเหตุที่คืน |
|--------------------------|------------------|-----------|---|--------------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| มินเนอร์รี่ โกลด์ | 25/5/2553 | 5300420 | ม้วนกาเฟมินเนอร์รี่ โกลด์กราดิ เออร์ III | 42*500 เมตร | - | 42*500 ม. | สีไม่ตรงตามสเปค ลูกค้า |
| - | - | - | - | (334.20 กก.) | - | (334.20 กก.) | -ฝ่ายขาย |
| เอล ชาร์โร เม็กซิ ไทย | 26/4/2553 | 5201559 | ซองคอนซิฟ รสเค็มพิเศษ | 570 ใบ | - | 570 ใบ | อ้างถึง DO.5303019 |
| - | - | - | - | - | - | - | ซองไม่ได้มาตรฐาน- อื่นๆ |
| ชาติการเกษตร | 2/2/2553 | 5201387 | ซองเคมีเกษตร 1 กก. | 2,400 ใบ | - | 2,400 ใบ | ฟิล์มลอก-อื่นๆ |
| บำรุงไทย | 2/2/2553 | 5201829 | ซอง Select 450 g | 32,000 ใบ | - | 32,000 | สีไม่เหมือน-พิมพ์ |
| ศรีฟ้าโพรเซนฟูด | 23/1/2553 | 5201862 | ซองขนมปังกรอบกระเทียมคา รามอล | 30,400 ใบ | - | 30,400 ใบ | สีไม่ได้คุณภาพ-อื่นๆ |

ตารางที่ 11 ตัวอย่างสรุปรายการสินค้าที่อยู่ในพื้นที่รอทำลาย

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวน รับคืน | จำนวนที่ คัดได้ | จำนวนที่ สูญเสีย | สาเหตุที่คืน |
|----------|------------------|-----------|-------------------------|-----------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| พรี แพค | 1/8/2552 | 5201012 | ซอง Bag Jccu | 50,000 ใบ | เกรดA 48,445 ใบ | - | ขนาดซองไม่ได้ขนาด |
| - | - | - | - | - | เกรดB | - | ขนาดซองสั้นกว่าสเปคที่ |
| - | - | 5201020 | ซอง Bag Jccu | 7,258 ใบ | เกรดA 5,758 ใบ | 130 ใบ | ลูกค้าต้องการ |
| - | - | - | - | - | เกรดB 1,370 ใบ | - | - |
| พรีแพค | 17/8/2552 | 5201013 | ซอง BAG JUUM | 114,339 ใบ | 88,839 ใบ | 25,500 ใบ | ซองไม่ได้ขนาด,ภาพเหลี่ยม |
| - | - | 5201020 | - | - | - | - | ลบบาร์โค้ทให้ลูกค้า |
| เจดีฟู้ด | 14/8/2552 | 5200999 | ซองใส่มะพร้าวอบแห้ง | 44,856 ใบ | 41,150 ใบ | 3,706 ใบ | ซองร้าว/ตัดมุมไม่ขาด/ถุงขุ่น |
| เจดีฟู้ด | 20/8/2552 | 5200999 | ซองใส่มะพร้าวอบแห้ง | 5,182 ใบ | 3,970 ใบ | 1,212 ใบ | ซองยับ,หลบมุมไม่สวย |
| โควิก | 26/8/2552 | 5200867 | ม้วน OLIGO PINEAPPLE | 22 ม้วน | 4 ม้วน | 16 ม้วน | ลอกร่อน |
| - | - | - | - | (162.5 กก.) | (30.14 กก.) | (132.36 กก.) | - |
| โควิก | 6/1/2552 | 5101380 | ม้วน OLIGO SALA | 12 ม้วน | - | 12 ม้วน | สีคล้ำไม่ตรงสเปค |

ตารางที่ 12 ตัวอย่างสรุปรายการสินค้าที่อยู่ในพื้นที่รอขาย

| ชื่องาน | วันที่ รับคืน | Job order | ชื่อลูกค้า | จำนวน รับคืน | จำนวนที่ คัดได้ | จำนวนที่ สูญเสียน | สาเหตุที่คืน |
|---------------|------------------|-----------|-------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|
| ไทยสา | 21/1/2553 | 5300046 | ซองวุ้นเส้นตราTESCOขนาด100กรัม | 10,798 ใบ | 10,798 ใบ | - | เกิน PO ลูกค้าไม่รับ- อื่นๆ |
| สุธีรา | 29/8/2552 | 5200915 | ม้วนฟิล์มทองม้วนรสทุเรียน(18*1000ม. | 18 ม้วน | - | 18 ม้วน | บล็อคทำมาไม่ได้ TONE |
| - | - | - | ม้วนฟิล์มทองม้วนรสทุเรียน(2*700 ม.) | 2 ม้วน | - | 2 ม้วน | แต่ลูกค้าจะเอาได้ TONE |
| - | - | - | ม้วนฟิล์มทองม้วนรสทุเรียน(1*288 ม.) | 1 ม้วน | - | 1 ม้วน | - |
| สเปเชียล ฟู้ด | 29/4/2553 | 5300240 | ซองแป้งสาเลี 110x280 | 14,420 ใบ | - | 14,420 ใบ | พับข้างไม่เท่ากัน-อื่นๆ |
| บำรุงไทย | 23/12/2552 | 5200054 | ซองอาหารสุนัข SANMATE เล็ก | 22,200 ใบ | 22,130 ใบ | 70 ใบ | ซองลกร้อน |
| - | - | - | บาร์โค้ด 452329400656 SO5200056 | - | - | - | |
| - | - | - | ซองอาหารสุนัข SANMATE เล็ก | 19,650 ใบ | 11,630 | 11 ใบ | ยังคัดไม่เสร็จขาด 8,009 ใบ |
| - | - | - | ซองอาหารสุนัข SANMATE เล็ก | 20,400 ใบ | 20,260 ใบ | 169 ใบ | - |

ตารางที่ 13 ตัวอย่างที่มีการแนะนำให้ใช้โดยกระบวนการทราย

| Plastic/Laminate | Oven temperature(C) | Tension force(N) | Roller speed(rps) |
|------------------|----------------------|------------------|-------------------|
| PP/LDPE | 80-120 | 200-600 | 50-100 |
| PP/HDPE | 80-120 | 200-600 | 50-100 |
| PP/PET | 80-120 | 200-600 | 50-100 |
| PP/ALU. | 80-140 | 200-600 | 50-100 |
| PP/NYLON | 80-140 | 200-800 | 80-120 |
| PE/LDPE | 30-110 | 200-500 | 80-120 |
| PE/HDPE | 30-110 | 200-500 | 50-120 |
| PE/PET | 30-110 | 200-500 | 50-120 |
| PE/ALU. | 50-120 | 200-600 | 50-100 |
| PE/NYLON | 30-120 | 200-600 | 50-100 |
| LDPE/LDPE | 50-100 | 300-800 | 50-150 |
| LDPE/HDPE | 50-100 | 200-600 | 50-120 |
| LDPE/PET | 50-100 | 300-600 | 50-200 |
| LDPE/ALU. | 50-100 | 300-800 | 50-200 |
| LDPE/NYLON | 50-120 | 300-800 | 50-200 |

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูมินทร์ แจ่มเชื้อ เกิดวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย ศิลปากร ในปีการศึกษา 2551 และในการศึกษาปี 2552 ได้เข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย