การวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการลดของเสีย
ในกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม
กรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติกแห่งหนึ่ง

Discriminant Analysis for Defect Reduction in
Plastic Printing Process of Beverage Closures:
A Case Study of Injection Plastic Factory

กชวรรณ อยู่ไทย
KOTCHAWAN YOOTHAI

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566
KMITL-2023-EN-M-217-173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Discriminant Analysis for Defect Reduction in Plastic Printing Process of Beverage Closures: A Case Study of Injection Plastic Factory

KOTCHAWAN YOOTHAI

A THESIS SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-M-217-173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม กรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติกแห่งหนึ่ง
นักศึกษา	นางสาวกชวรรณ อยู่ไทย
รหัสประจำตัว	64601012
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมพลาสติก บรรจุภัณฑ์ถือได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญเกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันของมนุษย์ จากบริษัทกรณีศึกษาพบว่า มีปัญหาเรื่องฝาเครื่องดื่มมีของเสียจากการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ของเครื่องหมายทางการค้า ซึ่งมีความสำคัญต่อภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และการดึงดูดความสนใจสำหรับผู้บริโภคกับความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการจำแนกกลุ่มชิ้นงานว่าเป็นของดีหรือของเสียเพื่อลดของเสียสำหรับกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant analysis) ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 180 ชุดได้ถูกเก็บรวบรวม กำหนดตัวแปรทำนาย 3 ตัว ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ตัวแปรตามถูกกำหนดเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย ในงานวิจัยนี้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถถูกระบุได้ดังนี้ $\widehat{Y}= -15.175+0.089x_1+0.171x_2+0.004x_3$ ซึ่งมีประสิทธิภาพความถูกต้องเท่ากับ 94.4% จะได้ค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายจำนวน 6 ชุดเพื่อใช้ปรับตั้งเครื่องจักร เมื่อกำหนดให้ความเร็วสายพานเป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm) ตามกำลังการผลิตสูงสุด ค่าที่เหมาะสมในการผลิตมีดังนี้ ความดันแก๊สอยู่ระหว่าง 80 ถึง 90 มิลลิบาร์ (mbar) และความดันอากาศอัดมีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) โดยก่อนการปรับปรุงจะเป็นช่วงที่หลากหลายและกว้างกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Discriminant Analysis for Defect Reduction in Plastic Printing Process of Beverage Closures: A Case Study of Injection Plastic Factory
Student	Ms. Kotchawan Yoothai
Student ID	64601012
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Kittiwat Sirikasemsuk

ABSTRACT

In the plastics industry, the packaging sector is regarded as essential for daily living. According to the company's case study, there was a problem with the beverage closures getting damaged because of the trademark ink peeling off. It was crucial for the brand of the goods and for attracting consumers to buy the product. This research aimed to create the discriminant analysis equation for a classification group of good and bad products, in order to reduce the defects of the plastic printing process by means of the discriminant analysis. A total of 180 sample data sets were collected. There were the following three predicted variables: gas pressure (x_1), compressed air pressure (x_2), and conveyor speed (x_3). The dependent variables were separated into two categories: good components and defects. In this research, the discriminant analysis equation could be determined as $\widehat{Y}= -15.175+0.089x_1+0.171x_2+0.004x_3$, under a 94.4% accuracy rate. For use in machine adjustment, the proper values of six sets of prediction variables were obtained. When the conveyor speed was set to 1,000 rpm according to the maximum capacity, the optimal values for production were as follows: The range of gas pressure was between 80–90 mbar, and the range of compressed air pressure was between 3–8 psi. The range of predictive variables before improvement was more varied and wider than the range obtained from this research.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ติดตามความคืบหน้าในการจัดทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ให้คำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง แนะนำแนวทางการดำเนินงานให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ โดยเมตตาให้คำแนะนำและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงงานวิทยานิพนธ์ให้ดียิ่งขึ้น ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ให้แก่ข้าพเจ้า รวมถึงเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และหน่วยงานบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานในเรื่องต่างๆ และเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณโรงงานฉีดพลาสติกแห่งหนึ่งในประเทศไทย กรณีศึกษา ที่เป็นแหล่งศึกษาและได้สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความช่วยเหลือของพี่พนักงานในหน่วยงานต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงคนในครอบครัวของข้าพเจ้าทุกคนที่คอยให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง และเป็นกำลังใจทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

กชวรรณ อยู่ไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย........ I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ........ II
กิตติกรรมประกาศ........ III
สารบัญ........ IV
สารบัญตาราง........ VI
สารบัญรูป........ VIII
บทที่ 1 บทนำ........ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา........ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย........ 3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย........ 4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย........ 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........ 5
1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย........ 5
1.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย........ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........ 7
2.1 ความหมายและขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์พลาสติก........ 7
2.2 การปรับสภาพพื้นผิวและการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ........ 8
2.3 กระบวนการพิมพ์........ 11
2.4 กระบวนการอบแห้งของพลาสติก........ 12
2.5 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์........ 16
2.6 เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท........ 17
2.6.1 เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท........ 18
2.6.2 การตรวจสอบโฮเทลลิ่งที (Hotelling's T^2) ของค่าการจำแนกกลุ่ม........ 20
2.6.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง........ 22
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ........ 24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท........ 27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย........ 37
3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา........ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.1 ประวัติของบริษัทกรณีศึกษา.. 37

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา.. 39

3.2 กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม...................................... 39

3.3 การกำหนดหัวข้อของปัญหา.. 42

3.4 การศึกษากระบวนการพิมพ์ฝาและการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์......... 45

3.4.1 กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม............................ 45

3.4.2 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์... 49

3.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดเกาะของหมึกพิมพ์.. 51

3.5 การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท................. 54

3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.. 55

3.5.2 การตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท............... 63

3.5.3 การสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท... 63

3.5.4 การประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท................ 64

3.5.5 การกำหนดค่าที่เหมาะสมและยืนยันผล... 64

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.. 65

4.1 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท................... 65

4.2 ผลการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท... 75

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท.................... 80

4.4 ผลการกำหนดค่าที่เหมาะสมและยืนยันผลของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท 89

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายเพิ่มเติม................................ 94

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.. 121

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.. 121

5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิจัย.. 124

5.3 ข้อเสนอแนะ... 124

บรรณานุกรม... 125

ภาคผนวก... 131

ภาคผนวก ก. การตรวจสอบข้อกำหนดพื้นฐานสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการพยากรณ์กลุ่มของดีและของเสีย.. 132

ภาคผนวก ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จากวารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง.......... 139

ประวัติผู้เขียน... 164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 จำนวนของเสียแยกตามกระบวนการผลิตตลอดทั้งปี พ.ศ. 2564 จากยอดการผลิตทั้งหมด 473,637,870 ชิ้น	2
2.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแยกประเภทตามจำนวนกลุ่มของตัวแปรทำนายและจำนวนตัวแปรตาม	21
2.2 เมตริกซ์ความถูกต้องของการพยากรณ์ (Confusion Matrix)	23
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ	34
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท	35
3.1 ข้อมูลของเสียจากกระบวนการพิมพ์ ปี พ.ศ. 2564	44
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ	56
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบสมการ	61
4.1 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายของชุดข้อมูลที่เป็นของดีจำนวน 76 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)	66
4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายของชุดข้อมูลที่เป็นของเสียจำนวน 50 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)	66
4.3 ผลการตรวจสอบการเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนาย	70
4.4 ผลของสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi})	72
4.5 ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity)	74
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สมการจำแนกกลุ่ม	75
4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สมการจำแนกกลุ่มคาโนนิคอล (Canonical)	76
4.8 ค่าสัมประสิทธิ์รูปคะแนนมาตรฐาน (Standardized)	77
4.9 ค่ากลางของกลุ่มของดีและของเสีย	78
4.10 ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)	81
4.11 ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample)	86
4.12 ความถูกต้อง (Accuracy) ของการพยากรณ์ ข้อมูลกลุ่ม Training Sample	88
4.13 ความถูกต้อง (Accuracy) ของการพยากรณ์ ข้อมูลกลุ่ม Holdout Sample	88
4.14 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย	89
4.15 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1	90
4.16 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันแก๊ส (x_1)	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.17 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันอากาศอัด (x_2).................... 96
4.18 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย (เพิ่มเติม).. 98
4.19 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1....... 99
4.20 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 2....... 103
4.21 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 3....... 107
4.22 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 4....... 111
4.23 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 6....... 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ผลิตภัณฑ์พรีฟอร์มและฝาเครื่องดื่ม	1
1.2 ของเสีย หลังจากการทดสอบด้วยเทป	3
2.1 พลังงานพื้นผิวของพลาสติก (Surface Energy)	8
2.2 มุมสัมผัสของหยดหมึกพิมพ์ (Contact Angle)	9
2.3 หลักการของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ	10
2.4 ระบบของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ	10
2.5 กระบวนการพิมพ์สีรูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing)	11
2.6 กระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต	15
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	38
3.2 ผลิตภัณฑ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม แบบพิมพ์ M1	39
3.3 กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม	40
3.4 กระบวนการฉีดฝาเครื่องดื่ม	40
3.5 กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม	41
3.6 กระบวนการบรรจุฝาเครื่องดื่ม	41
3.7 กระบวนการจัดเก็บฝาเครื่องดื่ม	42
3.8 ข้อมูลของเสียทั้งหมดของฝาเครื่องดื่มน้ำอัดลม พ.ศ. 2564	42
3.9 ข้อมูลของเสียแยกตามประเภทของกระบวนการผลิต พ.ศ. 2564	43
3.10 กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม	45
3.11 การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment)	46
3.12 การพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนฝา	46
3.13 การอบแห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต	47
3.14 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์	48
3.15 ของดี และของเสีย หลังการทดสอบด้วยเทป	49
3.16 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทป	50
3.17 อุปกรณ์ปรับความดันแก๊ส และความดันอากาศอัด	53
3.18 อุปกรณ์ปรับความเร็วสายพาน	53
3.19 ขั้นตอนการวิจัยของเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท	54
3.20 ชุดข้อมูลของการวิเคราะห์จำแนกประเภท	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันแก๊ส กลุ่มของดี.............................. 67

4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันอากาศอัด กลุ่มของดี..................... 67

4.3 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วสายพาน กลุ่มของดี....................... 68

4.4 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันแก๊ส กลุ่มของเสีย............................ 68

4.5 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันอากาศอัด กลุ่มของเสีย................. 69

4.6 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วสายพาน กลุ่มของเสีย.................... 69

4.7 เปรียบเทียบของเสียกระบวนการพิมพ์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของเครื่อง P1...... 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในโลกปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกถือเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสร้างรายได้ให้กับประเทศไทยจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพลาสติกที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยเป็นอุตสาหกรรมที่ทำหน้าที่เปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นคือจากเม็ดพลาสติกไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องแต่งกาย รองเท้า วัสดุก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องเขียนของเล่น เครื่องกีฬา และบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยอุตสาหกรรมหลายสาขามีแนวโน้มใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกเพิ่มขึ้น คือ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม มีผลให้ความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกห่อหุ้มสินค้าเพื่อรักษาความสะอาด ซึ่งในโลกาภิวัฒน์ ธุรกิจเกิดการแข่งขันด้านการตลาดในปริมาณสูง ดังนั้นองค์กรจึงต้องมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองอยู่เสมอ เช่น การออกแบบผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ที่มีคุณสมบัติด้านการใช้งานให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้ามากขึ้น การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด การลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ การลดรอบเวลาในกระบวนการผลิต การลดปริมาณสินค้าคงคลัง การลดขั้นตอนการผลิตที่ไม่มีความจำเป็น การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต ถือเป็นการเพิ่มโอกาสและความสามารถในการแข่งขันด้านการค้าให้อยู่รอดในการดำเนินธุรกิจ เพื่อให้ก้าวทันต่อความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์พรีฟอร์มและฝาเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม คือ ฝาเครื่องดื่ม ใช้สำหรับปิดขวดน้ำดื่มหรือน้ำอัดลม ชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับสร้างเป่าขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติกสำหรับน้ำดื่มหรือน้ำอัดลม (Preform) แสดงดังรูปที่ 1.1 ซึ่งมีกลุ่มลูกค้าที่หลากหลาย จำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ เช่น ประเทศพม่า มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ เป็นต้น ดำเนินกิจการภายใต้ระบบการควบคุมมาตรฐานสากลระบบ FSSC 22000 หากพิจารณาอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกประเภทบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม ตลาดปัจจุบันมีบทบาทสำคัญและเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการบริโภคในชีวิตประจำวัน ดังนั้น บริษัทจึงมีความจำเป็นต้องถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างสมบูรณ์

หากพิจารณากระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มน้ำอัดลมของบริษัทกรณีศึกษา ประกอบด้วย 4 กระบวนหลัก เริ่มตั้งแต่กระบวนการฉีด กระบวนการพิมพ์ กระบวนการบรรจุ และกระบวนการจัดเก็บ และทำการสำรวจข้อมูลของเสียจากการผลิตฝาเครื่องดื่มน้ำอัดลมทั้ง 12 เดือนในปี พ.ศ. 2564 พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นตลอดทั้งปีทั้งหมด 6,274,961 ชิ้น จากยอดการผลิตฝาตลอดทั้งปีทั้งหมด 473,637,870 ชิ้น หรือคิดเป็นร้อยละ 1.33 ของยอดการผลิตฝาทั้งหมด ถ้านำข้อมูลของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดทั้งปี ประจำปี พ.ศ. 2564 มาวิเคราะห์แจกแจงเป็นของเสียแยกแต่ละกระบวนการผลิตฝา สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการฉีด และของเสียที่เกิดจากกระบวนการพิมพ์ สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 1.1

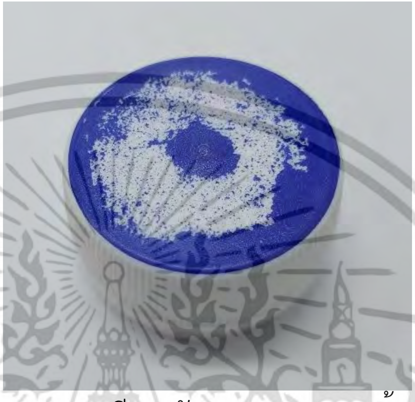
ตารางที่ 1.1 จำนวนของเสียแยกตามกระบวนการผลิตตลอดทั้งปี พ.ศ. 2564 จากยอดการผลิตทั้งหมด 473,637,870 ชิ้น

ประเภทของเสีย	จำนวนของเสียปี 2564 (ชิ้นต่อปี)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย
กระบวนการฉีดเสีย	2,589,454	0.55
กระบวนการพิมพ์เสีย	3,685,507	0.78

จากตารางที่ 1.1 แสดงการเก็บข้อมูลของเสียแยกตามกระบวนการผลิตฝา เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่า ของเสียจากกระบวนการพิมพ์ มีจำนวนสูงสุด เป็นอันดับ 1 จากของเสียกระบวนการผลิตอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 0.78 เฉลี่ยต่อเดือน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษามีความต้องการลดจำนวนของเสียจากกระบวนการพิมพ์ เนื่องจากของเสียที่เกิดจากกระบวนการพิมพ์นี้ จะมีลักษณะการหลุดลอกของหมึกพิมพ์บริเวณด้านบนของฝา ส่งผลให้เครื่องหมายทางการค้าของลูกค้าไม่สมบูรณ์ตามแบบพิมพ์ ถือเป็นของเสียนั่นคือชิ้นงานฝาที่ไม่ผ่านคุณภาพ หลังจากการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์โดยใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) แสดงภาพฝาที่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ (หลังจากที่ผ่านการทดสอบด้วยเทป) ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นฝาที่ไม่ผ่านคุณภาพ สิ่งนี้ยังส่งผลให้พนักงานต้องสูญเสียเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่จนกระบวนการพิมพ์จะสามารถผลิตฝาที่ผ่านคุณภาพไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ ถือเป็นความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ด้วยปัญหานี้บริษัทกรณีศึกษาจึงมีความต้องการที่จะลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มโอกาสทางการแข่งขันด้านการตลาด เนื่องจากกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม เป็นกระบวนการสำหรับสร้างภาพลักษณ์ที่สวยงามให้กับเครื่องหมายทางการค้าของลูกค้า ถือเป็นกระบวนการสำคัญที่ต้องได้รับการปรับปรุงให้มีคุณภาพสูงสุด



รูปที่ 1.2 ของเสีย หลังจากการทดสอบด้วยเทป

งานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม โดยจะนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis) มาสร้างสมการพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกกลุ่มว่าเป็นของดีหรือของเสีย และนำมาประยุกต์ใช้สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกกลุ่มว่าเป็นของดีหรือของเสีย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)

2. เพื่อศึกษาและออกแบบการทดลองในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องจักร นำไปสู่การลดเปอร์เซ็นต์ของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วของสายพาน มีผลต่อกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงขอบเขตในการศึกษาโดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. พิจารณาเฉพาะฝาเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม แบบพิมพ์ M1 เท่านั้น เนื่องจากแบบพิมพ์ M1 เป็นแบบพิมพ์ที่มีสัดส่วนจำนวนการผลิตสูงสุดต่อปี และลูกค้ามีความต้องการคิดเป็นสัดส่วนโดยประมาณ 54% ต่อปี ซึ่งถือว่าสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบพิมพ์อื่นๆ

2. พิจารณาเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ฝาน้ำอัดลม จำนวน 1 เครื่อง คือ P1 เท่านั้น เนื่องจากแบบพิมพ์ M1 จะติดตั้งอยู่ที่เครื่อง P1 เป็นหลักตลอดเวลา

3. เนื่องจากการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ของฝาเครื่องดื่มเป็นการทดสอบแบบทำลาย ดังนั้น การวัดจากเปอร์เซ็นต์ของเสียจึงมาจากการสุ่มตัวอย่าง โดยขนาดและความถี่ของกลุ่มตัวอย่างจะอ้างอิงมาจากมาตรฐานของบริษัท MIL-STD-105E GII ที่ AQL (Acceptance Quality Level) เท่ากับ 0.065% กล่าวคือ ช่วงเริ่มต้นของกระบวนการพิมพ์ จะสุ่มทดสอบตัวอย่างจำนวน 5 ชุดตัวอย่าง (กำหนดให้ 1 ชุดตัวอย่าง จะมีฝาที่ถูกสุ่มมาจำนวน 30 ชิ้น) เมื่อผ่านการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์แล้ว หลังจากนั้นจะสุ่มทดสอบจำนวน 1 ชุดตัวอย่าง จำนวน 30 ชิ้น ที่ความถี่ทุกๆ 30 นาที

4. กำหนดตัวแปรทำนาย (x) มีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วของสายพาน ตัวแปรตาม Y คือ ของดี (Y = 1) หรือของเสีย (Y = 0)

5. การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ของฝาเครื่องดื่ม จำนวน 1 ชุดตัวอย่าง จำนวน 30 ชิ้นจะต้องเป็นของดีทั้งหมดครบทั้ง 30 ชิ้น จึงจะนับเป็นกลุ่มของดี (Y = 1) แต่ถ้าหลังการทดสอบมีอย่างน้อยจำนวน 1 ชิ้นเป็นของเสีย จะนับเป็นกลุ่มของเสียทั้งหมด (Y = 0)

6. ข้อมูลการผลิต ข้อมูลของเสียก่อนปรับปรุงจะพิจารณาจากข้อมูลในปี พ.ศ. 2564

7. ข้อมูลที่นำมาพิจารณาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือ ชุดข้อมูลแรกจำนวน 70% จะใช้สำหรับการสร้างสมการ และชุดข้อมูลที่สองจำนวน 30% จะใช้สำหรับการทดสอบสมการ (Richard, 2002)

8. งานวิจัยฉบับนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทรูปแบบฟิชเชอร์ (Fisher’s Linear Discriminant Function, FLDF) ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) Kim (2005) และ Ghojogh (2019)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความสูญเปล่าจากกระบวนการผลิต เนื่องจากสามารถลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์

2. เป็นแนวทางในการขยายผลสำหรับการลดของเสียกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มประเภทอื่นต่อไป

1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การลดจำนวนของเสียกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม มีขั้นตอนการดำเนินงานแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ศึกษาและสำรวจสภาพปัจจุบันเบื้องต้นขององค์กร
2. กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ ดัชนีชี้วัด และขอบเขตของการศึกษา
3. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4. ศึกษากระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม
5. ออกแบบการทดลองโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)
6. ทำการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล
7. นำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดไปปรับใช้จริง เพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผล
8. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

1.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

r_{pbi}	แทนสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล
$\widehat{Y}$	แทนคะแนนจำแนกที่ได้จากสมการพยากรณ์
Y	แทนกลุ่มของดี (Y = 1) และของเสีย (Y = 0)
x_1	แทนความดันแก๊ส
x_2	แทนความดันอากาศอัด
x_3	แทนความเร็วของสายพาน
$\widehat{D}$	แทนค่าประมาณฟังก์ชันการแบ่งกลุ่ม
S_x	แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทำนาย
p	แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด
q	แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในอีกกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด
$\bar{x}_p$	แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 1
$\bar{x}_q$	แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\bar{x}$	แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้งหมด
TP	แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์เกิดเหตุการณ์ว่าเกิดเหตุการณ์
FP	แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์เกิดเหตุการณ์ว่าไม่เกิดเหตุการณ์
FN	แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์ไม่เกิดเหตุการณ์ว่าเกิดเหตุการณ์
TN	แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์ไม่เกิดเหตุการณ์ว่าไม่เกิดเหตุการณ์
VIF	แทนดัชนีวัดอิทธิพลร่วมของตัวแปรทำนาย
Tolerance	แทนค่าสถิติที่ใช้วัดอิทธิพลร่วมของตัวแปรทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม โดยเริ่มจากการศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการพิมพ์พลาสติกปัจจุบัน วิเคราะห์ปัญหา สาเหตุของปัญหา แนวทางการแก้ไข โดยรวบรวมและอ้างอิงแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้และนำมาปรับใช้กับงานวิจัย สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

2.1 ความหมายและขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์พลาสติก

2.2 การปรับสภาพพื้นผิวและการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ

2.3 กระบวนการพิมพ์

2.4 กระบวนการอบแห้งของพลาสติก

2.5 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

2.6 เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

2.1 ความหมายและขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์พลาสติก

พลาสติกโดยทั่วไป มีลักษณะคือ เฉื่อยต่อสารเคมี ผิวไม่มีรูพรุน และแรงตึงผิวต่ำ จึงทำให้พลาสติกไม่สามารถเกาะติดได้ดีกับพลาสติกเหลวที่ใช้เคลือบ กาวและหมึกพิมพ์ต่างๆได้ ซึ่งโพลีเอทิลีน (Polyethylene, PE) และโพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นพลาสติกที่มีแรงตึงผิวต่ำที่สุด ส่วนใหญ่แล้ว PE และ PP จะถูกนำมาปรับสภาพพื้นผิวเพื่อให้มีการเกาะติดที่ดีขึ้น ทั้งนี้การปรับสภาพผิวฟิล์มไม่ได้มีข้อจำกัด ว่าต้องทำกับพลาสติก 2 ชนิดนี้เท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปใช้ปรับปรุงการเกาะติดกับพลาสติกทุกประเภท อาทิ ฟิล์ม เป็นต้น และวัสดุที่ไม่ใช่พลาสติก อาทิฟอยล์และกระดาษ เป็นต้น (Smith and Cleve, 1958)

พื้นผิวของพลาสติกทั่วไป มีความเรียบ มันวาว ไม่สามารถยึดติดกับหมึกพิมพ์ได้ในสภาวะปกติ จึงต้องถูกนำมาปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกให้มีความเหมาะสมของสภาพพื้นผิวก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์พลาสติก ซึ่งกระบวนการพิมพ์พลาสติกจะเริ่มต้นจากส่วนป้อนชิ้นงาน เพื่อเข้าสู่ส่วนพิมพ์และเครื่องพิมพ์ เพื่อให้หน่วยจ่ายหมึกจ่ายหมึกพิมพ์ลงบนพื้นผิวของพลาสติกตามแบบพิมพ์ที่กำหนด ซึ่งเครื่องพิมพ์ก็จะมีวัสดุอุปกรณ์ที่แตกต่างกันออกไปตามประเภทของเครื่องพิมพ์ เช่น ลูกกลิ้ง เพลทสำหรับแม่พิมพ์ ผ้ายาง หมึกพิมพ์ที่ใช้ จากนั้นก็จะเข้าสู่การอบแห้งเพื่อให้หมึกพิมพ์ยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

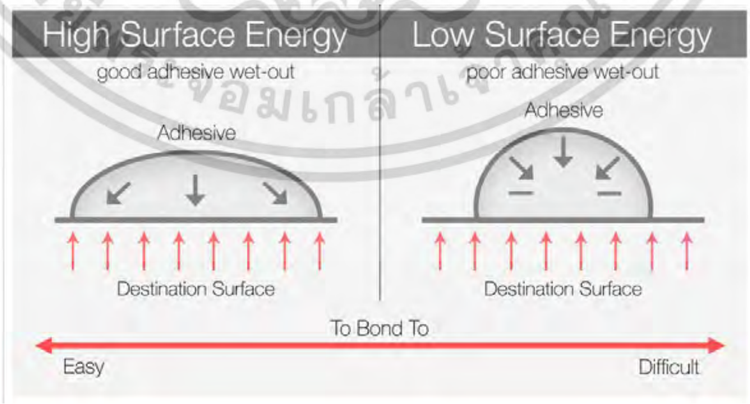
เกาะกับพื้นผิวของพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ด้วยการทดสอบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์โดยใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test)

2.2 การปรับสภาพพื้นผิวและการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ

การปรับสภาพพื้นผิว เป็นการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุ เพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงเคมี เพื่อให้พร้อมสู่กระบวนพิมพ์ สามารถทำได้ทั้งหมด 4 วิธี แสดงดังต่อไปนี้ (Sheng et al., 1994)

1. การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้โคโรนา (Corona Treatment)
2. การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment)
3. การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้พลาสมา (Plasma Treatment)
4. การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้ Primer

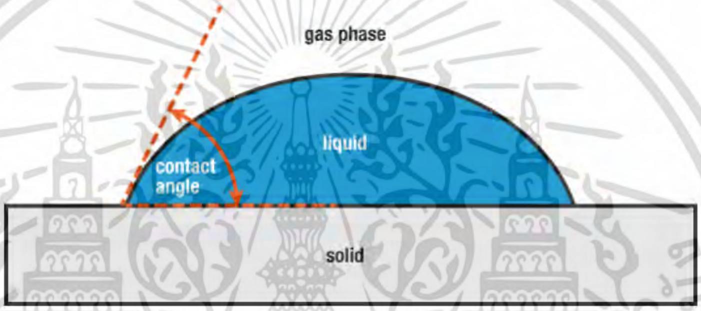
โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ (Flame Treatment) เนื่องจากเป็นวิธีที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ เป็นวิธีการปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกที่ทำโดยการป้อนชิ้นงานผ่านเปลวไฟทำให้เกิดอนุมูลใหม่ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) บนพื้นผิวของพลาสติก ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิล และหมู่คาร์บอนิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีสภาพเป็นขั้ว ให้พลาสติกมีพลังงานพื้นผิว (Surface Energy) และความสามารถในการเปียกผิว (Wettability) สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.1 การเปียกผิวดีส่งผลให้การดึงดูดระหว่างของเหลวกับพื้นผิวสัมผัสที่เป็นของแข็งดี ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนพื้นผิวพลาสติก การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของของเหลวลงบนวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นของแข็ง ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างไฟกับวัตถุ ความเร็วของสายพาน ปริมาณแก๊ส (Gas) ปริมาณอากาศ (Air) (Fabbri and Messori, 2017)



รูปที่ 2.1 พลังงานพื้นผิวของพลาสติก (Surface Energy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

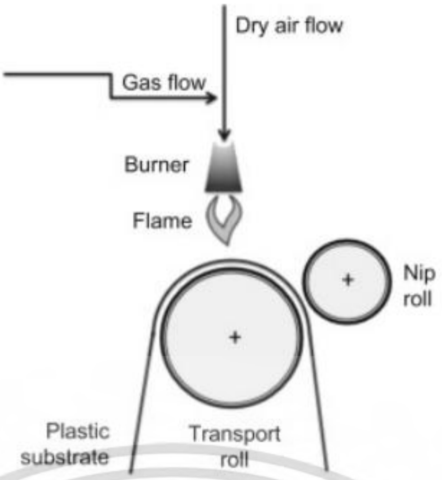
ความสามารถในการเปียกผิว (Wettability) คือความสามารถในการแพร่กระจายตัวของหมึกพิมพ์บนผิวของวัสดุในแนวราบ โดยการกระจายตัวของหมึกพิมพ์ที่ดีสามารถวัดได้จากมุมสัมผัสของหยดหมึกพิมพ์ (Contact Angle) บนผิววัสดุ ซึ่งจะช่วยบ่งบอกความเหมาะสมของการพิมพ์หรือเคลือบของของเหลวบนผิวสัมผัส ดังรูปที่ 2.2 มุมสัมผัสที่มีค่าเข้าใกล้ 0 องศา และหมึกพิมพ์สามารถกระจายตัวได้สม่ำเสมอทั่วพื้นผิว ในทางตรงกันข้ามการกระจายตัวของหมึกพิมพ์ที่ไม่ดี มุมสัมผัสของหยดหมึกพิมพ์บนผิววัสดุจะมีค่าเข้าใกล้ 180 องศา และหมึกพิมพ์เกิดการแยกตัวเป็นหยดบนผิววัสดุ ซึ่งการปรับสภาพพื้นผิวด้วยการใช้เปลวไฟนอกจากจะช่วยเพิ่มแรงตึงผิวของวัสดุ ยังช่วยกำจัดสิ่งสกปรกบนผิววัสดุที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนผิววัสดุ (Pascoe and O'Connell, 2003)



รูปที่ 2.2 มุมสัมผัสของหยดหมึกพิมพ์ (Contact Angle)

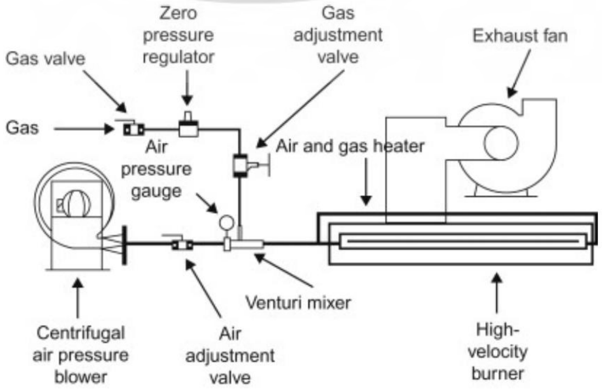
หลักการปรับสภาพพื้นผิวจะช่วยพัฒนาเรื่องคุณสมบัติการยึดเกาะของของเหลวบนพื้นผิวของพลาสติก ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะประยุกต์ใช้กับกระบวนการพิมพ์หรือเคลือบพลาสติกเพื่อให้มีคุณสมบัติการยึดเกาะที่ดี โดยการใช้เปลวไฟสัมผัสบริเวณพื้นผิวของพลาสติก การปรับสภาพพื้นผิวของชิ้นงานมีหลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น การปรับสภาพผิวโดยใช้โคโรนา (Corona) หรือพลาสมา (Plasma) จะมีข้อเสียคือทำให้พื้นผิวของชิ้นงานเกิดความไม่สม่ำเสมอ และถูกควบคุมหัวของการจ่ายความร้อนโดยใช้หุ่นยนต์ ระยะเวลาของกระบวนการที่นาน ส่วนการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟจะมีความเสถียรภาพที่ดีกว่าการปรับสภาพผิวโดยใช้โคโรนา ซึ่งการใช้วิธีนี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการยึดเกาะ ยังมีข้อดีคือต้นทุนของกระบวนการต่ำ ระยะเวลาของกระบวนการสั้น เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ตัวอย่างหนึ่งที่โดดเด่น เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมพลาสติกที่จะต้องปรับปรุงคุณสมบัติด้านการยึดเกาะพื้นผิวของพื้นผิว ก่อนเข้าสู่กระบวนการเคลือบหรือพิมพ์ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ แสดงดังรูปที่ 2.3 หลักการโดยทั่วไปแล้ว เป็นการทำให้เกิดออกซิเจนเพิ่มขึ้นที่พื้นผิวของชิ้นงาน ซึ่งก็คือขึ้นอยู่กับอัตราของเปลวไฟ หรือขอบเขตของการที่ชิ้นงานสัมผัสกับเปลวไฟ (Abel et al., 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หลักการของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (Fabbri and Messori, 2017)

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ สำหรับประเภทการใช้แก๊สชนิดต่างๆ ได้แก่ มีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) โพรเพน (Propane) บิวเทน (Butane) แอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas) โซลีนธรรมชาติ (Natural Gasoline, NGL) นอกจากนี้การออกแบบระบบอุปกรณ์การควบคุมของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟก็ถือเป็นเรื่องสำคัญ ดังรูปที่ 2.4 และจะต้องมีการตรวจสอบความเสถียรภาพอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะการผลิตที่ต่อเนื่อง ระบบการควบคุมอัตราการปล่อยแก๊สและอากาศที่ต้องใช้วาล์วควบคุมการจ่ายหรือมีการชดเชยกรณีที่แก๊สหรืออากาศสูญหายไป เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของกระบวนการ ต้องตรวจสอบให้มั่นใจว่ามีความเสถียรของค่าที่เหมาะสมสำหรับอัตราส่วนระหว่างแก๊สและลม มีระบบฉุกเฉินอัตโนมัติกรณีเกิดการหยุดจ่ายแก๊สหรืออากาศกะทันหัน การออกแบบหัวจ่ายไฟ (Nozzle Design) รูปแบบนี้ถือเป็นมาตรฐานและใช้กันเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากให้ความเสถียรและคงที่ของรูปแบบการจ่ายเปลวไฟ การควบคุมการปล่อยเปลวไฟและตำแหน่งการปล่อยเปลวไฟถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก หากมีการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟที่สูงเกินไปจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย และหากเปลวไฟที่ต่ำไปก็จะไม่เพียงพอที่เพิ่มความสามารถในการยึดเกาะของของเหลวบนพื้นผิว (William et al., 2015)



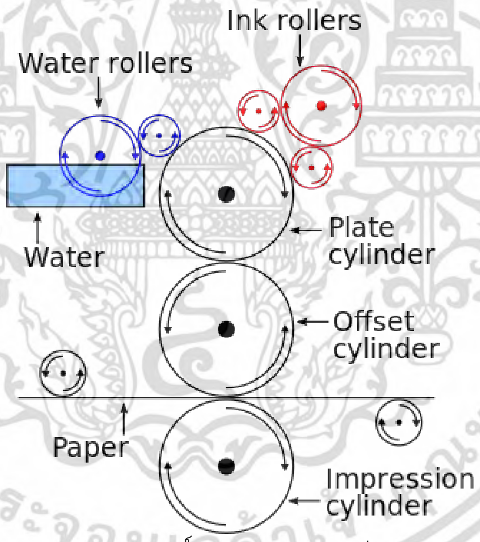
รูปที่ 2.4 ระบบของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (Farris et al., 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการพิมพ์

กระบวนการพิมพ์ สามารถแบ่งได้หลากหลายประเภท ได้แก่ การพิมพ์ออฟเซ็ท (Offset Printing) การพิมพ์เลตเตอร์เพรสส์ (Letterpress Printing) การพิมพ์สกรีน (Screen Printing) การพิมพ์ดิจิตอล (Digital Printing) การพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography) การพิมพ์กราวัวร์ (Gravure) โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการพิมพ์แบบออฟเซ็ท (Offset Printing) เนื่องจากเป็นรูปแบบที่บริษัทกรณีศึกษาใช้

กระบวนการพิมพ์รูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing) ดังรูปที่ 2.5 เป็นเทคนิคที่แพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการพิมพ์ที่สามารถผลิตงานพิมพ์ได้เร็วกว่าการพิมพ์ด้วยบล็อกสกรีน เพราะการพิมพ์ด้วยวิธีนั้น ชิ้นงานและลูกกลิ้งจะทำงานอยู่ตลอดเวลา หลักการทำงานของกระบวนการพิมพ์สี คือแม่พิมพ์ชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นลูกกลิ้งกลมกลวง โดยสีจะถูกฉีดออกจากข้างในลูกกลิ้ง และมีตัวปาดสีจะทำหน้าที่อยู่ภายในลูกกลิ้ง ขณะเครื่องทำงานพิมพ์ลูกกลิ้งจะหมุนรอบตัวและสีก็จะออกมาตามลวดลายของลูกกลิ้ง และลวดลายก็จะถูกพิมพ์ไปบนชิ้นงานที่วิ่งไปตามสายพาน (Lee et al., 2010)



รูปที่ 2.5 กระบวนการพิมพ์สีรูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing)

ข้อดีของกระบวนการพิมพ์รูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing) คือมีคุณภาพของการพิมพ์ที่สูง ให้ภาพพิมพ์ที่มีความคมชัด และทำให้ได้ชิ้นงานที่สะอาด กระบวนการพิมพ์ไม่ซับซ้อน ใช้วิธีการที่ง่ายและรวดเร็ว อายุการใช้งานของเพลทพิมพ์ยาวนานกว่ารูปแบบพิมพ์แบบอื่นที่ใช้การกดโดยตรง เนื่องจากไม่มีการสัมผัสโดยตรงระหว่างเพลทกับพื้นผิวการพิมพ์ เพลตที่ได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสมสามารถใช้งานด้านการพิมพ์ถึงหนึ่งล้านครั้ง ต้นทุนค่าใช้จ่ายของการพิมพ์รูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing) เป็นวิธีที่ถูกที่สุดในการผลิตงานพิมพ์คุณภาพสูงในเชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของกระบวนการพิมพ์รูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing) ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร การติดตั้งอุปกรณ์หลากหลายเช่น เพลทของการพิมพ์ที่นานจนกว่าจะได้รับความเสถียร ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับการผลิตงานพิมพ์จำนวนน้อย เพลทของการพิมพ์มีความไวต่อแสง หากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเชิงเคมี อาจเกิดความเสียหายได้ถ้าไม่ได้รับการดูแลหรือถูกจัดเก็บอย่างเหมาะสม

เทคโนโลยีการพิมพ์แบบออฟเซ็ท เป็นเทคโนโลยีการพิมพ์ที่นิยมใช้ในการผลิตกล่องบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุประเภทพลาสติกหรือกระดาษเคลือบฟอยล์ วัสดุประเภทนี้ ซึ่งพื้นผิวของวัสดุพลาสติกจะมีความเรียบ มีความมันเงาสูง และไม่สามารถพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์แบบทั่วไปได้ ดังนั้นจึงต้องใช้หมึกพิมพ์ที่สามารถแห้งตัวด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตในการผลิต ซึ่งจะมีข้อกำหนดในการผลิตงานพิมพ์ที่แตกต่างกัน

เนื่องจากวัสดุพิมพ์ประเภทพลาสติก ไม่สามารถดูดซับหมึกพิมพ์ได้ ทำให้ไม่สามารถใช้หมึกพิมพ์ทั่วไปในการพิมพ์ หมึกพิมพ์ยูวี จะมีการแห้งตัวจากการได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ทำให้หมึกพิมพ์เปลี่ยนสภาวะจากของเหลวเป็นของแข็งในทันที ส่งผลให้การพิมพ์งานด้วยหมึกพิมพ์ยูวี ทำให้การผลิตสีในงานพิมพ์จะได้สีที่สดใส การพัฒนาเทคโนโลยีการพิมพ์งานด้วยหมึกพิมพ์ยูวี จะเป็นการพัฒนาการผลิตหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต และหมึกพิมพ์ยูวีควบคู่กันไป โดยมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาให้หมึกพิมพ์มีการแห้งตัวได้รวดเร็วมากขึ้น เหมาะสมกับความเร็วของเครื่องพิมพ์ที่สูงขึ้น เหมาะสำหรับการพิมพ์งานบนวัสดุที่ไม่สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์ทั่วไปได้

2.4 กระบวนการอบแห้งของพลาสติก

ผลิตภัณฑ์พลาสติกจำนวนมากถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์หรือพ่นด้วยชั้นเคลือบใสซึ่งจะถูกอบด้วยความร้อนหรือรังสี การเคลือบที่บ่มด้วยรังสี ยกตัวอย่างเช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) นั้นสามารถป้องกันรอยขีดข่วน ปรับปรุงรูปลักษณ์และประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติก ตัวอย่างการใช้งาน เช่น เคสมือถือ เคสทีวี อุปกรณ์ตกแต่งรถยนต์ทั้งภายในและภายนอก เลนส์ไฟหน้า บรรจุภัณฑ์อาหาร ขวดเครื่องดื่ม ถ้วยโพลีสไตรีน

การอบแห้งของพลาสติก ใช้รูปแบบของการทำให้สารเคลือบผิวของวัสดุอยู่ตัวหรือแข็งตัว ด้วยการเรียงตัวระหว่างโมเลกุล โดยการนำสารพิเศษที่มีคุณสมบัติตอบสนองต่อความร้อนหรือรังสีผสมลงในหมึกสี แลคเกอร์หรือกาวที่ใช้ทาเคลือบผิววัสดุ จากนั้นก็จะให้ความร้อนหรือฉายรังสีลงไปทำให้โมเลกุลของสารพิเศษเกิดการต่อตัวกันยาวขึ้น ทำให้หมึกสี แลคเกอร์ หรือกาวนั้นแห้งและแข็งตัวในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งอุตสาหกรรมมีความต้องการกระบวนการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงและต้นทุนต่ำ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (Abliz et al., 2013)

1. การอบแห้งโดยใช้ความร้อน (Thermal Curing)
2. การอบแห้งโดยใช้รังสี (Radiation Curing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shukla et al. (2004) กล่าวว่าการอบแห้งโดยใช้รังสี (Radiation Curing) ยกตัวอย่างเช่น รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ซึ่งรังสีชนิดนี้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้มาอย่างยาวนาน โดยปัจจุบันการอบแห้งโดยใช้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ทั้งงานพิมพ์สกรีน งานพิมพ์ออฟเซต งานผลิตชิ้นส่วนอิเลคทรอนิกส์ งานพิมพ์สติกเกอร์ งานทำพื้นไม้ งานก่อนพิมพ์ และงานต่างๆ อีกมากมาย ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต สามารถลดต้นทุนด้านเวลาของกระบวนการลงได้อย่างมาก เนื่องจากความเร็วในการทำแห้งที่รวดเร็วนั่นเอง อีกทั้งยังสามารถลดมลพิษภายในโรงงานได้มาก

โดยทั่วไปการอบแห้งโดยใช้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลตมีหลายประเภท เช่น การใช้คลื่นแสงรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตแบบ UVA (ความยาวคลื่นแสง 320-395 นาโนเมตร) นำมาใช้ทำปฏิกิริยาให้หมึกพิมพ์แห้ง (หมึกพิมพ์ต้องมีน้ำยาที่ทำปฏิกิริยากับรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตด้วย นั่นคือหมึกพิมพ์ชนิดอัลตราไวโอเลต) ส่วนการใช้คลื่นแสงรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตแบบ UVB (ความยาวคลื่นแสง 280-320 นาโนเมตร) ใช้ในวงการแพทย์ สำหรับรักษาโรคผิวหนัง และการใช้คลื่นแสงรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตแบบ UVC (ความยาวคลื่น 200-280 นาโนเมตร) สำหรับไว้ฆ่าเชื้อโรคทั้งในน้ำและในอากาศ

โดยทั่วไปคลื่นแสงที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์คือคลื่นแสงช่วงสั้น (แบบ UVC and UVB) และเนื่องจากหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตให้คลื่นแสงที่กว้างมาก (จาก UVC ถึง คลื่น Infrared ซึ่งเป็นคลื่นความร้อน) หลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตจึงทำอันตรายต่อผิวหนังและสายตา ฉะนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงในการถูกฉายแสงจากหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตทั้งทางตรง และจากแสงสะท้อน เนื่องจากหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตสามารถปล่อยแสงชนิดอัลตราไวโอเลตอย่างเข้มข้นออกมา

ทั้งนี้จะสังเกตว่าหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตจะปล่อยความร้อนออกมาขณะหลอดใช้งานที่สูงมาก ซึ่งความร้อนเกิดจากคลื่นแสง Infrared การอบแห้งโดยใช้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ระบบไม่ต้องการความร้อนเข้ามาทำให้ยูวีแห้งแต่อย่างใด หากใช้แต่คลื่นแสงในการทำให้เคมีแห้ง (Photo Initiator) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูง จำเป็นต้องมีการระบายความร้อนด้วยเครื่องดูดขณะเปิดใช้งาน เพื่อป้องกันหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตจะร้อนและบวม หรืองอเป็นรูปลักษณะกล้วย และสูญเสียความสามารถในการอบแห้งไปในที่สุด

หลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ตัวหลอดแก้วจะทำด้วย Silica Quartz ซึ่งมีคุณสมบัติคือมีความใสมากสามารถให้แสงชนิดอัลตราไวโอเลต ทะลุผ่านได้ดี มีการทนร้อนได้สูงมาก คือมีจุดที่ทำให้ Quartz เริ่มเปลี่ยนรูปที่ 1,075 องศาเซลเซียส โดยไม่สามารถใช้กระจกทั่วไป ที่มีการเจือปนสูงและทำให้แสงชนิดอัลตราไวโอเลตทะลุผ่านได้ไม่ดี และยังไม่สามารถทนร้อนได้สูงเท่าแก้วควอทซ์ด้วย โดยกระจกทั่วไปจะมีจุดหลอมละลายที่ 800 องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปสำหรับการอบแห้งโดยใช้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต (ไม่นับรวมหลอดยูวีฟลูออเรสเซนต์ซึ่งให้ค่ารังสีชนิดอัลตราไวโอเลตต่ำ) โดยทั่วไปจะนิยมใช้หลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลต 3 ชนิดแสดงดังต่อไปนี้ (Fuh et al., 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Mercury Lamp เป็นหลอดที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ภายในหลอดบรรจุสารปรอทให้คลื่นรังสีชนิดอัลตราไวโอเลต A ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 365 นาโนเมตร ใช้ในวงการพิมพ์ สกรีน เคลือบวานิช เป็นต้น เนื่องจากเป็นหลอดที่มีต้นทุนถูกที่สุดในหลอดทั้ง 3 ชนิด หลอดชนิดนี้จะถูกพัฒนาให้มีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 200, 300, 400 วัตต์ต่อนิ้ว แสงของหลอดจะมีลักษณะสีขาวเหลือง โดยหลอดใหม่จะให้ค่ารังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ที่ 200-300 MJ/CM Square/Second ที่ความสูงไม่มากกว่า 20 ซม. โดยทั่วไปหลอดสามารถใช้ได้ไม่น้อยกว่า 1,000 ชั่วโมง โดยยังคงมีรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตปล่อยออกมาถึง 75% ที่ 1,000 ชั่วโมงการใช้งาน

2. Metal Halide (Iron Iodide) เป็นหลอดปรอทที่ใส่สาร Iron Iodide ที่ให้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต A ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 385 นาโนเมตร มีความสามารถให้การทำสีหรือเคมีแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้สีที่ทำแห้งยากอย่างสีดำหรือการปาดสีที่มีความนูนหนา เนื่องจากประสิทธิภาพสำหรับการทะลุเข้าไปในชั้นของสี และเหมาะกับงานที่ต้องใช้ความเร็วในการอบแห้ง หลอดชนิดนี้จะถูกพัฒนาให้มีกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ 300 400 จนกระทั่งถึง 500 วัตต์ต่อนิ้ว แสงของหลอดจะมีลักษณะสีขาวฟ้าโดยหลอดใหม่จะให้ค่ารังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ที่ 300-400 MJ/CM Square/Second หลอดชนิดนี้เหมาะสำหรับงานพิมพ์ Offset, Flexography หรืองานพิมพ์ที่ต้องใช้ความรวดเร็วในการผลิตชิ้นงาน

3. Metal Halide (Gallium Iodide) เป็นหลอดที่ให้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 415 นาโนเมตร หลอดชนิดนี้เหมาะสำหรับงาน ได้แก่ การถ่ายบล็อกสกรีน ถ่ายเพลท เป็นต้น แสงจะมีลักษณะสีม่วง หลอดชนิดนี้เป็นหลอดมาตรฐานที่ให้ให้กำลังวัตต์ที่แน่นอน โดยหลอด 3,000 วัตต์ เป็นหลอดที่พบมากที่สุด และยังมีหลอด 1,000 2,000 หรือ 5,000 วัตต์ เป็นต้น และหลอดประเภทนี้จะเป็นหลอดที่จุดติดทันที (Rapid Start) เนื่องจากใช้ถ่ายงานในระยะเวลาอันสั้น สังเกตได้จากหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตประเภทนี้จะมีลวดคาดไว้เพื่อให้ง่ายต่อการจุดติด

โดยทั่วไปหลอดเมื่อถูกใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง จะเริ่มเสื่อมสภาพ คือแสงรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตจะลดน้อยลง แม้ว่าจะยังมีแสงออกมาจากหลอดไฟชนิดอัลตราไวโอเลต แต่เหตุแห่งความเสื่อมสภาพ เนื่องจากแก้วควอทซ์จะเริ่มไม่ใสมีความขุ่นที่หลอดแก้ว สารปรอทและอิเลคโทรดเริ่มเสื่อม รวมทั้งปัจจัยภายนอก เช่น การมีฝุ่นผงเกาะติดที่หลอด หรือการระบายความร้อนที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น โดยทั่วไปหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตที่ดีจะสามารถผลิตรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตอย่างเพียงพอในการอบแห้งใน 1,000 ชั่วโมงแรก หากรักษาสภาพแวดล้อมได้ดี จะสามารถใช้งานหลอดได้อีกหลังจาก 1,000 ชั่วโมง การบำรุงรักษาหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลต เพื่อยืดอายุการใช้งานของหลอดสามารถทำได้ดังต่อไปนี้ (Park et al., 2009)

1. หลีกเลี่ยงการเปิดเครื่องขณะเครื่องเย็นจำนวนบ่อยครั้งเกินไป เมื่อหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตถูกเดินเครื่องในช่วงแรก ความดันภายในจะต่ำอยู่ กระแสไฟที่ผ่านตัวหลอดจะยังไม่ดี ทำให้เกิดละอองของทังสเตนเปื้อนที่หลอด ซึ่งทำให้อายุของหลอดจะสั้นลง การเดินเครื่องด้วยกำลังสูง เพื่อลดเวลาในการเริ่มเดินเครื่องจึงเป็นทางแก้ไขอีกวิธีหนึ่ง การเปิดเครื่องที่บ่อยเกินไปยังทำให้ขั้ว

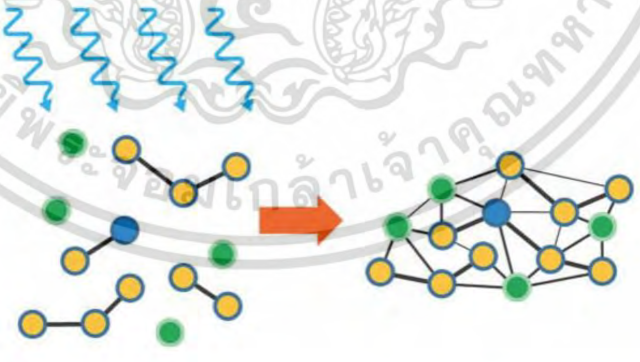
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดดำและจะกระจายไปทั่วหลอด ส่งผลให้รังสีแสดงออกมาได้ไม่ดี ดังนั้นจึงควรรวบรวมการอบแห้งให้ได้มากจำนวนหนึ่งเพื่อหลีกเลี่ยงการที่ต้องเปิดเครื่องใหม่หลายๆ ครั้ง

2. ตรวจสภาพแผ่นสะท้อน Reflector เพื่อให้แน่ใจว่าสะอาดและไม่เสียรูปบิดเบี้ยวซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากรังสีความร้อน การเปลี่ยนแผ่นสะท้อนเป็นบางครั้งอาจเป็นเรื่องจำเป็นในการยืดอายุหลอดและอุปกรณ์ต่างๆ ไส้กรองที่อุดตันและสิ่งสกปรกที่ช่องเป่าลม อาจทำให้ระบบระบายความร้อนมีปัญหา ซึ่งทำให้เกิดการลดลงของกำลังไฟและทำให้รังสีแสงอ่อนลง การเปลี่ยนไส้กรอง และทำความสะอาดที่ช่องเป่าลมจะสามารถทำให้ระบบความเย็นมีประสิทธิภาพและเป็นการป้องกันไม่ให้หลอดโค้งงอจากความร้อน อย่างไรก็ตามการโค้งงอของหลอดเป็นเรื่องที่สังเกตได้ยากด้วยการตรวจสอบด้วยสายตาจึงควรทำระบบระบายความร้อนให้สมบูรณ์อยู่เสมอ

3. ติดตั้งหลอดรังสีชนิดอัลตราไวโอเลตอย่างถูกวิธี หลีกเลี่ยงการสัมผัสหลอดด้วยฝ่ามือโดยตรง ควรสวมถุงมือหรือใช้ผ้าสะอาดจับตัวหลอด ควรใช้ผ้าชุบแอลกอฮอล์เพื่อลบรอยนิ้วมือก่อนใช้งาน ควรแน่ใจว่าสายไฟถูกสวมให้แน่น และอุปกรณ์ไม่ชำรุดเสียหาย ช่องเสียบหลอดต้องใส่หลอดอย่างสมบูรณ์และถูกวิธี

สำหรับบริษัทกรณีศึกษาใช้วิธีการอบแห้งโดยใช้รังสี (Radiation Curing) ใช้ชนิดรังสีเป็นรังสีอัลตราไวโอเลต รูปแบบ Metal Halide (Iron Iodide) ซึ่งมีข้อดีคือเป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการเพิ่มยอดการผลิตและการใช้พลังงานของกระบวนการพิมพ์ที่ลดลง ขั้นตอนการทำงานจะใช้การฉายรังสีอัลตราไวโอเลตลงไปที่วัสดุซึ่งผ่านการพิมพ์เคลือบด้วยหมึกหรือสีซึ่งมีสารพิเศษที่มีคุณสมบัติตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้โมเลกุลของสารพิเศษนี้เกิดปฏิกิริยาเรียงตัวกันทำให้แห้งพร้อมกับแข็งตัวเคลือบลงบนพื้นผิวสัมผัสอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.6 กระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

การทดสอบวัสดุโดยทั่วไปจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Testing, DT) และการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing, NDT) แสดงดังต่อไปนี้

การทดสอบแบบทำลาย จะเป็นการทดสอบในลักษณะชิ้นวัสดุที่ใช้ทดสอบ (Specimen) จะเกิดการชำรุดเสียหายถาวร ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบการดึง (Tensile Test) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเค้น (Stress) การทดสอบแรงกด (Compression Test) เป็นการทดสอบที่มีลักษณะของแรงที่มากระทำที่อยู่ในลักษณะการกดอัด (Compressive) การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถของวัสดุที่ต้านทานการเปลี่ยนรูปแบบถาวร รวมทั้งดูว่าทำให้เปลี่ยนรูปมากน้อยแค่ไหน ซึ่งสามารถทดสอบความแข็งของวัสดุได้หลากหลายวิธี ไม่ว่าจะใช้แรงกด ขูด เจาะกระแทก การทดสอบแรงกระแทก (Impact Test) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเหนียว (Toughness) และความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุนั้นๆ โดยลักษณะของแรงที่มากระทำนั้นจะต้องอยู่ในลักษณะแรงเคลื่อนที่ (Dynamic Load) มากระแทกด้วยความเร็วเพื่อให้เกิดการแตกหักในเวลาอันสั้น

การทดสอบแบบไม่ทำลาย การทดสอบแบบไม่ทำลายนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติหรือข้อบกพร่องของวัสดุ การทดสอบในลักษณะนี้ ชิ้นวัสดุที่ใช้ทดสอบ (Specimen) จะไม่เกิดการชำรุดเสียหาย ยกตัวอย่างเช่น การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) เป็นการตรวจสอบที่สะดวกเนื่องจากไม่ต้องการเครื่องมือในการตรวจสอบแต่อย่างใด แต่กระนั้นผู้ตรวจสอบก็ต้องมีความรู้ในด้านทฤษฎีและปฏิบัติเกี่ยวกับการผลิต เพื่อที่จะสามารถหาลักษณะที่ผิดปกติผ่านการตรวจสอบด้วยตาเปล่าการตรวจสอบด้วยอนุภาคแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) เป็นการตรวจสอบหาจุดบกพร่องที่ผิวและใต้ผิวชิ้นงานลงไปอีกเล็กน้อย การตรวจสอบด้วยการถ่ายรังสี (Radiographic Testing) เป็นการตรวจสอบหาจุดบกพร่องผ่านการถ่ายรังสีลงบนฟิล์มถ่ายภาพ การตรวจสอบด้วยอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing) เป็นการตรวจสอบสิ่งบกพร่องในชั้นเนื้อวัสดุได้เช่นเดียวกับภาพถ่ายรังสี (Kot et al., 2023)

การทดสอบแบบทำลาย เช่น การทดสอบการยึดเกาะของสีพิมพ์บนพื้นผิวชิ้นงาน เป็นการทดสอบเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพของการยึดเกาะของสีพิมพ์บนพื้นผิวของชิ้นงาน มีหลากหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทการพิมพ์ ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบการยึดเกาะของสีบนพื้นผิวโลหะ จะใช้การทดสอบ Cross cut และ Adhesive Tape Test อ้างอิงตาม ASTM D3359-09 หรือการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนพื้นผิวพลาสติก จะใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) (Bartlett et al., 2023) ในงานวิจัยฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) เนื่องจากเป็นวิธีที่บริษัทกรณีศึกษาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) เป็นการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนพื้นผิวพลาสติก โดยใช้อุปกรณ์เทปในการทดสอบให้ติดสัมผัสกับชิ้นงาน และดึงเทปออกจากชิ้นงาน เพื่อพิจารณาการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ ซึ่งชิ้นงานดังกล่าวจะได้รับความเสียหายไม่สามารถใช้งานได้อีกจึงจัดว่าเป็นการทดสอบแบบทำลาย

สำหรับบริษัทกรณีศึกษาผลิตฝาเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม โดยใช้วัตถุดิบเป็นพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เกรด High Density Polyethylene (HDPE) ซึ่งมีค่าพลังงานพื้นผิว (Surface Energy) โดยทั่วไปเท่ากับ 40 ไดน์ต่อเซนติเมตร ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำไม่สามารถเกาะติดกับหมึกพิมพ์ได้ในสภาวะปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพผิวของฝาโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการพิมพ์แบบออฟเซ็ท (Offset Printing) โดยใช้หมึกพิมพ์ยูวี (UV Printing Ink) กระบวนการอบแห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV Curing Process) และกระบวนการทดสอบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์

2.6 เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

การวิเคราะห์จำแนกประเภท เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มของตัวแปรเกณฑ์ (Y) ด้วยการวิเคราะห์จากตัวแปรเกณฑ์ 1 ตัวและตัวแปรพยากรณ์ตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้นอกจากจะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้แล้ว ยังสามารถบอกธรรมชาติบางประการของการจำแนกกลุ่มได้ด้วย เช่น บอกได้ว่าตัวแปรใดจำแนกได้ดีมากน้อยกว่ากัน นั่นคือ สามารถบอกประสิทธิภาพ หรือน้ำหนักในการจำแนกของตัวแปรเหล่านั้น การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเป็นการใช้ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระที่ร่วมกันพยากรณ์ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

กัลยา วานิชย์บัญชา (2564: 33-35) กล่าวถึงวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์จำแนกประเภท ไว้ทั้งหมด 3 ประการ แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ใช้สำหรับหาสาเหตุหรือปัจจัยที่ควรใช้ในการแบ่งกลุ่ม
2. เพื่อสร้างสมการจำแนกกลุ่มที่ดีที่สุดจากข้อมูล
3. เพื่อประยุกต์ใช้นำสมการจำแนกกลุ่มมาใช้พยากรณ์หน่วยวิเคราะห์ใหม่ว่าสมควรจัดอยู่ในกลุ่มใด

ลักษณะข้อมูลที่ประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์จำแนกประเภท แบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรเกณฑ์ จัดเป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม (Categorical) เป็นตัวแปรที่แบ่งเป็นกลุ่มๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป มีระดับการวัดในมาตรานามบัญญัติ (Nominal Scale) หรือมาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) และเมื่อพบข้อมูลเป็นรูปแบบอื่นต้องแปลงข้อมูลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มก่อนที่จะนำไปทำการวิเคราะห์

2. ตัวแปรอิสระ เป็นตัวแปรสำหรับจำแนกหรือเป็นตัวแปรสำหรับการพยากรณ์ เป็นตัวแปรต่อเนื่องซึ่งมีระดับการวัดอยู่ในมาตราอันตรภาค (Interval Scale) หรือมาตราอัตราส่วน (Ratio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Scale) และเมื่อพบว่าข้อมูลเป็นระดับอื่นต้องแปลงเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy Coding) ก่อนการนำไปใช้สำหรับวิเคราะห์

2.6.1 เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท มีทั้งหมด 4 ประการแสดงดังต่อไปนี้ (Brown and Tinsley, 1983)

1. ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงปกติ (Normality of Independent Variables) สามารถตรวจสอบได้จากการแจกแจงปกติแบบตัวแปรเดียว (Univariate Normal Distribution) โดยแยกทำการตรวจสอบตัวแปรอิสระทีละตัว หากพบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวมีการแจกแจงปกติ ก็มีความน่าจะเป็นสูงที่จะมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปรด้วย

การตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบตัวแปรเดียว (Univariate Normal Distribution) ซึ่งใช้สำหรับตัวแปรที่มีเชิงปริมาณเพียงหนึ่งตัวแปร โดยการตรวจสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นการตรวจสอบด้วยกราฟ อาทิ ฮิตโตแกรม (Histogram) บล็อกพล็อต (Boxplot) และแผนภาพลำต้นและใบ (Stem and Leaf Display) เป็นต้น และกลุ่มที่ 2 เป็นการตรวจสอบด้วยค่าสถิติทดสอบ อาทิ การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-Square) แอนเดอร์สัน - ดาร์ลิ่ง (Anderson-Darling) โคโมโกรอฟ (Komogorav-Smirmov) และไลลีฟอร์ (Liliefer) เป็นต้น

กัลยา วานิชย์บัญชา (2564: 33-35) กล่าวว่า สำหรับผลการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลไว้ว่า สำหรับการศึกษาการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่มีหน่วยตัวอย่างปริมาณเพียงพอ และวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยคือการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มข้อมูลให้ถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นเงื่อนไขข้อนี้ในทางปฏิบัติจึงไม่ได้เคร่งครัดมาก ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) ที่ศึกษาการจำแนกกลุ่มสหกรณ์ออมทรัพย์กลุ่มกำไรและขาดทุนที่ชุดข้อมูลไม่มีอัตราส่วนใดเลยที่มีการแจกแจงแบบปกติ

2. เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มต้องเท่ากัน (Equal Dispersion Matrices) การตรวจสอบการเท่ากันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของประชากรทุกชุดเป็นหนึ่งในข้อสมมุติเบื้องต้น (Assumption) ที่สำคัญในการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis) ซึ่งวิธีการทดสอบความเท่ากันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมมีหลากหลายวิธีและได้รับการพัฒนาเป็นจำนวนมากและสามารถจำแนกได้ตามแนวทางที่ใช้ในการพัฒนาตัวสถิติทดสอบได้เป็น 3 แนวทาง ได้แก่ (1) การทดสอบที่อาศัยหลักเกณฑ์อัตราส่วนภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Ratio Criterion) เช่น การทดสอบของ Box เป็นต้น (2) การทดสอบที่อาศัยระยะทางเอมไพริคัล (Empirical Distance) ซึ่งการทดสอบนี้มักใช้ในการทดสอบสมมติฐานกรณีข้อมูลที่มีจำนวนตัวแปรมากกว่าขนาดของตัวอย่าง หรือ p>n (3) การทดสอบ ที่อาศัยการแจกแจงของค่าสูงสุดของค่าไอเกน (Largest Eigenvalue Distribution) (Izenman, 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้วิธีการทดสอบของ Box หรือที่เรียกว่า Box’s M Test ในการทดสอบการเท่ากันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและสามารถทดสอบได้ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น SPSS และเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักเกณฑ์อัตราส่วนภาวะน่าจะเป็น (Likelihood Ratio Criterion)

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวแปรต่อเนื่อง และมีการแจกแจงแบบปกติ สามารถตรวจสอบโดยการใช้วิธีสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation) แต่ถ้าตัวแปรทั้งสองไม่เป็นตัวแปรต่อเนื่องทั้งคู่ ก็สามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองได้ด้วยวิธีสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (Point Biserial Correlation Coefficient)

ดังนั้นสำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (Point Biserial Correlation Coefficient) โดยที่ตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรต่อเนื่องซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นแบบ dichotomous ที่จำแนกได้เป็นสองกลุ่ม เช่น ชิ้นงานดี แทนเป็น 1 และชิ้นงานเสีย แทนเป็น 0 แสดงดังสมการที่ 2.1 (Brown, 2001)

$$r_{pbi}=\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_q}{S_x}\sqrt{pq} \tag{2.1}$$

โดย r_{pbi} แทนสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล

S_x แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทำนาย

p แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด

q แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในอีกกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\bar{x}_p$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 1

$\bar{x}_q$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 0

$\bar{x}$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น ตรวจสอบได้จากวิธีใช้สถิติสหพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation) หรือใช้วิธีตรวจสอบโดยใช้สถิติ Collinearity โดยดูจากค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF) หากค่า Tolerance มีค่ามากกว่า 0.1 คืออยู่ในเกณฑ์ค่าทางสถิติที่ยอมรับได้ว่าตัวแปรทำนายไม่มีความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ส่วนค่า VIF หากมีค่าเข้าใกล้ 10 มากเท่าใดก็แสดงว่าระดับความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้นของตัวแปรมีปัญหามาก (Rockwell, 1975) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การตรวจสอบโดยใช้สถิติ Collinearity

ค่าสถิติที่สำคัญสำหรับนำมาใช้กับการวิเคราะห์จำแนกประเภท สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอล (Canonical Correlation) เป็นสถิติสำหรับใช้เพื่อการตัดสินความสำคัญของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท เป็นมาตรวัดความสัมพันธ์ของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทกับกลุ่มของตัวแปรที่จะระบุการเป็นสมาชิกของกลุ่มนั้นๆ ของตัวแปรตาม โดยแสดงให้เห็นว่าการเป็นสมาชิกกลุ่มมีความสัมพันธ์กับสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่สร้างขึ้นมากน้อยเพียงใด ดังนั้น ถ้าค่าสหสัมพันธ์คาโนนิคอลมีค่าสูง แสดงว่า การเป็นสมาชิกของกลุ่มสามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรกับสมการจำแนกได้มาก

2. ค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' Lambda) เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม และเป็นมาตรวัดอำนาจในการจำแนกกลุ่มของตัวแปรด้วย ถ้าค่า Wilks' Lambda มีค่ามาก ตัวแปรจะอธิบายการเป็นสมาชิกของกลุ่มได้น้อย ถ้าค่า Wilks' Lambda มีค่าน้อย ตัวแปรจะอธิบายการเป็นสมาชิกของกลุ่มได้มาก

2.6.2 การตรวจสอบโฮเทลลิ่งที (Hotelling's T^2) ของค่าการจำแนกกลุ่ม

แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรพหุนามสำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม กรณีที่มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว ถ้ากลุ่ม 2 กลุ่มเป็นอิสระกัน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ t- test แบบ independent แต่ถ้ากลุ่ม 2 กลุ่มมีความสัมพันธ์กัน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ t- test แบบ dependent ส่วนในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 กลุ่ม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรพหุนาม (Multivariate Analysis of Variance : MANOVA) เป็นการขยายขอบเขตของการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) หมายถึง MANOVA เป็นการศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (Centroid) ของกลุ่มที่มีตัวแปรตามมากกว่า 1 ตัวอาจเป็น 2 ตัว หรือมากกว่า และข้อมูลที่ได้จากการวัดตัวแปรตามเป็นข้อมูลเมตริกซ์ และในขณะเดียวกันจะมีตัวแปรอิสระอยู่ในรูปกลุ่ม (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง ANOVA และ MANOVA เป็นสถิติที่ใช้ศึกษาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มกล่าวคือ ANOVA เป็นการศึกษาความแตกต่างระหว่างกลุ่มในกรณีที่มีตัวแปรตามเพียงตัวเดียว ส่วน MANOVA เป็นการศึกษาความแตกต่างระหว่างกลุ่มในกรณีที่มีตัวแปรตามหลายตัว และสามารถศึกษาตัวแปรตามหลายตัวพร้อมกันได้

สถิติการทดสอบ t-test เป็นสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่ม 2 กลุ่ม และ ANOVA เป็นสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่ม 2 กลุ่มหรือมากกว่า 2 กลุ่ม ทั้งสถิติ t-test และ ANOVA เป็นการศึกษาตัวแปรตามตัวเดียว สำหรับในการวิเคราะห์ตัวแปรพหุนามเมื่อมีตัวแปรตามหลายตัวในกรณีที่วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่ม 2 กลุ่มจะใช้สถิติที่เรียกว่า Hotelling's T^2 ส่วนในกรณีที่วิเคราะห์ความแตกต่างของกลุ่มมากกว่า 2 กลุ่ม จะใช้สถิติที่เรียกว่า MANOVA สรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลแยกประเภทตามจำนวนกลุ่มของตัวแปรทำนายและจำนวนตัวแปรตาม

จำนวนกลุ่มของตัวแปรทำนาย	จำนวนของตัวแปรตาม	
	1 ตัว	2 ตัวหรือมากกว่า
2 กลุ่ม	t-test	Hotelling's T^2
2 กลุ่มขึ้นไป	ANOVA	MANOVA

(กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2554)

สำหรับการตรวจสอบโฮเทลลิ่งที (Hotelling's T^2) กรณีสองกลุ่ม (The Two Group Case) เป็นการทดสอบการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม สำหรับการศึกษาตัวแปรตามมากกว่า 1 ตัว ยกตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีสัมภาษณ์ จากตัวอย่างดังกล่าวจะเห็นว่ามีตัวแรปตาม 2 ตัว คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ หากตัวแปรตามทั้ง 2 ตัว มีความสัมพันธ์กันสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลถ้าใช้วิธีการทดสอบแบบ t-test วิเคราะห์ตัวแปรตามทีละตัวจะทำให้ความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (Type I Error) หรือระดับนัยสำคัญ (α) ที่ตั้งไว้สูงกว่าความเป็นจริง โดยนักวิจัยกำหนด α = 0.05 ในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบตัวแปรตามแต่ละตัว ค่าแอลฟาจะเปลี่ยนไปเท่ากับ (1-0.95(0.95)) ซึ่งเท่ากับ 0.0975 จะเห็นว่าค่าที่ได้สูงกว่าค่าแอลฟาที่กำหนดไว้ตั้งแต่แรก คือ 0.05 ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนักวิจัยจึงจำเป็นต้องใช้สถิติที่เหมาะสมในการทดสอบคือ Hotelling's T^2

Hotelling's T^2 เป็นการขยายขอบเขตของ t-test ในการกำหนดสมมุติฐานทางสถิติของ Hotelling's T^2 จะอยู่ในรูปของเซ็นทรอยด์ (Centroid) หรือเวคเตอร์ (Vector) เป็นการวัดที่บ่งบอกทั้งขนาดและทิศทาง ตัวอย่างของเวคเตอร์ เช่น ความเร็วซึ่งมาจากการวัดตัวแปร 2 ตัว คือระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเวลา ดังนั้น ความเร็วหาได้โดยการนำระยะทางหารเวลา สำหรับการวัดที่มีค่าเดียวจะอยู่ในรูปของสเกลาร์ (Scalar)

โดยปกติการทดสอบ t-test โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ เป็นการศึกษาตัวแปรตามตัวเดียว ส่วนในกรณีของการทดสอบ Hotelling's T^2 จะเป็นการศึกษาตัวแปรตามที่มากกว่า 1 ตัวขึ้นไปข้อมูล โดยมีการตั้งสมมุติฐานดังต่อไปนี้

$$H_0: [\mu_1] = [\mu_2]$$

$$H_1: [\mu_1] \neq [\mu_2]$$

โดย $[\mu_1]$ คือเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายกลุ่มที่ 1

$[\mu_2]$ คือเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายกลุ่มที่ 2

จากตัวอย่างที่นักวิจัยต้องการศึกษาตัวแปรตาม 2 ตัว คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ และเจตคติต่อวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้วิธีสัมภาษณ์ และพบว่าตัวแปรตามทั้ง 2 ตัว มีความสัมพันธ์กัน และนักวิจัยต้องการใช้สถิติที่เรียกว่า Hotelling's T^2 ในการกำหนดสมมุติฐานทางสถิติจะเขียนในรูปเวคเตอร์ (หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า variate หรือผลรวมของน้ำหนักของตัวแปรเชิงเส้น)

การแปลความหมายของ Hotelling's T^2 ในทางปฏิบัติการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม SPSS จะไม่ให้ค่าของ Hotelling's T^2 แต่จะเปลี่ยนเป็นค่า T^2 ซึ่งเป็นการแจกแจง F โดยสถิติที่พบหรืออาจมีความเกี่ยวข้อง 4 ตัวคือ Wilks' Lambda, Pillai's trace, Hotelling's Trace และ Roy's Largest Root ซึ่งสถิติแต่ละตัวเป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ที่เปลี่ยนเป็นค่า F ซึ่งสำหรับการศึกษาโดยใช้ MANOVA ที่มีจำนวนกลุ่มมากกว่า 2 กลุ่ม เช่น อาจมี 3 กลุ่ม หรือ 4 กลุ่ม ก็จะพบสถิติทั้ง 4 ตัวดังกล่าว

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกใช้การทดสอบ Hotelling's T^2 โดยใช้การคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากโปรแกรม SPSS เพื่อทดสอบว่าความแตกต่างของตัวทำนายจำนวน 2 กลุ่มคือ กลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย ว่าเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยพิจารณาที่ค่า Hotelling's Trace

2.6.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในการให้ผลการทำนายเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ หากต้องการนำแบบจำลองที่ได้นั้นไปทำนายเหตุการณ์ที่มีค่าปัจจัย (ตัวแปรอิสระ) แปรผันแตกต่างออกไปจากค่าที่ใช้สร้างแบบจำลอง ควรที่จะต้องมีการทดสอบการทำนายของแบบจำลองว่าให้ความถูกต้องเพียงใด โดยใช้ข้อมูลการสำรวจเหตุการณ์จริงจำนวนหนึ่งมาเปรียบเทียบกับสิ่งที่แบบจำลองทำนายได้ ซึ่งในแบบจำลองเป็นการทำนายเหตุการณ์ว่าจะเกิดหรือไม่เกิด (Visa et al., 2011)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองที่มีตัวแปรอิสระที่ต้องการจัดกลุ่มไม่ว่าจะเป็นลำดับหรือไม่ก็ตามจะมีผลต่อประสิทธิภาพของสมการในการทำนายเหตุการณ์และในทำนองเดียวกันจุดที่กำหนดหรือค่ากลางของแต่ละกลุ่ม จะใช้เพื่อแยกความแตกต่างกันระหว่างสองประชากรดังกล่าว บางครั้งสามารถส่งผลให้การทำนายเหตุการณ์ที่เกิดได้ถูกต้องซึ่งถือว่าผลการทำนายออกมาเป็นบวก (หรือเชิงบวก) แต่ในบางครั้งก็มีผลการทำนายเป็นลบได้ในทำนองเดียวกันกรณีที่ไม่มีเหตุการณ์นั้นเกิดขึ้นจริงผลการทำนายของแบบจำลองก็อาจให้ผลเป็นบวกหรือเป็นลบ ดังนั้นในการทดสอบจึงมีตัวสถิติหลายตัวที่ใช้อธิบายประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยต้องนำข้อมูลผลการทดสอบมาสร้างเป็นตารางเมตริกซ์เพื่อการประเมินแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เมตริกซ์ความถูกต้องของการพยากรณ์ (Confusion Matrix)

		ค่าพยากรณ์		
		เกิดเหตุการณ์	ไม่เกิดเหตุการณ์	รวม
ค่าอ้างอิง (เป็นจริง)	เกิดเหตุการณ์	True Positive (TP)	False Positive (FP)	TP + FP
	ไม่เกิดเหตุการณ์	False Negative (FN)	True Negative (TN)	FN + TN
	รวม	TP + FN	FP + TN	TP+FP+FN+TN

(Visa et al., 2011)

โดยที่

True Positive (TP) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์เกิดเหตุการณ์ว่าเกิดเหตุการณ์
False Positive (FP) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์เกิดเหตุการณ์ว่าไม่เกิดเหตุการณ์
False Negative (FN) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์ไม่เกิดเหตุการณ์ว่าเกิดเหตุการณ์
True Negative (TN) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์ไม่เกิดเหตุการณ์ว่าไม่เกิดเหตุการณ์

$$\text{Accuracy (\%)} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}} * 100 \quad (2.2)$$

ถ้าค่าความถูกต้อง (Accuracy) มีค่ามากเข้าใกล้ 100% หมายความว่า แบบจำลองมีความถูกต้องสูง ประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูง แต่ถ้าหากค่าความถูกต้อง (Accuracy) ลดลงมาจาก 100% ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง และประสิทธิภาพของการพยากรณ์จะลดลงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ

Sutherland et al. (1991) กล่าวว่า กระบวนการพิมพ์พลาสติกต้องการการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ที่มีประสิทธิภาพ และในสภาวะปกติพลาสติกจะมีคุณสมบัติการยึดเกาะกับหมึกพิมพ์ที่ต่ำ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการปรับสภาพผิวของพลาสติก โดยนำเสนอวิธีการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (Flame Treatment) ของพลาสติก โดยพิจารณาที่ค่าพลังงานพื้นผิว (Surface Free Energy) และความแข็งแรงของพันธะ (Bond Tensile Strength) ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาและส่งผลต่อการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด เวลาที่ชิ้นงานสัมผัสเปลวไฟซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของการป้อนชิ้นงาน และระยะระหว่างจุดกำเนิดเปลวไฟกับพื้นผิวของชิ้นงาน

Medeiros et al. (2017) กล่าวว่า พลาสติกโดยส่วนใหญ่มีพลังงานพื้นผิวที่ต่ำ และการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนชิ้นงานพลาสติกถือเป็นปัญหาคุณภาพที่สำคัญของอุตสาหกรรม ซึ่งคุณสมบัติการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการเปียกผิว (Wettability) และพลังงานพื้นผิว (Surface Free Energy) การปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (Flame Treatment) เป็นกระบวนการที่ใช้ต้นทุนต่ำ ให้ประสิทธิภาพดี ใช้ระยะเวลาน้อย และยังช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิวของชิ้นงานพลาสติกคิดเป็น 20% โดยประมาณ

Mazzola et al. (2011) ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (Flame Treatment) โดยพิจารณาค่าพลังงานพื้นผิว (Surface Free Energy) ความเป็นขั้ว (Polar Component) ความเปียกผิว (Wettability) เปรียบเทียบผลก่อนและหลังของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ โดยนำปัจจัยซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟมาพิจารณาเป็น 5 ปัจจัย ได้แก่ ระยะของเปลวไฟระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวของชิ้นงาน เวลาที่ชิ้นงานสัมผัสเปลวไฟ ความเร็วของการป้อนชิ้นงาน ความดันของแก๊ส และความดันของอากาศอัด จากนั้นสรุปผลว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟสามารถเพิ่มค่าพลังงานพื้นผิวถึง 48% และเพิ่มความเป็นขั้วได้เป็น 2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบผลกับก่อนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ

Awaja et al. (2008) กล่าวว่า กระบวนการปรับสภาพผิวของพลาสติกเชิงกายภาพทำได้โดยการพัฒนาคุณสมบัติการเปียกผิว (Wettability) และพลังงานพื้นผิว (Surface Free Energy) ซึ่งกระบวนการปรับสภาพผิวของพลาสติกเชิงกายภาพมีหลากหลายประเภท ได้แก่ ประเภทพลาสมา ประเภทโคโรนา ประเภทอัลตราไวโอเลต รวมถึงประเภทเปลวไฟ ซึ่งการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับประเภทอื่นๆ คือ เปลวไฟสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและเพิ่มคุณสมบัติการเปียกผิวได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะเวลาของกระบวนการที่สั้น รวมถึงเป็นวิธีการที่มีความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ และเป็นกระบวนการที่ง่ายไม่มีความซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tajima et al. (2023) เสนอว่าอุตสาหกรรมพลาสติกถือเป็นอุตสาหกรรมที่กว้างขวาง มีความสำคัญ และถูกใช้มาตั้งแต่ในอดีต เนื่องจากสามารถสร้างได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำของกระบวนการผลิต น้ำหนักเบา เป็นฉนวนไฟฟ้า มีความคงทน ความแกร่ง และถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย ได้แก่ อุตสาหกรรมเสื้อผ้า ของใช้ในครัวเรือน อุปกรณ์การแพทย์ รวมถึงอุตสากรรมบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม แต่อย่างไรก็ตามพลาสติกโดยทั่วไป มีคุณสมบัติเชิงพื้นผิวที่มีข้อกังวลเกี่ยวกับเรื่องการยึดเกาะของกระบวนการพิมพ์พลาสติกอยู่เสมอ ถือได้ว่าการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนพื้นผิวของพลาสติกยังคงเป็นปัญหาอยู่ ซึ่งความสามารถในการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการเปียกผิว (Wettability) และพลังงานพื้นผิว (Surface Free Energy)

Song et al. (2007) กล่าวว่า ตัวแปรที่ส่งผลต่อการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ และต้องได้รับการควบคุม ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด ระยะระหว่างหัวจ่ายเปลวไฟกับชิ้นงาน และระยะเวลาที่ชิ้นงานถูกปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ และสรุปผลว่าหลังจากนำชิ้นงานที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟมาพิจารณาคุณสมบัติเชิงพื้นผิวในเชิงความเป็นขั้วของพลาสติกพบว่าคุณสมบัติเชิงพลาสติกของพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมต่อกระบวนการพิมพ์พลาสติกต่อไป นอกจากนี้การออกแบบหัวจ่ายเปลวไฟก็มีความสำคัญ ถ้าเป็นรูปแบบ Nozzle จะให้ความเสถียรเรื่องรูปร่างการกระจายของเปลวไฟมากกว่ารูปแบบ Thrower

Chan (1999) เสนอว่ากระบวนการปรับสภาพพื้นผิวของพลาสติกมีหลากหลายประเภท ได้แก่ เทคนิคของพลาสมา เทคนิคเชิงเคมี เทคนิคของโคโรนา เทคนิคของเปลวไฟ และเทคนิคของไอออน เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น เทคนิคของพลาสมา มีข้อดีในเรื่องความเร็วของกระบวนการ แต่ก็มีข้อเสียคือการปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีความยุ่งยาก ส่วนเทคนิคเชิงเคมี มีข้อเสียคือมีกระบวนการเพิ่มเติมหลังถูกปรับสภาพพื้นผิว เช่น กระบวนการล้าง อบแห้ง และเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเกิดของเสียเชิงเคมี และได้สรุปผลว่าสำหรับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ขวดพลาสติก การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคของเปลวไฟ จะให้ข้อดีที่มากขึ้นคือ การทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวและความสามารถในการเปียกผิวด้วยระยะเวลาที่สั้น มีความเสถียรของกระบวนการ ความปลอดภัย น่าเชื่อถือ และได้รับผลลัพธ์อย่างสมบูรณ์เพียงแค่การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่เหมาะสม

Tuominen et al. (2013) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงพื้นผิว (Surface Properties) ของพลาสติกหลังจากการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟว่ามีความเกี่ยวข้องกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดของพลาสติก ชนิดของแก๊ส อุปกรณ์เครื่องมือ และค่าพารามิเตอร์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์จะต้องได้รับการควบคุมเพื่อให้ชิ้นงานได้คุณภาพ ได้แก่ ความสมดุลของอัตราส่วนแก๊สและอากาศ ถือได้ว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุด เพราะปัจจัยดังกล่าวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิของชิ้นงาน อัตราการป้อนชิ้นงานซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับความเร็วของสายพาน ถ้าความเร็วของสายพานสูงก็จะส่งผลให้อัตราการป้อนชิ้นงานหรือเวลาของการปรับสภาพผิวลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Garbassi et al. (1987) กล่าวว่า การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ เป็นกระบวนการโดยใช้ความร้อนผ่านผิวสัมผัสด้านบนของพลาสติก โดยอาศัยความสมดุลกันของแก๊สและอากาศ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มความเปียกผิวและความสามารถการยึดเกาะของของเหลวบนพื้นผิวของพลาสติก และได้กำหนดวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาโดยพิจารณาประสิทธิภาพการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ โดยพิจารณาคุณสมบัติเชิงพื้นผิวซึ่งวัดผลเชิงเคมีของค่ามุมสัมผัส (Contact Angle) ของพลาสติก

Fabbri et al. (2017) ได้เลือกใช้การปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ เพื่อเพิ่มแรงตึงผิวของพลาสติก เนื่องจากการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ มีข้อดีคือถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม มีความน่าเชื่อถือ และง่ายต่อการควบคุม ซึ่งประสิทธิภาพของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟนั้นขึ้นอยู่กับการควบคุมและปรับตั้งค่าอัตราส่วนของแก๊สมีความสำคัญมาก ต้องมีการควบคุมอย่างต่อเนื่องสำหรับการผลิตในอุตสาหกรรมที่ยาวนาน อาจสร้างระบบควบคุมแก๊สและอากาศอัดโดยใช้การควบคุมด้วยระบบวาล์วควบคุม ตลอดกระบวนการจะต้องมีความมั่นใจว่าอัตราส่วนของแก๊สกับอากาศถูกควบคุมอย่างเสถียร เพราะหากพบว่าแก๊สที่สูงเกินไปจะส่งผลเสียคือทำให้พื้นผิวชิ้นงานถูกทำลายจนพื้นผิวเสียหาย และแก๊สที่ต่ำเกินไปก็จะส่งผลให้เกิดความล้มเหลวของกระบวนการพิมพ์พลาสติก

Maddah and Mazzola (2018) กล่าวว่า คุณสมบัติของพลาสติกจะมีพลังงานพื้นผิวที่ต่ำส่งผลให้เป็นปัญหาใหญ่ในอุตสาหกรรมสำหรับกระบวนการพิมพ์พลาสติก ซึ่งคุณสมบัติการยึดเกาะของกระบวนการพิมพ์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเปียกผิวและพลังงานพื้นผิวหลังจากถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ ซึ่งการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายของกระบวนการที่ต่ำ และให้ประสิทธิภาพสูง ถูกใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการพิมพ์พลาสติกของชิ้นส่วนรถยนต์ กระบวนการพิมพ์พลาสติกของบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

Antonogeorgos et al. (2009) ได้เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภท และวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ สำหรับการพิจารณาปัจจัยที่มีผลกับโรคหอบหืดของเด็กอายุ 10-12 ปี และสรุปผลว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ในการจำแนกประเภทเหมือนกัน ซึ่งการตัดสินใจเลือกวิธีสำหรับการวิเคราะห์ว่าวิธีการใดเหมาะสมที่สุด ก็จะต้องพิจารณาสมมุติฐานของเหตุการณ์ในการประยุกต์ใช้ร่วมด้วย

Andrew et al. (1984) ได้กล่าวว่าหากชุดข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ รวมถึงเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับแต่ละกลุ่มเท่ากันจะเลือกประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะมีความเหมาะสมของแบบจำลอง หากข้อมูลไม่เข้าเงื่อนไขจึงจะพิจารณาใช้การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ และการวิเคราะห์ต้นไม้ตัดสินใจ เป็นลำดับถัดไป ซึ่งทั้งสามวิธีเป็นเทคนิคที่เป็นแบบจำลองใช้สำหรับพยากรณ์กลุ่มเหตุการณ์

Press and Wilson (1978) ได้เสนอให้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ เมื่อชุดข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรเป็นการแจกแจงแบบปกติ แต่ถ้าหากชุดข้อมูลของกลุ่มประชากรเป็นการแจกแจงไม่ปกติ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข เสนอให้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ ซึ่งพิจารณาค่าความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum Likelihood)

Krzanowski et al. (1995) กล่าวว่า การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับตัวแปรอิสระควรเป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือหากมีตัวแปรเชิงกลุ่มอยู่ด้วยจะต้องปรับตัวแปรเชิงกลุ่มให้เป็นตัวแปรเทียม และตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่ม หากจำนวนการจำแนกกลุ่มของตัวแปรตามถูกจำแนกเป็นหลายกลุ่ม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูล คือจะต้องเก็บข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองจำนวนมากขึ้นตามการจำแนกกลุ่มของตัวแปรตาม

Dattalo (1994) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ ทั้งสองวิธีสามารถใช้กับการจำแนกประเภท ควรเลือกใช้วิธีการรูปแบบใดต้องพิจารณามุมมองสำหรับการวิเคราะห์ร่วมด้วย ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ เงื่อนไขของชุดข้อมูล และความคงทนของสมมติฐาน และสรุปผลว่าการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบจำลองให้ความถูกต้อง 84.30% ซึ่งสูงกว่าการการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ สมการให้ความถูกต้อง 83.28%

Efron (1975) พิจารณาประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีการ เปรียบเทียบกันในมุมมองของเงื่อนไขของชุดข้อมูลและกล่าวว่าการวิเคราะห์จำแนกประเภทมีเงื่อนไขของตัวแปรอิสระที่มากกว่าการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ แต่จะให้ประสิทธิภาพดีกว่า หากตัวแปรอิสระเป็นไปตามเงื่อนไขการตรวจสอบพื้นฐานของตัวแปรอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Polit (1996) ได้ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการจำแนกกลุ่มขนาดของฟาร์มขนาดเล็กกับฟาร์มขนาดใหญ่ กำหนดตัวแปรทำนาย 13 ปัจจัยและใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 150 ชุดข้อมูล โดยแบ่งเป็นข้อมูลของฟาร์มขนาดเล็กจำนวน 80 ข้อมูล และฟาร์มขนาดใหญ่จำนวน 70 ข้อมูล ซึ่งแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกร้อยละ 70 ของข้อมูลทั้งหมดนับเป็นกลุ่ม Training Sample สำหรับสร้างสมการ กลุ่มที่สองร้อยละ 30 นับเป็นกลุ่ม Holdout Sample สำหรับทดสอบสมการ ซึ่งจำนวนข้อมูลทั้งหมด 150 ข้อมูลถือเป็นการกำหนดตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์จำแนกประเภท คือกำหนดตัวอย่างเป็นจำนวน 10 เท่าของจำนวนตัวแปรอิสระ

ทัศนีย์ น้าเจริญ และ ลี่ลี อิงศรีสว่าง (2552) ได้ศึกษาการจำแนกกลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวาน ของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในโรงพยาบาลรัฐ โดยเปรียบเทียบผลของสองเทคนิคระหว่างการวิเคราะห์การจำแนกที่อิงพารามิเตอร์ด้วยฟังก์ชันการจำแนกเชิงเส้นกับฟังก์ชันการจำแนกกำลังสองและการวิเคราะห์การจำแนกที่ไม่อิงพารามิเตอร์ด้วยวิธี k-Nearest Neighbour (kNN) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 599 ข้อมูล มีกลุ่มไม่เสี่ยงโรคเบาหวาน จำนวน 561 ข้อมูล กลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวานจำนวน 17 ข้อมูล และกลุ่มเป็นโรคเบาหวาน จำนวน 21 ข้อมูล โดยกำหนดตัวแปรเกณฑ์ เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มไม่เสี่ยงโรคเบาหวาน กลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวาน และกลุ่มเป็นโรคเบาหวาน กำหนดตัวแปรทำนาย ทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ 1. อายุ (ปี) 2. เพศ (ชาย (0), หญิง (1)) 3. ระดับน้ำตาลในเลือด (mg/dl) 4. ค่าดัชนีมวลกาย (kg/m^2) จากนั้นตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของแต่ละเทคนิค วิเคราะห์ข้อมูลและสร้างฟังก์ชันการจำแนก ทำการเปรียบเทียบผลของแต่ละเทคนิคโดยการประมาณค่าอัตราความผิดพลาด (Error Rate Estimation) เพื่อเป็นการประเมินความสามารถของแต่ละฟังก์ชันการจำแนก สรุปผลได้ว่ากรณีข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความไม่สมดุล การวิเคราะห์การจำแนกที่ไม่อิงพารามิเตอร์ด้วยวิธี k-Nearest Neighbour (kNN) จะแสดงผลให้ค่าเฉลี่ยอัตราความผิดพลาดการจำแนกกลุ่มต่ำที่สุด

ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) ได้ศึกษาการจำแนกกลุ่มของสหกรณ์ออมทรัพย์ในประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้ทั้งหมดสามเทคนิค ได้แก่ การวิเคราะห์จำแนกประเภทด้วยตัวแบบของฟิชเชอร์ (Fisher’s Linear Discriminant Function, FLDF) การวิเคราะห์จำแนกประเภทด้วยตัวแบบกำลังสอง (Quadratic Discriminant Function, QDF) และการโปรแกรมเชิงเส้นด้วยตัวแบบ LCM (Lam, Choo and Moy) และตัวแบบ LPMED (Linear Programming Median) และเปรียบเทียบผล ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 186 ข้อมูล แบ่งเป็นสหกรณ์ออมทรัพย์ที่กำไรจำนวน 169 ข้อมูลและสหกรณ์ที่ขาดทุนจำนวน 17 ข้อมูล แบ่งข้อมูลเป็นกลุ่ม Training Sample ร้อยละ 70 สำหรับสร้างสมการ และกลุ่ม Holdout Sample ร้อยละ 30 สำหรับทดสอบสมการกำหนดตัวแปรเกณฑ์เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สหกรณ์ที่ขาดทุน กำหนดค่าตัวแปรเกณฑ์เป็น 1 และสหกรณ์ออมทรัพย์ที่กำไร กำหนดค่าตัวแปรเกณฑ์เป็น 2 ใช้วิธีคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise Method) กำหนดตัวแปรทำนายทั้งหมด 13 ปัจจัย 1. อัตราส่วนหนี้สินต่อทุน 2. อัตราส่วนทุนสำรองต่อสินทรัพย์ 3. อัตราการเติบโตของทุนสหกรณ์ 4. อัตราการเติบโตของหนี้ 5. อัตราการหมุนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สินทรัพย์ 6. อัตราการเติบโตของสินทรัพย์ 7. อัตราการเติบโตของธุรกิจ 8. เงินออมต่อสมาชิก 9. หนี้สินต่อสมาชิก 10. อัตราค่าใช้จ่ายดำเนินงานต่อกำไรก่อนหักค่าใช้จ่ายดำเนินงาน 11. อัตราการเติบโตของทุนสำรอง 12. อัตราการเติบโตทุนสะสมอื่น 13. อัตราส่วนทุนหมุนเวียน ทำการเปรียบเทียบผลโดยพิจารณาอัตราการจำแนกถูก และสรุปผลว่า วิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทด้วยตัวแบบกำลังสองเหมาะสมที่สุดสามารถจำแนกกลุ่มสหกรณ์ออมทรัพย์ได้ถูกต้อง 100% สำหรับชุดข้อมูลของกลุ่ม Training Sample และ Holdout Sample

จิตรี โพธิมามกะ และคณะ (2553) ได้ศึกษาการจำแนกกลุ่มของอาจารย์ที่เข้าร่วมโครงการโดยใช้เทคนิควิเคราะห์จำแนกประเภท ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 90 ชุดข้อมูล กลุ่มที่เข้าร่วมจำนวน 51 ข้อมูล และกลุ่มที่ไม่เข้าร่วมจำนวน 39 ข้อมูล กำหนดตัวแปรเกณฑ์ (Y) เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เข้าร่วมโครงการ และไม่เข้าร่วมโครงการ โดยการคัดเลือกตัวแปรแบบขั้นตอน (Stepwise Method) กำหนดตัวแปรทำนาย (x) ทั้งหมด 8 ปัจจัย และผลการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถพยากรณ์และจำแนกกลุ่มได้อาจารย์ที่เข้าร่วมโครงการได้ร้อยละ 86.30 กลุ่มที่ไม่เข้าร่วมโครงการได้ร้อยละ 82.10 และสามารถพยากรณ์การเป็นสมาชิกของกลุ่มโดยเฉลี่ยได้ร้อยละ 84.40

สิริกร ด้วงพิบูลย์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาการจำลองพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio, FR) เพื่อสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัจจัยเชิงพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่ออุทกภัย จำนวน 8 ปัจจัย เก็บรวบรวมข้อมูลในอดีตจำนวน 116 ข้อมูล (ร้อยละ 70) เป็นกลุ่ม Training Sample และประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลในอดีตจำนวน 50 ข้อมูล (ร้อยละ 30) เป็นกลุ่ม Holdout Sample ด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ใต้กราฟ (Area Under a Curve, AUC) ซึ่งแสดงผลระหว่างค่าอัตราส่วนของความสำเร็จ (Success Rate) คือการประเมินความสามารถของการจำแนกประเภทความเสี่ยง มีค่าร้อยละ 88.98 และค่าอัตราการทำนาย (Prediction Rate) คือการประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องของแบบจำลอง มีค่าร้อยละ 84.98

วนาพร สาชนะ และคณะ (2555) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทักษะชีวิตของนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 ในจังหวัดอุดรธานี โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จำนวน 572 คน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้คะแนนทีปกติ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของกลุ่มตัวอย่างและการแจกแจงของตัวแปร วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน วิเคราะห์จำแนกตัวแปรที่ทำให้กลุ่มแตกต่างกัน และพบว่าตัวแปรทำนาย 5 ปัจจัย ได้แก่ สัมพันธภาพกับเพื่อน สภาพแวดล้อมทางการเรียน อัตมโนทัศน์ สุขภาพจิต และการรับสารนิเทศจากสื่อมวลชน ที่ส่งผลต่อการแบ่งกลุ่มของตัวแปรตามเป็นกลุ่มนักเรียนที่มีทักษะชีวิตสูงและต่ำ ผลความถูกต้องของสมการจำแนกกลุ่ม คิดเป็นร้อยละ 74.10

ปริญญา สิริอัตตะกุล (2555) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการทำงานของพนักงานนิคมอุตสาหกรรมในภาคตะวันออก ประเทศไทยโดยใช้การวิเคราะห์จำแนก กำหนดให้ตัวแปรทำนายจำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ นิคมอุตสาหกรรม และประเภทธุรกิจ และกำหนดตัวแปรตามเป็นความสำเร็จและความไม่สำเร็จของของพนักงาน กลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน 450 บริษัท ใช้สถิติค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นใช้วิธี Wilk's Lambda เพื่ออธิบายความแตกต่างภายในกลุ่ม และสร้างสมการจำแนกประเภทที่มีความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มของแบบจำลองร้อยละ 89 สามารถอธิบายความแปรปรวนของการจำแนกกลุ่มได้ร้อยละ 52 มีค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนกกลุ่ม (Group Centroids) พนักงานที่ประสบความสำเร็จและพนักงานที่ไม่ประสบความสำเร็จ เท่ากับ 1.291 และ -0.839 ตามลำดับ

ณัฐดนัย สุวรรณสังข์ และคณะ (2562) ใช้วิธีการวิเคราะห์จำแนกปัจจัยที่เกี่ยวกับผลการเรียนภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กำหนดตัวแปรทำนายจำนวน 5 ตัว ได้แก่ พฤติกกรมการเรียน เจตคติต่อการเรียน ความสัมพันธ์ในครอบครัว ความสัมพันธ์กับเพื่อน และบรรยากาศในการเรียน และกำหนดตัวแปรตามเป็นกลุ่มนักเรียนที่มีผลการเรียนสูงและต่ำ ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 372 กลุ่ม และใช้ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล คือ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การประมาณค่า Discriminant Analysis การประมาณค่า Eigenvalue การประมาณค่า Discriminant Loading การคำนวณค่าจุดตัด (Cutting Point) การตรวจสอบความแม่นยำในการแบ่งกลุ่ม (Predictive Accuracy)

อรอุมา ทองหล่อ และคณะ (2556) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการจำแนกกลุ่มของขนาดฟาร์ม โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 120 ชุดข้อมูล กำหนดตัวแปรตามเป็นฟาร์มขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ และกำหนดตัวแปรอิสระทั้งหมด 10 ตัวแปร และใช้สถิติสำหรับนำมาวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ Wilks'Lambda, Chi-Square, df, และ Canonical Correlation จากค่า Standardized Canonical Discriminant Function Coefficient ผลความผิดพลาดของการใช้สมการจำแนกกลุ่มมีค่าเท่ากับ 39.6 เปอร์เซ็นต์

ชนิตา หางแก้ว และคณะ (2563) ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับทำนายการเลือกประกันภัยของลูกค้า กำหนดตัวแปรอิสระทั้งหมด 6 ตัวแปร และกำหนดตัวแปรตามเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มประกันแบบตลอดชีพ แบบสะสมทรัพย์ และแบบสุขภาพ ใช้กลุ่มประชากรจำนวน 400 ราย โดยวิเคราะห์จากค่าระยะทางมาฮาลาโนบิส (Mahalanobis distances) ในการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระต้องมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร และพบว่าเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระของประชากรแต่ละกลุ่มไม่เท่ากันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดเบื้องต้น โดยใช้สถิติจากค่า Box's M ในการวิเคราะห์ ดังนั้นในโปรแกรม SPSS จึงคำสั่ง separated groups แทน เพื่อให้มีการแยกวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมของแต่ละกลุ่ม

ศราวุฒิ สุจริตธรรม (2561) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทและเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ ในการระบุเพศโดยใช้ภาพถ่ายเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระบบ 3 มิติ ของกระดูกสะบักในคนไทย โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างทั้งหมด 100 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเพศชาย 50 ตัวอย่างและเพศหญิง 50 ตัวอย่าง กำหนดตัวแปรตามเป็นเพศชายหรือเพศหญิง และกำหนดตัวแปรทำนายเป็นขนาดกระดูกแต่ละประเภท ทั้งหมด 7 ตัวแปร เพื่อใช้ในการสร้างสมการและร้อยละความแม่นยำของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระบุเพศ และสรุปผลว่าเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงกว่าเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ และตัวแปรทำนายที่ส่งผลต่อตัวแปรตามมากที่สุดคือ GL (Length of the Glenoid Cavity)

สุธิดา มณีรัตนโชติ และ สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2563) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทและเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ สำหรับการจำแนกกลุ่มการเป็นหรือไม่เป็นภาวะซึมเศร้าของนักศึกษาญี่ปุ่น กำหนดตัวแปรตามเป็นการเป็นหรือไม่เป็นภาวะซึมเศร้าของนักศึกษาญี่ปุ่น และตัวแปรทำนายจำนวน 45 ตัว แบ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณจำนวน 24 ตัว และตัวแปรเชิงคุณภาพจำนวน 21 ตัว โดยเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 268 คน แบ่งเป็นเพศชายจำนวน 98 คน และเพศหญิงจำนวน 170 คน

พิชามญชุ์ เรืองสิงห์ และคณะ (2565) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการพยากรณ์ประสิทธิภาพด้านการเงินของกองทุนรวมตราสารในประเทศไทย โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 274 กองทุน กำหนดตัวแปรตามเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพดีกว่าตลาดและกลุ่มที่ประสิทธิภาพแย่กว่าตลาด กำหนดตัวแปรทำนายทั้งหมด 9 ปัจจัย และสรุปผลว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภท มีความแม่นยำในการพยากรณ์ 95.40% และปัจจัยที่ส่งผลต่อการพยากรณ์การจำแนกประสิทธิภาพของกองทุน ได้แก่ 3 ปัจจัย ได้แก่ การหมุนเวียนของสินทรัพย์เงินสดต่อสินทรัพย์รวม อายุกองทุน และการเติบโตของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ โดยพิจารณาจากมาตรวัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กนกอร บุญมา และ สกนธ์ คล่องบุญจิตร (2565) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการแก้ปัญหาการตรวจสอบผลิตภัณฑ์สำหรับตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม เก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 180 ชุดข้อมูล แบ่งเป็นกลุ่ม Training Sample ร้อยละ 70 และกลุ่ม Holdout Sample ร้อยละ 30 กำหนดตัวแปรทำนายเป็น 3 ตัวแปร ซึ่งเป็นประเภทของแหล่งกำเนิดแสงแต่ละประเภทนับเป็นข้อมูลแบบ Nominal และกำหนดตัวแปรตามเป็น 2 กลุ่ม คือผลการตรวจสอบค่าความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ เป็นกลุ่มถูกต้องหรือไม่ถูกต้องนับเป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม และสร้างสมการพยากรณ์ที่มีความถูกต้องของแบบจำลอง 92.6% หลังจากนั้นนำค่าที่เหมาะสมไปปรับใช้จริงและยืนยันผลกับเครื่องจักรพบว่าผลของข้อมูลสำหรับการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ถูกต้องสูงถึง 96.7%

สำราญ มั่นทัพ และคณะ (2558) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่มบัณฑิตใหม่ที่ได้งานและยังไม่ได้งาน กรณีศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และศึกษาความถูกต้องของการพยากรณ์ของสมการวิคราะห์จำแนกประเภท สำหรับจำแนกว่าสมาชิกกลุ่มบัณฑิตใหม่กลุ่มใดเป็นกลุ่มที่ได้งานและกลุ่มที่ไม่ได้งาน ซึ่งถูกกำหนดเป็นตัวแปรตาม กำหนดตัวแปรทำนายทั้งหมด 6 ตัวแปร ได้แก่ ระยะเวลาที่ศึกษา แรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ ระยะเวลาในการหางานทำ ความต้องการที่จะปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิรมล อุตมอ่าง และคณะ (2546) ได้ศึกษาปัจจัยด้านพฤติกรรมการบริโภคที่มีผลต่อไขมันในเลือดและโรคที่เกี่ยวข้องโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยสำรวจกลุ่มตัวอย่างของผู้ป่วยจำนวน 441 คน กำหนดตัวแปรตามเป็นการเป็นหรือไม่เป็นโรคไขมันในเลือด กำหนดตัวแปรอิสระ ได้แก่ การบริโภคอาหารทอด การควบคุมอาหาร และสภาวะจิตใจที่ดี และสรุปผลว่ามีบุคคลเป็นโรคไขมันในเลือดร้อยละ 57.1 และปัจจัยที่ส่งผลต่อโรคไขมันในเลือด ได้แก่ การบริโภคอาหารทอด การควบคุมอาหาร และสภาวะจิตใจที่ดี

ใจทิพย์ วานิชชัง และคณะ (2553) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการจำแนกความสุกและแก่ของแก้วมังกร โดยได้เก็บรวบรวมข้อมูลของผลแก้วมังกรจำนวน 520 ตัวอย่าง กำหนดตัวแปรตามเป็นจำนวน 2 กลุ่ม คือ ความสุกและความแก่ของผลแก้วมังกร กำหนดตัวแปรอิสระ ดังต่อไปนี้ น้ำหนักจำเพาะ ความกลมของผล อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักผล ความแน่นเนื้อของผลทั้งเปลือก ความแน่นเนื้อเมื่อไม่มีเปลือก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณกรด อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรด ค่าสีของผลในหน่วย L a และ b และค่าอัตราส่วนการสะท้อนแสงช่วง 550 ต่อ 680 นาโนเมตร และผลของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถจำแนกกลุ่มได้ความถูกต้องร้อยละ 93.5

ภัคชุดา เสรีรัตน์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาปัจจัยการจำแนกการตัดสินใจศึกษาต่อระดับอาชีวศึกษาของนักเรียนในกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยการเก็บตัวอย่างซึ่งใช้หลักการว่าอัตราส่วนระหว่างหน่วยตัวอย่างและจำนวนตัวแปร 20 เท่า ในการวิจัยครั้งนี้มี 18 ตัวแปร จึงใช้กลุ่มตัวอย่าง 360 คน การวิเคราะห์ผลของสมการจำแนกกลุ่มที่ได้คือนำมาพิจารณาจากคะแนนค่าสัมประสิทธิ์คาโนนิคัลมาตรฐาน เพื่อพิจารณาแนวโน้มในการตัดสินใจศึกษาศึกษาต่อของนักเรียนโดยพิจารณาจากค่ากลางของกลุ่ม (Group Centroid) คือถ้าระยะห่างดังกล่าวจากค่ากลางของกลุ่มใดต่ำที่สุด จะจัดให้อยู่ในกลุ่มที่มีระยะห่างต่ำที่สุด โดยพบว่าฟังก์ชันนี้จำแนกกลุ่มนักเรียนเป็น 2 กลุ่ม คือ นักเรียนที่ตัดสินใจเลือกเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนก (Group Centroid) เป็นบวกเท่ากับ 0.439 และนักเรียนที่ตัดสินใจ เลือกเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพปีที่ 1 มีค่าเฉลี่ยคะแนนจำแนก (Group Centroid) เป็นลบเท่ากับ -0.451 และสรุปผลว่าสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถพยากรณ์ได้ร้อยละความถูกต้อง 64.60

อรอุมา บัวทอง (2560) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant analysis) และใช้สถิติบรรยายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson’s product moment correlation) สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การรับรู้ความสามารถตนเอง การกำหนดเป้าหมาย บุคลิกภาพเชิงรุก กับประสิทธิผลในการทำงานของพนักงานสถาบันการเงินแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ว่า การรับรู้ความสามารถตนเองมีความสัมพันธ์กับความมีประสิทธิผลในการทำงาน ส่วนการกำหนดเป้าหมาย และบุคลิกภาพเชิงรุกไม่มีความมีความสัมพันธ์กับความมีประสิทธิผลในการทำงาน และปัจจัยดังกล่าวสามารถจำแนกความมีประสิทธิผลในการทำงานได้ถูกต้องร้อยละ 67.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุรวัชร ศรีเปารยะ และ สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2560) ได้ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการจำแนกกลุ่มการเป็นโรคไตเรื้อรัง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในประเทศอินเดีย โดยเก็บรวบรวมข้อมูลแบบอัตราส่วน 70:30 ใช้ข้อมูล 70% ในการสร้างแบบจำลองและใช้ข้อมูล 30% ในการทดสอบแบบจำลอง และให้ผลการพยากรณ์เป็น 100% โดยวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์โดยใช้ตัวชี้วัดแบบเมตริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) แสดงผลผ่านค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งเป็นวิธีที่งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง กำหนดตัวแปรอิสระทั้งหมด 24 ตัว และกำหนดตัวแปรตามเป็นการเป็นและไม่เป็นโรคไตเรื้อรัง

จากการที่งานวิจัยฉบับนี้กำหนดปัจจัยที่มีผลกับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (x) ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วของสายพานตามงานวิจัยของ Mazzola et al. (2011) และกำหนดค่าตัวแปรตาม (Y) เป็นกลุ่มของดีหรือกลุ่มของเสีย ซึ่งจัดว่าเป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม และผู้วิจัยพิจารณาลักษณะของข้อมูลเบื้องต้นซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขการตรวจสอบพื้นฐานสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท และพิจารณาค่าตัวแปรตาม (Y) เป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม ด้วยเหตุผลนี้เองผู้วิจัยจึงนำเลือกนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ ประกอบกับงานวิจัยของ Efron (1975) ที่กล่าวว่าหากชุดข้อมูลเป็นไปตามเงื่อนไขพื้นฐานการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จะประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการสร้างสมการพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง ในการจำแนกกลุ่มว่าชิ้นงานเป็นของดีหรือของเสีย และหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม

งานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาผลลัพธ์ของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ โดยพิจารณามุมมองคุณภาพผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการผลิตชิ้นงานเป็นหลักว่าเป็นของดีหรือของเสีย ซึ่งถือได้ว่าเป็นความต้องการสุดท้ายของบริษัทกรณีศึกษาที่ต้องการได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของดี และพบว่าแตกต่างกับมุมมองการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีต จะเน้นพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติเชิงเคมีหรือพฤติกรรมด้านคุณสมบัติพื้นผิวของพลาสติกเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ของประสิทธิภาพกระบวนการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ซึ่งถือได้ว่าไม่ใช่เป็นผลลัพธ์สุดท้ายสำหรับกระบวนการผลิต ที่ไม่อาจยืนยันได้ว่าเมื่อผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนถัดไปจนถึงกระบวนการสุดท้ายแล้วจะได้เป็นของดีหรือไม่

สำหรับการกำหนดจำนวนตัวอย่างของการเก็บรวบรวมข้อมูล จากการทบทวนงานวิจัยของ Polit (1996) ได้ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างของจำนวนข้อมูลเป็นจำนวน 10 เท่าของจำนวนตัวแปรอิสระ และกล่าวว่าเป็นการกำหนดตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยแบ่งข้อมูลเป็นสองชุดข้อมูล ชุดข้อมูลแรกจำนวน 70% สำหรับการสร้างสมการ และชุดข้อมูลที่สองจำนวน 30% สำหรับการทดสอบสมการ ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) และกนกอร บุญมา และ สกนธ์ คล่องบุญจิตร (2022) ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จะใช้การเก็บตัวอย่างของจำนวนข้อมูลเป็นจำนวน 10 เท่าของจำนวนตัวแปรอิสระ อ้างอิงตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ

ปี	ผู้เขียน	ชื่อบทความ	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ (x)				ผลลัพธ์ (Y)
			ความดันแก๊ส	ความดันอากาศอัด	ความเร็วชิ้นงาน	ระยะชิ้นงานกับเปลวไฟ	
1987	Garbassi et al.	Surface effect of flame treatments on polypropylene	✓	✓	✓		มุมสัมผัสของพลาสติก
1991	Sutherland et al.	Modification of polypropylene surfaces by flame treatment	✓	✓	✓	✓	พลังงานพื้นผิวและความแข็งแรงพันธะ
1994	Chan	Surface treatment of polypropylene by corona discharge and flame	✓	✓		✓	พลังงานพื้นผิว
2007	Song et al.	Flame treatment of low-density polyethylene: Surface chemistry across the length scales	✓	✓	✓	✓	ความเป็นขั้วของพลาสติก
2008	Awaja et al.	Surface properties of polypropylene following a novel industrial surface-treatment process	✓	✓	✓	✓	ความเปียกผิวและพลังงานพื้นผิว
2011	Mazzola et al.	Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces	✓	✓	✓	✓	พลังงานพื้นผิว ความเป็นขั้ว ความเปียกผิว
2013	Tuominen et al.	The effect of flame treatment on surface properties and heat sealability of low-density polyethylene coating	✓	✓	✓	✓	ความเปียกผิว
2017	Fabbri et al.	Surface modification of polymers: chemical, physical, and biological routes	✓	✓	✓		พลังงานพื้นผิว
2017	Medeiros et al.	Effect of Flame Treatment in the Coating Adhesion on Polypropylene Substrate	✓	✓	✓	✓	ความเปียกผิวและพลังงานพื้นผิว
2018	Maddah and Mazzola	Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces	✓	✓	✓		พลังงานพื้นผิวและความเปียกผิว
2023	Tajima et al.	Surface modification using automatic, transportable, single-wavelength UV treatment system for formation of surfaces with high adhesion	✓	✓	✓		ความเปียกผิวและพลังงานพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ปี	ผู้เขียน	ชื่อบทความ	เทคนิค		ตัวแปรตาม (Y)	จำนวนตัวอย่าง
			วิเคราะห์จำแนกประเภท	อื่นๆ		
2546	นิรมล อุตมอ่าง และคณะ	การศึกษาปัจจัยด้านพฤติกรรมการบริโภคที่มีผลต่อไขมันในเลือดและโรคที่เกี่ยวข้องโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท	✓		การเป็นหรือไม่เป็นโรคไขมันในเลือด	441 ข้อมูล
2552	ทัศนีย์ น้ำเจริญ และ ลี่ลี อิงศรีสว่าง	การวิเคราะห์การจำแนกข้อมูลที่ไม่สมดุลในแต่ละกลุ่ม กรณีศึกษาการจำแนกกลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวาน.	✓	k-Nearest Neighbour (kNN)	กลุ่มไม่เสี่ยง, เสี่ยง, เป็นเบาหวาน	599 ข้อมูล
2553	ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ	การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเพื่อจำแนกกลุ่มกำไรขาดทุนของสหกรณ์ออมทรัพย์ในประเทศไทย	✓		กลุ่มสหกรณ์ขาดทุนหรือกำไร	186 ข้อมูล (70:30)
2553	จิตรี โพธิมามกะ และคณะ	การวิเคราะห์ตัวแปรจำแนกอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ในโครงการส่งเสริมการจัดกิจกรรม	✓		กลุ่มเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมโครงการ	90 ข้อมูล
2553	ใจทิพย์ วานิชชัง และคณะ	การจำแนกความสุกแกของผลแก้วมังกรโดยใชเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท	✓		ความสุกหรือความแก่ของผลแก้วมังกร	520 ข้อมูล
2555	ปริญญา สิริอัตตะกุล	การวิเคราะห์จำแนกปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการทำงานของ พนักงานนิคมอุตสาหกรรมในภาคตะวันออก ประเทศไทย	✓		กลุ่มสำเร็จหรือไม่สำเร็จของพนักงาน	450 ข้อมูล
2556	อรอุมา ทองหล่อ และคณะ	การวิเคราะห์จำแนกประเภทเพื่อการจำแนกกลุ่มของขนาดฟาร์มโดยใช้ข้อมูลการจัดการฟาร์ม	✓		กลุ่มฟาร์มขนาดใหญ่ กลาง เล็ก	120 ข้อมูล
2558	สำราญ มั่นทัพ และคณะ	การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่มบัณฑิตใหม่ที่ได้งานและยังไม่ได้งาน	✓		กลุ่มได้งานหรือไม่ได้งาน	160 ข้อมูล
2560	สุรวัชร ศรีเปารยะ และ สายชล สินสมบูรณ์ทอง	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจำแนกกลุ่มการเป็นโรคไตเรื้อรัง:กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในประเทศอินเดีย	✓		กลุ่มเป็นหรือไม่เป็นโรคไตเรื้อรัง	70:30
2561	ศราวุฒิ สุจริตธรรม	การเปรียบเทียบการใช้สถิติการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติกกับสถิติการ วิเคราะห์จำแนกกลุ่มในการระบุเพศ	✓	LR	เพศชายหรือเพศหญิง	100 ข้อมูล
2561	ภัคชุดา เสรีรัตน์ และคณะ	ปัจจัยจำแนกการตัดสินใจศึกษาต่อระดับอาชีวศึกษาของนักเรียนในกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย	✓		กลุ่มเลือกหรือไม่เลือกเรียนต่อ	360 ข้อมูล
2561	สิริกร ด้วงพิบูลย์ และคณะ	การจำลองพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์อัตราส่วนความถี่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองหลังสวน ภาคใต้		วิเคราะห์อัตราส่วนความถี่		166 ข้อมูล (70:30)
2562	ณัฐดนัย สุวรรณสังข์ และคณะ	วิธีการวิเคราะห์จำแนกปัจจัยที่เกี่ยวกับผลการเรียนภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	✓		กลุ่มผลการเรียนสูงหรือต่ำ	372 ข้อมูล
2563	ชนิตา หางแก้ว และคณะ	การทำนายการเลือกประเภทประกันภัยของลูกค้า	✓		กลุ่มประกันตลอดชีพ สะสมทรัพย์ สุขภาพ	400 ข้อมูล
2563	สุธิดา มณีรัตนโชติ และ สายชล สินสมบูรณ์ทอง	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจำแนกการเกิดภาวะซึมเศร้า กรณีศึกษาของนักศึกษามหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น	✓	LR	กลุ่มเป็นหรือไม่เป็นซึมเศร้า	268 ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ปี	ผู้เขียน	ชื่อบทความ	เทคนิค		ตัวแปรตาม (Y)	จำนวนตัวอย่าง
			วิเคราะห์จำแนกประเภท	อื่นๆ		
2565	กนกอร บุญมา และ สกนธ์ คล่องบุญจิตร	การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม	✓		กลุ่มถูกต้องหรือไม่ถูกต้องของผลิตภัณฑ์	180 ข้อมูล (70:30)
2565	พิชามญชุ์ เรืองสิงห์ และคณะ	การประยุกต์วิธีวิเคราะห์จำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์ประสิทธิภาพเชิงการเงินของกองทุนรวมตราสารทุนในประเทศไทย	✓		กลุ่มประสิทธิภาพดีหรือแย่กว่าตลาด	274 ข้อมูล
1975	Efron	The efficiency of logistic regression compared to normal discriminant analysis	✓	LR	DA ให้ผลลัพธ์ดีกว่า LR	-
1978	Press and Wilson	Choosing between logistic regression and discriminant analysis	✓	LR	DA ให้ผลลัพธ์ดีกว่า LR	-
1984	Andrew et al.	Discriminant value of clinical and exercise variables in detecting significant coronary artery disease in asymptomatic men	✓	LR, Decision tree	-	-
1994	Dattalo	A comparison of discriminant analysis and logistic regression	✓	LR	DA ให้ผลลัพธ์ดีกว่า LR	-
1995	Krzanowski et al.	Discriminant analysis with singular covariance matrices: methods and applications to spectroscopic data	✓		ตัวแปรเชิงกลุ่ม	-
1996	Polit	Clinical significance in nursing research: A discussion and descriptive analysis	✓		กลุ่มฟาร์มขนาดเล็กหรือใหญ่	150 ข้อมูล (70:30)
2009	Antonogeorgos et al.	Logistic regression and linear discriminant analyses in evaluating factors associated with asthma prevalence among 10-to 12-years-old children: divergence and similarity of the two statistical methods	✓	LR	กลุ่มเป็นหรือไม่เป็นหอบหืด	-

หมายเหตุ เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท ใช้อักษรย่อ DA

เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ ใช้อักษรย่อ LR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม ดังแสดงในบทที่ 1 และการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในบทที่ 2 สำหรับบทที่ 3 นี้จะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์สำหรับการลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม ผู้วิจัยจะนำทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาในบทที่ 2 มาปรับใช้และประยุกต์สำหรับการแก้ไขปัญหาเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยวิธีการดำเนินงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

3.2 กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม

3.3 การกำหนดหัวข้อของปัญหา

3.4 การศึกษากระบวนการพิมพ์ฝาและการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

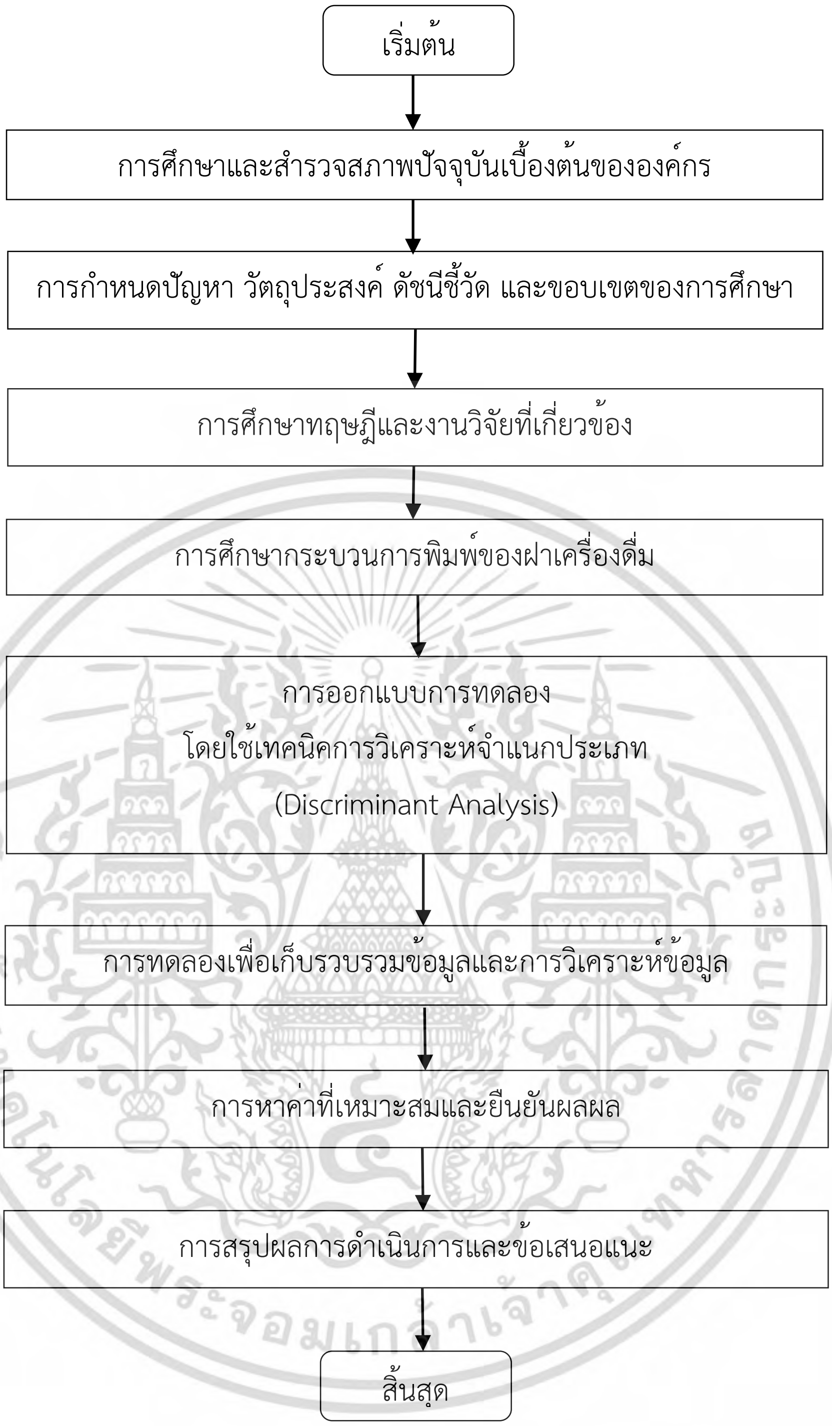
3.5 การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

3.1.1 ประวัติของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตสินค้าพลาสติกยาวนานมากกว่า 50 ปี ที่ได้รับการยอมรับทั้งในด้านคุณภาพและความหลากหลายของสินค้าให้ลูกค้าเลือก โดยมีคู่ค้าจากหลายประเทศทั้งฝั่งยุโรป เอเชียตะวันออก ตะวันตก เป็นคู่ค้าที่ยาวนานถือการตอกย้ำความมั่นใจภายใต้การทำงานของบริษัท และรองรับการขยายฐานการผลิตไปในหลายประเทศทั้งเวียดนาม อินเดีย อินโดนีเซียและจีน ภายใต้เครื่องหมายการค้าของบริษัท ทำให้บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตสินค้าพลาสติกที่สามารถตอบสนองการขยายตลาดได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายหลอดพรีฟอร์มสำหรับเป่าขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติกและฝาเครื่องดื่มภายใต้สิทธิบัตรของ Universal Closures Limited (UCL) ประเทศอังกฤษ ครอบคลุม 14 ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และแปซิฟิก ได้แก่ ไทย ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย เวียดนาม กัมพูชา สิงค์โปร ปาปัวนิวกินี ลาว ฟิจิ พม่า ตาฮิติ นูเมีย นิวซีแลนด์ และออสเตรเลีย ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัย รองรับการลดน้ำหนักฝาปิดขวด เช่น ฝาสำหรับน้ำอัดลมหรือน้ำดื่ม ภายใต้ระบบการควบคุมตามมาตรฐานสากล FSSC 22000 นอกจากนี้บริษัทกรณีศึกษายังมีทีมผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคไว้บริการลูกค้าอย่างรอบด้าน เรียกได้ว่าเป็นการบริการแบบครบวงจร เพื่อรองรับการใช้งานสินค้าและเพื่อให้โครงการต่างๆ ของลูกค้าสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีเป็นไปได้ตามเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



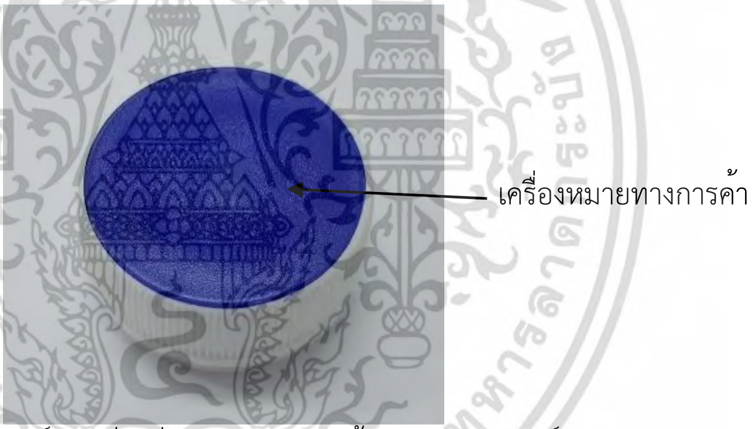
รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้คิดค้น ออกแบบและผลิตชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับสร้างเป่าขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติกสำหรับน้ำดื่มหรือน้ำอัดลม (Preform) และฝาเครื่องดื่ม (Closure) ซึ่งทั้งสองผลิตภัณฑ์หลักนี้ ถูกขึ้นรูปจากกระบวนการฉีดพลาสติกเป็นชิ้นงาน โดยหลอดพรีฟอร์มถือเป็นชิ้นงานตั้งต้นสำหรับนำเข้าไปสู่กระบวนการเป่าขึ้นรูปเป็นขวดพลาสติกที่กระบวนการผลิตของลูกค้า เช่น ขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำผลไม้ เป็นต้น และผลิตภัณฑ์หลักอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งของบริษัทกรณีศึกษาคือ ฝาเครื่องดื่มที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับปิดขวดน้ำดื่มหรือน้ำอัดลม โดยผลิตภัณฑ์ฝาสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม ส่วนใหญ่จะมีเครื่องหมายทางการค้าที่ถูกกำหนดโดยความต้องการของลูกค้าถูกพิมพ์อยู่ที่ตำแหน่งด้านบนของฝา เพื่อแสดงถึงภาพลักษณ์และความสวยงามของผลิตภัณฑ์ของบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะศึกษากระบวนผลิตฝาเครื่องดื่มที่ใช้สำหรับปิดขวดน้ำอัดลม โดยพิจารณาที่แบบพิมพ์ M1 เท่านั้นเนื่องจากเป็นแบบพิมพ์ที่มีกำลังการผลิตสูงสุดต่อปีและได้รับความนิยมและความต้องการซื้อจากลูกค้าสูงสุด แสดงดังรูปที่ 3.2

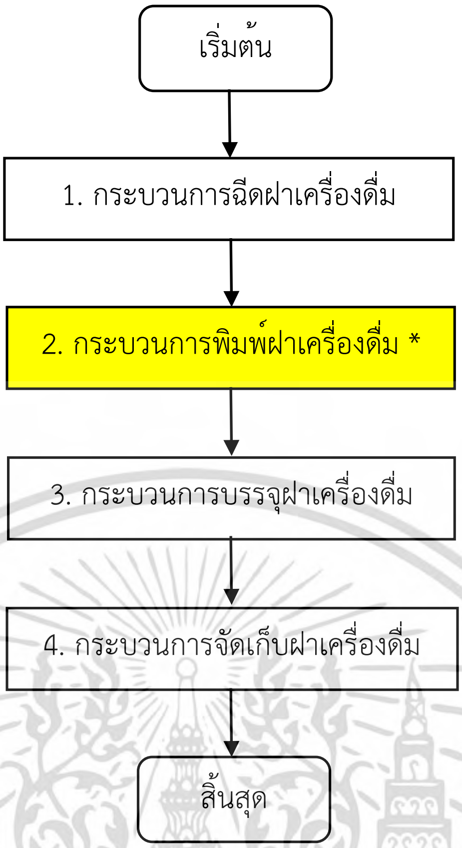


รูปที่ 3.2 ผลิตภัณฑ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม แบบพิมพ์ M1

3.2 กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม

กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลมของบริษัทกรณีศึกษา หากพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการเมื่อรับเม็ดวัตถุดิบที่เป็นพลาสติกจนถึงท้ายกระบวนการจนสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ฝาเครื่องดื่ม ประกอบด้วย 4 กระบวนการหลัก ดังรูปที่ 3.3 ได้แก่ 1. กระบวนการฉีด 2. กระบวนการพิมพ์ 3. กระบวนการบรรจุ และ 4. กระบวนการจัดเก็บ แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเหตุ * ขอบเขตของงานวิจัยฉบับนี้

รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม

1. กระบวนการฉีดฝาเครื่องดื่ม เป็นกระบวนการขึ้นรูปฝาด้วยการฉีด เริ่มจากเม็ดวัตถุดิบเป็นเม็ดพลาสติกถูกหลอมเหลวในเครื่องฉีด จากนั้นพลาสติกหลอมเหลวก็จะถูกดันผ่านหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ซึ่งปิดอยู่และถูกทำให้เย็นตัวในระยะเวลาอันสั้น เพื่อให้ชิ้นงานถูกปลดออกจากแม่พิมพ์เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ฝา แสดงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 กระบวนการฉีดฝาเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม เป็นกระบวนการพิมพ์หมึกสร้างเป็นรูปแบบเครื่องหมายทางการค้าตามความต้องการของลูกค้าลงบนด้านบนของผลิตภัณฑ์ฝา เพื่อเป็นการสร้างมูลค่าและภาพลักษณ์ที่สวยงามของผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม

3. กระบวนการบรรจุฝาเครื่องดื่ม เป็นกระบวนการนำฝาเครื่องดื่มที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพในส่วนลักษณะทางภายนอก (Appearance) ขนาดของฝา (Dimension) และความสมบูรณ์ของการใช้งาน (Function) แล้วบรรจุลงบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ แสดงดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 กระบวนการบรรจุฝาเครื่องดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

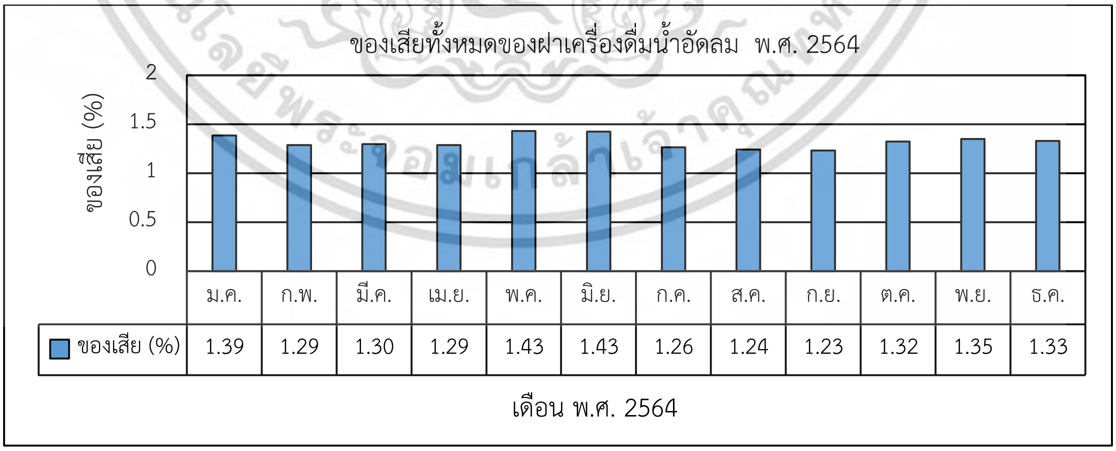
4. กระบวนการจัดเก็บฝาเครื่องดื่ม เป็นกระบวนการลำเลียงฝาที่เป็นสินค้าพร้อมส่งจัดเก็บเข้าคลังสินค้า เพื่อเตรียมส่งให้ลูกค้าตามแผนการจัดส่ง แสดงดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 กระบวนการจัดเก็บฝาเครื่องดื่ม

จากรูปที่ 3.3 ขอบเขตของงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลมเท่านั้น

3.3 การกำหนดหัวข้อปัญหา

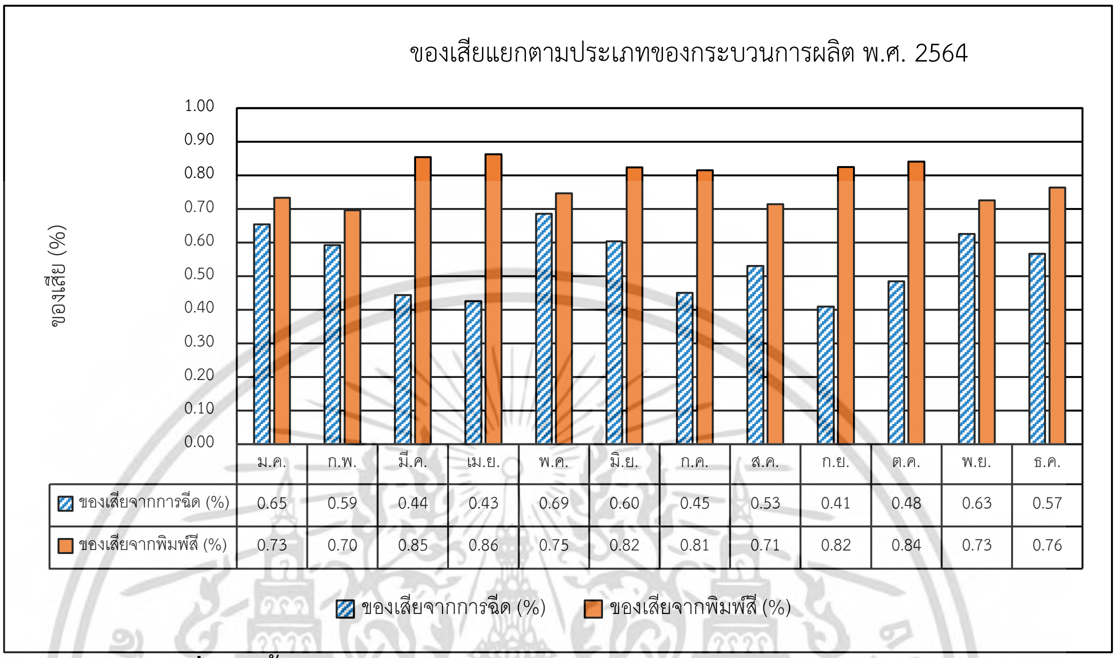
จากการศึกษาข้อมูลของเสียของกระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มน้ำอัดลม ในปี พ.ศ. 2564 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม แสดงให้เห็นว่าจากยอดการผลิตฝาทั้งหมดตลอดปี 473,637,870 ชิ้น พบจำนวนของเสียทั้งหมดตลอดปี 6,274,961 ชิ้น แสดงรายละเอียดในแต่ละเดือนดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ข้อมูลของเสียทั้งหมดของฝาเครื่องดื่มน้ำอัดลม พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากนำข้อมูลของเสียทั้งหมดของกระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มน้ำอัดลม ปี พ.ศ. 2564 มาพิจารณาแยกตามประเภทสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการฉีดฝา และของเสียที่เกิดจากกระบวนการพิมพ์สีแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.9



	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ของเสียจากการฉีด (%)	0.65	0.59	0.44	0.43	0.69	0.60	0.45	0.53	0.41	0.48	0.63	0.57
ของเสียจากพิมพ์สี (%)	0.73	0.70	0.85	0.86	0.75	0.82	0.81	0.71	0.82	0.84	0.73	0.76

รูปที่ 3.9 ข้อมูลของเสียแยกตามประเภทของกระบวนการผลิต พ.ศ. 2564

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าปี พ.ศ. 2564 ของเสียจากกระบวนการพิมพ์ในแต่ละเดือนมีเปอร์เซ็นต์สูงกว่าของเสียที่เกิดจากการกระบวนการฉีด โดยค่าเฉลี่ยของเสียจากกระบวนการพิมพ์มีเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยสูงเป็นอันดับที่ 1 คือ 0.78% และอันดับรองลงมาคือของเสียจากกระบวนการฉีด 0.55% สามารถแสดงรายละเอียดข้อมูลของเสียจากกระบวนการพิมพ์ในแต่ละเดือน ดังตารางที่ 3.1

เนื่องจากของเสียจากกระบวนการพิมพ์มีเปอร์เซ็นต์สูงที่สุดจากกระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม โดยจะมีลักษณะการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ของรูปแบบเครื่องหมายทางการค้าของลูกค้าบริเวณด้านบนของฝา ดังนั้นข้อความแห่งปัญหาของงานวิจัยฉบับนี้ คือ มีของเสียจากกระบวนการพิมพ์ของฝาที่สูง เมื่อเกิดของเสียขึ้นพนักงานมักจะมาปรับเปลี่ยนการตั้งค่าเครื่องจักรแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) ไปเรื่อยๆ จนได้ของดี นั่นคือพนักงานไม่ทราบค่าที่แท้จริงที่ควรปรับพารามิเตอร์ต่างๆ อนึ่งช่วงของพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์ ณ ปัจจุบันก่อนปรับปรุง ถือว่ามีช่วงที่กว้าง มีความเป็นไปได้หลายค่าที่มักถูกใช้ในการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลของเสียจากกระบวนการพิมพ์ ปี พ.ศ. 2564

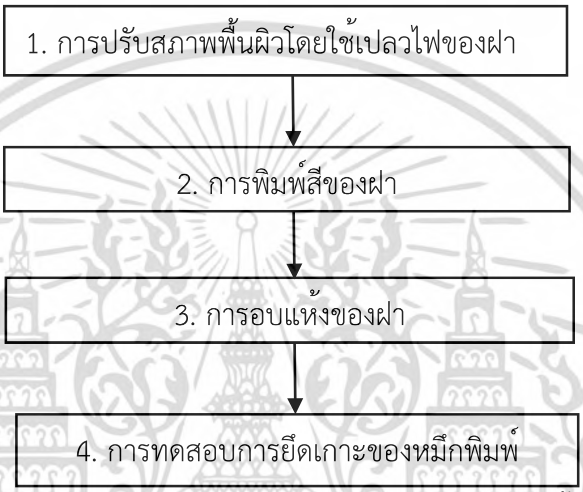
เดือน	ยอดผลิตทั้งหมด (ชิ้น)	ของเสียจากพิมพ์สี (ชิ้น)	ของเสียจากพิมพ์สี (%)
มกราคม	46,055,804	337,469	0.73
กุมภาพันธ์	38,435,480	267,348	0.70
มีนาคม	35,914,759	306,725	0.85
เมษายน	13,776,428	118,829	0.86
พฤษภาคม	41,589,142	310,305	0.75
มิถุนายน	43,570,749	358,800	0.82
กรกฎาคม	44,352,192	361,320	0.81
สิงหาคม	43,430,846	309,903	0.71
กันยายน	41,764,124	344,183	0.82
ตุลาคม	42,593,288	357,875	0.84
พฤศจิกายน	38,067,956	276,265	0.73
ธันวาคม	44,087,102	336,485	0.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การศึกษากระบวนการพิมพ์ฝาและการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

3.4.1 กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม

กระบวนการพิมพ์ฝา เป็นขั้นตอนการสร้างเครื่องหมายทางการค้าตามความต้องการของลูกค้าลงบนฝาเครื่องดื่ม ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยสร้างมูลค่าและภาพลักษณ์ที่สวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ กระบวนการพิมพ์จึงเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะบรรจุฝาลงกล่องและส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ไปสู่ลูกค้า ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอน แสดงดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 3.10



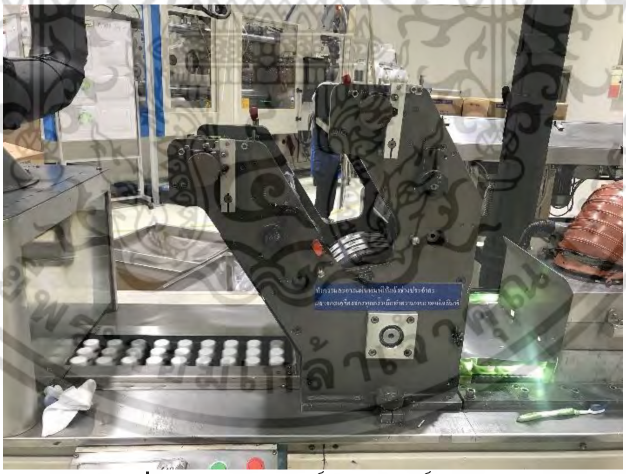
รูปที่ 3.10 กระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่มสำหรับปิดขวดน้ำอัดลม

1. ขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟของฝา เป็นการปรับสภาพพื้นผิวของฝาให้พร้อมสมบูรณ์สู่การพิมพ์สี ด้วยการระเบิดผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment) สามารถทำได้โดยเปิดวาล์วแก๊ส (Gas) กับวาล์วอากาศอัด (Compressed Air) จากนั้นทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟโดยการปรับตั้งค่าความดันแก๊สและความดันอากาศอัดให้เกิดความสมดุลจนเกิดเปลวไฟลักษณะสีฟ้าอมม่วง โดยการพิจารณาด้วยสายตา เพื่อใช้สำหรับการระเบิดผิวของฝา และปรับตั้งความเร็วของสายพาน (Speed Conveyor) แสดงดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment)

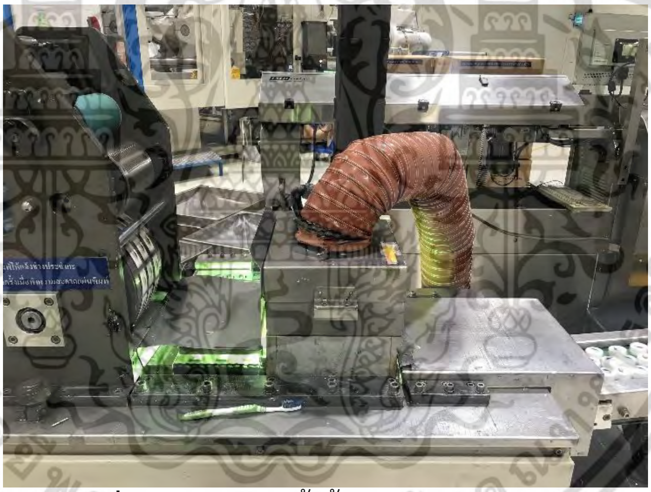
2. ขั้นตอนการพิมพ์ของฝา เป็นการพิมพ์หมึกพิมพ์ยูวี (UV printing) ให้เป็นรูปแบบเครื่องหมายทางการค้าตามความต้องการของลูกค้า ทำได้โดยนำแผ่นแบบพิมพ์ที่เป็นเครื่องหมายทางการค้าติดตั้งที่เครื่องพิมพ์สี จากนั้นเติมหมึกพิมพ์ลงในถาด และเปิดเครื่องพิมพ์สีเพื่อให้ลูกกลิ้งปล่อยหมึกพิมพ์ลงบนฝา สำหรับบริษัทกรณีศึกษาใช้หมึกพิมพ์แบบยูวี (UV printing) ซึ่งถูกกำหนดร่วมกันระหว่างลูกค้าถือเป็นความต้องการของลูกค้าไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นสำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะไม่ถูกนำมาพิจารณา แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนฝา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนการอบแห้งของฝา เป็นการทำให้หมึกพิมพ์ยูวี (UV printing) บนฝาถูกอบแห้งด้วยรังสี (Radiation Curing) โดยใช้รังสีเป็นรังสีอัลตราไวโอเลต ทำได้โดยลำเลียงฝาที่พิมพ์สีเรียบร้อยแล้วเข้าสู่ตู้อบรังสีอัลตราไวโอเลต โดยบริษัทกรณีศึกษาใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลต รูปแบบ Metal Halide (Iron Iodide) ที่ให้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต A ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 385 นาโนเมตร จำนวน 1 หลอด ซึ่งมีความสามารถให้การทำสีหรือเคมีแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้สีที่ทำแห้งยากหรือการปาดสีที่มีความนูนหนา เนื่องจากประสิทธิภาพสำหรับการทะลุเข้าไปในชั้นของสี และเหมาะกับงานที่ต้องใช้ความรวดเร็วในการอบแห้ง จะให้ค่ารังสีชนิดอัลตราไวโอเลตที่ 300-400 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร (Millijoule per square centimetre, mJ/cm^2) ซึ่งเหมาะสำหรับงานพิมพ์รูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing) ที่บริษัทกรณีศึกษาใช้หรืองานพิมพ์ที่ต้องใช้ความรวดเร็วในการผลิตชิ้นงานเพื่อให้หมึกพิมพ์ที่ใช้ คือ หมึกพิมพ์ยูวี (UV printing) แห้งติดกับชิ้นงาน ตามงานวิจัยของ Shukla et al. (2004) ดังนั้น ปัจจัยเรื่องของหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตนี้จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบกับเหตุผลเรื่องราคาของหลอดรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีราคาสูง แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การอบแห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

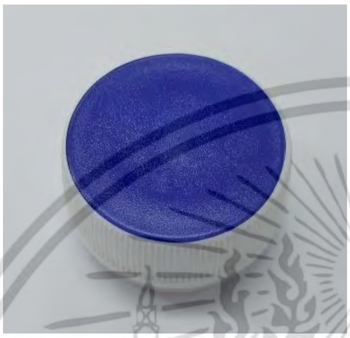
4. ขั้นตอนการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ เป็นการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์กับฝาเพื่อพิจารณาคุณภาพการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ โดยสุ่มหยิบฝามาทดสอบด้วยเทป แสดงดังรูปที่ 3.14 ในกระบวนการผลิตปกติสุ่มหยิบทุกๆ 30 นาที จำนวน 30 ชิ้น มาทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ ว่าฝาผ่านคุณภาพเป็นของดี (หมึกพิมพ์ไม่หลุดลอก) หรือไม่ผ่านคุณภาพเป็นของเสีย (หมึกพิมพ์หลุดลอก) โดยการจะพิจารณาว่าฝาเป็นของดีจะต้องเป็นของดีทั้ง 30 ชิ้นหลังการทดสอบด้วยเทป และฝาเป็นของเสียเพียง 1 ชิ้นจาก 30 ชิ้นก็จะนับว่าเป็นของเสียทั้งหมด ซึ่งการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ด้วยเทปดังกล่าว ถือเป็นการทดสอบแบบทำลาย ชิ้นงานที่สุ่มมาทดสอบแล้วไม่สามารถนำไปจำหน่ายต่อได้

รูปที่ 3.14 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์สำหรับฝาปิดขวดน้ำอัดลมของบริษัทกรณีศึกษา ใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) อ้างอิงตาม ASTM F2252-03 Tape Test เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการทดสอบหมึกพิมพ์แบบยูวี (UV Printing Ink) เพื่อทดสอบว่าผลิตภัณฑ์ฝาเป็นของดี ไม่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ หรือเป็นของเสีย มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 3.15



ก. ของดี

ข. ของเสีย

รูปที่ 3.15 ของดี และของเสีย หลังการทดสอบด้วยเทป

สำหรับขั้นตอนการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ โดยใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) แสดงขั้นตอนการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

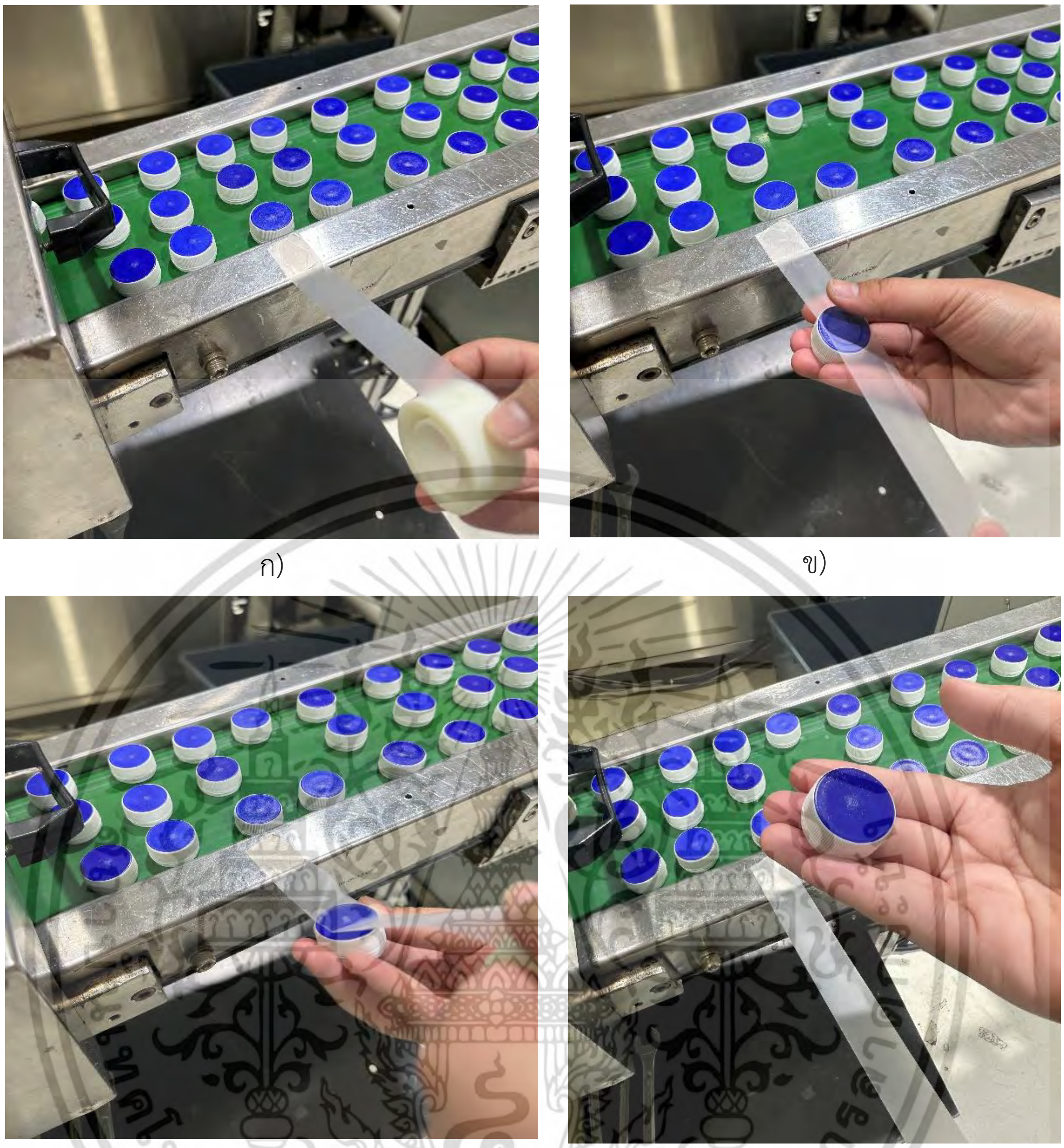
1. ตัดเทป 3M #810 ความยาวไม่เกิน 12 นิ้วเพื่อให้สะดวกต่อการจับขณะทำการทดสอบฝา ดังรูปที่ 3.16 ก)

2. ติดเทปลงบนพื้นผิวบริเวณหน้าฝาให้สัมผัสกับหมึกพิมพ์โดยใช้นิ้วมือหรือนิ้วโป้ง เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดรอยย่นหรือฟองอากาศบริเวณผิวสัมผัส โดยใช้เวลาในการติดเทปอย่างสม่ำเสมอที่ 10 วินาทีสำหรับ 1 ตัวอย่างฝา ดังรูปที่ 3.16 ข)

3. ขณะจับฝา ให้ดึงเทปที่มุม 120-150 องศา ด้วยความเร็วประมาณ 12-18 นิ้วต่อวินาที จำนวน 1 ครั้ง ดังรูปที่ 3.16 ค)

4. พิจารณาที่ฝาและตัดสินใจ ถ้าไม่มีหมึกพิมพ์หลุดลอกฝาผ่านคุณภาพเป็นของดี หรือมีหมึกพิมพ์หลุดลอกจะฝาไม่ผ่านคุณภาพเป็นของเสีย ดังรูปที่ 3.16 ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ข) ค) ง)

รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการทดสอบด้วยเทป

สำหรับการทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บริษัทกรณีศึกษา เพื่อพิจารณาคุณภาพการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ ซึ่งปัญหาการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ถูกกำหนดโดยข้อกำหนดร่วมกับลูกค้าว่าเป็นข้อบกพร่องระดับวิกฤต (Critical Defect) โดยมีเกณฑ์กำหนดการพิจารณาตัดสินใจว่าเป็นฝาของดีหรือของเสีย อ้างอิงตามมาตรฐาน MIL-STD-105E GII ที่ AQL (Acceptance Quality Level) เท่ากับ 0.065% หมายความว่า ฝาต้องไม่พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์จึงจะตัดสินใจเป็นฝาของดี โดยรอบการสุ่มตัวอย่างช่วงเริ่มต้นของกระบวนการพิมพ์ จะสุ่มทดสอบตัวอย่างจำนวน 5 ชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาติดกัน ตัวอย่างละ 30 ชิ้น ถ้าตรวจสอบแล้วพบว่าเป็นของดีทั้งหมด จะดำเนินการผลิตต่อไปเรื่อยๆ หลังจากนั้นจะสุ่มตัวอย่างตรวจสอบทุกๆ 30 นาที โดยสุ่มหยิบจำนวน 1 ตัวอย่าง คือ จำนวน 30 ชิ้น ซึ่งฝาทั้ง 30 ชิ้นจะต้องไม่พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ จึงจะตัดสินใจว่าเป็นของดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพบว่ามีฝาอย่างน้อยจำนวน 1 ชิ้นเป็นฝาที่พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ จะตัดสินใจว่าเป็นของเสียทั้งหมดทันที เมื่อพบของเสียพนักงานจะมุ่งเน้นไปที่กระบวนการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟของฝา เพื่อปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพานใหม่

3.4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยึดเกาะของหมึกพิมพ์

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์ฝา ได้แก่ 1. การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment) 2. การพิมพ์ของฝา 3. การอบแห้งด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต และ 4. การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ บริษัทกรณีศึกษามีเป้าหมายเพื่อผลิตฝาที่ผ่านคุณภาพ เป็นของดี ไม่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ เมื่อพิจารณาตั้งแต่ต้นกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม แสดงดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการทำงานแรกคือการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ หากมีการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟอย่างมีประสิทธิภาพ จะเป็นการช่วยเพิ่มความสามารถสำหรับการยึดเกาะและป้องกันการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ Sutherland et al. (1991), Medeiros et al. (2017), Mazzola et al. (2011) และ Awaja et al. (2008) ที่ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด เวลาที่ชิ้นงานสัมผัสเปลวไฟซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของการป้อนชิ้นงาน และระยะระหว่างจุดกำเนิดเปลวไฟกับพื้นผิวของชิ้นงาน

2. ขั้นตอนการพิมพ์หมึกพิมพ์ของฝา จะมีความเกี่ยวข้องกับหมึกพิมพ์ที่ใช้จะใช้เป็นหมึกพิมพ์แบบยูวี (UV Printing) ซึ่งถูกกำหนดโดยข้อตกลงตามข้อกำหนดของลูกค้า

3. ขั้นตอนการอบแห้งของฝา โดยใช้หลอดรังสีอัลตราไวโอเลตจำนวน 1 หลอด รูปแบบ Metal Halide (Iron Iodide) ที่ให้รังสีชนิดอัลตราไวโอเลต A ที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับกระบวนการพิมพ์และหมึกพิมพ์รูปแบบยูวีที่ทำให้หมึกพิมพ์แห้งติดบนฝาเครื่องดื่มอย่างรวดเร็ว

4. การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ด้วยเทป เพื่อเป็นการยืนยันว่าฝาเป็นชิ้นงานที่เป็นของดีหรือของเสีย

จากกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่มที่ประกอบด้วยแต่ละขั้นตอน ได้แก่ การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ การพิมพ์หมึกพิมพ์ของฝา การอบแห้งของฝา การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องจักรของกระบวนการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟเป็นอันดับแรก เนื่องจากหากต้นกระบวนการมีการเตรียมสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟที่ดีและเหมาะสมก็จะส่งผลต่อการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ Tajima et al. (2023), Song et al. (2007) และ Chan (1994) ประกอบกับข้อจำกัดในมุมมองอื่นของบริษัทกรณีศึกษา คือพารามิเตอร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟเป็นปัจจัยที่สามารถศึกษาและแก้ไขได้รวดเร็วที่สุดที่เกิดจากการทดลอง เก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้งบประมาณในการแก้ไขน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับขั้นตอนการพิมพ์หมึกพิมพ์ของฝา ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการพิมพ์ซึ่งเป็นรูปแบบออฟเซ็ท (Offset Printing) ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรดังกล่าวได้ รวมถึงหมึกพิมพ์รูปแบบยูวี เป็นข้อตกลงร่วมกันกับลูกค้าซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้

ขั้นตอนการอบแห้งของฝาเครื่องดื่มด้วยหลอดรังสีอัลตราไวโอเลต รูปแบบ Metal Halide (Iron Iodide) ซึ่งเป็นหลอดประเภทที่ใช้ให้ประสิทธิภาพกับการพิมพ์พลาสติกที่ต้องใช้ความรวดเร็วในการอบชิ้นงานและมีความเหมาะสมกับหมึกพิมพ์รูปแบบยูวี อ้างอิงตามงานวิจัยของ Shukla et al. (2004) ดังนั้นจึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้

การทดสอบการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ ใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) อ้างอิงตาม ASTM F2252-03 Tape Test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สำหรับการทดสอบหมึกพิมพ์แบบยูวี (UV Printing Ink) จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้

อนึ่งงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปัจจัยหรือพารามิเตอร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับการปรับตั้งเครื่องจักรของกระบวนการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟเป็นอันดับแรก ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment) ได้แก่ ความดันแก๊ส ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาใช้แก๊ส LPG ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ดังนั้น สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะนำปัจจัยดังกล่าวทั้ง 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกับการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ของฝา มากำหนดเป็นตัวแปรทำนาย (x) และกำหนดตัวแปรตาม Y เป็นประเภทของชิ้นงาน ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่เป็นของดีไม่พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์กำหนดค่าเป็น 1 และกลุ่มที่เป็นของเสียพบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์กำหนดค่าเป็น 0 โดยตัวแปรทำนาย (x) ในแต่ละปัจจัย จะอยู่ในช่วงของชุดข้อมูลดังต่อไปนี้

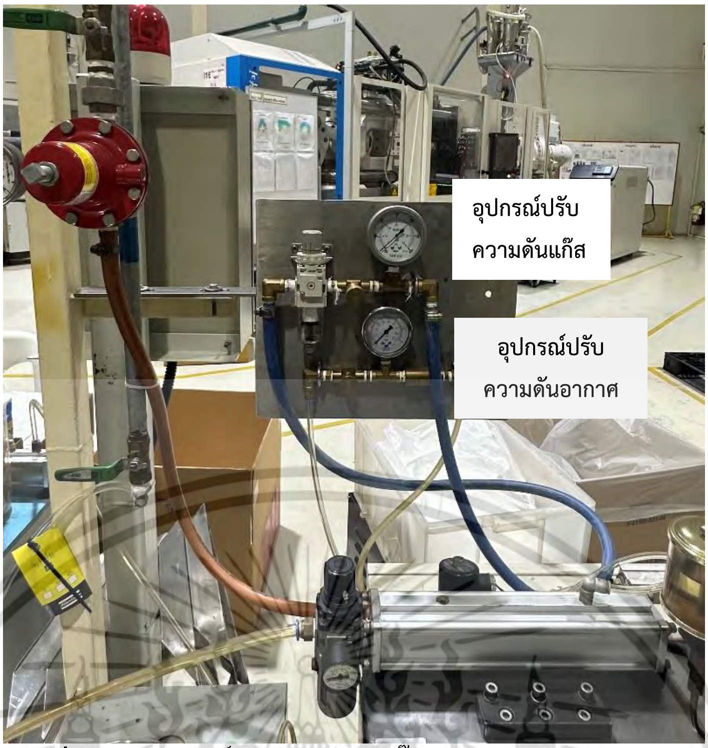
1. ความดันแก๊ส (x_1) มีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ (Millibar, mbar) เครื่องจักรสามารถปรับตั้งค่าได้ตั้งแต่ 80-150 มิลลิบาร์ (mbar) แสดงดังรูปที่ 3.17

2. ความดันอากาศอัด (x_2) มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Pound per Square Inch, psi) เครื่องจักรสามารถปรับตั้งค่าได้ตั้งแต่ 3-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แสดงดังรูปที่ 3.17

3. ความเร็วสายพาน (x_3) มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (Revolutions per Minute, rpm) เครื่องจักรสามารถปรับตั้งค่าได้ตั้งแต่ 600-1,000 รอบต่อนาที (rpm) แสดงดังรูปที่ 3.18

จากปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยข้างต้นนี้ที่มีความเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ หากพิจารณาในมุมมองของต้นทุนจะต้องการให้ค่าพารามิเตอร์ของความดันแก๊สและความดันอากาศอัด มีค่าน้อย คือใช้แก๊สและความดันอากาศอัดน้อยก็จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของบริษัทต่ำ หากพิจารณาในมุมมองของกำลังการผลิต จะมีความเกี่ยวข้องกับความเร็วสายพาน ถ้าต้องการกำลังการผลิตที่สูงจะต้องมุ่งเน้นที่จะปรับตั้งสายพานให้ไปอยู่ค่าสูงที่สุดคือ 1,000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ปรับความดันแก๊ส และความดันอากาศอัด

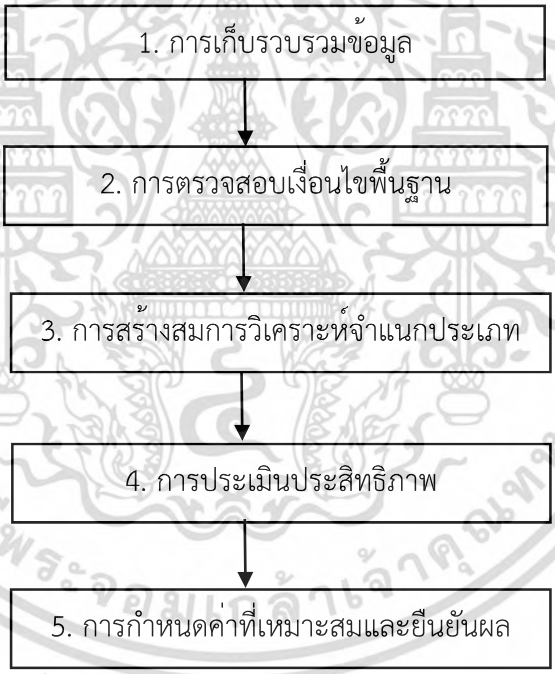
รูปที่ 3.18 อุปกรณ์ปรับความเร็วสายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เมื่อศึกษาสภาพปัจจุบันสำหรับบริษัทกรณีศึกษา กำหนดหัวข้อปัญหา ศึกษาและกำหนดปัจจัยที่มีผลกับการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ของฝา กำหนดตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน และกำหนดตัวแปรตาม Y เป็นประเภทของชิ้นงาน ว่าเป็นกลุ่มของดีหรือกลุ่มของเสีย ต่อไปนี้จะดำเนินการตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยบนพื้นฐานของการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)

สำหรับการออกแบบการทดลองโดยการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้กับตัวแปรทำนาย (x) ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) และกำหนดตัวแปรตาม Y เป็นประเภทของชิ้นงาน ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่เป็นของดีไม่พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์กำหนดค่าเป็น 1 และกลุ่มที่เป็นของเสียพบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์กำหนดค่าเป็น 0 และตัวแปรตาม (Y) จะดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัยบนพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis) แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการวิจัยของเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

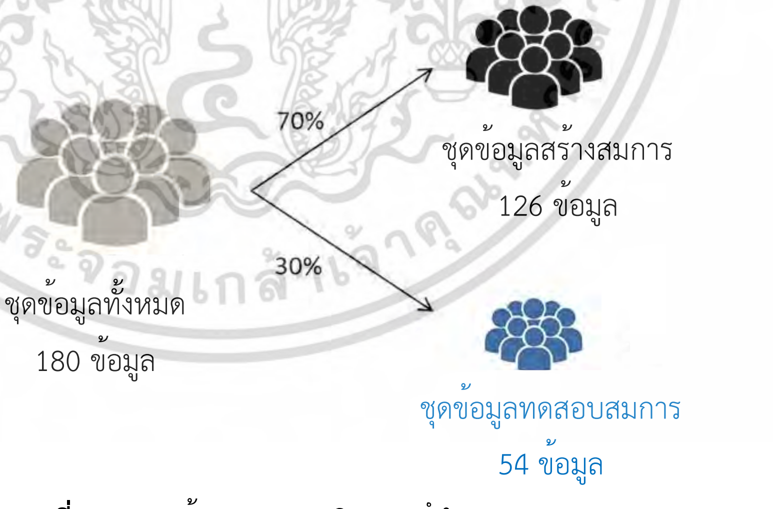
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลลงในตารางการทดลอง จะใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ n ≥ 10p โดยที่ p คือ จำนวนตัวแปรทำนาย ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภทซึ่งงานวิจัยของ Polit (1996) ได้กล่าวไว้ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้จำนวนตัวอย่าง n = 180 ซึ่งมีจำนวนการเก็บข้อมูลที่มีจำนวนมากกว่าเงื่อนไขการเก็บตัวอย่างที่กำหนด โดยชุดข้อมูลนี้จะถูกกำหนดและแยกออกเป็น 2 ชุดข้อมูลแสดงดังรูปที่ 3.20 คือ

- ชุดข้อมูลแรกจำนวน 70% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด จัดเป็นชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ (Training Sample) ใช้สำหรับสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท คิดเป็น 126 ข้อมูล เป็นกลุ่มของดีจำนวน 76 ข้อมูล และกลุ่มของเสียจำนวน 50 ข้อมูล
- ชุดข้อมูลที่สองจำนวน 30% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด จัดเป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบสมการ (Holdout Sample) ใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพทดสอบสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท คิดเป็น 54 ข้อมูล เป็นกลุ่มของดีจำนวน 30 ข้อมูล และกลุ่มของเสียจำนวน 24 ข้อมูล

หลักการแบ่งชุดข้อมูลทั้งหมดเป็น 70% ของชุดข้อมูลทั้งหมด สำหรับสร้างสมการ และ 30% ของชุดข้อมูลทั้งหมดสำหรับทดสอบสมการ ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ Richard (2002), ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) และสิริกร ด้วงพิบูลย์ และคณะ (2561) ตารางการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.20 ชุดข้อมูลของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
1	80	3	820	1
2	80	3	825	1
3	81	4	825	1
4	82	5	830	1
5	82	6	600	1
6	82	7	605	1
7	83	8	610	1
8	83	9	615	1
9	84	10	615	1
10	81	11	620	1
11	80	12	635	1
12	80	6	630	1
13	83	8	635	1
14	83	9	640	1
15	82	7	645	1
16	85	3	650	1
17	86	5	660	1
18	87	4	685	1
19	88	9	665	1
20	89	10	665	1
21	89	11	670	1
22	89	13	675	1
23	90	12	675	1
24	91	14	680	1
25	91	9	660	1
26	90	7	690	1
27	92	10	700	1
28	93	8	705	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
29	94	9	760	1
30	92	8	720	1
31	92	7	715	1
32	92	3	720	1
33	95	6	725	1
34	96	5	730	1
35	92	12	735	1
36	95	15	740	1
37	93	14	750	1
38	94	13	755	1
39	97	9	885	1
40	99	6	780	1
41	100	5	885	1
42	98	8	690	1
43	99	7	760	1
44	97	10	790	1
45	96	11	795	1
46	95	12	700	1
47	94	14	650	1
48	93	15	790	1
49	92	14	695	1
50	91	6	780	1
51	97	8	785	1
52	96	9	860	1
53	100	7	850	1
54	101	5	855	1
55	102	4	865	1
56	103	3	870	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
57	104	8	750	1
58	105	6	725	1
59	106	6	735	1
60	106	7	785	1
61	106	8	845	1
62	107	9	790	1
63	108	13	795	1
64	108	7	840	1
65	109	12	835	1
66	110	11	785	1
67	98	6	765	1
68	95	4	775	1
69	92	4	770	1
70	93	5	785	1
71	95	6	795	1
72	94	8	800	1
73	90	12	820	1
74	90	10	805	1
75	81	11	810	1
76	92	8	815	1
77	120	16	905	0
78	122	17	910	0
79	125	19	910	0
80	130	22	915	0
81	135	22	920	0
82	132	24	930	0
83	131	25	925	0
84	130	25	935	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
85	129	26	930	0
86	128	18	940	0
87	127	18	945	0
88	136	19	945	0
89	140	22	955	0
90	142	23	960	0
91	121	24	980	0
92	129	25	970	0
93	132	26	985	0
94	134	27	965	0
95	135	28	945	0
96	136	29	1,000	0
97	138	28	995	0
98	142	18	985	0
99	141	17	960	0
100	139	16	930	0
101	127	20	925	0
102	126	22	975	0
103	123	24	970	0
104	124	23	985	0
105	125	25	960	0
106	126	26	980	0
107	127	29	970	0
108	129	21	980	0
109	130	30	985	0
110	131	23	985	0
111	132	21	975	0
112	135	20	955	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
113	137	18	950	0
114	136	19	910	0
115	136	28	920	0
116	122	24	930	0
117	121	25	935	0
118	136	19	940	0
119	136	29	950	0
120	138	30	960	0
121	139	17	960	0
122	140	18	980	0
123	129	19	970	0
124	128	20	985	0
125	125	22	955	0
126	139	23	955	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
1	82	3	820	1
2	110	5	845	1
3	111	10	835	1
4	112	9	785	1
5	100	4	765	1
6	97	3	780	1
7	94	5	725	1
8	96	8	730	1
9	98	7	735	1
10	94	14	740	1
11	97	16	750	1
12	95	16	740	1
13	85	11	650	1
14	84	9	655	1
15	87	5	655	1
16	88	7	665	1
17	89	6	690	1
18	89	6	695	1
19	101	8	785	1
20	102	7	890	1
21	100	10	700	1
22	138	30	900	1
23	105	12	850	1
24	108	10	820	1
25	101	8	780	1
26	102	7	885	1
27	100	9	690	1
28	101	9	760	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) การเก็บรวบรวมข้อมูลของชุดข้อมูลสำหรับทดสอบสมการ

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
29	99	12	790	1
30	98	13	795	1
31	141	20	965	0
32	130	25	990	0
33	129	24	965	0
34	101	10	800	0
35	100	15	850	0
36	135	29	935	0
37	140	28	975	0
38	139	30	990	0
39	138	25	980	0
40	135	24	950	0
41	130	22	1,000	0
42	135	25	980	0
43	130	20	975	0
44	135	22	965	0
45	136	23	975	0
46	130	19	990	0
47	120	17	975	0
48	130	25	965	0
49	138	30	990	0
50	135	22	985	0
51	139	21	960	0
52	130	19	975	0
53	140	17	920	0
54	125	30	910	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์การปรับตั้งเครื่องจักรของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟจากกระบวนการพิมพ์ลงตารางบันทึกผลการทดลองแล้ว จะต้องนำชุดข้อมูลทั้งหมด 126 ชุดข้อมูลมาตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท แสดงเงื่อนไขพื้นฐานทั้งหมดดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบตัวแปรทำนายมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality of Independent Variables) โดยวิธี Anderson-Darling

2. การตรวจสอบเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Box's M

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม ตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (Point Biserial Correlation Coefficient)

4. การตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ตรวจสอบโดยพิจารณาค่าทางสถิติ Collinearity ซึ่งพิจารณาค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF)

3.5.3 การสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เมื่อชุดข้อมูลทั้งหมด 126 ชุดข้อมูลผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภททั้ง 4 ข้อแล้ว จึงนำชุดข้อมูลดังกล่าวมาสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทโดยใช้โปรแกรม SPSS ซึ่งจะได้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจำนวน 1 สมการ และได้ค่ากลางของกลุ่มของดีและของเสีย เพื่อใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลชุดใหม่ โดยการแทนค่าตัวแปรทำนายลงในสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท เปรียบเทียบว่าค่าเข้าใกล้ค่ากลางของกลุ่มของดีหรือกลุ่มของเสีย เพื่อใช้ในการพยากรณ์ หากค่าที่ได้จากสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทเข้าใกล้ค่ากลางของกลุ่มชิ้นงานใดก็จะถูกพยากรณ์ให้อยู่กลุ่มชิ้นงานนั้น

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะใช้โปรแกรมทั้งหมด 2 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรม SPSS และโปรแกรม Minitab 17 โดยรายละเอียดการนำแต่ละโปรแกรมไปประยุกต์ใช้แสดงดังต่อไปนี้

1. โปรแกรม SPSS ใช้สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของชุดข้อมูลในหัวข้อการตรวจสอบเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน โดยการพิจารณาสถิติ Box's M การตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น และการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม

2. โปรแกรม Minitab 17 ใช้สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของชุดข้อมูลในหัวข้อการตรวจสอบตัวแปรทำนายมีการแจกแจงแบบปกติ และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์สำหรับนำไปปรับตั้งเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4 การประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์เหตุการณ์ โดยการนำชุดข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 180 ชุดข้อมูล ใช้ชุดข้อมูลทั้งกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) จำนวน 126 ข้อมูล และกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample) จำนวน 54 ข้อมูล มาใช้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการพยากรณ์ เพื่อที่จะใช้คำนวณค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ (Accuracy) โดยการนำชุดข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ จำนวน 126 ข้อมูล และกลุ่มทดสอบสมการ จำนวน 54 ข้อมูล ใช้สมการในการพยากรณ์ค่า Y ว่าเป็นของดีหรือของเสียจะเรียกว่าเป็นค่า Y พยากรณ์ เพื่อที่จะนำค่า Y พยากรณ์ที่ได้จากสมการมาเปรียบเทียบกับค่า Y อ้างอิง ซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์จริง และสรุปข้อมูลลงในเมตริกซ์ (Confusion Matrix) แล้วนำไปคำนวณค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ (Accuracy)

3.5.5 การกำหนดค่าที่เหมาะสมและยืนยันผล

เมื่อสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการจำแนกกลุ่มว่าเป็นของดีหรือของเสีย และนำสมการไปประเมินประสิทธิภาพ จากนั้นจะนำสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย ทั้ง 3 ตัวแปร คือ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) เพื่อให้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจำแนกกลุ่มชิ้นงานว่าเป็นกลุ่มของดี โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 เพื่อที่จะนำค่าที่เหมาะสมดังกล่าวของชุดตัวแปรทำนายที่ได้ ไปทดสอบปรับตั้งค่าประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรและพิจารณากลุ่มชิ้นงานว่าเป็นของดีหรือของเสียสำหรับการยืนยันผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม และกำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทซึ่งถูกอธิบายไปในบทก่อนหน้านี้ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์สำหรับการลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม สำหรับบทนี้จะแสดงถึงผลการดำเนินงานวิจัยตามแต่ละขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 3 สามารถแสดงรายละเอียดผลการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

4.2 ผลการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

4.4 ผลการกำหนดค่าที่เหมาะสมและยืนยันผลของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายเพิ่มเติม

4.1 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าการปรับตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการพิมพ์ประจำวัน จำนวนทั้งหมด 180 ข้อมูล ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- ข้อมูลชุดแรกสำหรับสร้างสมการ (Training Sample) คิดเป็น 70% ของชุดข้อมูลทั้งหมด
- ข้อมูลชุดที่สองสำหรับทดสอบสมการ (Holdout Sample) คิดเป็น 30% ของชุดข้อมูลทั้งหมด

ในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลชุดแรก กลุ่ม Training Sample จำนวน 126 ข้อมูลเท่านั้น ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มของดีจำนวน 76 ข้อมูล และกลุ่มของเสียจำนวน 50 ข้อมูล จะถูกตรวจสอบข้อเงื่อนไขพื้นฐาน 4 หัวข้อ คือ

1. การตรวจสอบตัวแปรทำนายมีการแจกแจงแบบปกติ (Normality of Independent Variables) โดยวิธี Anderson-Darling

2. การตรวจสอบเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Box’s M

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม ตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (Point Biserial Correlation Coefficient)

4. การตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ตรวจสอบโดยพิจารณาค่าทางสถิติ Collinearity ซึ่งพิจารณาค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ผลการตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนาย ซึ่งทำการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของชุดข้อมูล เพื่อพิจารณาลักษณะข้อมูล ถ้าเป็นการแจกแจงปกติ หมายความว่าข้อมูลโดยส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่รอบๆ ตำแหน่งค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย โดยการนำข้อมูลตัวแปรทำนาย ทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ของทั้งกลุ่มที่เป็นของดีกับของเสีย รวม 126 ข้อมูล โดยจะแบ่งชุดข้อมูลจากจำนวน 126 ข้อมูล แบ่งตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่เป็นของดี จำนวน 76 ข้อมูล และกลุ่มที่เป็นของเสีย จำนวน 50 ข้อมูล มาทำการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยวิธี Anderson-Darling ด้วยโปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายของชุดข้อมูลที่เป็นของดี จำนวน 76 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

ชื่อตัวแปร	Mean	Standard Deviation	Average Deviation	P-value
ความดันแก๊ส	92.89	8.064	0.732	0.054
ความดันอากาศอัด	8.276	3.232	0.709	0.062
ความเร็วสายพาน	742.0	78.05	0.696	0.066

จากตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายของชุดข้อมูลที่เป็นของดีจำนวน 76 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) แสดงให้เห็นว่า

- ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพานของชุดข้อมูลที่เป็นของดี มีค่า P-value 0.054, 0.062 และ 0.066 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05

- ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่า ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน มีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถแสดงผลเป็นกราฟการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลโดยส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่รอบๆ ตำแหน่งค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายของชุดข้อมูลที่เป็นของเสีย จำนวน 50 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

ชื่อตัวแปร	Mean	Standard Deviation	Average Deviation	P-value
ความดันแก๊ส	131.4	6.178	0.539	0.159
ความดันอากาศอัด	22.58	4.016	0.579	0.125
ความเร็วสายพาน	953.7	25.51	0.598	0.114

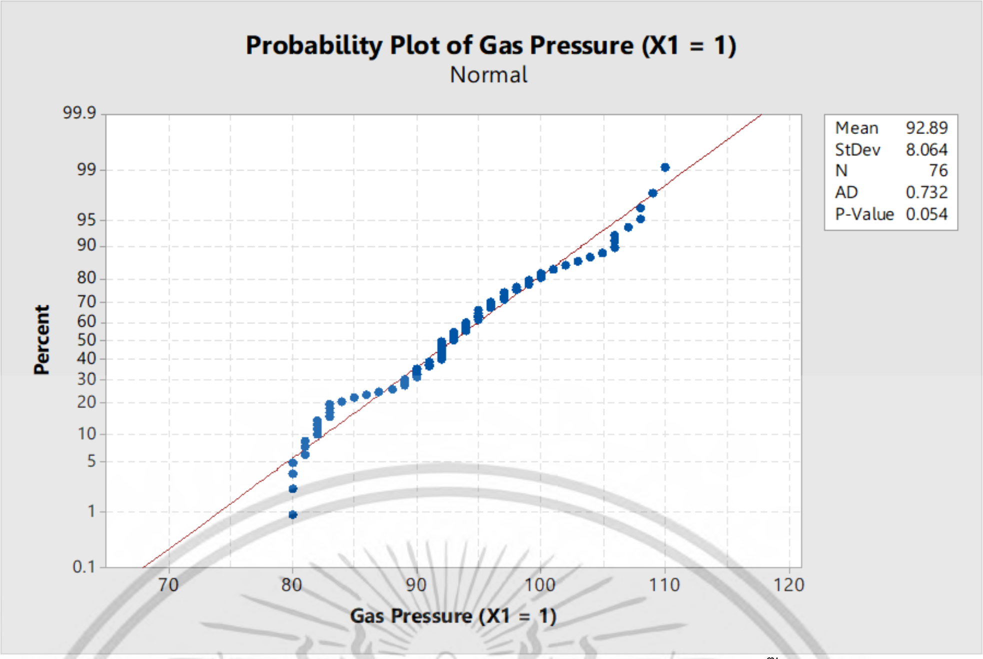
จากตารางที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายของชุดข้อมูลที่เป็นของเสีย จำนวน 50 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05) แสดงให้เห็นว่า

- ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพานของชุดข้อมูลที่เป็นของเสีย มีค่า P-value 0.159, 0.125 และ 0.114 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05

- ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่า ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน มีการแจกแจงแบบปกติ และสามารถแสดงผลเป็นกราฟการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลโดยส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่รอบๆ ตำแหน่งค่ากลางหรือค่าเฉลี่ย

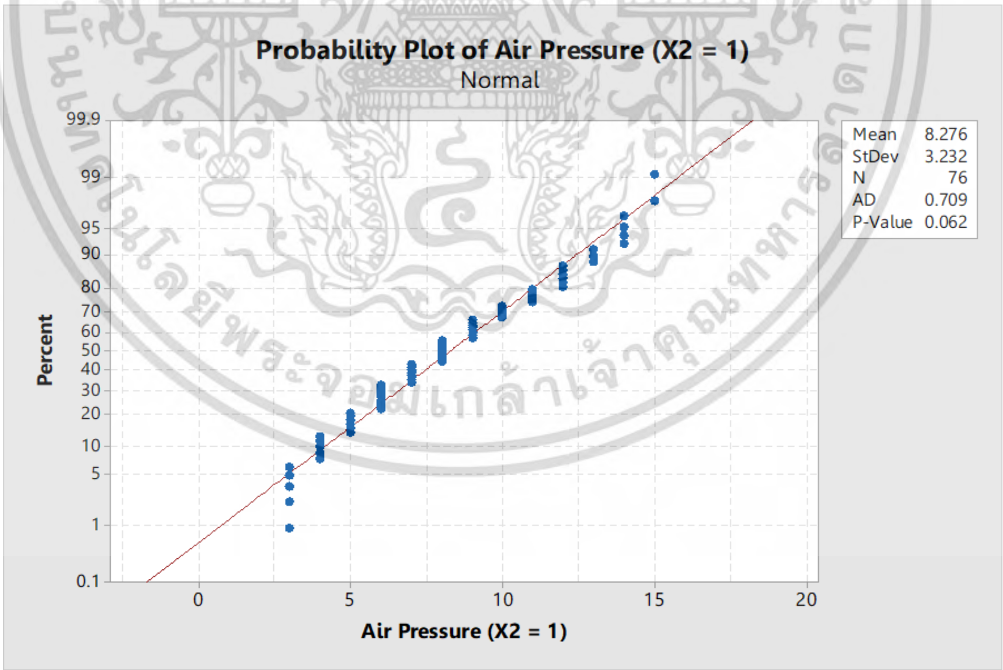
จากการที่ต้องแบ่งการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนายเป็น 2 กลุ่ม เนื่องจากชุดข้อมูลของตัวแปรทำนายกลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันแก๊ส กลุ่มของดี

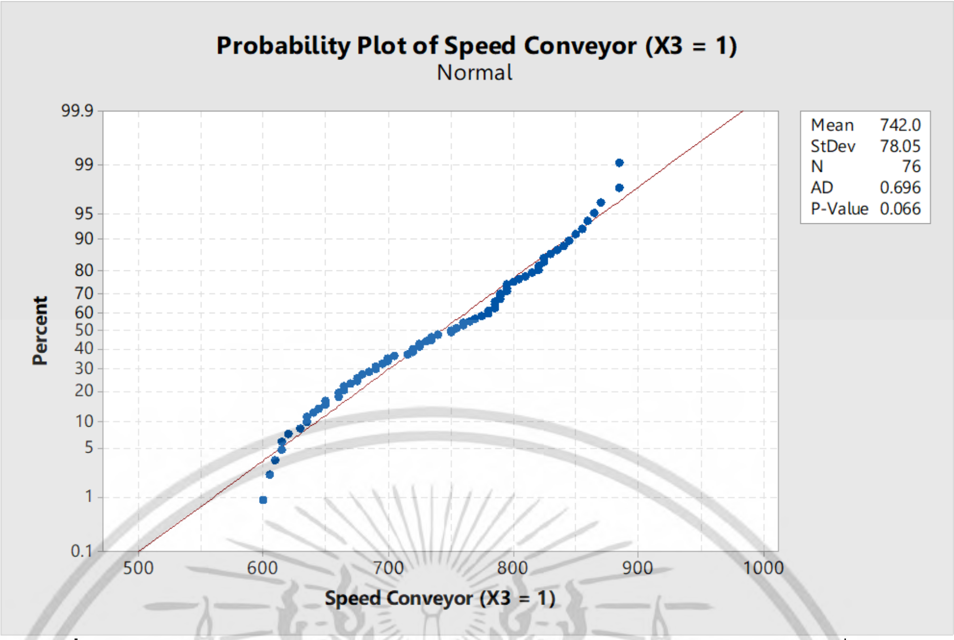
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าความดันแก๊ส กลุ่มของดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.89 และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.054



รูปที่ 4.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันอากาศอัด กลุ่มของดี

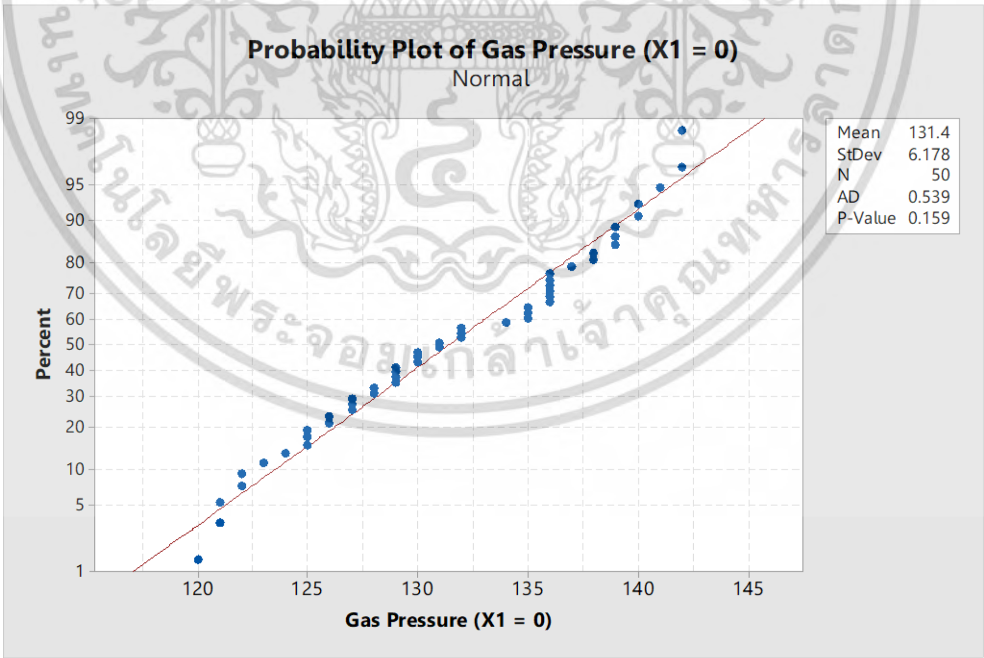
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าความดันอากาศอัด กลุ่มของดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.276 และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.062

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วสายพาน กลุ่มของดี

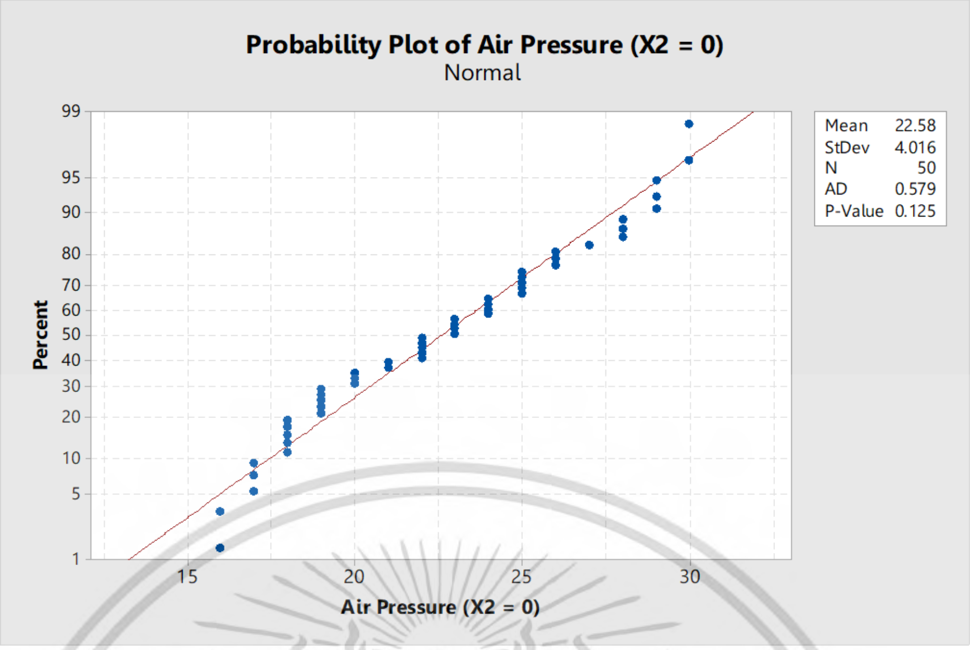
จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าความเร็วสายพาน กลุ่มของดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 742.0 และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.066



รูปที่ 4.4 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันแก๊ส กลุ่มของเสีย

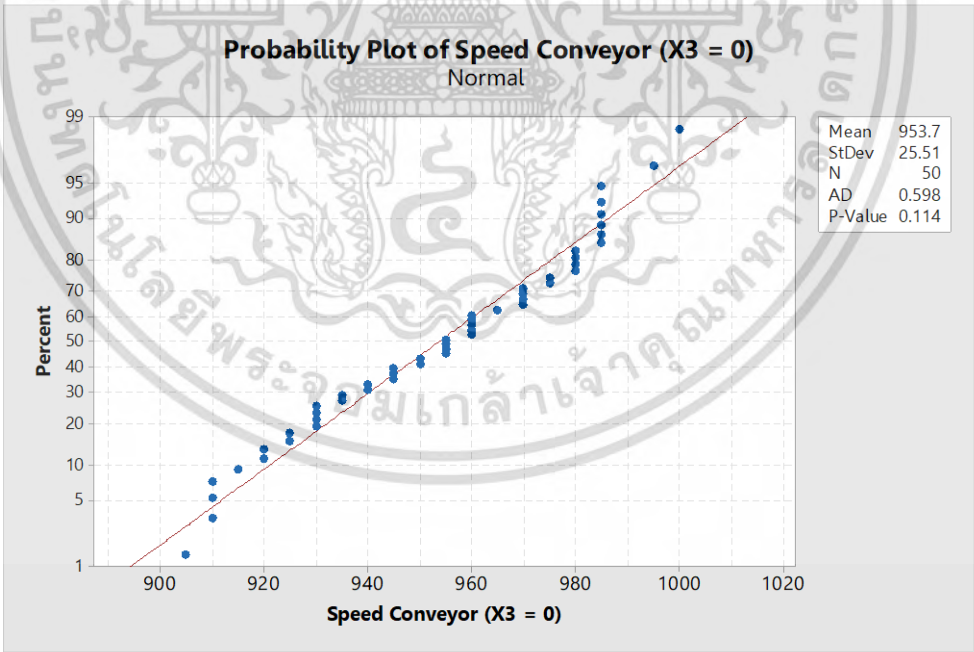
จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าความดันแก๊ส กลุ่มของเสีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 131.4 และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความดันอากาศอัด กลุ่มของเสีย

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าความดันอากาศอัด กลุ่มของเสีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.58 และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.125



รูปที่ 4.6 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของความเร็วสายพาน กลุ่มของเสีย

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าความเร็วสายพาน กลุ่มของเสีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 953.7 และ P-Value มีค่าเท่ากับ 0.114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่งกัลยา วานิชย์บัญชา (2564: 33-35) กล่าวว่า สำหรับผลการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลไว้ว่า สำหรับการศึกษาการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มที่มีหน่วยตัวอย่างปริมาณเพียงพอ และวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยคือการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกกลุ่มข้อมูลให้ถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นเงื่อนไขข้อนี้ในทางปฏิบัติจึงอาจไม่ได้เคร่งครัดมาก ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) ที่ศึกษาการจำแนกกลุ่มสหกรณ์ออมทรัพย์กลุ่มกำไรและขาดทุนที่ชุดข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติเลย

แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยฉบับนี้ ผลการตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ทั้งกลุ่มข้อมูลของดีและกลุ่มข้อมูลของเสีย พบว่าเป็นการแจกแจงปกติ ด้วยค่า AD ที่น้อยและค่า P-Value มากกว่า 0.05

2. ผลการตรวจสอบการเท่ากันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มคือกลุ่มของดีและของเสีย ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Box's M แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยกำหนดสมมติฐานสำหรับการทดสอบแสดงดังนี้

H_0: $\sum_1 = \sum_2$; ความแปรปรวนร่วมของ 2 กลุ่มเท่ากัน

H_1: $\sum_1 \neq \sum_2$; ความแปรปรวนร่วมของ 2 กลุ่มไม่เท่ากัน

โดย $\sum_1$ แทนความแปรปรวนร่วมของกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มของดี

$\sum_2$ แทนความแปรปรวนร่วมของกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มของเสีย

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจสอบการเท่ากันของเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนาย

Test Results		
Box's M		1.606
F	Approx.	1.593
	df1	6
	df2	40952.070
	Sig.	.207

จากตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่า Sig. ของการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.207 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าข้อมูลของตัวแปรทำนายทั้งสองกลุ่มมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม ตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi}) ซึ่งเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นว่าตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) ความเร็วสายพาน (x_3) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือกลุ่มของชิ้นงานซึ่งเป็นกลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย (Y) โดยใช้สูตรการคำนวณดังสมการที่ 4.1

$$r_{pbi}=\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_q}{S_x}\sqrt{pq} \qquad (4.1)$$

ซึ่งโดยปกติค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi}) จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้ามีค่าติดลบหมายความว่าตัวแปรทำนายและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามกัน ถ้ามีค่าเป็นบวกหมายความว่าตัวแปรทำนายและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน แสดงผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi}) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi})

ชื่อตัวแปร	r_{pbi}
ความดันแก๊ส (r_{pb1y})	-0.93
ความดันอากาศอัด (r_{pb2y})	-0.89
ความเร็วสายพาน (r_{pb3y})	-0.85

แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ค่า r_{pb1y}, r_{pb2y}, r_{pb3y} มีค่าเท่ากับ -0.93, -0.89 และ -0.85 ตามลำดับ ทำให้สรุปได้ว่า

r_{pb1y} มีค่าเท่ากับ -0.93 หมายความว่าความดันแก๊ส (x_1) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือคือกลุ่มของชิ้นงานซึ่งเป็นกลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย (Y) เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

r_{pb2y} มีค่าเท่ากับ -0.89 หมายความว่าความดันอากาศอัด (x_2) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือคือกลุ่มของชิ้นงานซึ่งเป็นกลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย (Y) เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

r_{pb3y} มีค่าเท่ากับ -0.85 หมายความว่าความเร็วสายพาน (x_3) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามคือคือกลุ่มของชิ้นงานซึ่งเป็นกลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย (Y) เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) โดยวิเคราะห์จากค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF)

ความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) หมายถึง การมีสหสัมพันธ์กันเอง ระหว่างตัวแปรทำนายมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งสำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะมีตัวแปรทำนายทั้งหมด 3 ตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพานที่ส่งผลต่อตัวแปรตามคือ กลุ่มของชิ้นงานที่เป็นของดีหรือของเสีย ซึ่งตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัว ต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) โดยการพิจารณาค่า Tolerance และ VIF

- Tolerance มีค่ามากกว่า 0.1 คืออยู่ในเกณฑ์ค่าทางสถิติที่ยอมรับได้ว่าตัวแปรทำนายไม่มีความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity)

- Variance Inflation Factor (VIF) มีค่าน้อยกว่า 10 คืออยู่ในเกณฑ์ค่าทางสถิติที่ยอมรับได้ว่าตัวแปรทำนายไม่มีความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ค่า Variance Inflation Factor (VIF) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลร่วมของตัวแปรทำนายหรือภาวะร่วมของตัวแปร หมายถึง การอธิบายว่าตัวแปรทำนายที่อยู่ในตัวแบบนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ซึ่งค่า VIF เป็นตัววัดที่แสดงให้เห็นว่าถ้าตัวแปรทำนายนั้นมีความสัมพันธ์กันจะส่งผลให้ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อความแปรปรวนเพิ่มขึ้นหมายถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองจะลดลงซึ่งจะไม่เป็นผลดีกับแบบจำลอง เนื่องจากต้องการความแม่นยำในการพยากรณ์

โดยสูตรที่ใช้สำหรับการคำนวณค่า Variance Inflation Factor (VIF) และ Tolerance แสดงดังต่อไปนี้

$$\mathrm{VIF}=\frac{1}{1-R^2(x)} \tag{4.2}$$

$$\mathrm{Tolerance}=\frac{1}{\mathrm{VIF}} \tag{4.3}$$

เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) โดยการคำนวณค่า Variance Inflation Factor (VIF) และ Tolerance ของทั้ง 3 ตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity)

Model	Multicollinearity Statistics	
	Tolerance	VIF
ความดันแก๊ส	0.145	6.903
ความดันอากาศอัด	0.302	3.312
ความเร็วสายพาน	0.212	4.709

แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.

จากตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่า Variance Inflation Factor (VIF) และ Tolerance ของทั้ง 3 ตัวแปรทำนาย แสดงได้ดังต่อไปนี้

- ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ค่า VIF มีค่าเท่ากับ 6.903, 3.312 และ 4.709 ซึ่งค่า VIF น้อยกว่า 10 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรทำนายไม่มีความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity)
- ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ค่า Tolerance มีค่าเท่ากับ 0.145, 0.302 และ 0.212 ซึ่งค่า Tolerance มากกว่า 0.1 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรทำนายไม่มีความสัมพันธ์ร่วมพหุเชิงเส้น (Multicollinearity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เมื่อนำชุดข้อมูลทั้งหมด 126 ชุดข้อมูลที่เป็นกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) ที่ผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานมาสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยเริ่มแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์สมการจำแนกกลุ่ม

Classification Function Coefficient		
	กลุ่มของเสีย	กลุ่มของดี
ความดันแก๊ส	1.786	1.194
ความดันอากาศอัด	1.917	.778
ความเร็วสายพาน	.151	.125
(Constant)	-211.731	-105.808

Fisher's linear discriminant function

จากตารางที่ 4.8 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในการจำแนกกลุ่ม โดยที่

- ค่าประมาณของฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่ม สำหรับกลุ่มของเสีย ดังสมการที่ 4.4

$$\text{กลุ่มของเสีย} = -211.731+1.786x_1+1.917x_2+0.151x_3 \quad (4.4)$$

- ค่าประมาณของฟังก์ชันในการแบ่งกลุ่ม สำหรับกลุ่มของดี ดังสมการที่ 4.5

$$\text{กลุ่มของดี} = -105.808+1.194x_1+0.778x_2+0.125x_3 \quad (4.5)$$

สำหรับการจำแนกกลุ่มถ้าแทนค่าตัวแปรทำนายซึ่งได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ลงในสมการที่ 4.4 และ 4.5 ถ้าสมการที่ 4.4 มีค่ามากกว่าสมการที่ 4.5 จะพยากรณ์ให้กลุ่มชิ้นงานอยู่ในกลุ่มของเสีย แต่ถ้าค่าจากสมการที่ 4.4 มีค่าน้อยกว่าค่าจากสมการที่ 4.5 จะกำหนดให้กลุ่มชิ้นงานอยู่ในกลุ่มของดี

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งมีการแบ่งตัวแปรตามออกเป็นเพียง 2 กลุ่ม คือกลุ่มชิ้นงานที่เป็นของดีและของเสีย จะสามารถประยุกต์ใช้ผลลัพธ์จากตารางที่ 4.6 สำหรับการหา Discriminant Function ได้โดยการนำสมการที่ 4.4 ลบกับสมการ 4.5 เพื่อให้เหลือเพียง 1 สมการ สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

$$\widehat{D} = (-211.731-(-105.808))+(1.786-1.194)x_1+(1.917-0.778)x_2+(0.151-0.125)x_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\widehat{D} = -105.923+0.592x_1+1.139x_2+0.026x_3 \quad (4.6)$$

จากสมการที่ 4.6 เรียกว่าเป็นสมการ Fisher’s Linear Discriminant Function ซึ่งสำหรับกรณีที่มีกลุ่มตัวแปรตามเพียงจำนวน 2 กลุ่ม ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ 4.6 จะเป็นสัดส่วนกับค่าสัมประสิทธิ์ของ Canonical (Canonical Discriminant Function Coefficient) โดยพิจารณาตารางที่ 4.7 จะได้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจำนวน 1 สมการ ดังสมการที่ 4.7 เนื่องจากจำนวนสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท มีค่าเท่ากับจำนวนกลุ่ม -1

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สมการจำแนกกลุ่มคาโนนิคอล (Canonical)

Canonical Discriminant Function Coefficients	
	Function 1
ความดันแก๊ส	.089
ความดันอากาศอัด	.171
ความเร็วสายพาน	.004
(Constant)	-15.175

สมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย ถูกระบุได้ดังสมการที่ 4.7

$$\widehat{Y}= -15.175+0.089x_1+0.171x_2+0.004x_3 \quad (4.7)$$

โดย $\widehat{Y}$ แทนคะแนนจำแนก
x_1 แทนความดันแก๊ส
x_2 แทนความดันอากาศอัด
x_3 แทนความเร็วของสายพาน

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างสมการที่ 4.6 จะเป็นสัดส่วนกับสัมประสิทธิ์ของสมการที่ 4.7 ถ้านำ 6.98 คูณกับสัมประสิทธิ์ของสมการที่ 4.7 จะได้สัมประสิทธิ์ของสมการที่ 4.6

แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกนำสมการที่ 4.7 ซึ่งเป็นสมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสียในรูปแบบลดรูปซึ่งเหมือนกับ กัลยา วานิชย์บัญชา (2564: 58-60) ใช้ในการแทนค่าตัวแปรทำนายได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพานในการคำนวณคะแนนจำแนกเพื่อที่ใช้พยากรณ์กลุ่มของชิ้นงานว่าเป็นของดีหรือของเสียต่อไป

จากตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์อยู่ในรูปคะแนนจำแนก (Unstandardized) ซึ่งค่านี้ไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปรทำนายใดส่งผลต่อคะแนนจำแนกมาก หรือมีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่มมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากตัวแปรทำนายมีหน่วยที่แตกต่างกัน ถ้าพิจารณาเฉพาะค่า โดยไม่พิจารณาเครื่องหมายจากตารางที่ 4.7 จะพบว่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรความดันอากาศอัด (x_2) มากที่สุด ซึ่งไม่สามารถพิจารณาในลักษณะนี้ได้

ถ้าหากต้องการพิจารณาว่าตัวแปรทำนายใดมีอิทธิพลของการแบ่งกลุ่มมากที่สุดจะต้องแปลงสัมประสิทธิ์อยู่ในรูปคะแนนจำแนก (Unstandardized) ให้อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐาน (Standardized) ทำให้ไม่มีหน่วย จึงจะเปรียบเทียบกันได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์รูปคะแนนมาตรฐาน (Standardized)

	Function 1
ความดันแก๊ส	0.655
ความดันอากาศอัด	0.608
ความเร็วสายพาน	0.243

จากตารางที่ 4.8 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐาน (Standardized) ทำให้ไม่มีหน่วย จะพบว่าตัวแปรความดันแก๊ส (x_1) ส่งผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด สำหรับความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ส่งผลรองลงมาตามลำดับ ดังนั้นการพิจารณาความสำคัญของตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่ม ควรพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในรูปมาตรฐาน

จากสมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย ดังสมการที่ 4.7 ค่า $\hat{Y}$ หรือค่าคะแนนจำแนกจะมีค่าอยู่ระหว่าง -5.14 ถึง 7.31 คำนวณเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับตัดสินใจว่าจะได้ค่า Y ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ชิ้นงานดี (Y=1) หรือชิ้นงานเสีย (Y=0) โดยพิจารณาจากค่ากลางของแต่ละกลุ่ม ดังตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่ากลางของกลุ่มของดีและของเสีย

Functions at Group Centroids	
ของดี ของเสีย	Function 1
ของเสีย	4.027
ของดี	-2.650

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 4.9 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงค่ากลางของแต่ละกลุ่มสำหรับกลุ่มของเสียและของดี โดยที่ค่ากลางของกลุ่มของเสีย มีค่าเท่ากับ 4.027 และค่ากลางของกลุ่มของดี มีค่าเท่ากับ -2.650 ซึ่งค่ากลางของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันมาก แสดงว่าชิ้นงานที่อยู่ใน 2 กลุ่มค่อนข้างแตกต่างกัน และสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถจำแนกได้ดี ในกรณีที่มีชุดข้อมูลชุดใหม่มาใช้สมการในการพยากรณ์ ก็สามารถคำนวณค่า $\hat{Y}$ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม หากค่า $\hat{Y}$ มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่ากลางของกลุ่มชิ้นงานใดก็มีโอกาสที่จะจัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น ถ้าค่า $\hat{Y}$ จากสมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย มีค่ามากจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มชิ้นงานเสีย ถ้าค่า $\hat{Y}$ มีค่าน้อยจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มของดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 ที่แสดงค่ากลางของกลุ่มของเสียและของดี เพื่อให้สามารถใช้ค่าดังกล่าวในการจำแนกกลุ่มได้ จะทำการตรวจสอบเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้ง 2 กลุ่ม คือเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่เป็นของดี และเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่เป็นของเสียว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้สถิติการทดสอบโฮเทลลิ่งทีสแควร์ (Hotelling T^2) โดยกำหนดสมมติฐานสำหรับการทดสอบแสดงดังนี้

$$H_0: [\mu_1] = [\mu_2]$$

$$H_1: [\mu_1] \neq [\mu_2]$$

โดย $[\mu_1]$ คือเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายกลุ่มที่เป็นของดี

$[\mu_2]$ คือเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายกลุ่มที่เป็นของเสีย

การแปลความหมายของ Hotelling's T^2 ในทางปฏิบัติการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจากการใช้โปรแกรม SPSS จะไม่ให้ค่าของ Hotelling's T^2 แต่จะเปลี่ยนเป็นค่า T^2 ซึ่งเป็นการแจกแจง F โดยสถิติที่พบหรืออาจมีความเกี่ยวข้องคือ Hotelling's Trace ผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 33.795 ได้ค่า sig <0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก หมายความว่าเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มทั้งสองกลุ่มออกจากกันได้อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

การประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะนำสมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย มาคำนวณคะแนนจำแนก โดยการนำค่าความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) แทนค่าลงในสมการที่ 4.7

จากนั้นนำคะแนนจำแนกที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่ากลางของแต่ละกลุ่มสำหรับกลุ่มของเสียและของดี โดยที่ค่ากลางของกลุ่มของเสีย มีค่าเท่ากับ 4.027 และค่ากลางของกลุ่มของดี มีค่าเท่ากับ -2.650 หากค่า $\hat{Y}$ หรือคะแนนจำแนกที่คำนวณได้มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่ากลางของกลุ่มชิ้นงานใดก็มีโอกาสที่จะจัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น จากนั้นก็จะได้ค่า Y ที่เกิดจากสมการพยากรณ์เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่า Y อ้างอิงซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นของเหตุการณ์จริง

ตัวอย่างการคำนวณคะแนนจำแนก แสดงได้ดังต่อไปนี้

ลำดับข้อมูลชุดที่ 1 ความดันแก๊ส (x_1) มีค่าเท่ากับ 80 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) มีค่าเท่ากับ 3 psi
ความเร็วสายพาน (x_3) มีค่าเท่ากับ 820 rpm

นำค่าดังกล่าวแทนค่าลงในสมการที่ 4.8 จะได้

$$\hat{Y} = -15.175+0.089(80)+0.171(3)+0.004(820)$$

$$= -15.175+7.12+0.513+3.28$$

$$= -4.262$$

$$\therefore \hat{Y} = -4.262$$

นำค่าคะแนนจำแนกคือ -4.262 เปรียบเทียบกับค่ากลางของกลุ่มของดีคือ -2.650 หรือของเสีย คือ 4.027 จะพบว่ามีค่าเข้าใกล้ค่ากลางของกลุ่มของดี ซึ่งมีค่าเท่ากับ -2.650 ดังนั้น Y พยากรณ์จะจัดกลุ่มชิ้นงานให้อยู่ในกลุ่มของดี โดยคำนวณลักษณะนี้ไปจนครบข้อมูลทั้งหมด 180 ชุดข้อมูล ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มที่สร้างสมการจำนวน 126 ข้อมูล และกลุ่มทดสอบสมการจำนวน 54 ข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
1	80	3	820	-4.262	1	1
2	80	3	825	-4.242	1	1
3	81	4	825	-3.982	1	1
4	82	5	830	-3.702	1	1
5	82	6	600	-4.451	1	1
6	82	7	605	-4.26	1	1
7	83	8	610	-3.98	1	1
8	83	9	615	-3.789	1	1
9	84	10	615	-3.529	1	1
10	81	11	620	-3.605	1	1
11	80	12	635	-3.463	1	1
12	80	6	630	-4.509	1	1
13	83	8	635	-3.88	1	1
14	83	9	640	-3.689	1	1
15	82	7	645	-4.1	1	1
16	85	3	650	4.497	1	1
17	86	5	660	-4.026	1	1
18	87	4	685	-4.008	1	1
19	88	9	665	-3.144	1	1
20	89	10	665	-2.884	1	1
21	89	11	670	-2.693	1	1
22	89	13	675	-2.331	1	1
23	90	12	675	-2.413	1	1
24	91	14	680	-1.962	1	1
25	91	9	660	-2.897	1	1
26	90	7	690	-3.208	1	1
27	92	10	700	-2.477	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
28	93	8	705	-2.71	1	1
29	94	9	760	-2.23	1	1
30	92	8	720	-2.739	1	1
31	92	7	715	-2.93	1	1
32	92	3	720	-3.594	1	1
33	95	6	725	-2.794	1	1
34	96	5	730	-2.856	1	1
35	92	12	735	-1.995	1	1
36	95	15	740	-1.195	1	1
37	93	14	750	-1.504	1	1
38	94	13	755	-1.566	1	1
39	97	9	885	-1.463	1	1
40	99	6	780	-2.218	1	1
41	100	5	885	-1.88	1	1
42	98	8	690	-2.325	1	1
43	99	7	760	-2.127	1	1
44	97	10	790	-1.672	1	1
45	96	11	795	-1.57	1	1
46	95	12	700	-1.868	1	1
47	94	14	650	-1.815	1	1
48	93	15	790	-1.173	1	1
49	92	14	695	-1.813	1	1
50	91	6	780	-2.93	1	1
51	97	8	785	-2.034	1	1
52	96	9	860	-1.652	1	1
53	100	7	850	-1.678	1	1
54	101	5	855	-1.911	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
55	102	4	865	-1.953	1	1
56	103	3	870	-2.015	1	1
57	104	8	750	-1.551	1	1
58	105	6	725	-1.904	1	1
59	106	6	735	-1.775	1	1
60	106	7	785	-1.404	1	1
61	106	8	845	-0.993	1	1
62	107	9	790	-0.953	1	1
63	108	13	795	-0.16	1	1
64	108	7	840	-1.006	1	1
65	109	12	835	-0.082	1	1
66	110	11	785	-0.364	1	1
67	98	6	765	-2.367	1	1
68	95	4	775	-2.936	1	1
69	92	4	770	-3.223	1	1
70	93	5	785	-2.903	1	1
71	95	6	795	-2.514	1	1
72	94	8	800	-2.241	1	1
73	90	12	820	-1.833	1	1
74	90	10	805	-2.235	1	1
75	81	11	810	-2.845	1	1
76	92	8	815	-2.359	1	1
77	120	16	905	1.861	0	0
78	122	17	910	2.23	0	0
79	125	19	910	2.839	0	0
80	130	22	915	3.817	0	0
81	135	22	920	4.282	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
82	132	24	930	4.397	0	0
83	131	25	925	4.459	0	0
84	130	25	935	4.41	0	0
85	129	26	930	4.472	0	0
86	128	18	940	3.055	0	0
87	127	18	945	2.986	0	0
88	136	19	945	3.958	0	0
89	140	22	955	4.867	0	0
90	142	23	960	5.236	0	0
91	121	24	980	3.618	0	0
92	129	25	970	4.461	0	0
93	132	26	985	4.959	0	0
94	134	27	965	5.228	0	0
95	135	28	945	5.408	0	0
96	136	29	1,000	5.888	0	0
97	138	28	995	5.875	0	0
98	142	18	985	4.481	0	0
99	141	17	960	4.121	0	0
100	139	16	930	3.652	0	0
101	127	20	925	3.248	0	0
102	126	22	975	3.701	0	0
103	123	24	970	3.756	0	0
104	124	23	985	3.734	0	0
105	125	25	960	4.065	0	0
106	126	26	980	4.405	0	0
107	127	29	970	4.967	0	0
108	129	21	980	3.817	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
109	130	30	985	5.465	0	0
110	131	23	985	4.357	0	0
111	132	21	975	4.064	0	0
112	135	20	955	4.08	0	0
113	137	18	950	3.896	0	0
114	136	19	910	3.818	0	0
115	136	28	920	5.397	0	0
116	122	24	930	3.507	0	0
117	121	25	935	3.609	0	0
118	136	19	940	3.968	0	0
119	136	29	950	5.688	0	0
120	138	30	960	6.077	0	0
121	139	17	960	3.943	0	0
122	140	18	980	4.283	0	0
123	129	19	970	3.435	0	0
124	128	20	985	3.577	0	0
125	125	22	955	3.532	0	0
126	139	23	955	4.949	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
1	82	3	820	-4.084	1	1
2	110	5	845	-1.15	1	1
3	111	10	835	-0.246	1	1
4	112	9	785	-0.528	1	1
5	100	4	765	-2.531	1	1
6	97	3	780	-2.909	1	1
7	94	5	725	-3.054	1	1
8	96	8	730	-2.343	1	1
9	98	7	735	-2.316	1	1
10	94	14	740	-1.455	1	1
11	97	16	750	-0.806	1	1
12	95	16	740	-1.024	1	1
13	85	11	650	-3.129	1	1
14	84	9	655	-3.54	1	1
15	87	5	655	-3.957	1	1
16	88	7	665	-3.486	1	1
17	89	6	690	-3.468	1	1
18	89	6	695	-3.448	1	1
19	101	8	785	-1.678	1	1
20	102	7	890	-1.34	1	1
21	100	10	700	-1.765	1	1
22	138	30	900	5.837	0	1
23	105	12	850	-0.378	1	1
24	108	10	820	-0.573	1	1
25	101	8	780	-1.698	1	1
26	102	7	885	-1.136	1	1
27	100	9	690	-1.976	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ค่าคะแนนจำแนกและค่าพยากรณ์ข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample)

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	ค่าคะแนนจำแนก $\hat{Y}$	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
28	101	9	760	-1.607	1	1
29	99	12	790	-1.152	1	1
30	98	13	795	-1.05	1	1
31	141	20	965	4.654	0	0
32	130	25	990	4.63	0	0
33	129	24	965	4.27	0	0
34	101	10	800	-1.276	1	0
35	100	15	850	-0.31	1	0
36	135	29	935	5.539	0	0
37	140	28	975	5.35	0	0
38	139	30	990	5.93	0	0
39	138	25	980	5.48	0	0
40	135	24	950	5.1	0	0
41	130	22	1,000	4.869	0	0
42	135	25	980	5.035	0	0
43	130	20	975	3.715	0	0
44	135	22	965	4.462	0	0
45	136	23	975	4.762	0	0
46	130	19	990	3.604	0	0
47	120	17	975	2.312	0	0
48	130	25	965	4.53	0	0
49	138	30	990	6.197	0	0
50	135	22	985	4.542	0	0
51	139	21	960	4.627	0	0
52	130	19	975	3.544	0	0
53	140	17	920	3.872	0	0
54	125	30	910	4.72	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 จะนำค่าคะแนนจำแนกที่กำหนดเป็นค่า Y ที่เกิดจากการใช้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการพยากรณ์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่า Y ที่เป็นค่าอ้างอิงที่เกิดจากเหตุการณ์จริง สำหรับพิจารณาความถูกต้องของการพยากรณ์ สำหรับประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทและกรอกข้อมูลลงในเมตริกซ์ (Confusion Matrix) ในตารางที่ 4.12 และตารางที่ 4.13 เพื่อที่จะคำนวณความถูกต้องสำหรับการพยากรณ์ (Accuracy)

ตารางที่ 4.12 ความถูกต้อง (Accuracy) ของการพยากรณ์ ข้อมูลกลุ่ม Training Sample

		ค่าพยากรณ์		
		ของดี	ของเสีย	รวม
ค่าอ้างอิง (เป็นจริง)	ของดี	76	0	76
	ของเสีย	0	50	50
	รวม	76	50	

$$\text{Accuracy (\%)} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}} * 100$$

$$= \frac{76+50}{76+50} * 100$$

$$\therefore \text{Accuracy (\%)} = 100$$

ตารางที่ 4.13 ความถูกต้อง (Accuracy) ของการพยากรณ์ ข้อมูลกลุ่ม Holdout Sample

		ค่าพยากรณ์		
		ของดี	ของเสีย	รวม
ค่าอ้างอิง (เป็นจริง)	ของดี	29	1	30
	ของเสีย	2	22	24
	รวม	31	23	

$$\text{Accuracy (\%)} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}} * 100$$

$$= \frac{29+22}{29+1+2+22} * 100$$

$$\therefore \text{Accuracy (\%)} = 94.44$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสมการมีความถูกต้องสำหรับการพยากรณ์ (Accuracy) สำหรับข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) ได้ถูกต้องถึง 100% เนื่องจากชุดข้อมูลนี้เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการ และนำชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้าง ซึ่งเป็นชุดข้อมูลเดิมมาทดสอบ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะได้ผลลัพธ์ความถูกต้องเป็น 100% ซึ่งเหมือนกับงานวิจัยของ Polit (1996) และเพื่อให้เกิดการทดสอบอย่างเที่ยงตรง หากนำชุดข้อมูลใหม่ที่ไม่ได้ใช้สร้างสมการมาทดสอบและสมการถูกทดสอบด้วยชุดข้อมูลใหม่จะให้ผลลัพธ์อย่างไร ซึ่งสำหรับข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample) พยากรณ์ได้ถูกต้อง 94.44% เนื่องจากชุดข้อมูลนี้เป็นชุดข้อมูลใหม่ที่ยังไม่เคยใช้ในการทดสอบสมการ จึงควรพิจารณาที่เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout sample) เป็นหลัก

4.4 ผลการกำหนดค่าที่เหมาะสมและยืนยันผลของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

การกำหนดค่าของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ $\hat{Y}$ มีค่าเท่ากับค่ากลางของกลุ่มของดี คือ -2.65 เพื่อให้สมการจำแนกกลุ่มพยากรณ์ให้เป็นของดี โดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลชุดตัวแปรทำนายแสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย

Solution	x_1	x_2	x_3	$\hat{Y}$	Desirability (Y)
1	82	7	1000	-2.65	1
2	105	3	650	-2.65	1
3	82	15	650	-2.65	1

เมื่อพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย ทั้ง 3 กรณี จากสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะพยากรณ์ว่าชิ้นงานเป็นกลุ่มของดีทั้งหมด แต่หากวิเคราะห์ในมุมมองสำหรับกำลังการผลิตสำหรับประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง จะเห็นว่าค่าความเร็วของสายพาน (x_3) ของกรณีที่ 1 คือ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีที่ 2 และ 3 คือ 650 รอบต่อนาที (rpm) ซึ่งความเร็วของสายพานส่งผลโดยตรงกับกำลังการผลิต คือความเร็วสายพานที่สูงจะส่งผลให้จำนวนยอดการผลิตต่อวันเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงค่าความดันแก๊ส (x_1) มีราคาต้นทุนของทรัพยากรที่สูงกว่าค่าความดันอากาศอัด (x_2) หากใช้ความดันแก๊สจำนวนได้น้อยกว่าความดันอากาศอัดก็ถือเป็นโอกาสที่ดีในการประหยัดค่าใช้จ่ายของบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้ค่าตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) เป็น 82 มิลลิบาร์ (mbar) ความดันอากาศอัด (x_2) เป็น 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพาน (x_3) เป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เป็นตัวแปรทำนายอันดับแรกสำหรับไปทดสอบประยุกต์ใช้จริงกับการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อเป็นการยืนยันผล และสำหรับค่าตัวแปรทำนายกรณีอื่นๆ อาจนำมาเป็นแนวทางเลือกในอนาคตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) เป็น 82 มิลลิบาร์ (mbar) ความดันอากาศอัด (x_2) เป็น 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพาน (x_3) เป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm) ไปทดสอบยืนยันผลปรับตั้งกับเครื่องจักร โดยใช้แบบพิมพ์ M1 เป็นเวลา 2 วัน ทำให้ได้ผลการตรวจสอบคุณภาพการยึดเกาะของหมึกพิมพ์โดยสุ่มตรวจตามมาตรฐานคุณภาพ ตอนเริ่มต้นกระบวนการสุ่มตรวจ 5 ตัวอย่าง หลังจากนั้นทุกๆ 30 นาที สุ่มตรวจจำนวน 1 ตัวอย่าง คือ 30 ชิ้น ได้ผลว่าตลอดระยะเวลาการประยุกต์ใช้ค่าการปรับตั้งของตัวแปรทำนายดังกล่าวไม่พบของเสียที่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ แสดงผลดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1
	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.15 เป็นผลการยืนยันว่าการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายจากกรณีที่ 1 ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) เป็น 82 มิลลิบาร์ (mbar) ความดันอากาศอัด (x_2) เป็น 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพาน (x_3) เป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงส่งผลให้เกิดชิ้นงานเป็นของดีทั้งหมดตามที่สมการวิเคราะห์จำแนกประเภททำนาย

จากการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทและนำสมการดังกล่าวประเมินประสิทธิภาพของกลุ่มข้อมูลทดสอบสมการ (Holdout sample) ได้ความถูกต้อง 94.44% จากนั้นนำสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทไปหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ซึ่งได้ชุดค่าที่เหมาะสมจากสมการมาทั้งหมด 3 กรณี แต่หากพิจารณาในมุมมองของการผลิตจริงมีข้อจำกัดเรื่องกำลังการผลิต จะมีชุดข้อมูลค่าที่เหมาะสมเพียง 1 กรณีที่ถูกเลือกนำไปยืนยันผลประยุกต์ใช้กับเครื่องจักร ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทดังกล่าวมาวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของของตัวแปรทำนายเพิ่มเติม เพื่อให้มีทางเลือกที่หลากหลายในการปรับตั้งเครื่องจักรมากยิ่งขึ้น ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายเพิ่มเติม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทดังสมการที่ 4.7 มาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติม ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) เพื่อเป็นกรณีทางเลือกในการปรับตั้งเครื่องจักร

$$\widehat{Y} = -15.175+0.089x_1+0.171x_2+0.004x_3 \tag{4.7}$$

เนื่องจากข้อจำกัดในมุมมองของกระบวนการผลิตที่มุ่งเน้นให้เกิดกำลังการผลิตสูงที่สุด ดังนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับความเร็วสายพาน เนื่องจากความเร็วของสายพานส่งผลโดยตรงกับกำลังการผลิต คือ ความเร็วสายพานที่สูงจะส่งผลให้จำนวนยอดการผลิตต่อวันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะดำเนินการกำหนดค่าของความเร็วสายพาน (x_3) ให้มีค่าเท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เท่านั้น เพื่อให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด

จากสมการที่ 4.7 สามารถแบ่งการคิดค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 1 $x_1 = f(x_2, x_3, \widehat{Y})$

กำหนดให้ $\widehat{Y}$ = -2.65 เพื่อให้เกิดการพยากรณ์ว่าจะเกิดของดีขึ้นและ x_3 = 1,000 ซึ่งเป็นความเร็วสายพานสูงที่สุด จึงสามารถลดรูปได้เป็น

$$x_1 = f(x_2)$$

แทนค่าดังกล่าวคือ $\widehat{Y}$ = -2.65 และ x_3 = 1,000 จะได้สมการเพื่อหาค่า x_1 ดังนี้

$$x_1 = \frac{\widehat{Y}+(15.175-0.004x_3)-0.171x_2}{0.089}$$

$$= \frac{-2.65+(15.175-0.004(1,000))-0.171x_2}{0.089}$$

$$= \frac{-2.65+(15.175-0.004(1,000))-0.171x_2}{0.089}$$

$$x_1 = \frac{8.525-0.171x_2}{0.089} \quad (4.8)$$

กรณีที่ 2 $x_2 = f(x_1, x_3, \widehat{Y})$

ทำนองเดียวกับกรณีที่ 1 กำหนดให้ $\widehat{Y}$ = -2.65 และ x_3 = 1,000 จึงสามารถลดรูปได้เป็น

$$x_2 = f(x_1)$$

จากสมการที่ 4.9 สามารถแก้สมการให้อยู่ในรูปของ $x_2 = f(x_1)$ ได้ดังสมการที่ 4.10

$$x_2 = \frac{8.525-0.089x_1}{0.171} \quad (4.9)$$

ดังนั้นจะเห็นว่าสมการที่ 4.8 และ 4.9 ได้ถูกคำนวณมาจากสมการที่ 4.7 โดยกำหนดให้ $\widehat{Y}$ เท่ากับ -2.65 เพื่อให้เกิดการพยากรณ์ว่าจะเกิดของดีขึ้น และกำหนดให้ความเร็วสายพาน (x_3) เท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) แล้วคำนวณย้อนกลับไปหาค่า x_1 หรือ x_2 ที่เหมาะสม ซึ่งจะได้ช่วงของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมและหลากหลายกรณีมากกว่าจากเดิม ซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.4

จากกรณีที่ 1 คือ $x_1 = f(x_2)$ จะกำหนดค่าความดันอากาศอัด (x_2) ตามช่วงที่เคยใช้ก่อนการปรับปรุงตั้งแต่ 3-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เพิ่มขึ้นทีละ 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) จากนั้นนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 4.8 เพื่อคำนวณหาค่าความดันแก๊ส (x_1) จะได้ดังตารางที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันแก๊ส (x_1)

Solution	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_1	90.02	88.10	86.18	84.26	82.34	80.42	78.49	76.57	74.65	72.73
x_2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันแก๊ส (x_1)

Solution	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_1	70.81	68.89	66.97	65.04	63.12	61.20	59.28	57.36	55.44	53.52
x_2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันแก๊ส (x_1)

Solution	21	22	23	24	25	26	27	28
x_1	51.59	49.67	47.75	45.83	43.91	41.98	40.06	38.14
x_2	23	24	25	26	27	28	29	30
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

จากตารางที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าค่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติของค่า x_1 จะมีทั้งหมด 6 ค่าคือ คำตอบ (Solution) ที่ 1-6 ที่จะถูกนำไปพิจารณาในการยืนยันผลปรับตั้งเครื่องจักรต่อไป เนื่องจากความดันแก๊ส (x_1) สามารถปรับตั้งได้ตั้งแต่ 80-150 มิลลิบาร์ (mbar)

จากกรณีที่ 2 คือ $x_2 = f(x_1)$ จะกำหนดค่าความดันแก๊ส (x_1) ตามช่วงที่เคยใช้ก่อนการปรับปรุง ตั้งแต่ 80-150 มิลลิบาร์ (mbar) เพิ่มขึ้นทีละ 2 มิลลิบาร์ (mbar) จากนั้นนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 4.9 เพื่อคำนวณหาค่าความดันอากาศอัด (x_2) จะได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันอากาศอัด (x_2)

Solution	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_1	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
x_2	8.21	7.17	6.13	5.09	4.05	3.01	1.97	0.92	-0.11	-1.15
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันอากาศอัด (x_2)

Solution	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
x_1	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118
x_2	-2.19	-3.23	-4.27	-5.31	-6.35	-7.39	-8.43	-9.47	-10.52	-11.56
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันอากาศอัด (x_2)

Solution	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
x_1	120	122	124	126	128	130	132	134	136	138
x_2	-12.60	-13.64	-14.68	-15.72	-16.72	-17.80	-18.84	-19.88	-20.93	-21.97
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มเติมของความดันอากาศอัด (x_2)

Solution	31	32	33	34	35	36
x_1	140	142	144	146	148	150
x_2	-23.01	-24.05	-25.09	-26.13	-27.17	-28.21
x_3	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

จากตารางที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าค่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติของค่า x_2 จะมีทั้งหมด 6 ค่าคือ คำตอบ (Solution) ที่ 1-6 ที่จะถูกนำไปพิจารณาในการยืนยันผลปรับตั้งเครื่องจักรต่อไป เนื่องจากความดันอากาศ (x_2) สามารถปรับตั้งได้ตั้งแต่ 3-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

จากตารางที่ 4.16 และ 4.17 จะทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไปปรับตั้งเครื่องจักร โดยจะนำเฉพาะค่าที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติของช่วงโดเมน (Domain) ของ x_1 และ x_2 มาพิจารณาในการยืนยันผลปรับตั้งเครื่องจักรเท่านั้น นอกช่วงโดเมน (Domain) ของ x_1 และ x_2 ที่เป็นไปไม่ได้จะไม่นำมาพิจารณา แสดงดังตารางที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.18 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย (เพิ่มเติม)

Solution	1	2	3	4	5	6	หน่วย
ความดันแก๊ส (x_1)	90	88	86	84	82	80	มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2)	3	4	5	6	7	8	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)
ความเร็วสายพาน (x_3)	1,000						รอบต่อนาที (rpm)
$\widehat{Y}$	-2.65						

จากตารางที่ 4.18 จะนำค่าที่เหมาะสมทั้ง 5 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ไปทดลองปรับตั้งเครื่องจักรจริงเพื่อยืนยันผลการประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตจริง เนื่องจากกรณีที่ 5 คือ ความดันแก๊ส (x_1) เท่ากับ 82 มิลลิบาร์ (mbar) ความดันอากาศอัด (x_2) เท่ากับ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพาน (x_3) เท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) ได้นำค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายดังกล่าวไปปรับตั้งยืนยันผลไปแล้วดังหัวข้อก่อนหน้า (หัวข้อที่ 4.4)

ในหัวข้อนี้จะนำค่าที่เหมาะสมทั้ง 5 กรณีไปปรับตั้งกับเครื่องจักรเพื่อยืนยันผลกรณีละ 2 วัน สามารถแสดงการยืนยันผลได้ดังตารางที่ 4.19 ถึง 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 1

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 2

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 2

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 2

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 2

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 3

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 3

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 3

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 3

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 4

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 4

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 4

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.22 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 4

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 6

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 6

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 1	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 6

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	1	30	30	0	1
	2	30	30	0	1
	3	30	30	0	1
	4	30	30	0	1
	5	30	30	0	1
	6	30	30	0	1
	7	30	30	0	1
	8	30	30	0	1
	9	30	30	0	1
	10	30	30	0	1
	11	30	30	0	1
	12	30	30	0	1
	13	30	30	0	1
	14	30	30	0	1
	15	30	30	0	1
	16	30	30	0	1
	17	30	30	0	1
	18	30	30	0	1
	19	30	30	0	1
	20	30	30	0	1
	21	30	30	0	1
	22	30	30	0	1
	23	30	30	0	1
	24	30	30	0	1
	25	30	30	0	1
	26	30	30	0	1
	27	30	30	0	1
	28	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 (ต่อ) ผลทดสอบชิ้นงานด้วยเทปจากการปรับค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนายกรณีที่ 6

วัน	ลำดับข้อมูล (N)	จำนวนสุ่ม (ชิ้น)	ของดี (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	Y (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
วันที่ 2	29	30	30	0	1
	30	30	30	0	1
	31	30	30	0	1
	32	30	30	0	1
	33	30	30	0	1
	34	30	30	0	1
	35	30	30	0	1
	36	30	30	0	1
	37	30	30	0	1
	38	30	30	0	1
	39	30	30	0	1
	40	30	30	0	1
	41	30	30	0	1
	42	30	30	0	1
	43	30	30	0	1
	44	30	30	0	1
	45	30	30	0	1
	46	30	30	0	1
	47	30	30	0	1
	48	30	30	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำค่าที่เหมาะสมทั้ง 5 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1, 2, 3, 4 และ 6 ไปทดลองปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อยืนยันผลจะเห็นได้ว่าทั้ง 5 กรณี ยืนยันได้ว่าชิ้นงานเป็นของดีทั้งหมด และถือได้ว่าเป็นทางเลือกที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นสำหรับพนักงานในการปรับตั้งเครื่องจักร ไม่ต้องใช้การลองผิดหรือลองถูก (Trial and Error)

จากตารางที่ 4.18 สามารถระบุได้ว่ามี 6 กรณีที่เหมาะสมต่อการปรับตั้งเครื่องจักร ได้แก่

กรณีที่ 1:

x_1 = 90 มิลลิบาร์ (mbar) x_2 = 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ x_3 = 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

กรณีที่ 2:

x_1 = 88 มิลลิบาร์ (mbar) x_2 = 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ x_3 = 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

กรณีที่ 3:

x_1 = 86 มิลลิบาร์ (mbar) x_2 = 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ x_3 = 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

กรณีที่ 4:

x_1 = 84 มิลลิบาร์ (mbar) x_2 = 6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ x_3 = 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

กรณีที่ 5:

x_1 = 82 มิลลิบาร์ (mbar) x_2 = 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ x_3 = 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

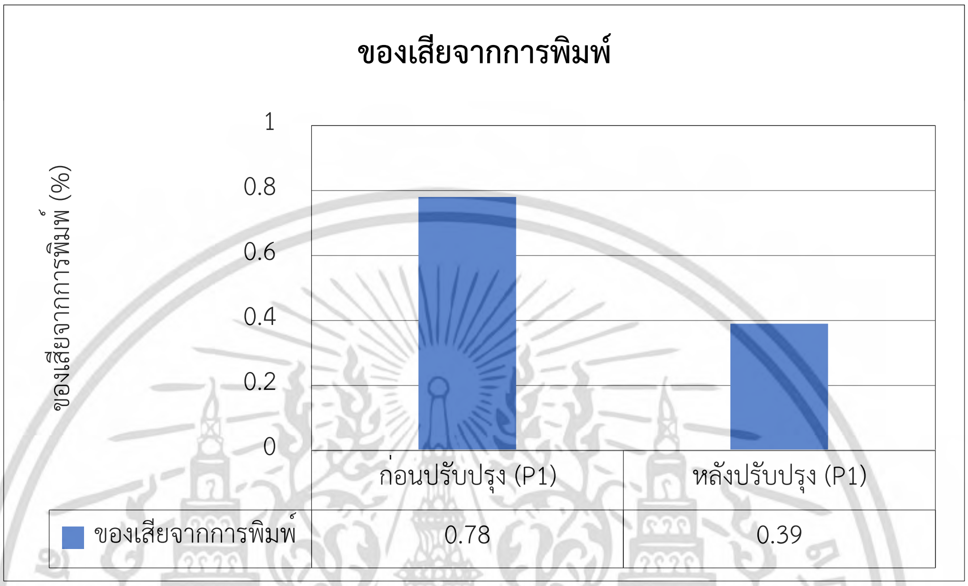
กรณีที่ 6:

x_1 = 80 มิลลิบาร์ (mbar) x_2 = 8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และ x_3 = 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

ก่อนการศึกษาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนายในการปรับตั้งเครื่องจักร พบว่า ค่าความดันแก๊ส จะสามารถปรับตั้งอยู่ในช่วง 80-150 มิลลิบาร์ (mbar) และค่าความดันอากาศอัด จะสามารถปรับตั้งอยู่ในช่วง 3-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างของทั้ง 2 ตัวแปร แต่เมื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพิ่มเติมซึ่งเป็นส่วนขยายสำหรับเป็นทางเลือกในการปรับตั้งที่หลากหลายยิ่งขึ้น โดยกำหนดความเร็วของสายพานเป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เท่านั้นเนื่องจากต้องการกำลังการผลิตที่สูงที่สุดและหาค่าที่เหมาะสมของความดันแก๊สและความดันอากาศอัด ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมเพิ่มเติมอีกจำนวน 5 กรณีและนำค่าที่เหมาะสมทั้ง 5 กรณียืนยันผลโดยการปรับตั้งกับเครื่องจักร ก็ได้ผลยืนยันว่าเป็นของดีทั้งหมด ถือเป็นประโยชน์ในการปรับตั้งเครื่องจักรที่หลากหลายเป็นทางเลือกให้กับพนักงาน โดยการตั้งข้อสังเกตว่าได้ช่วงการปรับตั้งที่แคบลงกว่าตอนก่อนการปรับปรุง คือ กำหนดช่วงของความดันแก๊สในช่วง 80-90 มิลลิบาร์ (mbar) และกำหนดช่วงความดันอากาศอัดในช่วง 3-8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และกำหนดความเร็วสายพานเป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่เหมาะสมไปทดลองปรับตั้งเครื่องจักร P1 และเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียเพื่อการยืนยันผลเป็นเวลา 1 เดือน โดยการนำข้อมูลของเสียมาเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุง แสดงให้เห็นว่าของเสียจากกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่มของเครื่อง P1 ลดลงจากก่อนปรับปรุงคือ 0.78% เหลือเพียง 0.39% สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบของเสียกระบวนการพิมพ์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของเครื่อง P1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม คือมีของเสียจากกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่มจำนวนมาก และกำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการสร้างสมการพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกกลุ่มว่าเป็นของดีหรือของเสีย กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องจักรเพื่อลดของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม ดังนั้นจากการดำเนินงานตามวิธีการวิจัยที่ผ่านมา สำหรับบทนี้ผู้วิจัยจะแสดงถึงการสรุปผลการดำเนินงานวิจัย ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานวิจัยในอนาคต สามารถแสดงรายละเอียดผลการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เริ่มต้นด้วยการสำรวจสภาพปัจจุบัน พบว่าบริษัทของกรณีศึกษามีของเสียจากกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่มสูงที่สุด ผู้วิจัยจึงศึกษาปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการพิมพ์พลาสติก Tajima et al. (2023), Song et al. (2007) และ Chan (1994) กล่าวว่าขั้นตอนการปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame Treatment) เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการพิมพ์พลาสติก และส่งผลโดยตรงกับขั้นตอนการพิมพ์ หากมีการปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟมีประสิทธิภาพจะทำให้กระบวนการพิมพ์มีประสิทธิภาพเกิดเป็นของดี ไม่พบการหลุดลอก ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟ มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. ความดันแก๊ส 2. ความดันอากาศอัด และ 3. ความเร็วสายพาน ตามงานวิจัยของ Sutherland และคณะ (1991) โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะนำปัจจัยดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบการทดลองกำหนดเป็นตัวแปรทำนาย (x) และกำหนดตัวแปรตาม (Y) เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มของดี (Y = 1) และกลุ่มของเสีย (Y = 0)

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของตัวแปรทำนายและตัวแปรตามจำนวน 180 ชุดข้อมูล และแบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ใช้สร้างสมการ (Training Sample) จำนวน 70% ของชุดข้อมูลทั้งหมด และกลุ่มที่ใช้ทดสอบสมการ (Holdout Sample) จำนวน 30% ของชุดข้อมูลทั้งหมด อ้างอิงตามงานวิจัยของ Richard (2002), ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์ และคณะ (2553) และสิริกร ด้วงพิบูลย์ และคณะ (2561) จากนั้นนำชุดข้อมูลมาตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของเทคนิควิเคราะห์จำแนกประเภท สร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท และประเมินประสิทธิภาพของสมการ โดยการพิจารณาค่าความถูกต้องสำหรับการพยากรณ์ ของชุดข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) และสำหรับชุดข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample) จากนั้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ปรับใช้ค่าเท่ากับ 82 มิลลิบาร์ (mbar) ความดันอากาศอัด ปรับใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเท่ากับ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพาน ปรับใช้ค่าเท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ ถูกนำไปใช้สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในกระบวนการพิมพ์ และยืนยันผลแล้วว่าหากปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรตามค่าดังกล่าวจะทำให้ได้ชิ้นงานเป็นกลุ่มของดีทั้งหมด รวมถึงได้ผลของกำลังการผลิตที่สูง และสามารถสรุปผลการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. สามารถสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท คือ

$$\widehat{Y} = -15.175 + 0.089x_1 + 0.171x_2 + 0.004x_3$$

ซึ่งความถูกต้องของการพยากรณ์ (Accuracy) มีค่าเท่ากับ 100% สำหรับชุดข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) และมีค่าเท่ากับ 94.44% สำหรับชุดข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample)

2. ผลค่าที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร ทั้งหมด 6 จุด ซึ่งเป็นผลที่ได้จากสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท ทดลองปรับตั้งเครื่องจักรและได้ผลยืนยันว่าเป็นของดีทั้งหมด เมื่อกำหนดความเร็วสายพาน (x_3) เป็น 1,000 รอบต่อนาที (rpm)

กรณีที่ 1 ความดันแก๊ส (x_1) = 90 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) = 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

กรณีที่ 2 ความดันแก๊ส (x_1) = 88 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) = 4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

กรณีที่ 3 ความดันแก๊ส (x_1) = 86 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) = 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

กรณีที่ 4 ความดันแก๊ส (x_1) = 84 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) = 6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

กรณีที่ 5 ความดันแก๊ส (x_1) = 82 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) = 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

กรณีที่ 6 ความดันแก๊ส (x_1) = 80 มิลลิบาร์ (mbar)
ความดันอากาศอัด (x_2) = 8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

3. เปอร์เซ็นต์ของเสียจากกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่มลดลงจากก่อนปรับปรุง 0.78% เหลือเพียง 0.39% หลังปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ช่วงของการปรับตั้งเครื่องจักร เมื่อกำหนดความเร็วสายพาน (x_3) มีค่าเท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) หลังการปรับปรุง จะกำหนดช่วงของความดันแก๊ส (x_1) ในช่วง 80-90 มิลลิบาร์ (mbar) และกำหนดช่วงความดันอากาศอัด (x_2) ในช่วง 3-8 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงจะมีช่วงของการปรับตั้งเครื่องจักรที่กว้างกว่า ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จะเสนอความดันแก๊ส (x_1) และความดันอากาศอัด (x_2) ช่วงการปรับตั้งเครื่องจักรที่แคบกว่า

จากการพิจารณาผลค่าที่เหมาะสมที่สุดของความดันแก๊ส ค่าเท่ากับ 82 mbar ความดันอากาศอัด ค่าเท่ากับ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพาน ค่าเท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) เมื่อนำไปเป็นค่าพารามิเตอร์มาตรฐานของเครื่องจักรในกระบวนการพิมพ์ เมื่อพิจารณาอีกมุมองหนึ่งในมุมมองของกระบวนการพิมพ์สีของบริษัทกรณีศึกษา จะพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 3 ตัวแปร เช่น ค่าความดันแก๊ส สามารถปรับตั้งได้ตั้งแต่ 80-150 มิลลิบาร์ (mbar) แต่ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการจำแนกกลุ่ม คือ 82 มิลลิบาร์ (mbar) ถือว่าอยู่ในช่วงค่าที่น้อยที่สุดของการใช้แก๊ส รวมถึงค่าความดันอากาศอัด สามารถปรับตั้งได้ตั้งแต่ 3-30 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แต่ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการจำแนกกลุ่ม คือ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ถือว่าอยู่ในช่วงค่าที่น้อยที่สุดของการใช้อากาศอัดเช่นเดียวกัน นับว่าเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทกรณีศึกษาและยังได้รับผลลัพธ์ที่เป็นของดี

เมื่อพิจารณาในมุมมองของความปลอดภัยของพนักงานปรับตั้งควรจะใช้ความดันแก๊สที่น้อยและทดแทนด้วยการปรับความดันอากาศอัดที่มากขึ้น จึงแนะนำค่าที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่าความดันแก๊ส 82 มิลลิบาร์ (mbar) และค่าความดันอากาศอัด 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

อนึ่งจากการกำหนดตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ส่งผลต่อการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟซึ่งเหมือนกับงานวิจัยในอดีต Mazzola et al. (2011) และ Tuominen et al. (2013) แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาค่าตัวแปรตามเป็นของดีหรือของเสียของกระบวนการพิมพ์พลาสติกซึ่งเป็นผลลัพธ์สุดท้ายที่บริษัทกรณีศึกษามุ่งเน้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตที่จะพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติพลังงานพื้นผิวหลังการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและอุปสรรคของการทำวิจัย

1. เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท พบข้อจำกัดเรื่องการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานสำหรับชุดข้อมูล ก่อนการนำเทคนิคมาประยุกต์ใช้ แต่เนื่องจากชุดข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาเป็นไปตามเงื่อนไขพื้นฐาน และเทคนิคดังกล่าวสามารถลดของเสียของกระบวนการพิมพ์พลาสติกได้ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเพียงเทคนิคเดียว

2. เนื่องด้วยข้อจำกัดของบริษัทที่ไม่สามารถทดลองปรับตั้งได้ทันที อาจต้องรอช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแบบพิมพ์ ทำให้การยืนยันผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดของการปรับตั้งเครื่องจักรอาจต้องใช้เวลา

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การนำเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกต์ (Logistic Regression) มาประยุกต์ใช้สำหรับการลดของเสียของกระบวนการพิมพ์ เพื่อลดข้อจำกัดของการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานสำหรับชุดข้อมูล และเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมีวัตถุประสงค์ไปในทิศทางเดียวกันคือพยากรณ์กลุ่มของข้อมูลชุดใหม่และศึกษาว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรที่ทำให้กลุ่มมีความแตกต่าง การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลสำหรับนำมาวิเคราะห์ และทำการเปรียบเทียบผลเพื่อเลือกวิธีทางสถิติที่ให้ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ดีที่สุด เช่น การเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทกับการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกต์ วิธีความใกล้เคียงมากที่สุด (K-nearest neighbour) วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เป็นต้น

2. การเพิ่มการเก็บข้อมูลการยืนยันผลให้มากขึ้น รวมถึงการเพิ่มชุดข้อมูลของค่าที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรทำนาย เพื่อเป็นแนวทางซึ่งมีหลากหลายมากยิ่งขึ้นในการปรับตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล. 2554. **การใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรพหุนามในการวิจัยทางการศึกษา.** กรุงเทพฯ : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2564. **การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows.** พิมพ์ครั้งที่ 15, กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดสามลดา.

กนกอร บุญมา และสกนธ์ คล่องบุญจิตร. 2565. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม.” **วิศวสารลาดกระบัง.** 39(1) : 63-75.

จิตรี โพธิมามกะ,ภาณุพงศ์ พนมวัน และฐิติพร ลินิฐฎา. 2553. “การวิเคราะห์ตัวแปรจำแนกอาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ในโครงการส่งเสริมการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ.” **วารสารมหาวิทยาลัยสวนดุสิต.** 3(1) : 1-14.

ใจทิพย วานิชชัง,บัณฑิต จรโมภาส และอนุพันธ์ เทอดวงศ์วรกุล. 2553. “การจำแนกความสุกแกของผลแก้วมังกรโดยใชเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท.” **วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.**41(1) : 373-376.

ชนิตา หางแก้ว,จุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง และธิดาพร ศุภภากร. 2563. “การทำนายการเลือกประเภทประกันภัยของลูกค้า.” **วารสารเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ.** 6(2) : 81-95.

ชมพูนุท มนต์ภาณีวงศ์,อภิญญา หิรัญวงษ์ และประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์. 2553. “การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการเพื่อจำแนกกลุ่มกำไรขาดทุนของสหกรณ์ออมทรัพย์ในประเทศไทย.” **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** 20(2) : 322-331.

ทัศนีย์ น้ำเจริญ และลี่ลี อิงศรีสว่าง. 2556. “การวิเคราะห์การจำแนกข้อมูลที่ไม่สมดุลในแต่ละกลุ่มกรณีศึกษาการจำแนกกลุ่มเสี่ยงโรคเบาหวาน.” **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.** 6(1) : 251-161.

ณัฐดนัย สุวรรณสังข์,สุวิมล ติรกานันท์ และกมลทิพย์ ศรีหาเศษ. 2562. “วิธีการวิเคราะห์จำแนกปัจจัยที่เกี่ยวกับผลการเรียนภาษาอังกฤษของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.” **วารสารการวัดผลการศึกษา.** 36(100) : 136-149.

นิรมล อุตมอ่าง,เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และอนุวัตร แจ้งชัด. 2546. “การศึกษาปัจจัยด้านพฤติกรรมการบริโภคที่มีผลต่อไขมันในเลือดและโรคที่เกี่ยวข้องโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท.” หน้า 374-381. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 41: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญา สิริอัตตะกุล. 2555. “การวิเคราะห์จำแนกปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการทำงานของพนักงานนิคมอุตสาหกรรมในภาคตะวันออก ประเทศไทย.” **วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร.** 9(2) : 67-81.

พิชามญชุ์ เรืองสิงห์,สุรางค์ เห็นสว่าง และนิคม เจียรจินดา. “การประยุกต์วิธีวิเคราะห์จำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์ประสิทธิภาพเชิงการเงินของกองทุนรวมตราสารทุนในประเทศไทย.” **วารสารรัชต์ภาคย์.** 16(45) : 28-46.

ภัคชุดา เสรีรัตน์,สุจิตรา จรจิตร และวัน เดชพิชัย. 2561. “ปัจจัยจำแนกการตัดสินใจศึกษาต่อระดับอาชีวศึกษาของนักเรียนในกลุ่มจังหวัดภาคใต้ฝั่งอ่าวไทย.” **วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 37(3) : 112-123.

ศราวุฒิ สุจริตธรรม. 2561. “การเปรียบเทียบการใช้สถิติการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติกกับสถิติการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มในการระบุเพศโดยการใช้ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระบบ 3 มิติ ของกระดูกสะบักในคนไทย.” **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 28(1) : 129-139.

สิริกร ด้วงพิบูลย์,ธงชัย สุธีรศักดิ์,รวี รัตนาคม และวันจิตรา โต๊ะหวันหลง. 2561. “การจำลองพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์อัตราส่วนความถี่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองหลังสวน ภาคใต้ ประเทศไทย.” **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.** 28(2) : 259-272.

สุธิดา มณีรัตนโชติ และสายชล สินสมบูรณ์ทอง. 2563. “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจำแนกการเกิดภาวะซึมเศร้า กรณีศึกษาของนักศึกษามหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในประเทศญี่ปุ่น.” หน้า 121-130. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 5.** อุบลราชธานี : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

สุรวัชร ศรีเปารยะและสายชล สินสมบูรณ์ทอง, 2560. “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการจำแนกกลุ่มการเป็นโรคไตเรื้อรัง:กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในประเทศอินเดีย. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 25(5) : 840-853.

วนาพร สาชนะ,ประวิต เอราวรรณ์ และไพบูลย์ บุญไชย. 2555. “การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทักษะชีวิตของนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 ในจังหวัดอุดรธานี.” **วารสารการวัดผลการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 17(1) : 265-277.

อรอุมา ทองหล่อ,สุภาวดี มานะไตรนนท์ และอนันท์ เชาว์เครือ. 2556. “การวิเคราะห์จำแนกประเภทเพื่อการจำแนกกลุ่มของขนาดฟาร์มโดยใช้ข้อมูลการจัดการฟาร์ม.” **วารสารการเกษตร.** 29(2) : 127-136.

อรอุมา บัวทอง. (2560). “ความสัมพันธ์ระหว่าง การรับรู้ความสามารถตนเอง การกำหนดเป้าหมาย บุคลิกภาพเชิงรุก กับประสิทธิผลในการทำงาน ของพนักงานสถาบันการเงินแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร.” **วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.** 1(2) : 15-25.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abel, M. L. Dahaghi, M. A. Watts, J. F. Slark, A. White, R. G. Mack, P. and Grant, E. 2010. "Effect of flame treatment on formulated polyvinylchloride surface: A study using ARXPS." **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena,** 178(8) : 409-414.

Abliz, D. Duan, Y. Steuernagel, L. Xie, L. Li, D. and Ziegmann, G. 2013. "Curing methods for advanced polymer composites-a review." **Polymers and Polymer Composites,** 21(6) : 341-348.

Andrew, J. Hopkirk, C. Uhl, G. S. Hickman Jr, J. R. Fischer, J. and Medina, A. 1984. "Discriminant value of clinical and exercise variables in detecting significant coronary artery disease in asymptomatic men." **Journal of the American College of Cardiology,** 3(4) : 887-894.

Antonogeorgos, G. Panagiotakos, D. B. Priftis, K. N. and Tzonou, A. 2009. "Logistic regression and linear discriminant analyses in evaluating factors associated with asthma prevalence among 10-to 12-years-old children: divergence and similarity of the two statistical methods." **International journal of pediatrics, 2009.**

Awaja, F. Gilbert, M. Kelly, G. Fox, B. Brynolf, R. and Pigram, P. J. 2008. "Surface properties of polypropylene following a novel industrial surface-treatment process." **Surface and Interface Analysis: An International Journal devoted to the development and application of techniques for the analysis of surfaces, interfaces and thin films,** 40(11) : 1454-1462.

Bartlett, M. D. Case, S. W. Kinloch, A. J. and Dillard, D. A. 2023. "Peel tests for quantifying adhesion and toughness: A review." **Progress in Materials Science,** 101086.

Brown, M. T. and Tinsley, H. E. 1983. "Discriminant analysis." **Journal of Leisure Research,** 15(4) : 290-310.

Brown, J. D. 2001. "Point-biserial correlation coefficients." **Statistics,** 5(3) : 12-6.

Chan, C. M. 1999. "Surface treatment of polypropylene by corona discharge and flame." **Polypropylene: An AZ reference,** 800-805.

Dattalo, P. 1994. "A comparison of discriminant analysis and logistic regression." **Journal of Social Service Research,** 19(3-4) : 121-144.

Efron, B. 1975. "The efficiency of logistic regression compared to normal discriminant analysis." **Journal of the American Statistical Association,** 70(352) : 892-898.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fabbri, P. and Messori, M. 2017. “Surface modification of polymers: chemical, physical, and biological routes.” 109-130. in **Modification of polymer properties.** William Andrew Publishing.

Farris, S. Pozzoli, S. Biagioni, P. Duó, L. Mancinelli, S. and Piergiovanni, L. 2010. “The fundamentals of flame treatment for the surface activation of polyolefin polymers–A review.” **Polymer,** 51(16) : 3591-3605.

Fuh, J. Y. H. Choo, Y. S. Nee, A. Y. C. Lu, L. and Lee, K. C. 1995. “Improvement of the UV curing process for the laser lithography technique.” **Materials & Design,** 16(1) : 23-32.

Garbassi, F. Occhiello, E. Polato, F. and Brown, A. 1987. “Surface effect of flame treatments on polypropylene: Part 2 SIMS (FABMS) and FTIR-PAS studies.” **Journal of Materials Science,** 22 : 1450-1456.

Ghojogh, B. Karray, F. and Crowley, M. 2019. “Fisher and kernel Fisher discriminant analysis.” **Tutorial,** 19(6) : 4-16.

Kim, S. J. Magnani, A. and Boyd, S. 2005. “Robust fisher discriminant analysis.” **Advances in neural information processing systems,** 18(5) : 2-18.

Kot, P. Muradov, M. Gkantou, M. Kamaris, G. S. Hashim, K. and Yeboah, D. 2021. “Recent advancements in non-destructive testing techniques for structural health monitoring.” **Applied Sciences,** 11(6), 2750.

Krzanowski, W. J. Jonathan, P. McCarthy, W. V. and Thomas, M. R. 1995. “Discriminant analysis with singular covariance matrices: methods and applications to spectroscopic data.” **Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics,** 44(1) : 101-115.

Izenman, A. J. 2013. Linear discriminant analysis. 237-280. in **Modern multivariate statistical techniques: regression, classification, and manifold learning.** New York : Springer New York.

Lee, T. M. Noh, J. H. Kim, I. Kim, D. S. and Chun, S. 2010. “Reliability of gravure offset printing under various printing conditions.” **Journal of Applied Physics,** 108(10).

Mazzola, L. Bemporad, E. and Carassiti, F. 2011. “Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces.” **Applied Surface Science,** 257(6) : 2148-2158.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Medeiros, E. Brandes, R. Al-Qureshi, H. A. and Recouvreux, D. D. 2017. “Effect of Flame Treatment in the Coating Adhesion on Polypropylene Substrate.” 200-206. **in 24th International Congress of Mechanical Engineering**.

Medeiros, E. Brandes, R. Al-Qureshi, H. A. and Recouvreux, D. 2018. “Surface energy modification for coating adhesion improvement on polypropylene.” **International Journal of Surface Science and Engineering,** 12(4) : 277-292.

Park, Y. J. Lim, D. H. Kim, H. J. Park, D. S. and Sung, I. K. 2009. “UV-and thermal-curing behaviors of dual-curable adhesives based on epoxy acrylate oligomers.” **International Journal of Adhesion and Adhesives,** 29(7) : 710-717.

Pascoe, R. D. and O'Connell, B. 2003. “Flame treatment for the selective wetting and separation of PVC and PET.” **Waste Management,** 23(9) : 845-850.

Polit, D. F. 2017. “Clinical significance in nursing research: A discussion and descriptive analysis.” **International Journal of Nursing Studies,** 73 : 17-23.

Press, S. J. and Wilson, S. 1978. “Choosing between logistic regression and discriminant analysis.” **Journal of the American Statistical Association,** 73(364) : 699-705.

Richard, H. 2002. “Exact misclassification probabilities for plug-in normal quadratic discriminant function.” **Journal of Multivariate Analysis,** (82)2 : 299-330.

Rockwell, R. C. (1975). “Assessment of multicollinearity: The Haitovsky test of the determinant.” **Sociological Methods & Research,** 3(3) : 308-320.

Sheng, E. Sutherland, I. Brewis, D. M. Heath, R. J. and Bradley, R. H. 1994. “Surface studies of polyethylene modified by flame treatment.” **Journal of Materials Chemistry,** 4(3) : 487-490.

Shukla, V. Bajpai, M. Singh, D. K. Singh, M. and Shukla, R. 2004. “Review of basic chemistry of UV-curing technology.” **Pigment & Resin Technology,** 33(5) : 272-279.

Smith, K. L. and Cleve, R. V. 1958. “Plastic Properties.” **Industrial & Engineering Chemistry**, 50(1) : 12-16.

Song, J. Gunst, U. Arlinghaus, H. F. and Vancso, G. J. 2007. “Flame treatment of low-density polyethylene: Surface chemistry across the length scales.” **Applied Surface Science,** 253(24) : 9489-9499.

Sutherland, I. Brewis, D. M. Health, R. J. and Sheng, E. 1991. “Modification of polypropylene surfaces by flame treatment.” **Surface and interface analysis,** 17(7) : 507-510.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tajima, K. Kubota, T. and Watanabe, H. 2023. “Surface modification using automatic, transportable, single-wavelength UV treatment system for formation of surfaces with high adhesion.” **AIP Advances,** 13(7).

Tuominen, M. Ek, M. Saloranta, P. Toivakka, M. and Kuusipalo, J. 2013. “The effect of flame treatment on surface properties and heat sealability of low-density polyethylene coating.” **Packaging Technology and Science,** 26(4) : 201-214.

Visa, S. Ramsay, B. Ralescu, A. L. and Van Der Knaap, E. 2011. “Confusion matrix-based feature selection.” **Maics,** 710(1) : 120-127.

Williams, D. F. Abel, M. L. Grant, E. Hrachova, J. and Watts, J. F. 2015. “Flame treatment of polypropylene: A study by electron and ion spectroscopies.” **International Journal of Adhesion and Adhesives,** 63 : 26-33.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การตรวจสอบข้อกำหนดพื้นฐานสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์กลุ่มของดีและของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi})

การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม ตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi}) แสดงสูตรการคำนวณดังต่อไปนี้

$$r_{pbi}=\frac{\bar{x}_p-\bar{x}_q}{S_x}\sqrt{pq} \quad (ก.1)$$

โดย r_{pbi} แทนสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล

S_x แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทำนาย

p แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด

q แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในอีกกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\bar{x}_p$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 1

$\bar{x}_q$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 0

$\bar{x}$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้งหมด

นำชุดข้อมูลของกลุ่มทดสอบสมการมีทั้งหมด 126 ข้อมูล ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มของดีจำนวน 76 ชุดข้อมูล และแบ่งเป็นกลุ่มของเสียจำนวน 50 ชุดข้อมูล เริ่มต้นจากการคำนวณค่า p และ q จะได้ว่า

$$p=\frac{76}{126}=0.60$$

$$q=\frac{50}{126}=0.40$$

เมื่อคำนวณค่า p มีค่าเท่ากับ 0.60 และ q มีค่าเท่ากับ 0.40 จากนั้นนำค่าไปคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi}) โดยแบ่งเป็น 3 ตัวแปรทำนายแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตัวแปรทำนายที่ 1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียลระหว่างตัวแปรทำนายความดันแก๊ส (x_1) และกลุ่มของชิ้นงานกลุ่มของดีและของเสีย (Y) กำหนดเป็น r_{pb1y}

$$\bar{x}_{1,ของดี}=92.89,\ \bar{x}_{1,ของเสีย}=131.42,\ S_x=20.30$$

$$r_{pb1y}=\frac{92.89-131.42}{20.30}\sqrt{0.60*0.40}$$

$$r_{pb1y}=-0.93 \quad (ก.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรทำนายที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียลระหว่างตัวแปรทำนายความดันอากาศอัด (x_2) และกลุ่มของชิ้นงานกลุ่มของดีและของเสีย (Y) กำหนดเป็น r_{pb2y}

$$\bar{x}_{2,ของดี} = 8.27,\ \bar{x}_{2,ของเสีย} = 22.57,\ S_x = 7.87$$

$$r_{pb2y} = \frac{8.27\text{-}22.57}{7.87}\sqrt{0.60*0.40}$$

$$r_{pb2y} = -0.89 \qquad (ก.3)$$

ตัวแปรทำนายที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียลระหว่างตัวแปรทำนายความเร็วสายพาน (x_3) และกลุ่มของชิ้นงานกลุ่มของดีและของเสีย (Y) กำหนดเป็น r_{pb3y}

$$\bar{x}_{3,ของดี} = 741.94,\ \bar{x}_{3,ของเสีย} = 953.7,\ S_x = 121.35$$

$$r_{pb3y} = \frac{741.94\text{-}953.7}{121.35}\sqrt{0.60*0.40}$$

$$r_{pb3y} = -0.85 \qquad (ก.4)$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียลระหว่างตัวแปรทำนายความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพานกับกลุ่มของชิ้นงาน (r_{pb1y}, r_{pb2y}, r_{pb3y}) มีค่าเท่ากับ -0.93, -0.89 และ -0.85 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณค่า Variance Inflation Factor (VIF) และ Tolerance

สูตรที่ใช้สำหรับการคำนวณค่า Variance Inflation Factor (VIF) และ Tolerance แสดงดังต่อไปนี้

$$\text{VIF} = \frac{1}{1\text{-}R^2(x)} \qquad (ก.5)$$

$$\text{Tolerance} = \frac{1}{\text{VIF}} \qquad (ก.6)$$

โดยจะคำนวณค่า Variance Inflation Factor (VIF) และ Tolerance ของทั้ง 3 ตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน แสดงได้ดังต่อไปนี้

ตัวแปรทำนายที่ 1 ความดันแก๊ส (x_1)

$$R^2(x_1) = 0.855$$

$$\text{VIF} = \frac{1}{1\text{-}0.855}$$

$$\text{VIF} = 6.903 \qquad (ก.7)$$

$$\text{Tolerance}\ (x_1) = \frac{1}{6.903}$$

$$\text{Tolerance}\ (x_1) = 0.145 \qquad (ก.8)$$

ตัวแปรทำนายที่ 2 ความดันอากาศอัด (x_2)

$$R^2(x_2) = 0.698$$

$$\text{VIF} = \frac{1}{1\text{-}0.698}$$

$$\text{VIF} = 3.312 \qquad (ก.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Tolerance }(x_2) = \frac{1}{3.312}$$

$$\text{Tolerance }(x_2) = 0.302 \quad \text{(ก.10)}$$

ตัวแปรทำนายที่ 3 ความเร็วสายพาน (x_3)

$$R^2(x_3) = 0.787$$

$$\text{VIF} = \frac{1}{1-0.787}$$

$$\text{VIF} = 4.709 \quad \text{(ก.11)}$$

$$\text{Tolerance }(x_3) = \frac{1}{4.709}$$

$$\text{Tolerance }(x_3) = 0.212 \quad \text{(ก.12)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณดัชนีอื่นๆ สำหรับประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

การประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทด้วยการคำนวณค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3 นอกจากนี้ยังมีดัชนีอื่นที่สามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท ได้แก่ ความไว (Sensitivity) ความจำเพาะ (Specificity) แสดงได้ดังต่อไปนี้

ความไว (Sensitivity) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผลการพยากรณ์จะเป็นบวกเมื่อเหตุการณ์ที่สนใจนั้นเกิดขึ้นจริง ความไวเป็นดัชนีที่แสดงการแยกกันเหตุการณ์ผลลบที่ไม่เป็นจริง (False Negative) เนื่องจากการพยากรณ์เมื่อมีความไวสูง โอกาสการพยากรณ์ได้ผลลบที่ไม่เป็นจริง เช่น การพยากรณ์ว่าเป็นของเสียที่ไม่เป็นจริง ซึ่งเหตุการณ์จริงเป็นของดีก็จะน้อยลงเท่านั้น

ความไว (Sensitivity) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% โอกาสการพยากรณ์เหตุการณ์เป็นผลลบที่ไม่เป็นจริง จะแสดงผลเป็น 0% ซึ่งส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของการพยากรณ์

$$\text{Sensitivity (\%)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP+FN}} * 100 \qquad (\text{ก}.13)$$

แสดงวิธีการคำนวณสำหรับข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) และกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample) ดังต่อไปนี้

ความไว (Sensitivity) ของข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

$$\text{Sensitivity (\%)} = \frac{76}{76+0} * 100$$

$$\text{Sensitivity (\%)} = 100 \qquad (\text{ก}.14)$$

ความไว (Sensitivity) ของข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample)

$$\text{Sensitivity (\%)} = \frac{29}{29+2} * 100$$

$$\text{Sensitivity (\%)} = 93.55 \qquad (\text{ก}.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจำเพาะ (Specificity) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่ผลการพยากรณ์จะเป็นลบ เมื่อเหตุการณ์ที่สนใจนั้นไม่เกิดขึ้น ความจำเพาะเป็นดัชนีที่แสดงการยืนยันเหตุการณ์ที่มี โดยแยกกันเหตุการณ์ผลบวกที่ไม่เป็นจริง (False Positive) เนื่องจากการพยากรณ์เมื่อมีความจำเพาะสูง โอกาสการพยากรณ์ได้ผลบวกที่ไม่เป็นจริง เช่น การพยากรณ์ว่าของดีที่ไม่เป็นจริง ซึ่งเหตุการณ์จริงเป็นของเสียก็จะน้อยลงเท่านั้น

ความจำเพาะ (Specificity) ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% หมายความว่า โอกาสการพยากรณ์เหตุการณ์เป็นผลบวกที่ไม่เป็นจริงจะแสดงผลเป็น 0% ซึ่งส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของการพยากรณ์

$$\text{Specificity (\%)} = \frac{\text{TN}}{\text{FP+TN}} * 100 \qquad (ก.16)$$

แสดงวิธีการคำนวณสำหรับข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample) และกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample) ดังต่อไปนี้

ความจำเพาะ (Specificity) ของข้อมูลกลุ่มสร้างสมการ (Training Sample)

$$\text{Specificity (\%)} = \frac{50}{0+50} * 100$$

$$\text{Specificity (\%)} = 100 \qquad (ก.17)$$

ความจำเพาะ (Specificity) ของข้อมูลกลุ่มทดสอบสมการ (Holdout Sample)

$$\text{Specificity (\%)} = \frac{22}{1+22}$$

$$\text{Specificity (\%)} = 95.65 \qquad (ก.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มชิ้นงาน (ข้อเพิ่มเติม)

การทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่มชิ้นงานที่เป็นของดีหรือของเสีย โดยใช้สถิติทดสอบค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' Lambda) เป็นสถิติที่ใช้และเป็นมาตรวัดอำนาจในการจำแนกกลุ่มของตัวแปรด้วย ถ้าค่า Wilks' Lambda มีค่ามาก ตัวแปรจะอธิบายการเป็นสมาชิกของกลุ่มได้น้อย ถ้าค่า Wilks' Lambda มีค่าน้อย ตัวแปรจะอธิบายการเป็นสมาชิกของกลุ่มได้มาก แสดงสมมุติฐานในการทดสอบดังต่อไปนี้

H_0: $\mu_1 = \mu_2$; ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 1 = กลุ่มที่ 2

H_1: $\mu_1 \neq \mu_2$; ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระของกลุ่มที่ 1 ≠ กลุ่มที่ 2

สูตรที่ใช้สำหรับการคำนวณค่าวิลค์แลมบ์ดา (Wilks' Lambda) แสดงดังสมการที่ ก.19

$$\Lambda^* = \frac{|W|}{|B+W|} = \frac{\sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{ij}-x_i)^2}{\sum n_i(x_i-\bar{x}_{...})^2+\sum_{i=1}^{g}\sum_{j=1}^{n_i}(x_{ij}-\bar{x}_j)^2} \quad (ก.19)$$

B แทนผลบวกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Sum Square Between Group)

W แทนผลบวกกำลังสองของความแตกต่างภายในกลุ่ม (Sum Square Within Group)

B+W แทนผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Total Sum Square)

ถ้าค่า Wilks' Lambda มีค่าน้อย (0 ≤ Wilks' Lambda ≤ 1) จะปฏิเสธ H_0 หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 แตกต่างกัน

ตารางที่ ก.1 ผลการตรวจสอบการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนาย

ตัวแปร	Wilks' Lambda	F	df1	df2	Sig.
ความดันแก๊ส	0.131	822.609	1	124	<.001
ความดันอากาศอัด	0.203	486.293	1	124	<.001
ความเร็วสายพาน	0.266	343.007	1	124	<.001

จากตารางที่ ก.1 พบว่าค่า Sig. ของการทดสอบทั้ง 3 การทดสอบ คือตัวแปรทั้ง 3 ตัว ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน มีค่า Sig <.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้ง 3 ตัวของกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นของดี แตกต่างจากกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการตรวจสอบการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทุกตัว

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Sig.
1	0.084	<.001

จากตารางที่ ก.2 เป็นการทดสอบการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายว่ามีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มหรือไม่ด้วยสถิติทดสอบ Wilks’ Lamda ซึ่งค่า Wilks’ Lamda มีค่าเท่ากับ 0.084 จะใช้ทดสอบสมมติฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทุกตัวในกลุ่มของดีและของเสีย ซึ่งได้ค่า Sig <0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงทำให้มั่นใจว่าควรใช้ตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัวในการแบ่งกลุ่มชิ้นงานของดีและของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การคำนวณค่าจุดตัด (Cutting Point) เพิ่มเติม

ในอีกกรณีหนึ่งจากค่ากลางของกลุ่มซึ่งจะมี 2 ค่า คือค่ากลางของกลุ่มของดี และค่ากลางของกลุ่มของเสีย สามารถประยุกต์ใช้การคำนวณค่าจุดตัด (Cutting Point) เพิ่มเติม ให้เหลือเพียงค่าเดียวสำหรับใช้เป็นค่าจุดตัด ในการแยกแยะระหว่างกลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย สูตรคำนวณค่าจุดตัดแสดงดังต่อไปนี้ (กนกอร บุญมา และ สกนธ์ คล่องบุญจิตร, 2565)

$$Y_c = \frac{n_1\bar{Y}_1 + n_2\bar{Y}_2}{n_1 + n_2} \quad (ก.20)$$

Y_c แทนค่าจุดตัด

n_1 แทนจำนวนข้อมูลที่เป็นกลุ่มของเสีย

n_2 แทนจำนวนข้อมูลที่เป็นกลุ่มของดี

$\bar{Y}_1$ แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่เป็นของเสีย

$\bar{Y}_2$ แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่เป็นของดี

ค่าจุดตัด (Cutting Point) แสดงวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

$$Y_c = \frac{(50)(4.027)+(76)(-2.65)}{50+76}$$

$$Y_c = 0 \quad (ก.21)$$

ถ้าคะแนนจำแนกที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภท มีค่ามากกว่าค่าจุดตัด ($Y_c = 0$) หมายถึงถ้าคะแนนจำแนกมีค่ามากกว่า 0 สมการจะพยากรณ์ว่าเป็นกลุ่มของเสีย และถ้าคะแนนจำแนกมีค่าน้อยกว่า 0 สมการจะพยากรณ์ว่าเป็นกลุ่มของดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์จากวารสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2566

การวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการลดของเสียกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม

Discriminant Analysis for Defect Reduction in Plastic Printing Process of Beverage Closures

กชวรรณ อยู่ไทย[1] กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข[1*] และ กนกกรรณ์ ลี้โรจนาประภา[2]

Kotchawan Yoothai[1] Kittiwat Sirikasemsuk[1] and Kanogkan Leerojanaprapa[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2]ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[1]Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

[2]Department of Statistics, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

วันที่ส่งบทความ : 15 กรกฎาคม 2566 วันที่แก้ไขบทความ : 8 กันยายน 2566 วันที่ตอบรับบทความ : 00 ตุลาคม 2566

Received: 15 July 2023, Revised: 8 September 2023, Accepted: 00 October 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการจำแนกกลุ่มชิ้นงานว่าเป็นของดีหรือของเสียเพื่อลดของเสียสำหรับกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant analysis) จากบริษัทกรณีศึกษาพบว่า มีปัญหาเรื่องฝาเครื่องดื่มมีของเสียจากการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ของเครื่องหมายทางการค้า ซึ่งมีความสำคัญต่อภาพลักษณ์ของผลิตภัณฑ์และการดึงดูดความสนใจสำหรับผู้บริโภคกับความต้องการซื้อผลิตภัณฑ์ ข้อมูลตัวอย่างจำนวน 180 ชุดได้ถูกเก็บรวบรวม กำหนดตัวแปรทำนาย 3 ตัว ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ตัวแปรตามถูกกำหนดเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มของดีและกลุ่มของเสีย ในงานวิจัยนี้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถถูกระบุได้ดังนี้ $\widehat{Y}= -15.175+0.089x_1+0.171x_2+0.004x_3$ ซึ่งมีประสิทธิภาพความถูกต้องเท่ากับ 94.4% นอกจากนี้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของความดันแก๊สมีค่าเท่ากับ 82 มิลลิบาร์ (mbar) ความดันอากาศอัดมีค่าเท่ากับ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และความเร็วสายพานมีค่าเท่ากับ 1,000 รอบต่อนาที (rpm) ค่าดังกล่าวถูกทำการทดลองซ้ำซึ่งยืนยันว่าได้ชิ้นงานเป็นกลุ่มของดีทั้งหมด

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: kittiwat.sirikasemsuk@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2566

คำสำคัญ : การวิเคราะห์จำแนกประเภท ของเสีย กระบวนการพิมพ์พลาสติก การลดของเสีย

Abstract

This research aimed to create the discriminant analysis equation for a classification group of good and bad products, in order to reduce the defects of the plastic printing process by means of the discriminant analysis. According to the company's case study, there was a problem with the beverage closures getting damaged because of the trademark ink peeling off. It was crucial for the brand of the goods and for attracting consumers to buy the product. A total of 180 sample data sets were collected. There were the following three predicted variables: gas pressure (x_1), compressed air pressure (x_2), and conveyor speed (x_3). The dependent variables were separated into two categories: good components and defects. In this research, the discriminant analysis equation could be determined as $\widehat{Y} = -15.175+0.089x_1+0.171x_2+0.004x_3$, under a 94.4% accuracy rate. The suitable gas pressure, compressed air pressure, and conveyor speed were 82 mbar, 7 psi, and 1000 rpm, respectively. These results were replicated experimentally, which proved that every beverage closure was good.

Keyword: Discriminant analysis, Defect, Plastic printing process, Defect reduction

1. บทนำ

ในโลกปัจจุบันอุตสาหกรรมพลาสติกถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งซึ่งมีความสำคัญกับเศรษฐกิจและสร้างรายได้สำหรับประเทศไทยจำนวนมาก โดยเป็นอุตสาหกรรมที่ทำหน้าที่เปลี่ยนเม็ดพลาสติกไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ชิ้นส่วนประกอบอุตสาหกรรมรถยนต์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยอุตสาหกรรมหลายสาขามีแนวโน้มใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกเพิ่มขึ้น คือ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ส่งผลกับความต้องการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกสำหรับการบรรจุและห่อหุ้มสินค้าเพื่อป้องกันความสะอาด ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ตลาดมีความต้องการในปริมาณสูง [1]-[2] ดังนั้นอุตสาหกรรมจึงต้องปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองอยู่เสมอ เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด การลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ การลดปริมาณของเสียของกระบวนการผลิต ถือเป็นการเพิ่มโอกาสและประสิทธิภาพในการแข่งขันด้านธุรกิจของตนเองให้อยู่รอดในการดำเนินธุรกิจ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับงานวิจัยนี้ บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่ม คือ ฝาเครื่องดื่มสำหรับใช้ในการปิดขวดน้ำดื่มหรือน้ำอัดลม หากพิจารณาอุตสาหกรรมผลิตพลาสติกประเภทบรรจุภัณฑ์เครื่องดื่มพบว่าตลาดปัจจุบันมีบทบาทสำคัญและเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงสำหรับการบริโภคในชีวิตประจำวัน ดังนั้น บริษัทกรณีศึกษาจึงมีความจำเป็นต้องถูกพัฒนาอย่างสมบูรณ์แบบ เพื่อตอบสนองความต้องการซื้อสำหรับผู้บริโภค

กระบวนการผลิตฝาเครื่องดื่มของบริษัทกรณีศึกษา ประกอบด้วย 4 กระบวนหลัก โดยเริ่มจากกระบวนการฉีด กระบวนการพิมพ์ กระบวนการบรรจุ และกระบวนการจัดเก็บ มียอดการผลิตจำนวนทั้งหมด 473-480 ล้านชิ้นต่อปี จากการสำรวจข้อมูลของเสียจากการผลิตฝาเครื่องดื่มเฉลี่ยในอดีต 5 ปีย้อนหลัง พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 6.2 ล้านชิ้นต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 1.32 สามารถแบ่งของเสียได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) ของเสียที่เกิดจากกระบวนการฉีด คิดเป็นร้อยละ 0.54 และ 2) ของเสียที่เกิดจากกระบวนการพิมพ์ คิดเป็นร้อยละ 0.78 มีจำนวนสูงสุดเป็นอันดับ 1 โดยจะมีลักษณะการหลุดลอกของหมึกพิมพ์บริเวณด้านบนของฝา ส่งผลให้เครื่องหมายทางการค้าของลูกค้าไม่สมบูรณ์ตามแบบพิมพ์ ถือเป็นชิ้นงานฝาที่ไม่ผ่านคุณภาพเป็นของเสีย สิ่งนี้ยังส่งผลให้พนักงานต้องสูญเสียเวลาสำหรับการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักรใหม่ ซึ่งใช้วิธีการลองผิดลองถูก (Trial and error) ถือเป็นความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [4] ด้วยปัญหานี้บริษัทกรณีศึกษาจึงมีความต้องการที่จะลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตภัณฑ์ อีกทั้งเป็นการเพิ่มโอกาสทางการแข่งขันด้านการตลาด เนื่องจากกระบวนการพิมพ์สีฝาเครื่องดื่มเป็นกระบวนการสำหรับสร้างภาพลักษณ์ที่สวยงามให้กับเครื่องหมายทางการค้าของลูกค้า ซึ่งถือเป็นกระบวนการสำคัญที่ต้องได้รับการพัฒนาให้มีคุณภาพสูงที่สุด [5]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ซึ่งมีความถูกต้อง (Accuracy) สำหรับการจำแนกกลุ่มว่าชิ้นงานว่าเป็นของดีหรือของเสีย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant analysis) มาประยุกต์ใช้และหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม

1.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม เป็นวิธีทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มของตัวแปรเกณฑ์ (Y) โดยการวิเคราะห์ซึ่งพิจารณาระหว่างตัวแปรเกณฑ์ 1 ตัวและตัวแปรทำนายตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่ม และสามารถบอกธรรมชาติแต่ละรูปแบบของการจำแนกกลุ่มได้ เช่น สามารถแสดงว่าตัวแปรใดจำแนกได้ดีที่สุด หมายถึง สามารถแสดงประสิทธิภาพหรือค่าน้ำหนักของการจำแนกสำหรับตัวแปรเหล่านั้น [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลที่ทราบจำนวนกลุ่ม และทราบว่าแต่ละเหตุการณ์หรือกรณีอยู่กลุ่มใด แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้สำหรับการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรที่พยากรณ์ว่าจะทำให้เหตุการณ์หรือกรณีที่อยู่คนละกลุ่มมีความแตกต่างกัน และนำสมการที่สร้างได้มาทำการจัดกลุ่ม พยากรณ์เหตุการณ์หรือกรณีที่ยังไม่ทราบกลุ่ม [7]

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์จำแนกประเภท แสดงทั้งหมด 3 ประการ ดังต่อไปนี้ [8]

1. ใช้สำหรับหาสาเหตุหรือตัวแปรที่ควรใช้สำหรับแบ่งกลุ่ม

2. เพื่อสร้างสมการจำแนกกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดของข้อมูล

3. เพื่อประยุกต์นำสมการจำแนกกลุ่มสำหรับพยากรณ์กลุ่มใหม่ว่าต้องพิจารณาจัดให้อยู่เป็นกลุ่มใด

ลักษณะข้อมูลที่ประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์จำแนกประเภท แบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรเกณฑ์ จัดเป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม (Categorical) เป็นตัวแปรที่แบ่งเป็นกลุ่มๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป มีระดับการวัดในมาตรานามบัญญัติ (Nominal scale) หรือมาตราเรียงอันดับ (Ordinal scale) และเมื่อพบข้อมูลเป็นรูปแบบอื่นต้องแปลงข้อมูลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มก่อนที่จะนำไปทำการวิเคราะห์

2. ตัวแปรอิสระ เป็นตัวแปรสำหรับจำแนกหรือเป็นตัวแปรสำหรับการพยากรณ์ เป็นตัวแปรต่อเนื่องซึ่งมีระดับการวัดอยู่ในมาตราอันตรภาค (Interval scale) หรือมาตราอัตราส่วน (Ratio scale) และเมื่อพบว่าข้อมูลเป็นระดับอื่นต้องแปลงเป็นตัวแปรหุ่น (Dummy coding) ก่อนการนำไปใช้สำหรับวิเคราะห์

การตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท แสดงเงื่อนไขดังต่อไปนี้ [9]-[11]

1. การตรวจสอบตัวแปรทำนายมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร (Normality of Independent Variables) โดยวิธี Anderson-Darling

2. การตรวจสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Box's M

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม ตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (Point Biserial Correlation Coefficient) โดยที่ตัวแปรหนึ่งเป็นตัวแปรต่อเนื่องซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ และอีกตัวแปรหนึ่งเป็นแบบ Dichotomous ที่จำแนกได้เป็นสองกลุ่ม คือ ชิ้นงานดี แทนเป็น 1 และชิ้นงานเสีย แทนเป็น 0 [12] แสดงดังสมการที่ (1)

$$r_{pbi} = \frac{\bar{x}_p - \bar{x}_q}{S_x}\sqrt{pq} \tag{1}$$

โดย r_{pbi} แทนสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล

S_x แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทำนาย

p แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

q แทนสัดส่วนของจำนวนข้อมูลในอีกกลุ่มหนึ่งต่อจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$\bar{x}_p$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 1

$\bar{x}_q$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายเฉพาะในกลุ่มที่กำหนดเป็น 0

$\bar{x}$ แทนค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้งหมด

4. การตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ตรวจสอบโดยพิจารณาค่าทางสถิติ Collinearity ซึ่งพิจารณาค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF)

การประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท ซึ่งนำค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องมาพิจารณาเป็นมาตรวัดประสิทธิภาพสำหรับการทำนาย ซึ่งคำนวณจากอัตราของการจำแนกกลุ่มที่ถูกต้องกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด [13] แสดงดังตารางที่ 1 และสมการที่ (2)

ตารางที่ 1. ความถูกต้องของการพยากรณ์

		ค่าพยากรณ์		
		เกิดเหตุการณ์	ไม่เกิดเหตุการณ์	รวม
ค่าอ้างอิง (เป็นจริง)	เกิดเหตุการณ์	True Positive (TP)	False Positive (FP)	TP + FP
	ไม่เกิดเหตุการณ์	False Negative (FN)	True Negative (TN)	FN + TN
	รวม	TP + FN	FP + TN	TP+FP+FN+TN

โดยที่

True Positive (TP) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์เกิดเหตุการณ์ว่าเกิดเหตุการณ์

False Positive (FP) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์เกิดเหตุการณ์ว่าไม่เกิดเหตุการณ์

False Negative (FN) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์ไม่เกิดเหตุการณ์ว่าเกิดเหตุการณ์

True Negative (TN) แทนจำนวนข้อมูลซึ่งพยากรณ์ไม่เกิดเหตุการณ์ว่าไม่เกิดเหตุการณ์

$$\text{Accuracy (\%)} = \frac{\text{TP+TN}}{\text{TP+FP+FN+TN}}*100 \qquad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ทฤษฎีการปรับสภาพผิวของพลาสติก

พลาสติกโดยทั่วไปมีลักษณะดังนี้ เฉื่อยต่อสารเคมี ผิวไม่มีรูพรุน และแรงตึงผิวต่ำ จึงทำให้พลาสติกไม่สามารถเกาะติดได้ดีกับพลาสติกเหลวที่ใช้เคลือบ กาวและหมึกพิมพ์ต่างๆ ได้ ซึ่งโพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) และโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) เป็นพลาสติกที่มีแรงตึงผิวต่ำที่สุด ส่วนใหญ่แล้ว PE และ PP จะถูกนำมาปรับสภาพพื้นผิวเพื่อให้มีการเกาะติดที่ดีขึ้น ทั้งนี้การปรับสภาพผิวฟิล์มไม่ได้มีข้อจำกัด ว่าต้องทำกับพลาสติก 2 ชนิดนี้เท่านั้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้สำหรับปรับปรุงการเกาะติดกับพลาสติกทุกประเภท อาทิ ฟิล์ม เป็นต้น และวัสดุที่ไม่ใช่พลาสติก อาทิ ฟอยล์และกระดาษ เป็นต้น ซึ่งการปรับสภาพผิว สามารถทำได้ทั้งหมด 4 วิธี ได้แก่ [14]

1. การปรับสภาพผิวโดยใช้โคโรนา (Corona treatment)
2. การปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟ (Flame treatment)
3. การปรับสภาพผิวโดยใช้พลาสมา (Plasma treatment)
4. การปรับสภาพผิวโดยใช้ Primer

ในงานวิจัยนี้บริษัทกรณีศึกษาซึ่งผลิตฝาเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม ได้ใช้วัตถุดิบเป็นพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เกรด High Density Polyethylene (HDPE) ซึ่งมีค่าพลังงานพื้นผิว (Surface energy) โดยทั่วไปเท่ากับ 40 ไดน์ต่อเซนติเมตร ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำไม่สามารถเกาะติดกับหมึกพิมพ์ได้ในสภาวะปกติ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับสภาพผิวของฝาโดยใช้เปลวไฟก่อนเข้าสู่การพิมพ์สี (Printing Process)

การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ เป็นวิธีการปรับสภาพผิวสำหรับพลาสติกที่ทำโดยการป้อนชิ้นงานผ่านเปลวไฟ ทำให้เกิดอนุมูลใหม่ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) บนพื้นผิวของพลาสติก ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิล และหมู่คาร์บอนิล ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีสภาพเป็นขั้ว ให้พลาสติกมีพลังงานพื้นผิวและความสามารถของการเปียกผิว (Wettability) สูงขึ้น การเปียกผิวดีส่งผลให้การดึงดูดระหว่างของเหลวกับพื้นผิวสัมผัสที่เป็นของแข็งดี ซึ่งปัจจัยทั้งสองข้อนี้นับเป็นปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลต่อการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนพื้นผิวพลาสติก การปรับสภาพพื้นผิวด้วยเปลวไฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการยึดเกาะของของเหลวลงบนวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นของแข็ง ปัจจัยที่มีผลสำหรับประสิทธิภาพของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ได้แก่ ระยะห่างระหว่างไฟกับวัตถุ ความเร็วของสายพาน ปริมาณแก๊ส (Gas) ปริมาณอากาศ (Air) [15] เป็นต้น

1.3 ทฤษฎีการพิมพ์และการอบแห้งของพลาสติก

กระบวนการพิมพ์พลาสติกในอุตสาหกรรมมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และประเภทของของการใช้งาน ได้แก่

1. รูปแบบพิมพ์ออฟเซ็ท (Offset Printing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รูปแบบพิมพ์เลตเตอร์เพรส (Letterpress Printing)

3. รูปแบบพิมพ์ซิลค์สกรีน (Silkscreen Printing)

4. รูปแบบพิมพ์ดิจิตอล (Digital Printing)

5. รูปแบบพิมพ์เฟล็กโซกราฟี (Flexography)

6. รูปแบบพิมพ์กราวัวร์ (Gravure)

โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการพิมพ์พลาสติกรูปแบบ Offset Printing เนื่องจากเป็นรูปแบบที่บริษัทกรณีศึกษานำมาประยุกต์ใช้ กระบวนการพิมพ์รูปแบบ Offset Printing เป็นเทคนิคที่แพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการพิมพ์ที่สามารถผลิตงานพิมพ์ได้เร็วกว่าการพิมพ์ด้วยบล็อกสกรีน เพราะการพิมพ์ด้วยวิธีนี้นั้น ชิ้นงานและลูกกลิ้งจะทำงานอยู่ตลอดเวลา ขั้นตอนของกระบวนการพิมพ์ คือ แม่พิมพ์รูปแบบนี้มีลักษณะแบบลูกกลิ้งกลมกลวง โดยสีจะถูกฉีดออกจากข้างในลูกกลิ้ง และมีตัวปาดสีจะทำหน้าที่อยู่ภายในลูกกลิ้ง ขณะเครื่องทำงานพิมพ์ลูกกลิ้งจะหมุนรอบตัวและสีก็จะออกมาตามลวดลายของลูกกลิ้ง และลวดลายก็จะถูกพิมพ์ไปบนชิ้นงานที่วิ่งไปตามสายพาน [16]

การอบแห้งของพลาสติก ใช้รูปแบบของการทำให้สารเคลือบผิวของวัสดุอยู่ตัวหรือแข็งตัว ด้วยการเรียงตัวระหว่างโมเลกุล โดยการนำสารพิเศษที่มีคุณสมบัติตอบสนองต่อความร้อนหรือรังสีผสมลงในหมึกสี แลคเกอร์หรือกาวที่ใช้ทาเคลือบผิววัสดุ จากนั้นให้ความร้อนหรือฉายรังสีลงไปส่งผลให้โมเลกุลของสารพิเศษเกิดการต่อตัวกันยาวขึ้น ทำให้หมึกสี แลคเกอร์ หรือกาวนั้นแห้งและแข็งตัวในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งอุตสาหกรรมมีความต้องการกระบวนการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงและต้นทุนต่ำ [17] โดยกระบวนการอบแห้งสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. การอบแห้งโดยใช้ความร้อน (Thermal curing)

2. การอบแห้งโดยใช้รังสี (Radiation curing)

สำหรับบริษัทกรณีศึกษาใช้วิธีการอบแห้งโดยใช้รังสีชนิดรังสีอัลตราไวโอเลต ซึ่งมีข้อดีคือเป็นเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการเพิ่มยอดการผลิตและการใช้พลังงานของกระบวนการพิมพ์ที่ลดลง ขั้นตอนการทำงานจะใช้การฉายรังสีอัลตราไวโอเลตลงไปที่วัสดุซึ่งผ่านการพิมพ์ เคลือบด้วยหมึกหรือสีซึ่งมีสารพิเศษที่มีคุณสมบัติตอบสนองต่อรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้โมเลกุลของสารพิเศษนี้เกิดปฏิกิริยาเรียงตัวกันทำให้แห้งพร้อมกับแข็งตัวเคลือบลงบนพื้นผิวสัมผัสอย่างรวดเร็ว [18]

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ แสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sutherland และคณะ [19] ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ของพลาสติก โดยพิจารณาที่ค่าพลังงานพื้นผิว ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาและส่งผลต่อการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด เวลาที่ชิ้นงานสัมผัสเปลวไฟซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของการป้อนชิ้นงาน และระยะระหว่างจุดกำเนิดเปลวไฟกับพื้นผิวของชิ้นงาน Medeiros และคณะ [20] กล่าวว่าพลาสติกโดยส่วนใหญ่มีพลังงานพื้นผิวที่ต่ำ และการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนชิ้นงานพลาสติกถือเป็นปัญหาคุณภาพที่สำคัญของอุตสาหกรรม ซึ่งคุณสมบัติการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ของชิ้นงานพลาสติกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการเปียกผิว และพลังงานพื้นผิว การปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ เป็นกระบวนการที่ใช้ต้นทุนต่ำ ให้ประสิทธิภาพดี ใช้ระยะเวลาน้อย และยังช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิวของชิ้นงานพลาสติกคิดเป็น 20% โดยประมาณ ในขณะที่ Mazzola และคณะ [21] ได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ โดยพิจารณาค่าพลังงาน ความเป็นขั้ว ความเปียกผิว โดยนำปัจจัยซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟมาพิจารณาเป็น 5 ปัจจัย ได้แก่ ระยะของเปลวไฟระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวของชิ้นงาน เวลาที่ชิ้นงานสัมผัสเปลวไฟ ความเร็วของการป้อนชิ้นงาน ความดันของแก๊ส และความดันของอากาศอัด

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคทางด้านสถิติ แสดงดังต่อไปนี้

Antonogeorgos และคณะ [22] ได้เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภท และวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ สำหรับการพิจารณาปัจจัยที่มีผลกับโรคหอบหืดของเด็กอายุ 10-12 ปี และสรุปผลว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ในการจำแนกประเภทเหมือนกัน ซึ่งการตัดสินใจเลือกวิธีสำหรับการวิเคราะห์ว่าวิธีการใดเหมาะสมที่สุด ก็จะต้องพิจารณาสมมุติฐานของเหตุการณ์ในการประยุกต์ใช้ร่วมด้วย Andrew และ Mark [23] ได้กล่าวว่าหากชุดข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ รวมถึงเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับแต่ละกลุ่มเท่ากันจะเลือกประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะมีความเหมาะสมของแบบจำลอง หากข้อมูลไม่เข้าเงื่อนไขจึงจะพิจารณาใช้การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ และการวิเคราะห์ต้นไม้ตัดสินใจ เป็นลำดับถัดไป ซึ่งทั้งสามวิธีเป็นเทคนิคที่เป็นแบบจำลองใช้สำหรับพยากรณ์กลุ่มเหตุการณ์ ในขณะที่ Press และ Wilson [24] ได้เสนอให้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทจะให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ เมื่อชุดข้อมูลสำหรับกลุ่มประชากรเป็นการแจกแจงแบบปกติ แต่ถ้าหากชุดข้อมูลของกลุ่มประชากรเป็นการแจกแจงไม่ปกติ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข เสนอให้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ ซึ่งพิจารณาค่าความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood)

Krzanowski [25] กล่าวว่าการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับตัวแปรอิสระควรเป็นตัวแปรเชิงปริมาณหรือหากมีตัวแปรเชิงกลุ่มอยู่ด้วยจะต้องปรับตัวแปรเชิงกลุ่มให้เป็นตัวแปรเทียม และตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่ม หากจำนวนการจำแนกกลุ่มของตัวแปรตามถูกจำแนกเป็นหลายกลุ่ม ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูล คือจะต้องเก็บข้อมูลสำหรับสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2566

แบบจำลองจำนวนมากขึ้นตามการจำแนกกลุ่มของตัวแปรตาม และ Dattalo [26] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ ทั้งสองวิธีสามารถใช้กับการจำแนกประเภท ควรเลือกใช้วิธีการรูปแบบใดต้องพิจารณามุมมองสำหรับการิเคราะห์ร่วมด้วย ได้แก่ วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ เงื่อนไขของชุดข้อมูล และความคงทนของสมมติฐาน โดยงานวิจัยของ Dattalo สรุปผลว่าการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบจำลองให้ความถูกต้อง 84.30% ซึ่งสูงกว่าการการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์สมการให้ความถูกต้อง 83.28% ในขณะที่ Efron [27] พิจารณาประสิทธิภาพของทั้งสองวิธีการ เปรียบเทียบกันในมุมมองของเงื่อนไขของชุดข้อมูลและกล่าวว่าการวิเคราะห์จำแนกประเภทมีเงื่อนไขของตัวแปรอิสระที่มากกว่าการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์ แต่จะให้ประสิทธิภาพดีกว่า หากตัวแปรอิสระเป็นไปตามเงื่อนไขการตรวจสอบพื้นฐานของตัวแปรอิสระ

หลังจากทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยพบว่างานวิจัยในอดีต [19]-[21] ได้พิจารณาในหัวข้อปัญหาคุณสมบัติการยึดเกาะของหมึกพิมพ์บนชิ้นงานพลาสติก ซึ่งถือเป็นปัญหาคุณภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นพิจารณาเฉพาะผลลัพธ์การปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟด้วยคุณสมบัติเชิงเคมีของพลาสติกในมุมของพลังงานพื้นผิว และกำหนดปัจจัยซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด เวลาที่ชิ้นงานสัมผัสเปลวไฟซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของการป้อนชิ้นงาน และระยะระหว่างจุดกำเนิดเปลวไฟกับพื้นผิวของชิ้นงาน [19]-[21]

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาไม่มีอุปกรณ์และเครื่องมือวัด และใช้กำลังการผลิตที่สูง จึงไม่สามารถวัดผลลัพธ์เป็นค่าพลังงานพื้นผิวของชิ้นงานสำหรับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟได้อย่างละเอียด ประกอบกับไม่ค่อยมีงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปศึกษากระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาว่าจะเป็นกลุ่มของดีหรือของเสียหลังจากการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ จึงเป็นโอกาสที่ดีที่งานวิจัยนี้จะศึกษาการกำหนดค่าการปรับตั้งเครื่องจักรนับเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟอ้างอิงตามงานวิจัยของ Mazzola และคณะ [21] และพิจารณาที่ผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการพิมพ์ของพลาสติกว่าผลลัพธ์สุดท้ายจะได้เป็นกลุ่มของดีหรือกลุ่มของเสีย เพื่อมุ่งเน้นการลดของเสียสำหรับขั้นตอนการพิมพ์ ที่แตกต่างจากงานวิจัยในอดีตที่มุ่งเน้นพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติด้านพลังงานพื้นผิว

จากการที่งานวิจัยนี้กำหนดปัจจัยที่มีผลกับการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ (x) ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วของสายพานตามงานวิจัยของ Mazzola และคณะ [21] และกำหนดค่าตัวแปรตาม (Y) เป็นกลุ่มของดีหรือกลุ่มของเสีย ซึ่งจัดว่าเป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม และผู้วิจัยพิจารณาลักษณะของข้อมูลเบื้องต้นซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขการตรวจสอบพื้นฐานสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท และพิจารณาค่าตัวแปรตาม (Y) เป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม ด้วยเหตุผลนี้เองผู้วิจัยจึงนำเลือกนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ ประกอบกับงานวิจัยของ Efron [27] ที่กล่าวว่าหากชุดข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปตามเงื่อนไขพื้นฐานการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการสร้างสมการพยากรณ์ที่มีความถูกต้อง ในการจำแนกกลุ่มว่าชิ้นงานเป็นของดีหรือของเสีย และหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดจำนวนของเสียของกระบวนการพิมพ์ฝาเครื่องดื่ม

งานวิจัยนี้จะพิจารณาผลลัพธ์ของการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ โดยพิจารณามุมมองคุณภาพผลลัพธ์สุดท้ายของกระบวนการผลิตชิ้นงานเป็นหลักว่าเป็นของดีหรือของเสีย ซึ่งถือได้ว่าเป็นความต้องการสุดท้ายของบริษัทกรณีศึกษาที่ต้องการได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของดี และพบว่าแตกต่างกับมุมมองการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีต จะเน้นพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติเชิงเคมี หรือพฤติกรรมด้านคุณสมบัติพื้นผิวของพลาสติกเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ของประสิทธิภาพกระบวนการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟ ซึ่งถือได้ว่าไม่ใช่เป็นผลลัพธ์สุดท้ายสำหรับกระบวนการผลิต ที่ไม่อาจยืนยันได้ว่าเมื่อผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนถัดไปจนถึงกระบวนการสุดท้ายแล้วจะได้เป็นชิ้นงานดีหรือไม่

2. วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม เป็นขั้นตอนการสร้างเครื่องหมายทางการค้าตามความต้องการของลูกค้าลงบนฝาเครื่องดื่ม ซึ่งเป็นขั้นตอนสำหรับสร้างมูลค่ารวมถึงภาพลักษณ์ที่สวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการพิมพ์จึงเป็นขั้นตอนซึ่งมีความสำคัญเนื่องจากเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่จะบรรจุฝาเครื่องดื่มลงกล่องและส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์ไปสู่ลูกค้า ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับสภาพพื้นผิวโดยใช้เปลวไฟ การพิมพ์ของฝา การอบแห้ง และการทดสอบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ โดยใช้การทดสอบด้วยเทป (Ink Adhesion Tape Test) อ้างอิงตาม ASTM F2252-03 Tape Test เพื่อทดสอบว่าผลิตภัณฑ์ฝาเป็นของดีคือไม่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ หรือเป็นของเสียที่มีการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ แสดงดังรูปที่ 1

ก) ของดี

ข) ของเสีย

รูปที่ 1. ของดี และของเสีย

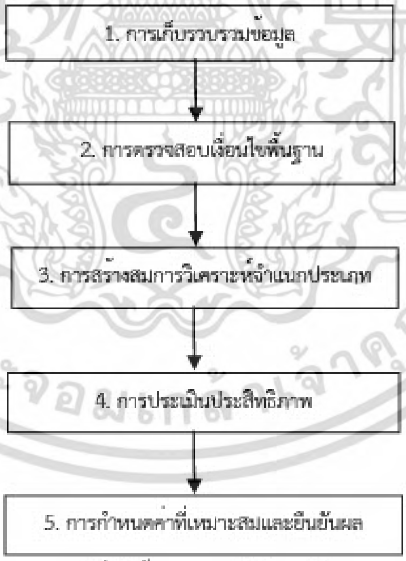
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2566

หากมีการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟอย่างมีประสิทธิภาพ ถือเป็นการเพิ่มความสามารถสำหรับการยึดเกาะและป้องกันการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ เพื่อให้เป็นของดี ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟ ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน [28] ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จะนำปัจจัยดังกล่าวทั้ง 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลกับการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ของฝา มากำหนดเป็นตัวแปรทำนาย (x) ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) สำหรับการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท และกำหนดตัวแปรตาม Y เป็นประเภทของชิ้นงาน ซึ่งจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่เป็นของดีไม่พบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์กำหนดค่าเป็น 1 และกลุ่มที่เป็นของเสียพบการหลุดลอกของหมึกพิมพ์กำหนดค่าเป็น 0 โดยตัวแปรทำนาย (x) ในแต่ละปัจจัย จะอยู่ในช่วงของชุดข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ความดันแก๊ส (x_1) มีหน่วยเป็น mbar เครื่องจักรสามารถปรับตั้งค่าได้ตั้งแต่ 80-150 mbar
2. ความดันอากาศอัด (x_2) มีหน่วยเป็น psi เครื่องจักรสามารถปรับตั้งค่าได้ตั้งแต่ 3-30 psi
3. ความเร็วสายพาน (x_3) มีหน่วยเป็น rpm เครื่องจักรสามารถปรับตั้งค่าได้ตั้งแต่ 600-1,000 rpm

เมื่อศึกษาสภาพปัจจุบันสำหรับบริษัทกรณีศึกษา กำหนดหัวข้อปัญหา ศึกษาและกำหนดปัจจัยที่มีผลกับการหลุดลอกของหมึกพิมพ์ของฝา กำหนดตัวแปรทำนาย (x) และตัวแปรตาม (Y) ต่อไปนี้จะดำเนินการตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยบนพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2566

สำหรับวิธีการเก็บรวบรวบข้อมูลจะใช้จำนวนตัวอย่างเป็น 10 เท่าของจำนวนตัวแปรทำนาย ซึ่งสอดคล้องกับการกำหนดจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภทซึ่งงานวิจัยของ Polit [29] ได้กล่าวไว้ แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้จำนวนตัวอย่าง n = 180 โดยชุดข้อมูลนี้จะถูกกำหนดและแยกออกเป็นสองชุดข้อมูล คือชุดข้อมูลแรกจำนวน 70% ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด เป็น Training Sample ใช้สำหรับสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท คิดเป็น 126 ข้อมูล เป็นกลุ่มของดีจำนวน 76 ข้อมูล และกลุ่มของเสียจำนวน 50 ข้อมูล และชุดข้อมูลที่สองจำนวน 30% ของข้อมูลทั้งหมด เป็น Holdout Sample ใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท คิดเป็น 54 ข้อมูล เป็นกลุ่มของดีจำนวน 30 ข้อมูล และกลุ่มของเสียจำนวน 24 ข้อมูล แสดงตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ตัวอย่างตารางการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรทำนาย (x) และตัวแปรตาม (Y)

	ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y (ของดี – 1, ของเสีย – 0)
ข้อมูลสร้างสมการ (70% ของข้อมูลทั้งหมด)	1	80	3	820	1
	2	80	3	825	1
	3	81	4	825	1
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	126	139	23	955	0
ข้อมูลทดสอบสมการ (30% ของข้อมูลทั้งหมด)	1	82	3	820	1
	2	110	5	845	1
	3	111	10	835	1
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	54	125	30	910	0

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมทั้งหมด 2 โปรแกรม ได้แก่ โปรแกรม SPSS และโปรแกรม Minitab 17 โดยรายละเอียดการนำแต่ละโปรแกรมไปประยุกต์ใช้แสดงดังต่อไปนี้

1. โปรแกรม SPSS ใช้สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของชุดข้อมูลในหัวข้อการตรวจสอบเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มต้องเท่ากัน โดยการพิจารณาสถิติ Box's M การตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น และการสร้างสมการจำแนกกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โปรแกรม Minitab 17 ใช้สำหรับการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของชุดข้อมูลในหัวข้อการตรวจสอบตัวแปรทำนายมีการแจกแจงแบบปกติหลายตัวแปร และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์สำหรับนำไปปรับตั้งเครื่องจักร

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าการปรับตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการพิมพ์พลาสติกประจำวัน จำนวนทั้งหมด 180 ข้อมูล จะนำข้อมูลชุดแรก กลุ่ม Training Sample จำนวน 126 ข้อมูล เป็นกลุ่มของดี จำนวน 76 ข้อมูล และกลุ่มของเสียจำนวน 50 ข้อมูล ตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐาน ซึ่งแสดงผลดังต่อไปนี้

1. ผลการตรวจสอบตัวแปรทำนาย โดยการนำข้อมูลตัวแปรทำนาย ทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน ของทั้ง 2 กลุ่มข้อมูล คือกลุ่มที่เป็นของดีกับของเสีย มาทำการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยวิธี Anderson-Darling ด้วยโปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่าค่า P-value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัวแปร ทั้ง 2 กลุ่ม มีค่ามากกว่า 0.05 สรุปได้ว่า ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 3. ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนาย ของชุดข้อมูลที่เป็นของดี จำนวน 76 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

ชื่อตัวแปร	Mean	Standard Deviation	Average Deviation	P-value
ความดันแก๊ส	92.89	8.064	0.732	0.054
ความดันอากาศอัด	8.276	3.232	0.709	0.062
ความเร็วสายพาน	742.0	78.05	0.696	0.066

ตารางที่ 4. ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของตัวแปรทำนาย ของชุดข้อมูลที่เป็นของเสีย จำนวน 50 ข้อมูล (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

ชื่อตัวแปร	Mean	Standard Deviation	Average Deviation	P-value
ความดันแก๊ส	131.4	6.178	0.539	0.159
ความดันอากาศอัด	22.58	4.016	0.579	0.125
ความเร็วสายพาน	953.7	25.51	0.598	0.114

2. ผลการตรวจสอบการเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมสำหรับตัวแปรทำนายแต่ละกลุ่มคือกลุ่มของดีและของเสีย ตรวจสอบโดยใช้สถิติ Box's M แสดงดังตารางที่ 5 โดยกำหนดสมมติฐานสำหรับการทดสอบแสดงดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2566

H_0: $\sum_1 = \sum_2$; ความแปรปรวนร่วมของ 2 กลุ่มเท่ากัน

H_1: $\sum_1 \neq \sum_2$; ความแปรปรวนร่วมของ 2 กลุ่มไม่เท่ากัน

โดย $\sum_1$ แทนความแปรปรวนร่วมของกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มของดี

$\sum_2$ แทนความแปรปรวนร่วมของกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มของเสีย

ตารางที่ 5. ผลการตรวจสอบการเท่ากันของเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนาย

Test Results		
Box's M		1.606
F	Approx.	1.593
	df1	1
	df2	40952.070
	Sig.	.207

จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าค่า Sig. ของการทดสอบ = 0.207 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แสดงว่าข้อมูลของตัวแปรทำนายทั้งสองกลุ่มมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ตารางที่ 6. ผลการตรวจสอบการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนาย

Test of Function(s)	Wilks' Lambda	Sig.
1	0.084	<.001

จากตารางที่ 6 เป็นการทดสอบการเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายว่ามีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มหรือไม่ด้วยสถิติทดสอบ Wilks' Lamda ซึ่งค่า Wilks' Lamda มีค่าเท่ากับ 0.084 จะใช้ทดสอบสมมติฐานสำหรับค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทุกตัวในกลุ่มของดีและของเสีย ซึ่งได้ค่า Sig <0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงทำให้มั่นใจว่าควรใช้ตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัวในการแบ่งกลุ่ม

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายและตัวแปรตาม ตรวจสอบโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi}) แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7. ผลของสหสัมพันธ์พอยท์ไบซีเรียล (r_{pbi})

ชื่อตัวแปร	r_{pbi}
ความดันแก๊ส (r_{pb1y})	-0.93
ความดันอากาศอัด (r_{pb2y})	-0.89
ความเร็วสายพาน (r_{pb3y})	-0.85

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ค่า r_{pb1y}, r_{pb2y} และ r_{pb3y} มีค่าติดลบ ทำให้สรุปได้ว่า ตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัวแปรได้แก่ ความดันแก๊ส ความดันอากาศอัด และความเร็วสายพาน มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามซึ่งเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

4. ผลการตรวจสอบตัวแปรทำนายต้องไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น โดยวิเคราะห์จากค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF) แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8. ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น

Model		Collinearity Statistics	
		Tolerance	VIF
1	(Constant)		
	Gas Pressure	0.145	6.903
	Air Pressure	0.302	3.312
	Speed Conveyor	0.212	4.709

จากตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่า Tolerance มีค่าเข้าใกล้ 1 และ Variance Inflation Factor (VIF) มีค่าไม่เข้าใกล้ 10 ทำให้สรุปได้ว่าตัวแปรทำนายไม่ได้มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น

3.2 ผลการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เมื่อนำชุดข้อมูลทั้งหมด 126 ชุดข้อมูลที่เป็น Training Sample ที่ผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานมาสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยพิจารณาตารางที่ 9 ค่าสัมประสิทธิ์การจำแนกกลุ่มคาโนนิคอล (Canonical Discriminant Function Coefficient)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9. ค่าสัมประสิทธิ์การจำแนกกลุ่มคาโนนิคอล

Canonical Discriminant Function Coefficients	
	Function 1
Gas Pressure	.089
Air Pressure	.171
Speed Conveyor	.004
(Constant)	-15.175

จะได้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจำนวน 1 สมการ ดังสมการที่ (3) เนื่องจากจำนวนสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท มีค่าเท่ากับจำนวนกลุ่ม -1
สมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย คือ

$$\hat{Y} = -15.175 + 0.089x_1 + 0.171x_2 + 0.004x_3 \quad (3)$$

โดย $\hat{Y}$ แทนคะแนนจำแนก
x_1 แทนความดันแก๊ส
x_2 แทนความดันอากาศอัด
x_3 แทนความเร็วของสายพาน

จากตารางที่ 9 สัมประสิทธิ์อยู่ในรูป Unstandardized ซึ่งค่านี้ไม่สามารถระบุได้ว่าตัวแปรทำนายใดส่งผลต่อคะแนนจำแนกมาก หรือมีอิทธิพลต่อการจำแนกกลุ่มมาก เนื่องจากตัวแปรทำนายมีหน่วยที่แตกต่างกัน ถ้าพิจารณาเฉพาะค่า โดยไม่พิจารณาเครื่องหมายจากตารางที่ 9 จะพบว่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรความดันอากาศอัด (x_2) มากที่สุด

ตารางที่ 10. ค่าสัมประสิทธิ์รูปคะแนนมาตรฐาน

Model	Function 1
Gas Pressure	0.655
Air Pressure	0.608
Speed Conveyor	0.243

แต่ถ้าพิจารณาจากตารางที่ 10 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในรูปคะแนนมาตรฐาน (Standardized) ทำให้ไม่มีหน่วย จะพบว่าตัวแปรความดันแก๊ส (x_1) ส่งผลต่อการแบ่งกลุ่มมากที่สุด สำหรับความดันอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ส่งผลรองลงมาตามลำดับ ดังนั้นการพิจารณาความสำคัญของตัวแปรทำนายที่มีผลต่อการแบ่งกลุ่ม ควรพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในรูปมาตรฐาน [9]

จากสมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย ดังสมการที่ (3) ค่า $\hat{Y}$ หรือค่าคะแนนจำแนกจะมีค่าอยู่ระหว่าง -5.14 ถึง 7.31 คำนวณเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับตัดสินใจว่าจะได้ค่า Y ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ของดี (Y=1) หรือของเสีย (Y=0) โดยพิจารณาจากค่ากลางของแต่ละกลุ่ม ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11. ค่ากลางของกลุ่มของดีและของเสีย

Functions at Group Centroids	
OK NG	Function 1
NG Peeling	4.027
OK Not Peeling	-2.650

เมื่อวิเคราะห์ตารางที่ 11 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงค่ากลางของแต่ละกลุ่มสำหรับกลุ่มของเสียและของดี โดยที่ค่ากลางของกลุ่มของเสีย มีค่าเท่ากับ 4.027 และค่ากลางของกลุ่มของดี มีค่าเท่ากับ -2.650 ซึ่งค่ากลางของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกันมาก แสดงว่าชิ้นงานที่อยู่ใน 2 กลุ่มค่อนข้างแตกต่างกันและสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสามารถจำแนกได้ดี ในกรณีที่มีชุดข้อมูลชุดใหม่มาใช้สมการในการพยากรณ์ ก็สามารถคำนวณค่า $\hat{Y}$ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่ากลางของแต่ละกลุ่ม หากค่า $\hat{Y}$ มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่ากลางของกลุ่มชิ้นงานใดก็มีโอกาสที่จะจัดให้อยู่ในกลุ่มนั้น ถ้าค่า $\hat{Y}$ จากสมการจำแนกกลุ่มของดีและของเสีย มีค่ามากจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มของเสีย ถ้าค่า $\hat{Y}$ มีค่าน้อยจะถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในกลุ่มของดี

จากตารางที่ 11 แสดงค่ากลางของกลุ่มของเสียและของดี เพื่อให้สามารถใช้ค่าดังกล่าวในการจำแนกกลุ่มได้ จะทำการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้ง 2 กลุ่ม คือค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่เป็นของดี และค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลที่เป็นของเสียว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่โดยใช้สถิติการทดสอบโฮเทลลิ่งที่สแควร์ (Hotelling T^2) โดยกำหนดสมมติฐานสำหรับการทดสอบแสดงดังนี้

$$H_0: [\mu_1] = [\mu_2]$$
$$H_1: [\mu_1] \neq [\mu_2]$$

โดย $[\mu_1]$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายกลุ่มที่เป็นของดี

$[\mu_2]$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายกลุ่มที่เป็นของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้โปรแกรม SPSS ผลการทดสอบโดยใช้สถิติโฮเทลลิ่งทีสแควร์มีค่าเท่ากับ 33.795 ได้ค่า sig <0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก หมายความว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มทั้งสองกลุ่มออกจากกันได้อย่างมีนัยสำคัญ

3.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ผลการนำชุดข้อมูลทั้งสองชุดข้อมูลจากกลุ่ม Training Sample จำนวน 126 ข้อมูล และกลุ่ม Holdout Sample จำนวน 54 ข้อมูล มาใช้สมการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการพยากรณ์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท ดังตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าสมการมีความถูกต้องสำหรับการพยากรณ์ สำหรับข้อมูลกลุ่ม Training Sample ได้ถูกต้อง 100% ดังตารางที่ 13 และสมการที่ (4) สำหรับข้อมูลกลุ่ม Holdout Sample พยากรณ์ได้ถูกต้อง 94.44% ดังตารางที่ 14 และสมการที่ (5)

ตารางที่ 12. ตัวอย่างข้อมูลของตัวแปรตามที่เป็นค่าอ้างอิงและค่าพยากรณ์

ลำดับข้อมูล (N)	ความดันแก๊ส x_1 (mbar)	ความดันอากาศอัด x_2 (psi)	ความเร็วสายพาน x_3 (rpm)	Y ค่าอ้างอิง (ของดี = 1, ของเสีย = 0)	Y พยากรณ์ (ของดี = 1, ของเสีย = 0)
1	80	3	820	1	1
2	80	3	825	1	1
3	81	4	825	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
126	139	23	955	0	0
1*	82	3	820	1	1
2*	110	5	845	1	1
3*	111	10	835	1	1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
54*	125	30	910	0	0

หมายเหตุ: * คือชุดข้อมูลของการทดสอบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13. ความถูกต้องของการพยากรณ์ ข้อมูลกลุ่ม Training Sample

		ค่าพยากรณ์		
		ของดี	ของเสีย	รวม
ค่าอ้างอิง (เป็นจริง)	ของดี	76	0	76
	ของเสีย	0	50	50
	รวม	76	50	

$$\text{Accuracy (\%)} = \frac{76+50}{76+50} * 100 = 100 \quad (4)$$

ตารางที่ 14. ความถูกต้องของการพยากรณ์ ข้อมูลกลุ่ม Holdout Sample

		ค่าพยากรณ์		
		ของดี	ของเสีย	รวม
ค่าอ้างอิง (เป็นจริง)	ของดี	29	1	30
	ของเสีย	2	22	24
	รวม	31	23	

$$\text{Accuracy (\%)} = \frac{29+22}{29+1+2+22} * 100 = 94.44 \quad (5)$$

3.4 การกำหนดค่าที่เหมาะสมและยืนยันผล

การกำหนดค่าของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) ความดันอากาศอัด (x_2) และความเร็วสายพาน (x_3) ที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ $\hat{Y}$ มีค่าเท่ากับค่ากลางของกลุ่มของดี คือ -2.65 เพื่อให้สมการจำแนกกลุ่มพยากรณ์ให้เป็นของดี โดยใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งได้ชุดตัวแปรทำนายแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15. ค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรทำนาย

ลำดับคำตอบ	ความดันแก๊ส (mbar)	ความดันอากาศอัด (psi)	ความเร็วสายพาน (rpm)	คะแนนจำแนก $\hat{Y}$	กลุ่มชิ้นงาน (Y)
1	82	7	1000	-2.65	1
2	105	3	650	-2.65	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าตัวแปรทำนายสำหรับ 2 กรณีของตารางที่ 15 ไปยืนยันผลโดยการปรับใช้กับเครื่องจักร กรณีละ 10 ครั้ง พบว่าทั้ง 2 กรณี ได้ผลลัพธ์เป็นกลุ่มของดีทั้งหมด 10 ครั้ง แต่หากวิเคราะห์ในมุมมองสำหรับกำลังการผลิตสำหรับประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริง จะเห็นว่าค่าความเร็วของสายพาน (x_3) ของกรณีที่ 1 คือ 1,000 rpm ซึ่งมีค่าสูงกว่ากรณีที่ 2 คือ 650 rpm ซึ่งความเร็วของสายพานส่งผลโดยตรงกับกำลังการผลิต คือความเร็วสายพานที่สูงจะส่งผลให้จำนวนยอดการผลิตต่อวันเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงค่าความดันแก๊ส (x_1) มีราคาต้นทุนของทรัพยากรที่สูงกว่าค่าความดันอากาศอัด (x_2) หากใช้ความดันแก๊สจำนวนได้น้อยกว่าความดันอากาศอัดก็ถือเป็นโอกาสที่ดีในการประหยัดค่าใช้จ่ายของบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้ค่าตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส (x_1) เป็น 82 mbar ความดันอากาศอัด (x_2) เป็น 7 psi และความเร็วสายพาน (x_3) เป็น 1,000 rpm เป็นตัวแปรทำนายอันดับแรกสำหรับลดของเสียของกระบวนการพิมพ์ และสำหรับค่าตัวแปรทำนายกรณีอื่นๆ จะนำมาเป็นแนวทางเลือกในอนาคตต่อไป

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการสำรวจสภาพปัจจุบัน ศึกษาปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการพิมพ์สี ซึ่งจากงานวิจัยของ Sutherland และคณะ [19] กล่าวว่า ขั้นตอนการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟ ส่งผลโดยตรงกับขั้นตอนการพิมพ์ หากมีการปรับสภาพผิวมีประสิทธิภาพจะทำให้กระบวนการพิมพ์มีประสิทธิภาพเกิดเป็นของดี ไม่พบการหลุดลอก ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการปรับสภาพผิวโดยใช้เปลวไฟ มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ 1. ความดันแก๊ส 2. ความดันอากาศอัด และ 3. ความเร็วสายพาน โดยจะนำปัจจัยทั้งหมดมาใช้ในการออกแบบการทดลอง กำหนดตัวแปรตาม (Y) เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มของดี (Y = 1) และกลุ่มของเสีย (Y = 0)

จากการนำชุดข้อมูลมาตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานของเทคนิควิเคราะห์จำแนกประเภท สร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท และประเมินประสิทธิภาพของสมการ โดยใช้ทั้งสองชุดข้อมูล ได้แก่ กลุ่ม Training Sample และกลุ่ม Holdout Sample ให้ผลประสิทธิภาพสำหรับการพยากรณ์ ของชุดข้อมูล Training Sample เท่ากับ 100% และสำหรับชุดข้อมูล Holdout Sample เท่ากับ 94.4% จากนั้นหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรทำนาย ได้แก่ ความดันแก๊ส ปรับใช้ค่าเท่ากับ 82 mbar ความดันอากาศอัด ปรับใช้ค่าเท่ากับ 7 psi และความเร็วสายพาน ปรับใช้ค่าเท่ากับ 1,000 rpm ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ จะนำไปใช้สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในกระบวนการพิมพ์สีต่อไป เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ชุดนี้ ถูกทำการยืนยันผลแล้วว่าหากปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรตามค่าดังกล่าวจะทำให้ได้ชิ้นงานเป็นกลุ่มของดีทั้งหมด รวมถึงได้ผลของกำลังการผลิตที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาผลค่าที่เหมาะสมที่สุดของความดันแก๊ส ค่าเท่ากับ 82 mbar ความดันอากาศอัด ค่าเท่ากับ 7 psi และความเร็วสายพาน ค่าเท่ากับ 1,000 rpm เมื่อนำไปเป็นค่าพารามิเตอร์มาตรฐานของเครื่องจักรในกระบวนการพิมพ์สี หากพิจารณาในมุมมองผลลัพธ์ของการพยากรณ์ในเชิงสถิติจะมีความถูกต้องของการพยากรณ์ 94.4% แต่เมื่อพิจารณาอีกมุมองหนึ่งในมุมมองของกระบวนการพิมพ์สีของบริษัทกรณีศึกษา จะพบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 3 ตัวแปร เช่น ค่าความดันแก๊ส สามารถปรับตั้งได้ตั้งแต่ 80-150 mbar แต่ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการจำแนกกลุ่ม คือ 82 mbar ถือว่าอยู่ในช่วงค่าที่น้อยที่สุดของการใช้แก๊ส รวมถึงค่าความดันอากาศอัด สามารถปรับตั้งได้ตั้งแต่ 3-30 psi แต่ค่าที่เหมาะสมที่สุดจากสมการจำแนกกลุ่ม คือ 7 psi ถือว่าอยู่ในช่วงค่าที่น้อยที่สุดของการใช้อากาศอัดเช่นเดียวกัน นับว่าเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทกรณีศึกษาและยังได้รับผลลัพธ์ที่เป็นของดี และจากตัวแปรทำนายทั้ง 3 ตัวแปร ส่งผลต่อการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟซึ่งเหมือนกับงานวิจัยในอดีต [19]-[21] แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าตัวแปรตามเป็นของดีหรือของเสียของกระบวนการพิมพ์พลาสติกซึ่งเป็นผลลัพธ์สุดท้ายที่บริษัทกรณีศึกษามุ่งเน้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในอดีตที่จะพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติพลังงานพื้นผิวหลังการปรับสภาพผิวด้วยเปลวไฟเท่านั้น

เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท พบข้อจำกัดเรื่องการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานสำหรับชุดข้อมูล ก่อนการนำเทคนิคมาประยุกต์ใช้ แต่ก็มีข้อดีคือในเรื่องร้อยละความถูกต้องของการพยากรณ์ สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบสมการ (Holdout Sample)

สำหรับข้อเสนอแนะของงานวิจัยในอนาคต ขอเสนอการนำเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์มาประยุกต์ใช้สำหรับการลดของเสียของกระบวนการพิมพ์ เพื่อลดข้อจำกัดของการตรวจสอบเงื่อนไขพื้นฐานสำหรับชุดข้อมูล นอกจากนี้ การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลสำหรับนำมาวิเคราะห์ อาจส่งผลให้ร้อยละความถูกต้องสำหรับการพยากรณ์ถูกสูงขึ้น การเพิ่มการเก็บข้อมูลการยืนยันผลให้มากขึ้น รวมถึงการเพิ่มชุดข้อมูลของค่าที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรทำนาย เพื่อเป็นแนวทางซึ่งมีหลากหลายมากยิ่งขึ้นในการปรับตั้งเครื่องจักร จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลเพื่อเลือกวิธีทางสถิติที่ให้ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ดีที่สุด เช่น การเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทกับการวิเคราะห์ความถดถอยโลจิสติกส์และวิธีความใกล้เคียงมากที่สุด (K-nearest Neighbour) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง (Reference)

[1] Seethamraju, R. and Marjanovic, O. 2009. Role of process knowledge in business process improvement methodology: a case study. *Business Process Management Journal*, 15(6), 920-936.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[2] Ajayi, S.O., Oyedele, L.O., Bilal, M., Akinade, O.O., Alaka, H.A., Owolabi, H.A. and Kadiri, K.O. 2015. Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. *Resources Conservation and Recycling*, 102, 101-112.

[3] Leksic, I., Stefanic, N. and Veza, I. 2020. The impact of using different lean manufacturing tools on waste reduction. *Advances in Production Engineering and Management*, 15(1), 50-55.

[4] Starch, D. 1910. A demonstration of the trial and error method of learning. *Psychological Bulletin*, 7(1), 20.

[5] Lim, S., Buswell, R., Le, T., Wackrow, R., Austin, S.A., Gibb, A. and Thorpe, T. 2011. *Development of a viable concrete printing process*. 665-670.

[6] McKay, R.J. and Campbell, N.A. 1982. Variable selection techniques in discriminant analysis: II. Allocation. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 35(1), 30-41.

[7] Habbema, J.D.F. and Hermans, J. 1977. Selection of variables in discriminant analysis by F-statistic and error rate. *Technometrics*, 19(4), 487-493.

[8] Sharma, A. and Paliwal, K.K. 2015. Linear discriminant analysis for the small sample size problem: an overview. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 6, 443-454.

[9] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2564. การวิเคราะห์สถิติชั้นสูงด้วย SPSS for Windows. พิมพ์ครั้งที่ 15, ห้างหุ้นส่วนจำกัดสามลดา, กรุงเทพฯ. [Kunlaya Wanidbuncha. 2021. Data analysis SPSS for Windows. 15th ed, Samladda. Bangkok. (in Thai)]

[10] Izenman, A.J. 2013. Linear discriminant analysis. *In Modern multivariate statistical techniques: regression, classification, and manifold learning*, 237-280.

[11] Knoke, J.D. 1982. Discriminant analysis with discrete and continuous variables. *Biometrics*, 191-200.

[12] Brown, J.D. 2001. Point-biserial correlation coefficients. *Statistics*, 5(3), 12-16.

[13] Visa, S., Ramsay, B., Ralescu, A. L. and Van Der Knaap, E. 2011. Confusion matrix-based feature selection. *Maics*, 710(1), 120-127.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Strobel, M., Jones, V., Lyons, C.S., Ulsh, M., Kushner, M.J., Dorai, R. and Branch, M.C. 2003. A comparison of corona-treated and flame-treated polypropylene films. *Plasmas and Polymers*, 8, 61-95.

[15] Farris, S., Pozzoli, S., Biagioni, P., Duó, L., Mancinelli, S. and Piergiovanni, L. 2010. The fundamentals of flame treatment for the surface activation of polyolefin polymers–A review. *Polymer*, 51(16), 3591-3605.

[16] Lee, T.M., Han, H.S., Kim, B., Kwak, S.W., Noh, J.H. and Kim, I. 2013. Roll offset printing process based on interface separation for fine and smoot patterning. *Thin solid films*, 548, 566-571.

[17] Abliz, D., Duan, Y., Steuernagel, L., Xie, L., Li, D. and Ziegmann, G. 2013. Curing methods for advanced polymer composites-a review. *Polymers and Polymer Composites*, 21(6), 341-348.

[18] Shukla, V., Bajpai, M., Singh, D.K., Singh, M. and Shukla, R. 2004. Review of basic chemistry of UV-curing technology. *Pigment & Resin Technology*, 33(5), 272-279.

[19] Sutherland, I., Brewis, D.M., Health, R.J. and Sheng, E. 1991. Modification of polypropylene surfaces by flame treatment. *Surface and interface analysis*, 17(7), 507-510.

[20] Medeiros, E., Brandes, R., Al-Qureshi, H.A. and Recouvreux, D.D. 2017. Effect of Flame Treatment in the Coating Adhesion on Polypropylene Substrate. 24th International Congress of Mechanical Engineering, 200-206.

[21] Mazzola, L., Bemporad, E. and Carassiti, F. 2011. Flame treatment on plastic: A new surface free energy statistical prediction model and characterization of treated surfaces. *Applied Surface Science*, 257(6), 2148-2158.

[22] Antonogeorgos, G., Panagiotakos, D.B., Priftis, K.N. and Tzonou, A. 2009. Logistic regression and linear discriminant analyses in evaluating factors associated with asthma prevalence among 10-to 12-years-old children: divergence and similarity of the two statistical methods. *International journal of pediatrics*, 18(8), 500-506.

[23] Worth, A.P. and Cronin, M.T. 2003. The use of discriminant analysis, logistic regression and classification tree analysis in the development of classification models for human health effects. *Journal of Molecular Structure*: *THEOCHEM*, 622(2), 97-111.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] Press, S.J. and Wilson, S. 1978. Choosing between logistic regression and discriminant analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 73(364), 699-705.

[25] Krzanowski, W.J. 1980. Mixtures of continuous and categorical variables in discriminant analysis. *Biometrics*, 493-499.

[26] Dattalo, P. 1994. A comparison of discriminant analysis and logistic regression. *Journal of Social Service Research*, 19(3-4), 121-144.

[27] Efron, B. 1975. The efficiency of logistic regression compared to normal discriminant analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 70(352), 892-898.

[28] Abliz, D., Duan, Y., Steuernagel, L., Xie, L., Li, D. and Ziegmann, G. 2013. Curing methods for advanced polymer composites-a review. *Polymers and Polymer Composites*, 21(6), 341-348.

[29] Polit, D.F. 2017. Clinical significance in nursing research: A discussion and descriptive analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 73, 17-23.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกชวรรณ อยู่ไทย
วัน เดือน ปีเกิด	17 มีนาคม 2540 ที่ชลบุรี
ที่อยู่	205 หมู่ 9 ซอยศรีณรงค์ ถ.สุขุมวิท ต.บ้านสวน อ.เมือง จ.ชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	2562 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต (เกียรตินิยมอันดับ 1) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	การวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการลดของเสียกระบวนการพิมพ์พลาสติกของฝาเครื่องดื่ม (วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้