

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การ  
ตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม

APPLICATION OF EMPLOYING THE DISCRIMINANT ANALYSIS TECHNIQUE TO FORECAST  
THE INSPECTION MERKING ON THE INTEGRATED CIRCUIT PRODUCT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF EMPLOYING THE DISCRIMINANT ANALYSIS TECHNIQUE TO FORECAST  
THE INSPECTION MERKING ON THE INTEGRATED CIRCUIT PRODUCT



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

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม
นักศึกษา	นางสาวกนกอร บุญมา
รหัสประจำตัว	62601102
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2565
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต

### บทคัดย่อ

การพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม ถือว่าเป็นขั้นตอนการดำเนินงานที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีขนาดเล็ก แต่มีกำลังการผลิตที่สูงมากทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบได้ง่ายและลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ จากปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นนี้ ผู้วิจัยจึงพัฒนากระบวนการตรวจสอบให้เหมาะสมและถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในการตรวจสอบข้อบกพร่องตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม (Integrated Circuit) ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบน้อยที่สุด โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis) มาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ สำหรับเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพ โดยมีตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ นั่นคือ แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งของเครื่องจักรนี้ โดยที่  $x_1$  คือ Coaxial Ring Light,  $x_2$  คือ High Ring Light และ  $x_3$  คือ Low Ring Light และ 1 ตัวแปรตอบสนอง  $Y$  คือ ผลการตรวจสอบค่าความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหน่วยเป็น gray scale ผลวิจัยที่ได้จากการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น คือ สมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย เมื่อนำสมการจำแนกประเภทที่ได้ไปประยุกต์ใช้ พบว่าสมการจำแนกประเภทนี้มีประสิทธิภาพการพยากรณ์สูงถึง 92.6 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการนำไปใช้จริงในการตั้งค่าระดับที่เหมาะสมภายในเครื่องจักร โดยตั้งค่า Coaxial Ring Light เท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถตรวจสอบผลของข้อมูลผลิตภัณฑ์ถูกต้องสูงถึง 96.7 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ย (Yield) เป็น 99.6 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงสามารถช่วยลดผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมรวมในผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับเหลือเพียง 0.6 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis</b>	Application of Employing the Discriminant Analysis Technique to Forecast the Inspection Marking on the Integrated Circuit Product
<b>Student</b>	Miss Kanokon Boonma
<b>Student ID.</b>	62601102
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Industrial Engineering
<b>Year</b>	2022
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof.Dr. SaKon Klongboonjit

### Abstract

The Development of inspecting product quality on integrated circuit product that plays a significant role. Since the size of integrated circuit is quite small with high quantity production, this makes it easy to have some mistakes during inspection process and launch low quality product to customer. According to these reasons, the researcher decided to develop the accurate and reliable inspection process to improve the efficiency of Vision Inspection and Packing Machine to minimize the reject rate of the mistaken inspection of Integrated circuit markings. The method of Linear Discriminant Analysis is applied to analyze the mistakes in inspection. At this Inspection and Packing Machine with image process, it is found that three light sources of this machine are the main potential predictor variables with 1)  $x_1$ : Coaxial Ring Light, 2)  $x_2$ : High Ring Light, and 3)  $x_3$ : Low Ring Light and the one response variable of  $Y$  is the marking quality of integrated circuits in gray scale. Finally, the discriminant analysis equation is calculated to forecast the marking quality integrated circuits in Gray Scale. After this equation is applied, the calculation result shows that this equation yields the high efficiency of 92.6% after the actual implementation by setting the appropriate level of three potential predictor variables on Vision Inspection and Packing Machine: Coaxial Ring Light at 22, High Ring Light at 20 and Low Ring Light at 20 respectively with accuracy level of 96.7%, product quality yield increasing at level of 99.6% and the under-reject products reducing at level of 0.6%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต ที่ให้คำปรึกษาที่ดีตลอดการทำงานวิจัย ช่วยให้คำชี้แนะแนวทาง ช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า เพื่อให้การทววิทยานิพนธ์ ดาเนินไปอย่างราบรื่น เรียบร้อย และสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ โรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้ในการศึกษาค้นคว้า เก็บข้อมูล ทำการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงสถานที่การทำงานวิจัย และขอบคุณทุกๆฝ่ายงานที่ให้ความร่วมมือและให้ความช่วยเหลือในการทววิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่มอบความรัก คอยเป็นกำลังใจ อบรมสั่งสอน ให้พลังบวกที่ดี และคอยสนับสนุนข้าพเจ้า จนทำให้ข้าพเจ้ามีกำลังใจ แรงกายและแรงใจสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ ลุล่วงไปดั่งใจหวัง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรมทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ ให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณ พี่ น้อง นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ และ ให้คำชี้แนะในการ ทำงานวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กนกอร บุญมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>6</b>
2.1 กระบวนการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit Process)	6
2.2 การตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)	15
2.3 การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)	23
2.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram)	31
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย</b>	<b>45</b>
3.1 กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ในโรงงานผลิตอุปกรณ์วงจรรวมกรณีศึกษา	46
3.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม	50
3.3 การวิเคราะห์จำแนกประเภท	56
3.4 การวิเคราะห์และการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา	58
3.5 การสรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย</b>	59
4.1 ผลการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์วงจรรวม	59
4.2 การวิเคราะห์จำแนกประเภท	62
4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์	65
4.4 การวิเคราะห์และการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา	67
<b>บทที่ 5 การสรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	69
5.1 การสรุปผลการดำเนินงานวิจัย	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก	76
ภาคผนวก ข	102
ภาคผนวก ค	113
ภาคผนวก ง	117
ภาคผนวก จ	122
ภาคผนวก ฉ	136
ประวัติผู้เขียน	138

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	การแบ่งช่วงระยะของปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษร เครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม	61
4.2	รูปแบบการแจกแจงเวลาในกระบวนการหยิบใบเสียบอัตโนมัติ	63
4.3	การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ 2 คือการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)	63
4.4	ข้อมูลการตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่เป็นไปได้	64
4.5	ตารางตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์การตรวจสอบผลิตผลตัวอักษร เครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม	66
4.6	ตารางการพยากรณ์การตรวจสอบประสิทธิภาพที่ได้จากการดำเนินงานวิจัย	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	วิวัฒนาการผลิตภัณฑ์วงจรรวมในโรงงานกรณีศึกษา	2
1.2	ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์วงจรรวมโรงงานกรณีศึกษา	3
1.3	คำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ SO8L ของโรงงานกรณีศึกษา	4
2.1	อุปกรณ์วงจรรวม	7
2.2	กระบวนการผลิตวงจรรวม	7
2.3	การตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Test)	8
2.4	กระบวนการเวเฟอร์เมาท์	9
2.5	กระบวนการเจียรนัยแผ่นหลังเวเฟอร์	9
2.6	กระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์ด้วยเลเซอร์	10
2.7	การนำไดโอดบนหลิตเฟรม	10
2.8	ลักษณะการเชื่อมต่อลวด	11
2.9	ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการโมลด์แล้ว	11
2.10	เครื่องอบหลังการโมลด์ (Post Mold cure)	12
2.11	การระบุเครื่องหมาย (Marking Process)	12
2.12	ผลิตภัณฑ์ที่ทำการขึ้นรูปขางานและตัดแยกยูนิิต (Trim Form and Singulation)	13
2.13	เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าวงจรรวม (Tester machine)	13
2.14	เครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine)	14
2.15	ลักษณะการบรรจุภัณฑ์วงจรรวมลงใน Carrier tape และ Reel	14
2.16	ระบบตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยภาพแบบอัตโนมัติ	17
2.17	การทำงานของแหล่งกำเนิดแสง Coaxial Light	18
2.18	การทำงานของแหล่งกำเนิดแสง High Light	18
2.19	การทำงานของแหล่งกำเนิดแสง Low Light	19
2.20	ค่าความเข้มแสงที่ได้จากเซลล์รับภาพ	20
2.21	การวัดขนาดของขาผลิตภัณฑ์วงจรรวมในโรงงานกรณีศึกษา	21
2.22	การตรวจจับการนับจำนวนขาผลิตภัณฑ์วงจรรวมโรงงานกรณีศึกษา	21
2.23	การตรวจแนวการวางตัวของผลิตภัณฑ์วงจรรวมในบรรจุภัณฑ์ของเครื่องจักรโรงงานกรณีศึกษา	22
2.24	แสดงตัวอย่างการตรวจสอบรูปแบบความเหมือน (Pattern Matching) ของเครื่องหมายอักษร	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.25	ความสัมพันธ์ของค่า $Q$ และ $Q_c$	29
2.26	แผนผังแสดงเหตุและผล	32
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	45
3.2	เครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine)	46
3.3	ส่วนประกอบของระบบการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)	47
3.4	การดำเนินการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติบนเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์	48
3.5	การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย	48
3.6	การตรวจสอบขนาดของขางาน	49
3.7	การตรวจสอบพื้นผิวด้านล่างของผลิตภัณฑ์	49
3.8	การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์	50
3.9	การตรวจสอบการปิดผนึกของวัสดุบรรจุภัณฑ์	50
3.10	แผนภูมิพาเรโตแสดงอาการของของเสียจากเครื่องจักรที่เกิดจากการบันทึกในใบรายงานผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	51
3.11	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย	52
3.12	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธแบบ Marking	52
3.13	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับแบบ Marking	53
3.14	แผนผังสาเหตุและผลที่แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์	54
4.1	แสดงแผนภาพพาเรโตสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อการตรวจสอบตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์	59
4.2	ตัวอย่างภาพความคมชัดในการตรวจสอบคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมาย (Marking) แบบต่างๆ: ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject), ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) และผลิตภัณฑ์ผ่านแบบปกติ (Pass) ด้วยการประมวลผลด้วยภาพ	60

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองในการตรวจสอบผิดพลาดตัวอักษรเครื่องหมายวงจรรวม	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

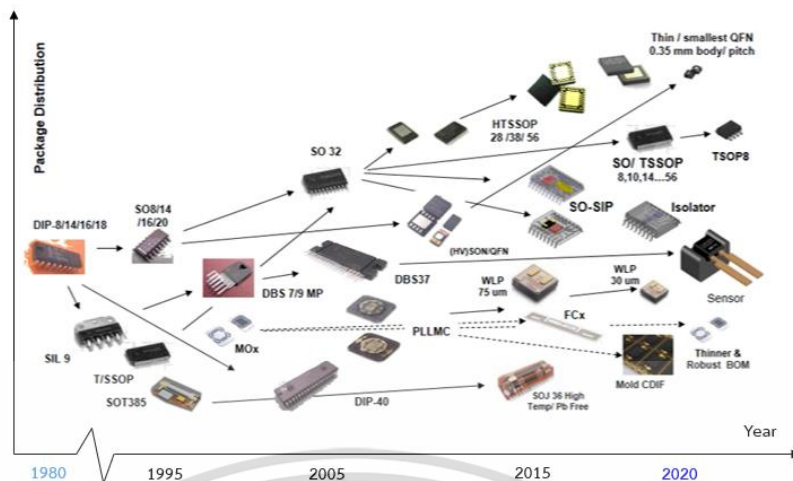
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตอิเล็กทรอนิกส์วงจรรวม (Integrated circuit, IC) กันอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับมนุษย์ในด้านต่างๆ รวมถึงการแทรกอยู่ในกลุ่มธุรกิจหลายกลุ่ม อาทิเช่น ยานยนต์ โทรคมนาคม ปีโตรเคมี หรือแม้กระทั่งอุปกรณ์ให้แสงสว่าง เช่น หลอดไฟ ก็ได้มีการนำวงจรรวมไปประยุกต์ใช้งานมากขึ้น จึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม IC (Integrated Circuit) มีการเจริญเติบโตอย่างมาก[1] อีกทั้งอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมในประเทศไทยถือว่าเป็นหนึ่งในฐานการผลิตสำคัญของอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ จึงทำให้ผู้ผลิตต้องเผชิญกับภาวะการแข่งขันที่สูง ทั้งด้านกำลังการผลิตที่มีการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น การส่งมอบสินค้าที่รวดเร็ว และการลดต้นทุนการผลิตหรือการลดของเสียระหว่างการผลิต[2] และเนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมของประเทศไทยยังมีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีขั้นสูง และใช้เงินลงทุนจำนวนมาก รวมทั้งผู้ผลิตในไทยยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศในสัดส่วนที่สูงโดยเฉพาะแผ่นเวเฟอร์ วงจรรวมจึงต้องเผชิญกับต้นทุนที่สูงขึ้น[3] ดังนั้นความท้าทายทางด้านอุตสาหกรรมวงจรรวมในอนาคต ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องพัฒนาศักยภาพในอุตสาหกรรมการผลิตและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพ การดำเนินการผลิตโดยมีต้นทุนที่ต่ำ และสิ่งสำคัญที่สุดคือคุณภาพในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะในด้านการผลิตและการตรวจสอบให้มีความถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว เพื่อลดต้นทุนทางด้านเวลาให้สามารถเพิ่มผลผลิต และควบคุมคุณภาพให้ตรงตามมาตรฐานและเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือและเพื่อให้เกิดความยั่งยืนขององค์กรในอนาคต

โดยกระบวนการผลิตวงจรรวมมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนและขนาดของชิ้นส่วนวงจรรวมที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร จากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษาดังรูปที่ 1.1 จึงส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดความผิดพลาดได้ง่ายในการจัดการและการตรวจสอบ ซึ่งกระบวนการที่ผิดพลาดนี้รวมไปถึงการขัดข้องของเครื่องจักรเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย หรือการตรวจสอบที่ผิดพลาดทำให้ของเสียหลุดไปหาลูกค้าได้ เป็นผลทำให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตยังคำนึงถึงการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้สูงขึ้นโดยที่ไม่จำเป็นต้องลงทุนเพิ่มเติม และให้ความสำคัญสำหรับระบบการจัดการการผลิตให้ดีขึ้น โดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด



รูปที่ 1.1 วิวัฒนาการผลิตภัณฑ์วงจรรวมในโรงงานกรณีศึกษา [4]

การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพในสายการผลิตอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยเป็นการวัดหรือการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดของลูกค้า แล้วจึงช่วยลดต้นทุนค่าเสียโอกาสและต้นทุนการส่งมอบล่าช้าเนื่องจากการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้ผลิตว่าผลิตภัณฑ์ที่จะนำออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดนั้นไม่มีข้อบกพร่อง[5] ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบที่ประสิทธิภาพสูง ทั้งในด้านความละเอียด (Resolution) ความแม่นยำ (Accuracy) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) [6] เข้ามาช่วยในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์วงจรรวม ซึ่งปัจจุบันกระบวนการผลิตวงจรรวมที่โรงงานกรณีศึกษาได้มีปริมาณความต้องการผลิตของผลิตภัณฑ์วงจรรวมเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 1.2 ดังนั้นเมื่อมีปริมาณการผลิตจำนวนมากจึงทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดการตรวจสอบผิดพลาดมากขึ้นในกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

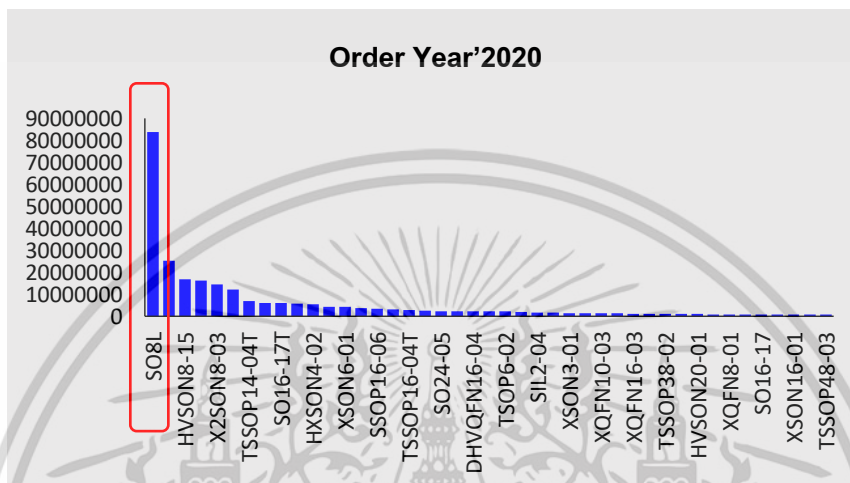


**รูปที่ 1.2** ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์วงจรรวมโรงงานกรณีศึกษา [4]

ในกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมโรงงานกรณีศึกษา จะแบ่งการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนแรกคือการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า (Electrical Test) และส่วนที่สองคือการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision system) ซึ่งเป็นการตรวจสอบโดยการนำเทคนิคการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) ที่มีแสงจากแหล่งกำเนิดแสงมาตกกระทบบนผลิตภัณฑ์เข้ามาช่วยในการตรวจสอบความดำหนิและจุดบกพร่องของผลิตภัณฑ์วงจรรวมก่อนทำการบรรจุลงหีบห่อ ได้แก่ เครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine) โดยโรงงานกรณีศึกษาประสบปัญหาในส่วนของขนาดแนวทางหรือมาตรฐานในการปรับตั้งค่าความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องภายนอกของผลิตภัณฑ์ อันได้แก่ การพิมพ์ตัวอักษรเครื่องหมาย เพื่อลดการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด คือการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์เสีย หรือตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียเป็นผลิตภัณฑ์ดี ซึ่งจะทำให้ต้องทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านทุกกระบวนการขั้นตอนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักรให้ถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) และจะต้องมีวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือ (Reliable test methodology) จึงจะต้องสามารถเข้าถึงสาเหตุของปัญหาและหาวิธีการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว[7] ก่อนส่งมอบไปยังลูกค้า เพื่อลดความเสี่ยงที่ลูกค้าจะได้รับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านคุณภาพอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในการผลิต เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องตระหนักและปรับปรุงแก้ไข

ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญอย่างมาก ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเทคนิคทางสถิติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์วงจรรวมในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมของโรงงานกรณีศึกษา นั่นก็คือเทคนิคการวิเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น (Linear Discriminant analysis) เพื่อแก้ไขและปรับปรุงปัญหาการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ SO8L ของโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีความต้องการสูงที่สุด ดังรูปที่ 1.3 ดังนั้นทางโรงงานกรณีศึกษาจึงให้ความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1.3 คำสั่งซื้อผลิตภัณฑ์ SO8L ของโรงงานกรณีศึกษา [4]

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.1.1. เพื่อสร้างสมการพยากรณ์การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกต้องอย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม

1.1.2. เพื่อนำสมการพยากรณ์ที่ได้มาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ในการตั้งค่าเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.3.1 ในการศึกษาจะใช้ข้อมูลกระบวนการตรวจสอบอุปกรณ์วงจรรวมจากโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ ปี 2563 ของโรงงานกรณีศึกษา

1.3.2 ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อแก้ปัญหาค่าการตรวจสอบผิดพลาดของความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม ที่ใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 แหล่งกำเนิดแสง นั่นคือ Coaxial light ที่มีการปรับความเปล่งแสงได้ตั้งแต่ 16% ถึง 26% High ring light ที่มีการปรับความเปล่งแสงได้ตั้งแต่ 10% ถึง 20% และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low ring light ที่มีการปรับความเปล่งแสงได้ตั้งแต่ 12% ถึง 20% ของระบบการประมวลผลด้วยภาพจากเครื่องจักร

1.3.3 ในการศึกษาครั้งนี้จะแก้ปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ SO8L

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงวิธีการลดความผิดพลาดในการตรวจสอบจากเครื่องจักรบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม ด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้แก่ผลิตภัณฑ์อื่นๆอีกต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาปัญหาที่เกิดในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision system) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรบนผลิตภัณฑ์ผิดพลาดและการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant analysis) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 2.1 กระบวนการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit Process)
- 2.2 การตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)
- 2.3 การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กระบวนการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit Process)

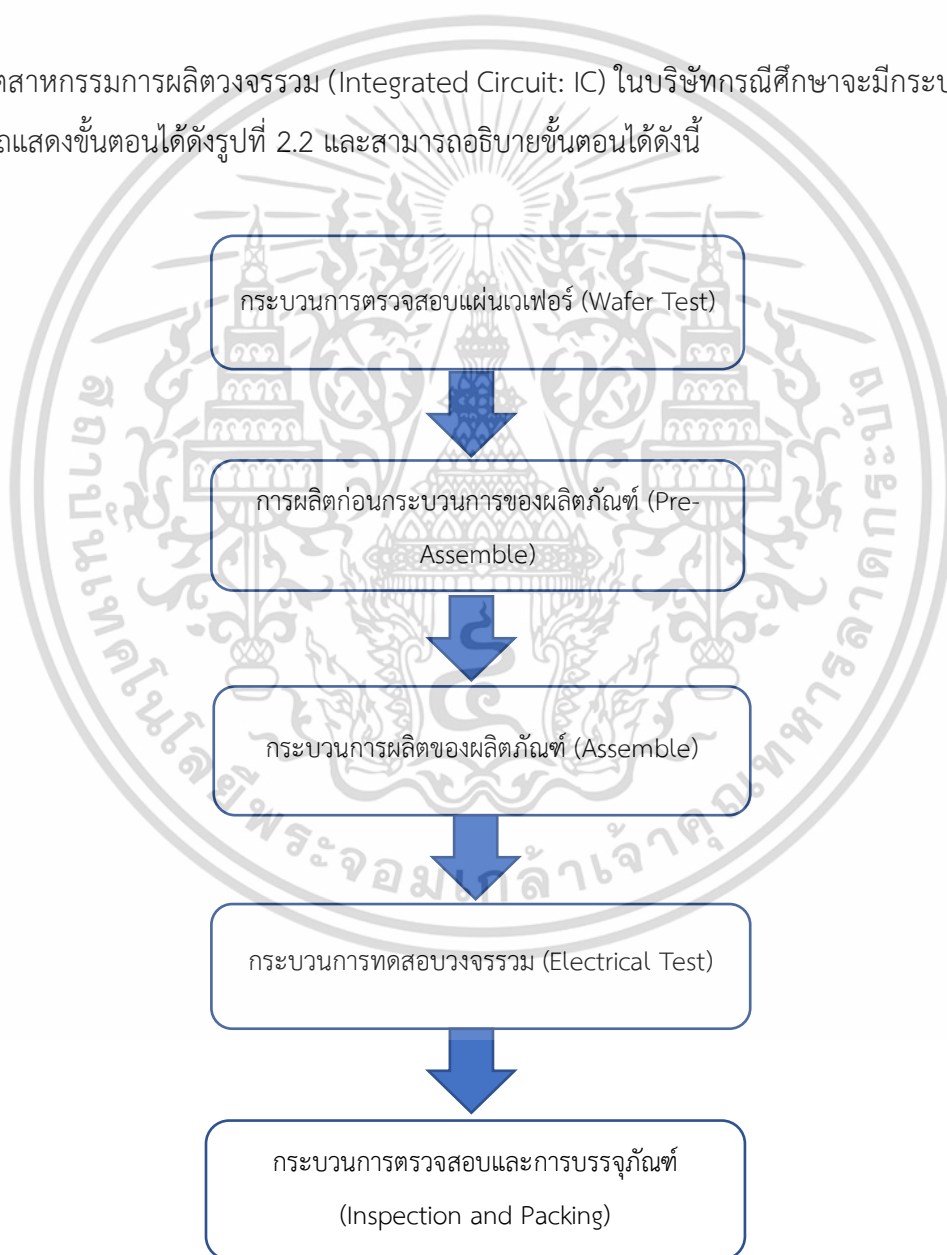
อุปกรณ์วงจรรวม (Integrated Circuit: IC) เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่รวมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่ประกอบเป็นวงจรหรือส่วนของวงจรที่มีขนาดเล็กไว้ในตัวเดียว ชิ้นส่วนต่างๆเหล่านี้ได้แก่ ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ไดโอด ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรขนาดเล็ก ซึ่งแผ่นวงจรนี้จะทำด้วยแผ่นซิลิคอน บางทีอาจเรียก ชิพ (Chip) และสร้างองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ ฝังอยู่บนแผ่นผลึกนี้ ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Monolithic การสร้างองค์ประกอบวงจรบนผิวผลึกนี้ จะใช้กรรมวิธีทางด้านภาพถ่ายอย่างละเอียด ผสมกับขบวนการทางเคมีทำให้ลายวงจรมีความละเอียดมากๆ สามารถบรรจุองค์ประกอบวงจรได้จำนวนมาก ความหนาแน่นขององค์ประกอบวงจร ที่บรรจุลงใน IC นี้ มีตั้งแต่หลายสิบล้านซึ่งเรียกว่า SSI (Small Scale Integrated) จนกระทั่งถึงหลายสิบล้านตัว ซึ่งเรียกว่า ULSI (Ultra Large Scale Integrated) แสดงลักษณะอุปกรณ์วงจรรวมดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์วงจรรวม

อุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) ในบริษัทกรณีศึกษาจะมีกระบวนการผลิต โดยสามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.2 และสามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตวงจรรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1. กระบวนการตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Test)

เมื่อรับแผ่นเวเฟอร์ (Wafer) จากผู้ผลิตแล้วจะทำการตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าและพื้นผิวต่างๆตามข้อกำหนด (Specification) ของลูกค้า แสดงลักษณะการทดสอบแผ่นเวเฟอร์ดังรูปที่ 2.3

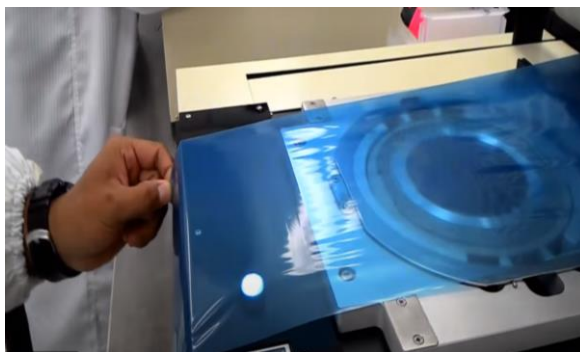


รูปที่ 2.3 การตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Test)

### 2.1.2 การผลิตก่อนกระบวนการของผลิตภัณฑ์ (Pre-Assembly Process)

ในส่วนของการผลิตก่อนกระบวนการของผลิตภัณฑ์วงจรรวมนั้นเป็นกระบวนการเริ่มต้นผลิต ตั้งแต่การนำแผ่นเวเฟอร์ไปวัดความหนาและเจียรไนด์แผ่นให้ได้ขนาดความหนาตามต้องการ ไปจนถึงกระบวนการเชื่อมลวดทอง (Wire Bond) ลงระหว่างได (Die) กับขาผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการผลิตก่อนกระบวนการของผลิตภัณฑ์นี้จะมีการควบคุมความสะอาดระดับ 10000 เพื่อควบคุมฝุ่น อุณหภูมิ และความชื้นในห้องผลิต ซึ่งเรียกว่าห้องคลีนรูม (Clean Room) การผลิตก่อนกระบวนการของผลิตภัณฑ์วงจรรวมสามารถอธิบายขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้

2.1.2.1 กระบวนการเวเฟอร์เมาท์ (Wafer Mounting Process) เป็นกระบวนการนำแผ่นเวเฟอร์ไปติดยึดลงบนแผ่นพลาสติกเทป (Laminate Tape) เพื่อไม่ให้ตัว Die กระเด็นออก และเพื่อป้องกันเศษซิลิกอนปนเปื้อนลงบนแผ่นเวเฟอร์ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการเวเฟอร์เม้าท์

2.1.2.2 กระบวนการเจียรนัยแผ่นหลังเวเฟอร์ (Back Grinding) หลังจากผ่านกระบวนการเวเฟอร์เม้าท์เรียบร้อยแล้ว ต่อไปคือการนำแผ่นเวเฟอร์ไปทำการเจียรนัยแผ่นหลัง เพื่อให้มีขนาดบางลงตามมาตรฐาน เมื่อทำการเจียรนัยแผ่นเวเฟอร์เสร็จแล้วจะนำแผ่นเวเฟอร์มาลอกแผ่นพลาสติกเหนียวออก โดยกระบวนการเจียรนัยหลังเวเฟอร์แสดงดังรูปที่ 2.5

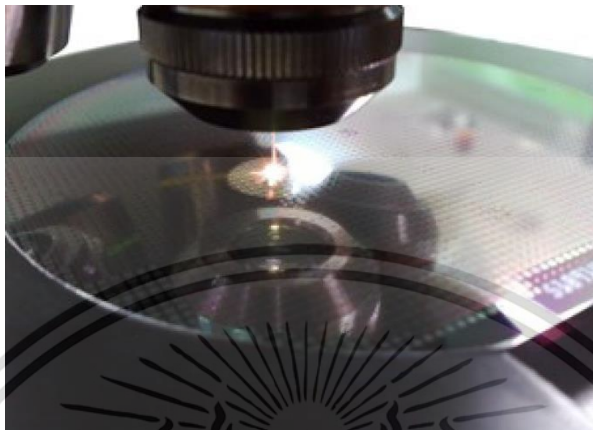


รูปที่ 2.5 กระบวนการเจียรนัยแผ่นหลังเวเฟอร์

2.1.2.3 กระบวนการเวเฟอร์เม้าท์ครั้งที่ 2 เป็นกระบวนการเตรียมเวเฟอร์ก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไป

2.1.2.4 กระบวนการตัด (Saw Process) เป็นกระบวนการตัดด้านหลังเวเฟอร์ โดยจะนำแผ่นเวเฟอร์มาตัดเพื่อแยกตัว Die ออกเป็นตัวๆ สามารถทำได้หลายวิธีทั้งกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์แบบใช้ใบมีดที่มีส่วนประกอบของกริท (Grit) ที่ทำจากเพชร ขณะที่ตัดจะมีการฉีดน้ำ DI เพื่อล้างเศษผงซิลิกอนที่ออก และกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์แบบใช้เลเซอร์ โดยการบากบนส่วนของเวเฟอร์ให้แตกออกตรงบริเวณเส้นทางการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัด เพื่อป้องกันการแตกของ Die สำหรับบริษัทกรณีศึกษาจะใช้การตัดแบบใช้เลเซอร์ในการตัดแยกแผ่นเวเฟอร์ ดังรูปที่ 2.6

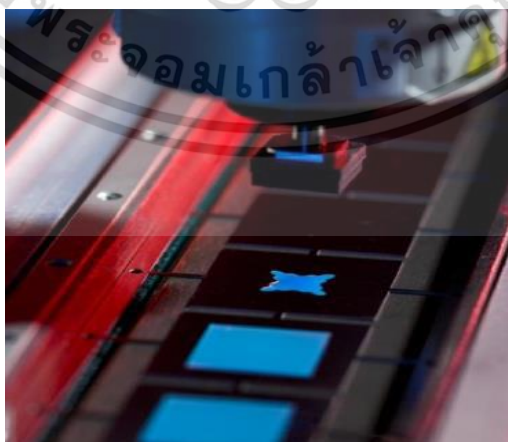


รูปที่ 2.6 กระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์ด้วยเลเซอร์

### 2.1.3 กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ (Assembly Process)

ในส่วนของกระบวนการผลิตของบรรจุภัณฑ์นั้นสามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

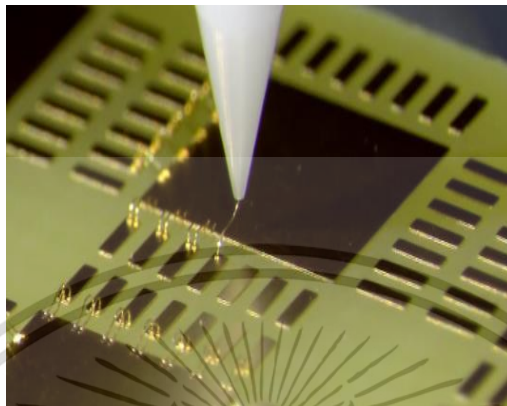
2.1.3.1 กระบวนการติดได (Die Attach) เป็นกระบวนการนำเอา Die จากแผ่นเวเฟอร์ที่ผ่านการตัดแล้วมาผ่านกระบวนการแยกไดไปติดบนลีดเฟรม (Lead Frame) ด้วยกาวอีพอกซี (Epoxy) จุดที่นำ Die ไปติดกับลีดเฟรมนี้เรียกว่าเดป (DAP) จากนั้นจะนำไปอบเพื่อให้กาวแห้ง



รูปที่ 2.7 การนำไดติดบนลีดเฟรม

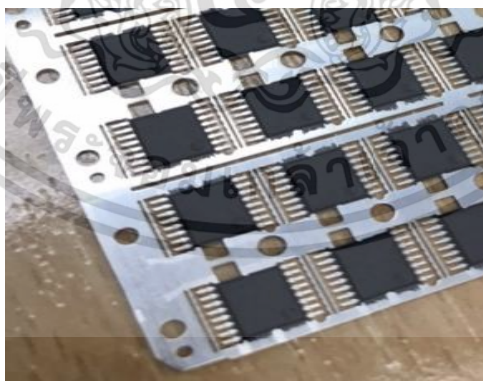
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 กระบวนการเชื่อมลวด (Wire Bonding) เป็นกระบวนการเชื่อมต่อวงจรทางไฟฟ้าระหว่าง Die กับขาลิตเฟรมของวงจรรวม โดยใช้เส้นลวดทองหรือลวดทองแดงที่มีขนาดเล็ก ดังแสดงรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเชื่อมต่อลวด

2.1.3.3 กระบวนการโมลด์ (Molding Process) เป็นขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดสารคอมพาวด์ (Compound) โดยวัสดุที่จะฉีดเข้าไปในโมลด์คือ พลาสติก หรือ เซรามิก เป็นต้น เพื่อปกคลุมหน้า Die ในลิตเฟรม เพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะได้รูปร่างของวงจรรวม และยังเป็นโครงสร้างสำหรับยึดได้และเป็นฉนวนไฟฟ้าอีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการโมลด์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 กระบวนการอบหลังการโมลด์ (Post Mold Cure) ภายหลังจากกระบวนการโมลด์แล้ว นำบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดไปทำการอบ (Cure) เพื่อให้คอมปาว์เมนต์แข็งตัวและเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างตาข่ายให้สมบูรณ์



รูปที่ 2.10 เครื่องอบหลังการโมลด์ (Post Mold Cure)

2.1.3.5 กระบวนการระบุเครื่องหมาย (Marking Process) เป็นกระบวนการพิมพ์ไปบนตัวผลิตภัณฑ์ เพื่อระบุตัวอักษรชื่อ, รุ่น, โลโก้ หรือ Lot ของผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2.11 โดยบริษัทกรณีสึกษาทำการกำหนดเครื่องหมายด้วยการยิงเลเซอร์ (Laser) ประทับลงบนผลิตภัณฑ์ เป็นการใช้จ่ายพลังงานของเลเซอร์เข้าเผาไหม้ (Burn) และทำการสลัก (Engrave) ลงบนผิวของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

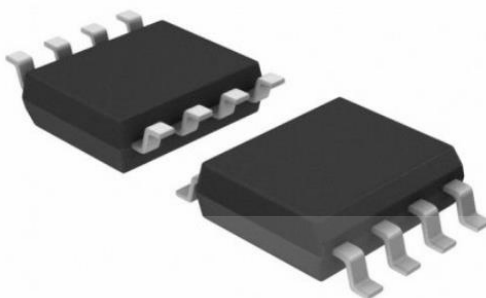


รูปที่ 2.11 การระบุเครื่องหมาย (Marking Process)

2.1.3.6 กระบวนการขึ้นรูปขางานและตัดแยกยูนิต (Trim Form and Singulation) เป็นกระบวนการที่ตัดปลายขางาน (Lead) แล้วทำการพับขางานให้ได้รูปทรง จากนั้นจะทำการตัดแยกสตรีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Strip) ของลิตเฟรมออกเป็นยูนิตเดี่ยว (Single Unit) โดยการใช้ใบมีดตัด (Dicing Blade) และใช้เครื่องจักรในการตัดแยกเป็นยูนิต (Singulation Machine) แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ผลิตภัณฑ์ที่ทำการขึ้นรูปขางานและตัดแยกยูนิต (Trim Form and Singulation)

#### 2.1.4 กระบวนการทดสอบวงจรรวม (Electrical Test)

เป็นการทดสอบคุณภาพของตัวงานตามคุณสมบัติการทำงานทางไฟฟ้า เช่น การทดสอบหน้าที่การทำงาน (Functional Test) การทดสอบพารามิเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Parameter Test) และทดสอบพารามิเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับ (AC parameter test) เป็นต้น เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของวงจรรวมว่าสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ได้ออกแบบไว้ แสดงดังรูปที่ 2.13

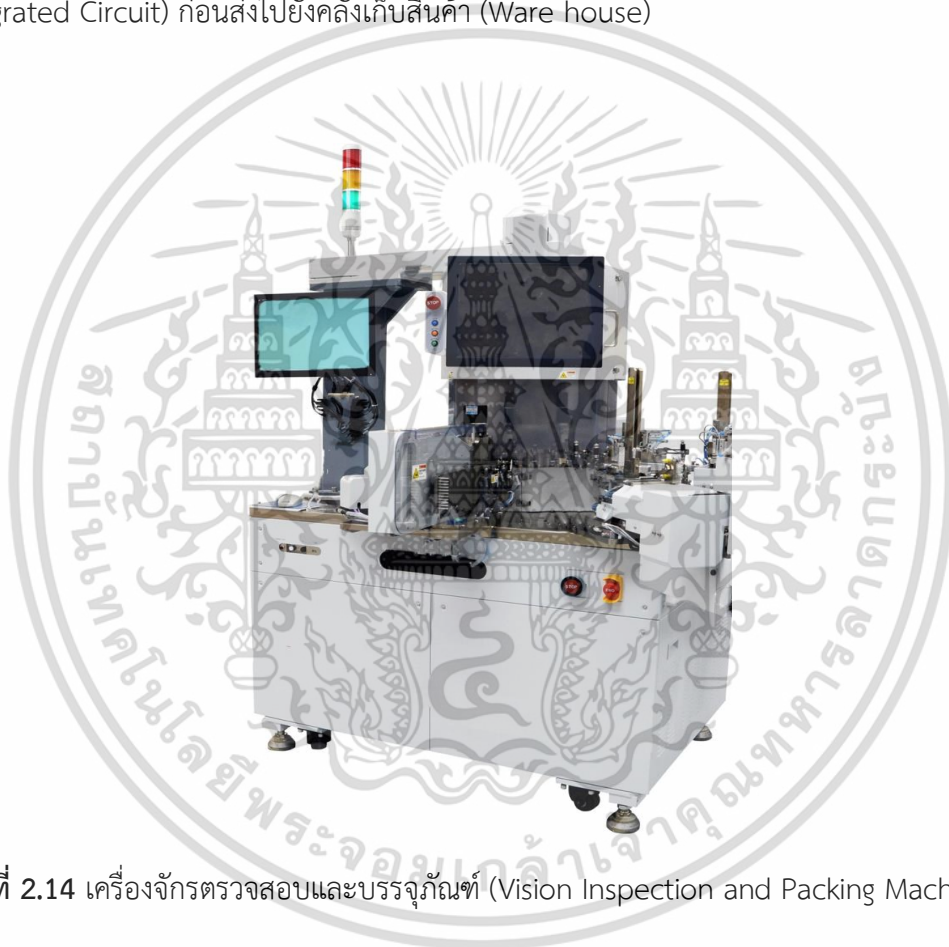


รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าวงจรวม (Tester machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 กระบวนการตรวจสอบและการบรรจุภัณฑ์ (Inspection and Packing)

กระบวนการตรวจสอบและการบรรจุภัณฑ์เป็นกระบวนการสุดท้ายของการผลิตวงจรรวม ซึ่งบริษัทกรณีสึกษาจะใช้เครื่องจักรในการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของผลิตภัณฑ์ด้วยระบบการประมวลผลด้วยภาพ (Vision System) อาทิเช่น ตรวจสอบความคมชัดของเครื่องหมาย (Marking) พื้นผิวผลิตภัณฑ์ (Surface) และขนาดของขาผลิตภัณฑ์ (Lead) จากนั้นทำการบรรจุภัณฑ์ลงในวัสดุที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ (Carrier tape) และรีลบรรจุเทป (Reel) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า และทำการพิมพ์ฉลาก (Label) โดยระบบบาร์โค้ดอัตโนมัติ (Auto System Barcode) ติดด้านบนของกล่อง จึงเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit) ก่อนส่งไปยังคลังเก็บสินค้า (Ware house)



รูปที่ 2.14 เครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะการบรรจุภัณฑ์วงจรรวมลงใน Carrier tape และ Reel

## 2.2 การตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)

เป็นกระบวนการวิเคราะห์ภาพและนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจการทำงานของเครื่องจักร เป็นกระบวนการที่ใช้เรียกการมองเห็นของเครื่องจักร โดยวิธีการที่ทำให้อุปกรณ์ประมวลผลต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processor) มีความสามารถในการรับรู้ภาพ สามารถตัดสินใจและสั่งงานในส่วนต่างๆได้จากข้อมูลที่ได้จากภาพ โดย Vision System มีจุดมุ่งหมายคือทำให้เครื่องจักรมีความสามารถประมวลผลต่างๆได้เท่าเทียมกับระบบการมองเห็นของมนุษย์ และยังมีความเร็วในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์สูงกว่าสมองมนุษย์ จะเห็นได้ว่าคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่ปัจจุบันสามารถทำงานได้โดยใช้เวลาเพียงเสี้ยววินาที และสามารถทำการประมวลผลไปพร้อมๆกันได้ (Parallel Processing) แทนที่จะทำงานทีละขั้นตอน (Serial Processing) จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของสมองมนุษย์สูงกว่าอุปกรณ์ประมวลผลที่อยู่ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก แม้ว่าในปัจจุบันจะไม่สามารถพัฒนาความสามารถในการมองเห็นและรับรู้ของเครื่องจักรให้ได้เทียบเท่ากับหรือดีกว่าสมองมนุษย์ ซึ่งผลที่ได้จากการพัฒนาความรู้ในเรื่องของ Vision System ก็สามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การนำไปใช้กับระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์ ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย หรือแม้แต่การประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม เป็นต้น [8]

ระบบการประมวลผลด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) เป็นการนำเอาระบบการประมวลผลด้วยภาพของ Vision System ไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการตรวจสอบอยู่หลายรายการตรวจสอบ อาทิเช่น ความคมชัดของเครื่องหมาย (Marking Quality) การตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ (Contamination) การผิดเพี้ยนของสีของผลิตภัณฑ์ (Discoloring) การนับจำนวนชิ้นส่วนต่างๆ ที่อยู่บนผลิตภัณฑ์ (Part Counting) [9] ซึ่งผลของการตรวจสอบดังกล่าวจะใช้เพื่อคัดแยกงานดีออกจากงานเสีย และจากความต้องการทางด้านของอุตสาหกรรมที่ต้องการระบบที่สามารถทำงานได้รวดเร็วที่สุด ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้การทำงานของระบบการประมวลผลด้วยภาพจะต้องใช้เวลาที่สั้นที่สุด นั่นคือวิธีการคำนวณต่างๆจะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด ต้นทุนต่ำ ความแม่นยำที่ยอมรับได้ ความทนทานสูง ความน่าเชื่อถือสูง และสามารถตรวจสอบชิ้นงานได้หลายร้อยหรือหลายพันชิ้นต่อนาที ซึ่งความสามารถของระบบการประมวลผลด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) จะมีประโยชน์กับการทำงานเพื่อตรวจสอบวัตถุหรือสิ่งของที่เราสงสัย ซึ่งทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

เป้าหมาย	ความสามารถของระบบ Vision
1. คุณภาพสูง	การตรวจสอบ การวัด การประเมิน และการยืนยันการประกอบ
2. เพิ่มผลผลิต	ประสิทธิภาพทำงานได้ดีกว่าคน
3. ความยืดหยุ่นในการผลิต	การวัดและการประเมิน เป็นแนวทางให้กับหุ่นยนต์ได้ตรวจสอบก่อนการทำงานได้
4. ลดเวลาการหยุดทำงานของเครื่องจักรและลดเวลาการตั้งค่า	สามารถตั้งโปรแกรมไว้ล่วงหน้าเหมือนมีการเปลี่ยนแปลง
5. ต้นทุนอุปกรณ์ที่ต่ำ	การเพิ่มวิสัยทัศน์ให้กับเครื่องช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน
6. ลดต้นทุนการผลิต	ระบบ Vision สามารถลดการตรวจสอบด้วยคนได้หลายคน
7. ลดอัตราของเสีย	การตรวจสอบ การวัด และการประเมิน
8. การควบคุมสินค้าคงคลัง	สามารถอ่านตัวอักษรและแยกแยะได้
9. ใช้พื้นที่น้อยลง	เมื่อเทียบกับระหว่างการใช้ระบบ Vision กับ คน

## 2.2.1 การประยุกต์ใช้การตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)

ในปัจจุบันการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยระบบการประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศไทยมีการใช้แพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม โดยการประยุกต์ใช้งานก็จะแตกต่างกันไปตามประเภทของอุตสาหกรรม ซึ่งบริษัทการศึกษาได้นำระบบการประมวลผลด้วยภาพมาใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์วงจรรวมเช่นเดียวกัน โดยสามารถที่จะยกตัวอย่างการนำไปใช้งานได้ดังต่อไปนี้

### 2.2.1.1 ใช้ในการนับปริมาณชิ้นงานที่สนใจ เป็นการตรวจสอบว่าครบหรือไม่ครบ (Counting / Checking for Presence) โดยการนับจำนวนชิ้นงานที่สนใจจากรูปภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 การอ่านค่าและการตรวจสอบค่า (Identification and Verification) เช่น การอ่านตัวอักษร บาร์โค้ด QR Code และ 2D Code

2.2.1.3 การตรวจสอบความเหมือน (Pattern Matching) เช่น การตรวจสอบความสมบูรณ์หรือความคล้ายของชิ้นงานที่สนใจเทียบกับตัวต้นแบบ (Master Device)

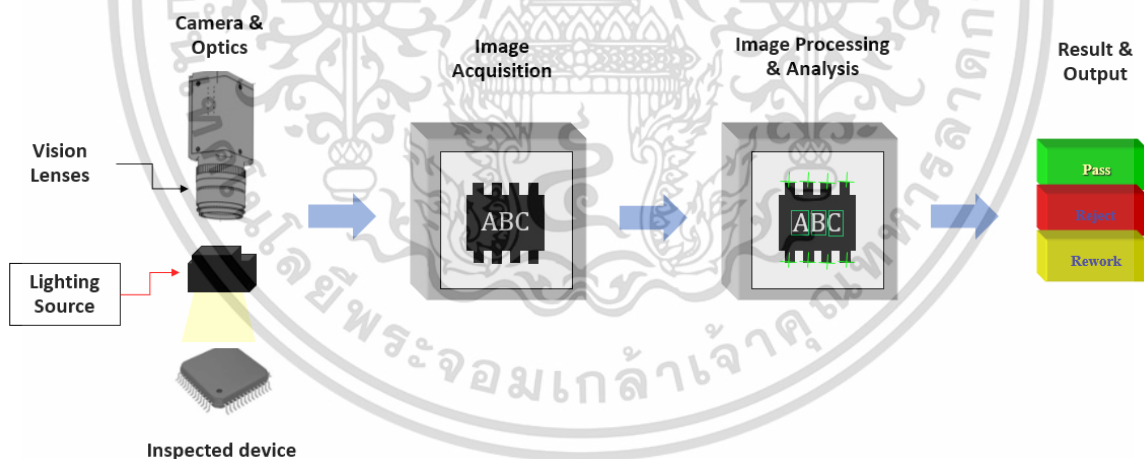
2.2.1.4 การตรวจสอบข้อบกพร่องของชิ้นงานที่สนใจว่ามีความผิดปกติใหม่ เช่น รอยแตก รอยบิ่น รอยร้าว และสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงาน

2.2.1.5 การวัดค่า (Measurement) เช่น การวัดค่าสี การวัดขนาดของชิ้นงาน

2.2.1.6 การระบุตำแหน่งของชิ้นงานที่สนใจ สามารถตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นงานได้ถูกต้องและครบถ้วน

## 2.2.2 ส่วนประกอบของระบบการตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)

การประมวลผลด้วยภาพแบบอัตโนมัติเป็นการจัดการภาพด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการเป็นการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงคุณภาพของภาพถ่ายให้ดีขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์และใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ โดยสำหรับขั้นตอนการประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรบริษัท ทรูทีคศึกษา สามารถอธิบายส่วนประกอบหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้



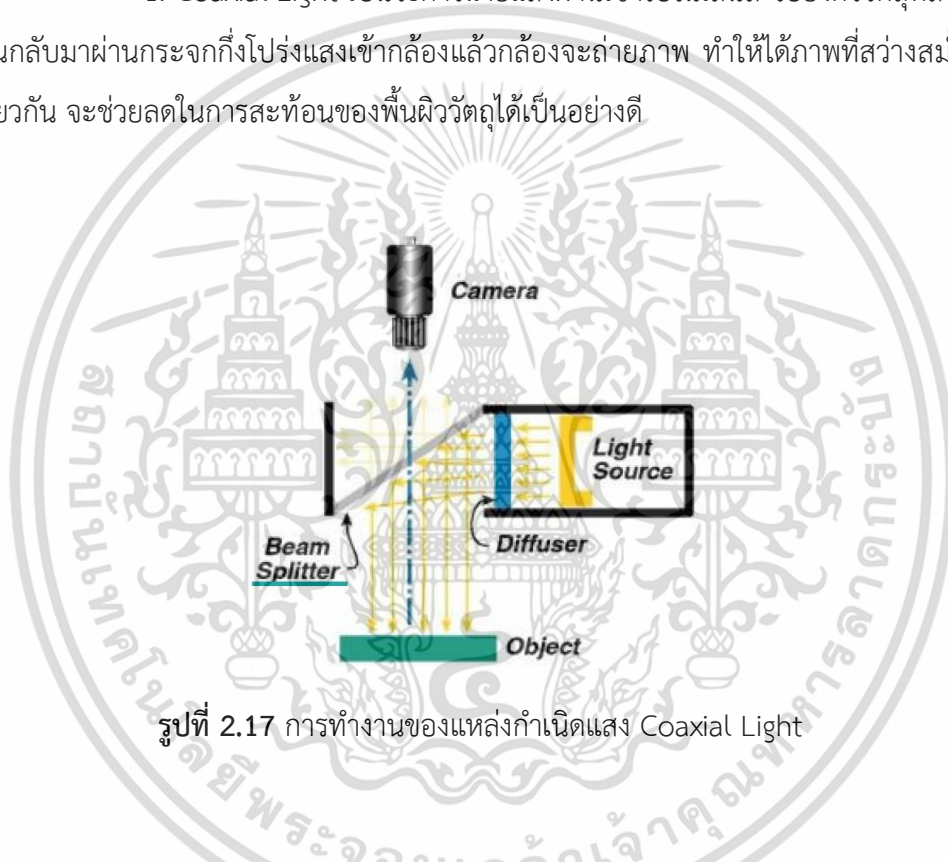
รูปที่ 2.16 ระบบตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยภาพแบบอัตโนมัติ

2.2.2.1 เลนส์ของเซ็นเซอร์ (Vision Lenses) จะรวบรวมแสงไปยังจอภาพของเซ็นเซอร์ การตัดสินใจหลักสำหรับการเลือกเลนส์คือความยาวของจุดโฟกัส ขอบเขตพื้นที่ของภาพที่ต้องการตรวจจับและการกำหนดระยะทางระหว่างหลังเลนส์และวัตถุเป้าหมาย ดังนั้นคุณภาพของเลนส์มีผลต่อคุณภาพของรูปถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

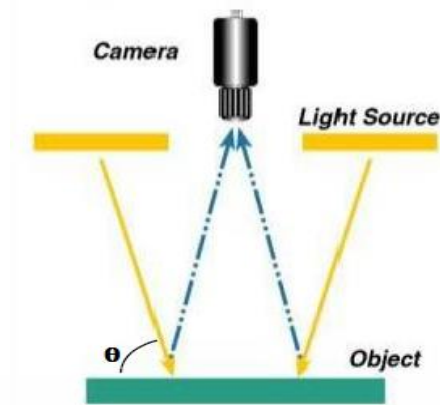
2.2.2.2 แหล่งกำเนิดแสง (Lighting Source) แหล่งกำเนิดแสงคือส่วนให้แสงสว่างกับวัตถุ เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบการตรวจจับด้วยภาพ ความสว่างมีผลต่อเครื่องมือมากที่สุดสำหรับการทำให้เห็นความแตกต่างเพื่อนำไปขยายให้เห็นถึงลักษณะที่น่าสนใจ การให้แสงสว่างนี้ช่วยให้มองเห็น แล้วหากทำการติดตั้งอย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้วจะช่วยทำให้ระบบทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำ มากขึ้น และรวดเร็ว ขึ้นด้วย โดยในแต่ละงานจะมีเทคนิคในการใช้แสงแตกต่างกันออกไปตามลักษณะงาน เช่น สีของแสง รูปร่างของแสง เป็นต้น อีกทั้งลักษณะการฉายแสงก็มีผลต่อการมองเห็นวัตถุ ได้แก่ Coaxial Light, High Light และ Low Light เป็นต้น ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดแสงสามารถอธิบายการฉายแสงลงวัตถุที่สนใจได้ดังนี้

1. Coaxial Light เป็นวิธีการฉายแสงผ่านเข้าไปในเลนส์ ไปยังตัววัตถุที่สนใจ และให้แสงสะท้อนกลับมาผ่านกระจกที่โปร่งแสงเข้ากล้องแล้วกล้องจะถ่ายภาพ ทำให้ได้ภาพที่สว่างสม่ำเสมอและเป็นเนื้อเดียวกัน จะช่วยลดในการสะท้อนของพื้นผิววัตถุได้เป็นอย่างดี



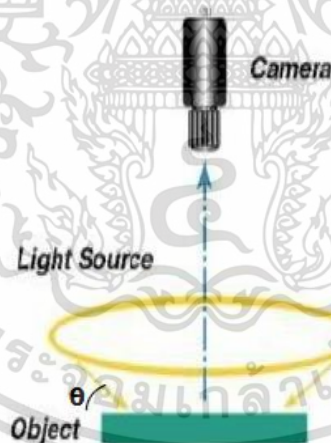
รูปที่ 2.17 การทำงานของแหล่งกำเนิดแสง Coaxial Light

1 High Light เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงมากจะทำให้เกิดแสงจ้าเพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่มีคอนทราสต์สูง ทำให้เห็นเงาที่คมชัดและพื้นผิวของวัตถุได้ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 2.18 การทำงานของแหล่งกำเนิดแสง High Light

2 Low Light เป็นแหล่งกำเนิดแสงมุมต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะพื้นผิวมากยิ่งขึ้นให้เห็นข้อบกพร่องของพื้นผิวได้ง่ายขึ้น และรวมถึงการส่องสว่างในที่มืดและในที่สว่าง และเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีคอนทราสต์ต่ำในการส่องสว่างในที่มืด ด้วยการติดตั้งในแนวตั้งฉากกับตัวกล้อง โดยใช้มุมเอียงเล็กน้อยของแหล่งกำเนิดแสงจะสะท้อนออกจากกล้อง และแสงที่กระจัดกระจายจากพื้นผิวและการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงจะสะท้อนเข้ามาในกล้อง



รูปที่ 2.19 การทำงานของแหล่งกำเนิดแสง Low Light

2.2.2.3 การรับภาพ (Image Acquisition) เป็นส่วนของโหนดไฟล์รูปภาพจากแหล่งข้อมูลจับภาพผ่านกล้องถ่ายภาพ หรือ จับภาพผ่านกล้องวิดีโอ ส่วนนี้เปรียบได้เสมือนกับตาของคนเรานั้นเอง โดยที่การรับภาพแต่ละตัวจะมีการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการหาลักษณะพิเศษในรูปภาพเพื่อที่จะตัดสินใจว่าวัตถุที่ตรวจจับผ่านหรือไม่ โดยกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพวัตถุที่สนใจในบริษัทกรณีศึกษาจะเป็นกล้องดิจิทัลที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์รับภาพ (Image Sensor) ที่ทำหน้าที่รับแสงและให้ผลออกมาเป็นรูปภาพ ซึ่งเซ็นเซอร์รับภาพจะมีทั้งรูปแบบอุปกรณ์อนาล็อก (Charge Coupled Device : CCD) และแบบเซนเซอร์ฟิสิกเซมิคอนดักเตอร์ (Complementary Metal Oxide Semiconductor : CMOS) เพื่อแปลงแสง (โฟตอน) เป็นสัญญาณไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) นั้นไปเป็นข้อมูลดิจิทัลอีกทีหนึ่ง [10]

โดยกระบวนการรับภาพจะมีเซลล์รับภาพ (Pixel) แต่ละเซลล์จะให้ค่าความเข้มแสงออกมาเป็นตัวเลขอยู่ระหว่าง 0 มีความเข้มแสงต่ำสุดหรือเป็นด้านมืด ถึง 255 ที่มีความเข้มแสงสูงสุดหรือเป็นด้านสว่าง โดยจะได้ภาพที่เป็นโทนขาวดำเรียกว่า Gray Scale Image ดังแสดงในรูปที่ 12.20



รูปที่ 2.20 ค่าความเข้มแสงที่ได้จากเซลล์รับภาพ

หากกระบวนการนั้นใช้กล้องสีนั้นข้อมูลของภาพจะเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ จำนวน 3 อาร์เรย์ ซึ่งแต่ละช่องอาร์เรย์ก็จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เช่นเดียวกัน โดยจะใช้เซลล์รับภาพทำการแยกสีออกเป็น 3 สีหลัก นั่นคือสีเขียว สีแดง และสีน้ำเงิน แล้วใช้ตัวกรองแสงสี (Filter) ของแต่ละสีไว้หน้าเซลล์รับภาพเพื่อทำการวัดค่าความเข้มแสงของแต่ละสี [11]

2.2.2.4 การประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) ส่วนนี้เป็นส่วนของการคิดวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลจากสิ่งที่มองเห็น และยังทำหน้าที่ตัดสินใจตอบโต้กับข้อมูลที่วิเคราะห์มาได้ เป็นกลไกในการดึงข้อมูลจากภาพดิจิทัล โดยการประมวลผลดำเนินการโดยซอฟต์แวร์ จากนั้นซอฟต์แวร์จะระบุตำแหน่งคุณลักษณะเฉพาะ การวัด และเปรียบเทียบกับหลักเกณฑ์การกำหนดของผู้ใช้ และทำการตัดสินใจผลลัพธ์โดยการส่งการผ่านฮาร์ดแวร์ให้สร้างสัญญาณ Pass/Fail วัตถุขึ้นนั้น [12]

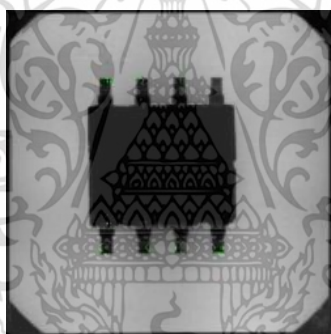
### 2.2.3 เทคโนโลยีของการมองเห็นของเครื่องจักร

กระบวนการมองเห็นของเครื่องจักร (Vision System Machine) ในการวิเคราะห์ภาพได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การนำการมองเห็นของเครื่องจักรนี้ไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากกระบวนการแก้ปัญหาของการมองเห็นของเครื่องจักรในภาพระดับสีเทาได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การพัฒนาของหน่วยประมวลผลที่มีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้กับการมองเห็นของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 การตรวจจับขอบ (Edge Detection) การที่จะตรวจจับขอบจากภาพจะเริ่มจากการกำหนดพื้นที่ค้นหา (Search Region) ในภาพที่ต้องการค้นหาขึ้นมาก่อน ซึ่งการตรวจจับขอบของซอฟต์แวร์จะพิจารณาจากความไม่ต่อเนื่องของค่าความเข้มของพิกเซลที่อยู่ติดกัน จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการวิเคราะห์ภาพในพื้นที่ค้นหาหรือตามแนวเส้นเพื่อหาขอบของวัตถุ โดยจะพิจารณาทีละพิกเซลตามแนวเส้นที่กำหนด ซึ่งมักจะพบได้เมื่อภาพนั้นปรากฏในลักษณะ ที่วัตถุมีระดับความเข้มของพิกเซลตัดกับพื้นหลังของวัตถุนั้น ดังนั้น การเปลี่ยนค่าความเข้ม ของพิกเซลอย่างรวดเร็วจะสามารถแยกภาพของวัตถุออกจากพื้นหลังได้ สำหรับการมองเห็นของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมนิยมที่จะนำการค้นหาขอบไปประยุกต์ใช้ใน 3 แบบหลัก ๆ คือ

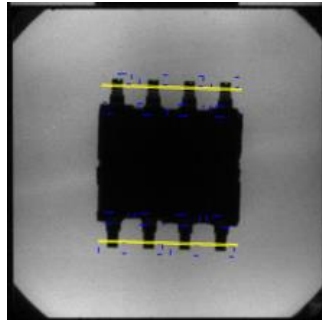
2.2.3.1.1 การใช้เป็นมาตรวัด (Gauging) เพื่อวัดระยะที่ต้องการตรวจสอบ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความยาว ระยะห่าง เพื่อการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าผลิตได้ถูกต้องหรือไม่ โดยผู้ใช้ จะทำการกำหนดพารามิเตอร์ของการวัดขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากภาพว่าค่าทั้งสองมีความแตกต่างกันในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่



รูปที่ 2.21 การวัดขนาดของขาผลิตภัณฑ์วงจรรวมในโรงงานกรณีศึกษา

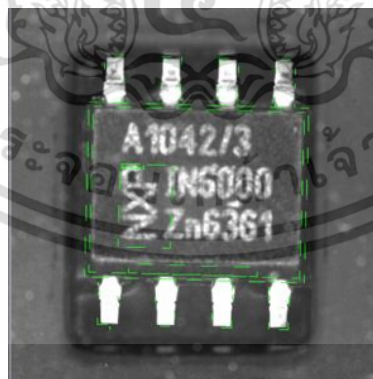
2.2.3.1.2 การตรวจจับวัตถุ (Detection) เป็นการตรวจจับวัตถุว่ามีอยู่ในภาพหรือไม่ โดยมีการกำหนดแนวเส้นที่จะให้ซอฟต์แวร์ตรวจจับขอบตามแนวเส้นนั้น จากนั้นเมื่อโปรแกรมวิเคราะห์ไปที่ละพิกเซลตามแนวพื้นที่ ค้นหาความแตกต่างของความเข้มของพื้นหลังและวัตถุด้านหน้าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของพิกเซล หรือไม่ก็มีค่าความชันของการเปลี่ยนแปลงค่าของพิกเซลในบริเวณนั้นสูงมาก วิธีการนี้จะสามารถช่วยในการตรวจนับจำนวนขอบที่พบตามแนวเส้นค้นหาที่กำหนด จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับจำนวนขอบที่ควรจะมีของวัตถุที่ประกอบอย่างสมบูรณ์ อาทิเช่นการตรวจจับวัตถุ เช่นการตรวจจับและนับจำนวนขาผลิตภัณฑ์วงจรรวมในเครื่องจักรบริษัทกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การตรวจจับการนับจำนวนขาดผลิตภัณฑ์วงจรรวมในเครื่องจักรโรงงานกรณีศึกษา

2.2.3.1.3 การตรวจแนวการวางตัว (Alignment) การตรวจสอบที่วัตถุอยู่ในสายการผลิตนั้น วัตถุอาจไม่อยู่ในตำแหน่งและมีแนววางตัวที่ไม่ถูกต้อง อาจมีการหมุนหรือวางตัวในแนวที่แตกต่างออกไปได้ ดังนั้นการตรวจแนวการวางตัวเป็นวิธีการที่จะทราบถึงตำแหน่งและแนวการวางตัวของวัตถุ นั้น การวิเคราะห์ภาพจะเริ่มจากกระบวนการค้นหาขอบเพื่อจะมองหาตำแหน่งของวัตถุในภาพก่อน โดยที่จะทำการตรวจสอบขอบในพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest : ROI) ที่ได้กำหนดขึ้น จากนั้นเมื่อมีการตรวจพบขอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ตำแหน่งและการวางตัวของชิ้นส่วนจะถูกประมวลผลโดยโปรแกรมอีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดจะให้ข้อมูลของตำแหน่งและแนววางตัวของวัตถุได้ เช่น การตรวจแนวการวางตัวของผลิตภัณฑ์วงจรรวมในบรรจุภัณฑ์ของเครื่องจักรบริษัทกรณีศึกษา



รูปที่ 2.23 การตรวจแนวการวางตัวของผลิตภัณฑ์วงจรรวมในบรรจุภัณฑ์ของเครื่องจักรโรงงานกรณีศึกษา

2.2.3.2 รูปแบบความเหมือน (Pattern Matching) เป็นการตรวจสอบรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของระดับสีเทาความเหมือนเทียบกับรูปแบบอ้างอิง (Reference Pattern) หรือเรียกอีกอย่างว่า Master เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pattern โดยผู้ที่จะสร้างรูปแบบอ้างอิง (Master Pattern) ขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบของวัตถุที่ต้องการค้นหา จากนั้นเมื่อจับภาพมาได้แล้ว ซอฟต์แวร์จะทำการประมวลผลภาพที่จับมาได้ด้วยการมองเห็นของเครื่องจักรเพื่อวิเคราะห์ว่าส่วนใดในภาพบ้างที่มีลักษณะหรือรูปแบบเหมือนกับรูปแบบอ้างอิง โดยซอฟต์แวร์จะให้ระดับเปอร์เซ็นต์ความเหมือนของภาพที่จับมาได้เทียบกับภาพรูปแบบอ้างอิงว่ามีความเหมือนกันมากเพียงใด

สำหรับวิธีรูปแบบความเหมือนที่ใช้ในการมองเห็นของเครื่องจักร ถือว่าเป็นกระบวนการขั้นตอนที่มีความสำคัญมากวิธีการหนึ่งในการนำไปใช้งาน เพราะวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายรูปแบบและมีความหลากหลายอย่างมากใน 3 กรณีหลักๆคือ

1. เพื่อหาการจัดวางแนวภาพ (Alignment) โดยซอฟต์แวร์จะคำนวณตำแหน่งและแนวการวางตัวของวัตถุที่ทราบโดยการกำหนดตำแหน่งของรูปแบบอ้างอิง (Reference) โดยการใช้อ้างอิงนี้เป็นจุดอ้างอิงของวัตถุ
2. เพื่อการวัด (Gauging) ใช้ในการวัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง มุมระหว่างเส้น และมีมิติอื่นที่สำคัญ เพื่อหาค่าที่ได้จากการวัดภาพว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่
3. เพื่อการตรวจสอบ (Inspection) เป็นการตรวจหาความผิดพลาดง่าย ๆ เช่น ตรวจสอบว่าชิ้นส่วนอยู่ตรงหรือไม่ หรือใช้ดูว่าการพิมพ์เครื่องหมายอักษรมานั้นอ่านได้ดีหรือไม่



รูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างการตรวจสอบรูปแบบความเหมือน (Pattern Matching) ของเครื่องหมายอักษร

### 2.3 การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis)

การวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant Analysis) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หรือการหาสาเหตุเทคนิคหนึ่ง โดยมีตัวแปรตาม 1 ตัว ( $Y$ ) ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ และตัวแปรอิสระ  $p$  ตัว ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) โดย  $p \geq 1$  การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้นอกจากจะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มได้แล้วยังสามารถบอกธรรมชาติบางอย่างของการจำแนกกลุ่มได้ด้วย เช่น บอกได้ว่าตัวแปรใดจำแนกได้ดีมากกว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน นั่นคือ สามารถบอกประสิทธิภาพ หรือน้ำหนักในการจำแนกของตัวแปรเหล่านั้น การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มเป็นการใช้ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระที่ร่วมกันพยากรณ์ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) [13]

### 2.3.1 ลักษณะข้อมูลและการเตรียมข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์

2.3.1.1 แบ่งกลุ่มประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มอย่างน้อย 2 กลุ่ม (ต้องทราบมาก่อนการวิเคราะห์ว่าจะแบ่งเป็นกี่กลุ่ม)

2.3.1.2 เลือกตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะทำให้กลุ่มที่แบ่งไว้ในข้อ 1 แตกต่างกัน

2.3.1.3 ตัวแปรตาม (ตัวแปรที่ถูกจำแนกหรือถูกทำนาย) เป็นตัวแปรที่แบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป มีระดับการวัดในมาตรานามบัญญัติ (Nominal Scale) หรือมาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) และถ้าหากมีข้อมูลอยู่ในระดับอื่นให้แปลงข้อมูลเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์

2.3.1.4 ตัวแปรอิสระ (ตัวแปรที่ใช้ในการจำแนกหรือตัวแปรที่ใช้ในการทำนาย) เป็นตัวแปรต่อเนื่องที่มีระดับการวัดอยู่ในมาตราอันตรภาค (Interval Scale) หรือมาตราอัตราส่วน (Ratio Scale) และถ้าหากมีข้อมูลอยู่ในระดับอื่นให้แปลงให้เป็นตัวแปรหุ่น (Dummy Coding) ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์

### 2.3.2 การตรวจสอบเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม

2.3.2.1 การตรวจสอบตัวแปรอิสระต้องมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (Normality of Independent Variables) โดยการนำข้อมูลตัวแปรตามมาทำการทดสอบการแจกแจงปกติทีละตัวแปร เนื่องจากหากข้อมูลดังกล่าวนี้ไม่มีการแจกแจงปกติอาจส่งผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญและส่งผลต่อการวิเคราะห์ได้ ซึ่งเทคนิคการวิเคราะห์พารามิเตอร์นี้มีทั้งแบบการตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหนึ่งตัวแปร และการตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหลายตัวแปร

1.การตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหนึ่งตัวแปร ซึ่งใช้สำหรับตัวแปรที่มีเชิงปริมาณเพียงหนึ่งตัวแปร โดยการตรวจสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นการตรวจสอบด้วยกราฟ อาทิเช่น ฮิสโตแกรม (Histogram) บล็อกพล็อต (Boxplot) และแผนภาพลำต้นและใบ (Stem and Leaf Display) เป็นต้น และกลุ่มที่ 2 เป็นการตรวจสอบด้วยค่าสถิติทดสอบ อาทิเช่น การทดสอบไคกำลังสอง (Chi-Square) แอนเดอร์สัน - ดาร์ลิ่ง (Anderson-Darling) โคโมโกรอฟ (Komogorav-Smirnov) และไลลิเฟอร์ (Liliefer) เป็นต้น

2.การตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหลายตัวแปร โดยเป็นการตรวจสอบการแจกแจงปกติหลายๆตัวแปรพร้อมกัน อาทิเช่น วิธีมาร์ดินา (Mardina) และ วิธีการพล็อตของไคกำลังสอง (Chi-Square plot)

2.3.2.2 การตรวจสอบความแปรปรวนของตัวแปรอิสระของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มต้องเท่ากัน (Equal Dispersion Matrices) ด้วยสถิติ Box's test เป็นการตรวจสอบความเท่ากันของเมตริกเอกสารถนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแปรปรวนร่วมของแต่ละชุดข้อมูล โดยสมมุติฐานหลักคือเมตริกความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม มีความเท่ากันในทุกกลุ่มชุดข้อมูล โดยมีการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$$H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_k$$

$$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2 \text{ อย่างน้อย 1 คู่ ; } i \neq j$$

สถิติทดสอบ

$$B = (1 - c) \{ [\sum_{i=1}^k (n_i - 1)] \ln |S_p| - [\sum_{i=1}^k (n_i - 1)] \ln |S_i| \} \quad (2.1)$$

โดยที่

$$C = \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{\sum_{k=1}^i (n_i - 1)} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6[p + 1](k - 1)} \right] \quad (2.2)$$

สถิติทดสอบค่า B จะมีการแจกแจงแบบไคกำลังสองที่องศาอิสระ

$$v = \frac{1}{2} p(p + 1)(k - 1) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $p$  = จำนวนตัวแปรอิสระ

$n_i$  = จำนวนข้อมูลในกลุ่มที่  $i$

$k$  = จำนวนกลุ่ม

$s_i$  = เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่างของกลุ่มที่  $i$  ;  $i = 1, 2, \dots, k$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$s_p$  = เมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่างของทุกกลุ่ม

สถิติทดสอบเปรียบเทียบผลค่า  $B$  ที่คำนวณได้จากสมการ 2.1 เทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi_{\alpha, v}^2$  โดยการกำหนดช่วงความเชื่อมั่นและคำนวณค่าองศาอิสระนำมาเปิดค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi_{\alpha, v}^2$  จากตารางของการแจกแจงแบบไคกำลังสอง เพื่อหาหลักฐานสนับสนุนการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักข้างต้น

2.3.2.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity of Relationships) โดยตรวจสอบได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยวิธีการตรวจสอบของเพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation:  $r_{xy}$ ) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไปว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับใด และมีความสัมพันธ์ในทิศทางใด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่ามาตรฐานของค่าแปรปรวนร่วม เป็นการนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม  $X$  และตัวแปรต้น  $Y$  ไปหารด้วยค่าความแปรปรวนร่วม จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เป็นค่าสถิติที่ไม่มีหน่วยและมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (2.4)$$

โดยการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปร จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แทนด้วย  $r_{xy}$  โดยถ้าค่า  $r_{xy}$  มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 นั้นหมายความว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันสูง แต่ถ้าค่า  $r_{xy}$  มีค่าเข้าใกล้ 0 นั้นหมายความว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันต่ำหรือไม่มีเลย โดยความหมายของของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีความหมายดังนี้ [14]

1. ถ้า  $r$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงบวกหมายความว่าถ้าตัวแปร  $x$  มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร  $y$  จะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือถ้าตัวแปร  $x$  มีค่าลดลง ตัวแปร  $y$  จะมีค่าลดลง
2. ถ้า  $r$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงลบหมายความว่าถ้าตัวแปร  $x$  มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร  $y$  จะมีค่าลดลง หรือถ้าตัวแปร  $x$  มีค่าลดลง ตัวแปร  $y$  จะมีค่าเพิ่มขึ้น
3. ถ้า  $r$  มีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างสมบูรณ์ (perfect positive correlation)
4. ถ้า  $r$  มีค่าเท่ากับ -1 แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างสมบูรณ์ (perfect negative correlation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้า  $r$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงบวกและมีความสัมพันธ์มาก
6. ถ้า  $r$  มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์เชิงลบและมีความสัมพันธ์มาก
7. ถ้า  $r$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  มีความสัมพันธ์กันน้อย
8. ถ้า  $r$  มีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าตัวแปร  $x$  และ  $y$  ไม่มีความสัมพันธ์กัน

#### 2.3.2.4 การตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันสูงเกินไป (Multicollinearity)

ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น ตรวจสอบได้จากวิธีใช้สถิติสหพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation) หรือใช้วิธีตรวจสอบโดยใช้สถิติ Collinearity โดยดูจากค่า Tolerance และ Variance Inflation Factor (VIF) หากค่า Tolerance เข้าใกล้ 0 มากเท่าใด แสดงว่าระดับความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรมีปัญหามาก ส่วนค่า VIF หากมีค่าเข้าใกล้ 10 มากเท่าใดก็แสดงว่าระดับความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรมีปัญหามาก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การตรวจสอบด้วยวิธีสหพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation) [13]

$$r_{x_i x_j} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i x_j - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{j=1}^n x_j}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{j=1}^n x_i)^2] [n \sum_{i=1}^n (x_j)^2 - (\sum_{i=1}^n x_j)^2]}} \quad (2.5)$$

#### 2.3.3 ขั้นตอนสำหรับทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น [13]

2.3.3.1 ขั้นตอนการทำเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป โดยในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์การจำแนกประเภทที่มีชุดข้อมูล 2 ชุดข้อมูล นั่นก็คือเมตริกซ์ชุดข้อมูล 1 เมตริกซ์ชุดข้อมูล 2 และเมตริกซ์ชุดข้อมูลร่วม แสดงไว้ในสมการ 2.6 ถึง 2.8 ตามลำดับ เมื่อ  $p$  คือจำนวนของตัวแปรอิสระ

$$S_1 = \begin{bmatrix} S_{x1,1}^2 & S_{x1x2,1} & S_{x1x3,1} & \cdots & S_{x1xp,1} \\ S_{x1x2,1} & S_{x2,1}^2 & S_{x2x3,1} & \cdots & S_{x2xp,1} \\ S_{x1x3,1} & S_{x3x2,1} & S_{x3,1}^2 & \cdots & S_{x3xp,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{x1xp,1} & S_{x2xp,1} & S_{x3xp,1} & \cdots & S_{xp,1}^2 \end{bmatrix}_{p \times p} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_2 = \begin{bmatrix} S_{x1,2}^2 & S_{x1x2,2} & S_{x1x3,2} & \dots & S_{x1xp,2} \\ S_{x1x2,2} & S_{x2,2}^2 & S_{x2x3,2} & \dots & S_{x2xp,2} \\ S_{x1x3,2} & S_{x3x2,2} & S_{x3,2}^2 & \dots & S_{x3xp,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{x1xp,2} & S_{x2xp,2} & S_{x3xp,2} & \dots & S_{xp,2}^2 \end{bmatrix}_{p \times p} \quad (2.7)$$

$$S_p = \begin{bmatrix} S_{x1}^2 & S_{x1x2} & S_{x1x3} & \dots & S_{x1xp} \\ S_{x1x2} & S_{x2,2}^2 & S_{x2x3} & \dots & S_{x2xp} \\ S_{x1x3} & S_{x3x2} & S_{x3}^2 & \dots & S_{x3xp,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{x1xp} & S_{x2xp} & S_{x3xp} & \dots & S_{xp}^2 \end{bmatrix}_{p \times p} \quad (2.8)$$

2.3.3.2 ทำการสร้างเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระของทั้ง 2 กลุ่ม ในสมการที่ 2.9

$$\bar{X}_1 = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,1} \\ \bar{X}_{2,1} \\ \bar{X}_{3,1} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,1} \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad \bar{X}_2 = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,2} \\ \bar{X}_{2,2} \\ \bar{X}_{3,2} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,2} \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (2.9)$$

2.3.3.3 ทำการสร้างเมตริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางกลุ่มจากเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระของทั้ง 2 กลุ่ม โดยทำการนำเมตริกซ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ในข้อ 2.3.2.2 มาลบกันดังแสดงในสมการที่ 2.10

$$d = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,1} - \bar{X}_{1,2} \\ \bar{X}_{2,1} - \bar{X}_{2,2} \\ \bar{X}_{3,1} - \bar{X}_{3,2} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,1} - \bar{X}_{p,2} \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (2.10)$$

2.3.3.4 ทำการสร้างเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ตัวคูณ  $b$  โดยนำค่า  $d$  ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ในข้อ

2.3.2.3 มาคำนวณต่อดังแสดงในสมการ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b = S_p^{-1}d = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (2.11)$$

2.3.3.5 ขั้นตอนการสร้างสมการจำแนกประเภทแสดงดังสมการที่ 2.12

$$\hat{Y} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{p \times 1}^T \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}_{p \times 1} = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_px_p \quad (2.12)$$

2.3.3.6 การคำนวณค่าจุดแยกแยะ  $Y_C$  เพื่อใช้ในการแยกแยะชุดข้อมูลโดยแสดงในสมการ

2.13

$$Y_C = \frac{n_1\bar{Y}_1 + n_2\bar{Y}_2}{n_1 + n_2} \quad (2.13)$$

2.3.3.7 การตรวจสอบการพยากรณ์ที่ได้จากสมการจำแนกประเภทเพื่อใช้พยากรณ์ข้อมูลชุดใหม่ว่าอยู่ในชุดข้อมูลกลุ่มใด โดยใช้ค่าจุดแยกแยะ  $Q_C$  ตามสมการที่ 2.9 เป็นมาตรฐานในการจำแนกโดยสมการจำแนกประเภทที่ได้แสดงในสมการที่ 2.10

$$\hat{Q} = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.10)$$

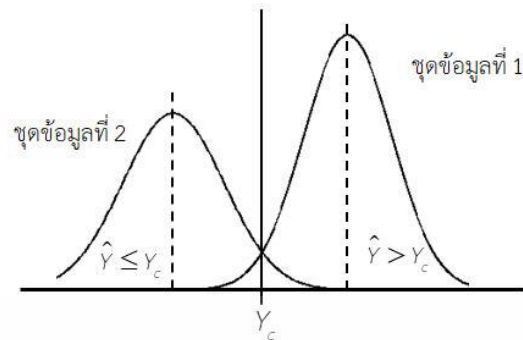
เกณฑ์การจำแนกประเภทของกลุ่มข้อมูลใหม่โดยการนำเอาข้อมูลใหม่มาวิเคราะห์ในสมการที่ 2.43 เพื่อหาค่า  $\hat{Q}$  และนำค่ามาเปรียบเทียบกับจุดแยกแยะ  $Q_C$  โดยรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ถ้า  $\hat{Q} \leq Q_C$  แสดงว่าข้อมูลใหม่ที่ได้จัดอยู่ในกลุ่มชุดข้อมูลที่ 1

ถ้า  $\hat{Q} > Q_C$  แสดงว่าข้อมูลใหม่ที่ได้จัดอยู่ในกลุ่มชุดข้อมูลที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของค่า  $\hat{Q}$  และ  $Q_C$  สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.44 [13]



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ของค่า  $\hat{Q}$  และ  $Q_C$

2.3.3.8 การตรวจสอบโฮเทลลิงที (Hotelling's  $T^2$ ) เป็นส่วนขยายขอบเขตของการทดสอบ t-test โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยจะแตกต่างจาก t-test คือ การตรวจสอบสถิติทดสอบ t-test เป็นการศึกษาตัวแปรตามตัวเดียว ส่วนในกรณีของการทดสอบโฮเทลลิงที (Hotelling's  $T^2$ ) จะเป็นการศึกษาตัวแปรตามที่มีมากกว่า 1 ตัวขึ้นไปข้อมูล โดยมีการตั้งสมมุติฐานดังต่อไปนี้ และสถิติทดสอบแสดงในสมการ 2.14 ถึง 2.15

$$H_0: [u_1] = [u_2] \quad H_1: [u_1] \neq [u_2]$$

เมื่อ  $[u_1]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 1

$[u_2]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 2

$$D^2 = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' S^{-1} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \quad (2.14)$$

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} D^2 \quad (2.15)$$

$$F = \left( \frac{n_1 + n_2 - p - 1}{p(n_1 + n_2 - 2)} \right) T^2 \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากสถิติทดสอบค่า F จะมีองศาอิสระ 2 ตัวแปรด้วยกัน แสดงในสมการ 2.17

$$v_1 = p \text{ และ } v_2 = n_1 + n_2 - p - 1 \quad (2.17)$$

เมื่อ  $p$  คือจำนวนตัวแปรอิสระ

$n_1, n_2$  คือจำนวนของข้อมูลกลุ่มที่ 1 และข้อมูลกลุ่มที่ 2

กำหนดช่วงความเชื่อมั่นและค่าองศาอิสระที่ได้มาหาค่าเปอร์เซ็นต์  $f_{\alpha, v_1, v_2}$  ของการแจกแจงแบบเอฟ (จากตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $f_{\alpha, v_1, v_2}$  ของการแจกแจงแบบเอฟ) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า F ที่ได้จากสมการที่ 2.10 สำหรับการหาหลักฐานสนับสนุนการยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐานข้างต้น [13]

## 2.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น ซึ่งได้รับการ พัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 Dr. Kaoru Ishikawa ศาสตราจารย์ด้านวิศวกรรมแห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว [15]

### 2.4.1 หลักการเลือกใช้แผนผังแสดงเหตุและผล

#### 2.4.1.1 ค้นหาสาเหตุของปัญหา

2.4.1.2 ทำการศึกษาในกระบวนการ โดยส่วนใหญ่พนักงานจะเข้าใจปัญหาเฉพาะในพื้นที่ที่รับผิดชอบเท่านั้น แต่เมื่อมีการสร้างผังแสดงเหตุและผล แล้วจะทำให้สามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น

2.4.1.3 การระดมสมอง จะช่วยให้พนักงานและผู้ที่เกี่ยวข้องให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่ม ซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

### 2.4.2 โครงสร้างของแผนผังแสดงเหตุและผล

2.4.2.1 ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลาในการกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดหัวข้อให้มีความชัดเจนและมีความเป็นไปได้ เนื่องจากหากหัวข้อ ปัญหา มีความไม่ชัดเจนแล้วจะใช้เวลาในการค้นหาสาเหตุ

#### 2.4.2.2 ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อย ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

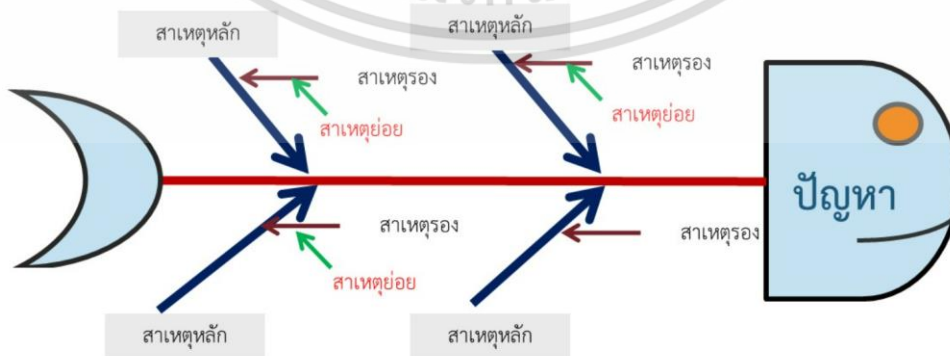
1. ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)
2. สาเหตุหลัก
3. สาเหตุย่อย

2.4.3 การกำหนดปัจจัยบนแผนผังแสดงเหตุและผล

การกำหนดปัจจัยบนก้างปลาสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยใดก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่กำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยจำแนกและกำหนดสาเหตุต่าง ๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผล โดยส่วนใหญ่มักจะกำหนดหลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) ดังรูปที่ 2.4 โดยประกอบด้วย

- M Man หมายถึง คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร
- M Machine หมายถึง เครื่องจักร หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
- M Material หมายถึง วัตถุดิบ หรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
- M Method หมายถึง กระบวนการทำงาน
- E Environment หมายถึง อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

โดยการวิเคราะห์แผนผังแสดงเหตุและผลนั้น จะทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้าง ย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก โดยหลักการเบื้องต้นของแผนผัง ก้างปลา (Fishbone Diagram) คือ การกำหนดปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุในทาง ด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนผัง โดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาโดยลากเป็นเส้นก้างปลา (Sub-Bone) กับเส้นกระดูกสันหลังและทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแต่ละปัจจัยและกำหนดลงในแผนผัง ซึ่งสาเหตุหลักสามารถแบ่งย่อยลงได้อีกในระดับของสาเหตุย่อยของสาเหตุหลักที่ทำให้ส่งผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อได้แผนภาพที่ครบถ้วนแล้ว จะได้องค์ประกอบทั้งหมดที่เป็นสาเหตุของปัญหา แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แผนผังแสดงเหตุและผล [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ได้มีการศึกษาโดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลักดังต่อไปนี้

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้ (Discriminant Analysis)

### 2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)

Akekachai [17] ทำการศึกษาระบบตรวจสอบคุณภาพขนาดของชิ้นงานแบบอัตโนมัติในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพแบบภาพสีเทา (Gray Image Processing) เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบคุณภาพการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากชิ้นงานในส่วนของวงแหวนมีความหลากหลาย และมีความซับซ้อนของชิ้นงาน และยังนำมาแทนที่การใช้ผู้ปฏิบัติงานในการตรวจสอบ จากผลการทดลองพบว่าระบบการตรวจสอบคุณภาพแบบอัตโนมัติสามารถลดเวลา และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจสอบชิ้นงานได้มากกว่าผู้ปฏิบัติงานในการตรวจสอบ ดังนั้นการตรวจสอบชิ้นงานอัตโนมัติผ่านระบบการประมวลผลภาพนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน และสร้างความน่าเชื่อถือให้กับลูกค้าได้

Szu-Hao Huang [18] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการตรวจสอบภาพอัตโนมัติเป็นเทคนิคการประมวลผลภาพสำหรับการควบคุมคุณภาพและระบบการผลิตแบบอัตโนมัติ แนวทางการตรวจสอบด้วยแสงต่างๆในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์และจัดหมวดหมู่โดยใช้อัลกอริธึมการตรวจสอบและผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ ซึ่งอัลกอริธึมตามการมองเห็นที่ถูกนำมาใช้ในระบบการตรวจสอบด้วยภาพ ได้แก่ วิธีการฉายภาพ, วิธีการกรองข้อมูล (Filtering-Based Approaches), และวิธีการแบบผสมผสาน (Hybrid Methods) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานจริงอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์รวมถึงการผลิตและการผลิตแผ่นเวเฟอร์จอแสดงผลคริสตัลเหลวทรานซิสเตอร์ฟิล์มบางและไดโอดเปล่งแสง เพื่อปรับปรุงอัตราผลตอบแทนและลดต้นทุนการผลิต ซึ่งอุปกรณ์ตรวจสอบได้มีการใช้ในกระบวนการออกแบบ, การจัดวาง, การประดิษฐ์, กระบวนการผลิต, และกระบวนการทดสอบในสายการผลิต เพื่อให้ได้การตรวจสอบภาพอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความรู้แบบสหวิทยาการระหว่างการผลิตที่มีความแม่นยำและเทคนิคการประมวลผลภาพขั้นสูงในการออกแบบระบบใหม่ ซึ่งงานวิจัยนี้จะตรวจสอบข้อบกพร่องหลายประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบต่างๆซึ่งสามารถอ้างอิงเพื่อนำไปใช้และปรับปรุงเพิ่มเติมได้

Yuan Chao [19] ทำการศึกษาระบบการแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นส่วนย่อย ๆ เป็นเทคนิคที่สำคัญและกระบวนการที่ขาดไม่ได้ในการตรวจสอบด้วยระบบวิชั่น (Vision Inspection) บนบรรจุภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่เสียออกจากผลิตภัณฑ์ดีและระบุประเภทข้อบกพร่องด้วย เนื่องจากวิธีการแบ่งส่วนภาพหลายระดับโดยทั่วไปมีราคาแพง, ในการคำนวณและขาดความแม่นยำและเสถียรภาพ จึงได้ทำการเสนอ อัลกอริธึมการค้นหาความโน้มถ่วงแบบใหม่ (Novel Gravitational Search Algorithm: NGSA) สำหรับการแบ่งส่วนภาพหลายระดับ มีการปรับปรุงกลไกการอัปเดต (Update Mechanism: UM) และจากผลการทดลองตามเกณฑ์ Otsu หลายระดับแสดงให้เห็นว่า NGSA ที่เสนอสามารถได้รับเกณฑ์หลายระดับที่เหมาะสมที่สุด สำหรับภาพข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์ไม่มีขา (QFN) รูปลี่เหลี่ยมแบนและผลการแบ่งส่วนมีแนวโน้มดี จากความแตกต่างของ 3 คืออัลกอริทึมหิ่งห้อย (Firefly Algorithm: FA), การค้นหานกกาเหว่า (Cuckoo Search: CS) และอัลกอริธึมการค้นหาด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm: GSA) ถูกเปรียบเทียบกับวิธีการที่เสนอ ภาพประกอบเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า NGSA ที่เสนอมีประสิทธิภาพดีกว่า FA และ GSA และทำงานได้ดีเท่ากับหรือดีกว่า CS ในด้านคุณภาพ ประสิทธิภาพการคำนวณและเสถียรภาพในการทำงาน ดังนั้นจึงสามารถใช้ NGSA ร่วมกับเกณฑ์ Otsu หลายระดับได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการแบ่งส่วนภาพหลายระดับของการตรวจสอบการมองเห็นบนผลิตภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์

A. Ravishankar Rao [20] ทำการศึกษาทิศทางการวิจัยของระบบวิชันซิสเต็มถูกนำมาใช้มากขึ้นสำหรับการใช้งานที่ซับซ้อนเช่นการจำแนกประเภทและการควบคุมกระบวนการ ระบบวิชันซิสเต็มสามารถเข้าถึงข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น (สี / พื้นผิว / ความลึก) และใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่ารุ่นก่อน ๆ แม้ว่าจะมีศักยภาพที่สำคัญสำหรับการใช้งานระบบวิชันซิสเต็มที่เพิ่มขึ้น แต่ปัญหาสำคัญหลายประการที่ต้องได้รับการแก้ไขเพื่อรักษาการเติบโตในด้านการมองเห็นเครื่องจักรอุตสาหกรรม เอกสารนี้ระบุปัญหาเหล่านี้บางส่วนและทิศทางการวิจัยในอนาคตซึ่งแสดงถึงคำมั่นสัญญาในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ ทิศทางบางส่วนที่ตรวจสอบรวมถึงโหมดการถ่ายภาพที่ไร้ธรรมดาเช่นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมการจำแนกความบกพร่องของภาพการรวมสีพื้นผิวและข้อมูลความลึกและความสามารถในการกำหนดค่าของระบบการมองเห็นสำหรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการภาคสนาม

Bernard C. [21] ทำการศึกษากำหนดเครื่องหมาย (Marking) ผิดพลาดในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ (IC) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุเครื่องหมายของ IC โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์สีเทา จากทฤษฎีระบบเกรย์ (The gray theorem) กำหนดระดับที่เทาจากปัจจัยที่เลือกมาทั้งหมด โดยการเลือกระดับเชิงสัมพันธ์สีเทาสูงสุด แม้ในสถานการณ์ข้อมูลไม่ครบถ้วน ซึ่งในขั้นตอนการระบุเครื่องหมาย (Marking) สำหรับ IC ขั้นแรก ภาพจะถูกหมุนและแบ่งเป็นส่วนก่อน ขั้นตอนที่สองกำหนดเกณฑ์และใช้การทำให้บางเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณและดึงคุณสมบัติออกจากภาพที่แบ่งส่วน ในที่สุดวิธีการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์สีเทาถูกนำไปใช้เพื่อตรวจสอบเครื่องหมาย IC อัตราการระบุถึง 97.5% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบเดิมมีข้อดีสามประการในการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเทา: 1) ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก 2) ไม่จำเป็นต้องมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายข้อมูลทางสถิติที่เฉพาะเจาะจง และ 3) ไม่มีข้อกำหนดสำหรับความเป็นอิสระของปัจจัยที่จะต้องพิจารณา เป็นวิธีการที่ง่ายและใช้ได้จริงในด้านการตรวจสอบเครื่องหมาย IC

Te-Hsiu Sun [22] ทำการศึกษาวิทัศน์จักรกลสำหรับตรวจสอบด้วยภาพ (Machine vision) เป็นเครื่องมือที่สำหรับการตรวจสอบชิ้นส่วนอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สิ่งทอ, แผงวงจรพิมพ์, ส่วนประกอบไฟฟ้า, ฉลาก, วงจรรวม (IC) และเครื่องมือกล โดยเสนอระบบที่ประกอบไปด้วย 3 ระบบย่อย ซึ่งจะตรวจสอบพื้นผิวด้านบน, ด้านข้าง, ด้านล่างของหน้าสัมผัสไฟฟ้า (electric contact) เพื่อหาความแตกต่างของข้อบกพร่อง โดยระบบได้รับภาพดิจิทัลจากสามมุมมองและจำแนกข้อบกพร่องของพื้นผิวรวมถึงรอยร้าว, รอยแตกและรอยขีดข่วน สำหรับแต่ละมุมมอง จึงต้องการที่จะพัฒนาวิธีการก่อนการประมวลผลภาพและการแยกคุณลักษณะที่แตกต่างกันเพื่อปรับปรุงและตรวจจับข้อบกพร่องของพื้นผิว ระบบที่นำเสนอถูกนำไปใช้และตรวจสอบโดยใช้ 229 ตัวอย่างที่เก็บรวบรวมจากสายการผลิต หน้าสัมผัสไฟฟ้า (Electric contact : EC) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการระบุข้อบกพร่องของ EC

Boonlert และคณะ [23] ทำการทำการงานการจับชิ้นงานของแขนกลโดยนำการมองเห็นอัตโนมัติ (Vision) มาใช้ในการหยิบชิ้นงานให้แม่นยำยิ่งขึ้นและลดความเสียหายของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากแขนกลหยิบชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่ง ซึ่งเป็นการหยิบชิ้นงานที่มีความร้อนสูงจากกระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากผลการทดสอบความแม่นยำในการหยิบชิ้นงานของแขนกลที่พัฒนาขึ้น สามารถหยิบชิ้นงานขนาด 1.5x18 ซม. ใช้กล้องเลนส์โฟกัส 50 มม. ความละเอียด 5 ล้านพิกเซล ได้อย่างแม่นยำ มีค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสูงสุด 0.11 % และผลจากการประเมินวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง สำหรับการออกแบบแขนกลจับชิ้นงานที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นในครั้งต่อไป ทำให้ผู้ออกแบบสามารถค้นหาจุดบกพร่องในการออกแบบและเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิต อันจะทำให้แขนกลที่ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดความเสียหายของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิดจากการจับชิ้นงาน เพิ่มผลผลิต และลดเวลาในการทำงานได้ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ และยังสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแขนกลจับชิ้นงานเชิงการมองเห็นอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคตได้

Luo Q และคณะ ค.ศ. 2016 [24] ได้ศึกษาการนำวิทัศน์ซิสเต็ม (Vision System) มาใช้ในการตรวจพื้นผิวของเหล็ก โดยพบว่าปัญหาหลักในการใช้เทคนิควิทัศน์ซิสเต็มสำหรับการตรวจสอบพื้นผิวเหล็กคือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพขนาดใหญ่ที่ได้รับแสงไม่สม่ำเสมอ จึงได้ทำการพัฒนาพัฒนาโมดูลและระบบ AOI สำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องของเหล็กแผ่นรีดร้อน โดยขั้นแรกพัฒนาโทโพลยีระบบเครือข่ายอย่างละเอียดให้สอดคล้องตามเป้าหมายการออกแบบเหล็ก การจัดแสง และรูปแบบข้อบกพร่องทั่วไปเช่นกัน อย่างไรก็ตาม วิธีการปรับปรุงภาพได้รับการออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาแสงที่ไม่สม่ำเสมอ การเปิดรับแสงมากเกินไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือแสงน้อยเกินไป อย่างไรก็ตาม อัลกอริธึมการตรวจจับข้อบกพร่องได้รับการพัฒนาตามความแปรปรวน เอนโทรปี และการไล่ระดับสีเฉลี่ยที่ได้จากบล็อกขนาด 32x32 พิกเซลที่ไม่ทับซ้อนกันของรูปภาพพื้นผิวเหล็ก อย่างไรก็ตาม อัลกอริธึมที่เสนอถูกนำไปใช้กับ FPGA แบบคู่ขนานเพื่อปรับปรุงความเร็วในการตรวจสอบ ในที่สุด 18,071 ภาพที่ต่อเนื่องกัน (4096 1024 พิกเซล) ที่ได้มาจากม้วนเหล็กที่ชำรุด 7 ชั้นได้รับการตรวจสอบโดยระบบ AOI ที่รับรู้เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เสนอนั้นรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการใช้งานจริงในการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน โดยมีความแม่นยำเฉลี่ย 92.11% ในขณะที่อัตราการลบลอมนอยู่ที่ 5.4%

Thanasarn N. ค.ศ. 2017 [25] การตรวจสอบคุณภาพหมึกเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปหมึก จากการศึกษาพบว่า ปัญหาในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพคือการขาดแคลนแรงงานและความถูกต้องในการตรวจสอบ ดังนั้นผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจสอบคุณภาพภายนอกของหมึกด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพโดยจำแนกระดับคุณภาพหมึก 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกการจำแนกหมึกเสียออกทั้งหมด และขั้นตอนที่สองคือจำแนกระดับคุณภาพของหมึกด้วยเทคนิคพีซีซีเอ ซึ่งผลลัพธ์พบว่าจากการตรวจสอบมีความถูกต้อง 96.15% เมื่อเปรียบเทียบกับตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีความถูกต้องมากกว่าการตรวจสอบคุณภาพ

Kootbunmee A. ค.ศ. 2015 [26] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุมแสงจากภายนอก โดยนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องและกำหนดตัวแปรได้แก่ การเลือกตำแหน่งการติดตั้ง ระดับมุมมอง ความสว่าง เลนส์ขยายภาพ และวัสดุ 3 ประเภทได้แก่ โลหะ พลาสติก และกระดาษ โดยจากการศึกษาพบว่าวัสดุประเภทกระดาษเป็นวัสดุที่สามารถตรวจจับได้ง่าย และมีผลกระทบต่อความสว่างน้อยที่สุด

## 2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้ (Discriminant Analysis)

Mesut T. และคณะ [27] ทำการศึกษามะเร็งต่อมน้ำนมที่แพร่กระจายซึ่งบุกรุกเนื้อเยื่อเต้านมโดยการทำลายช่องน้ำนมเป็นมะเร็งเต้านมชนิดที่พบบ่อยที่สุดในผู้หญิง ประมาณ 80% ของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมมีมะเร็งต่อมน้ำนมและประมาณ 66.6% ของผู้ป่วยเหล่านี้มีอายุมากกว่า 55 ปี สถานการณ์นี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพระหว่างประเภทของมะเร็งเต้านมและอายุของผู้หญิงที่ก้าวหน้า ในการศึกษาทำการจำแนกมะเร็งเต้านมมะเร็งต่อมน้ำนมแบบแพร่กระจายทำได้โดยใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกซึ่งเป็นสาขาย่อยของปัญญาประดิษฐ์ ในขอบเขตนี้โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Convolutional และโมเดลเครือข่ายตัวเข้ารหัสอัตโนมัติจะรวมเข้าด้วยกัน ในการทดลองชุดข้อมูลถูกสร้างขึ้นใหม่โดยการประมวลผลด้วยโมเดลตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ารหัสอัตโนมัติ มีการนำคุณสมบัติการแยกแยะที่ได้จากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ ด้วยเหตุนี้คุณลักษณะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจึงถูกกำหนดโดยใช้วิธีการถดถอยสั้นเขาและทำการจำแนกประเภทโดยใช้การวิเคราะห์จำแนกเชิงเส้น อัตราความสำเร็จที่ดีที่สุดของการจัดประเภทคือ 98.59% ดังนั้นแนวทางที่เสนอจึงสามารถยอมรับได้ว่าเป็นแบบจำลองที่ประสบความสำเร็จในการจำแนกประเภท

Jing และคณะ [28] ได้ทำการศึกษารูปแบบการขับเคลื่อนรถยนต์ในเมือง Tianjin ที่ได้มาตรฐานสำหรับการรับรองความประหยัดและการปล่อยมลพิษของยานพาหนะ และสามารถช่วยประเมินระยะทางในการขับขี่และเทคโนโลยียานยนต์ใหม่ ได้นำเทคนิคทางสถิตินั้นคือการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้เพื่อทำการพยากรณ์การจำแนกประเภทของการขับขี่ยานพาหนะที่เกิดขึ้น โดยแบ่งการขับขี่ของเมืองออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีการจราจรแออัด และกลุ่มที่มีการจราจรปกติ และทำการเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การจำแนกประเภท จากงานวิจัยนี้พบว่าทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเหมาะสมกับการวิเคราะห์เนื่องจากมีความแม่นยำสำหรับการพยากรณ์ และยังสามารถนำไปปรับใช้จริงในโลกแห่งความเป็นจริงได้ โดยสามารถวัดประสิทธิภาพของรูปแบบการขับขี่ของยานพาหนะโดยการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของรอบการขับขี่และข้อมูลการขับขี่จริง และการประเมินความประหยัดของรถยนต์ไฟฟ้าได้

Raymond และคณะ [29] ทำการศึกษาความน่าจะเป็นในธนาคารที่มีความเสี่ยงที่จะล้มเหลวในประเทศสหรัฐอเมริกาของปี ค.ศ. 2007 จนถึง ค.ศ. 2010 ซึ่งเป็นช่วงวิกฤตทางการเงินของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้เพื่อแยกแยะการตัดสินใจลงทุนในธนาคารที่มีโอกาสล้มเหลวและธนาคารที่รอดล้มเหลวออกจากกัน ผลจากการวิเคราะห์พบว่าวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนี้มีความเหมาะสมและสามารถช่วยในการพยากรณ์ความล้มเหลวของธนาคารในประเทศสหรัฐอเมริกาได้จริง

Close และคณะ [30] ได้ศึกษาคุณภาพของน้ำบาดาลในประเทศนิวซีแลนด์ เพื่อพยากรณ์หาความแตกต่างระหว่างปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำบาดาลในสองภูมิภาคในประเทศนิวซีแลนด์ เพื่อช่วยปรับปรุงการทำนายเชิงพื้นที่ของเขตน้ำบาดาลที่ลดลง ดังนั้นเมื่อรวมกับเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดิน จะช่วยปรับปรุงค่าประมาณการของดีไนทริฟิเคชัน โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของดินโดยการเก็บข้อมูลจากบ่อบาดาลบ่อต่างๆในเมืองของประเทศนิวซีแลนด์ สำหรับสร้างสมการจำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์คุณภาพน้ำบาดาลก่อนจะทำการขุดเจาะโดยพบว่าสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้นั้นมีความแม่นยำในการทำนายสูงและเหมาะสมต่อการใช้งานโดยตัวชี้วัดคุณภาพน้ำบาดาลคือ การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำบาดาล

D'Archivio และคณะ [31] และคณะทำการศึกษาการจัดหมวดหมู่ของหญ้าฝรั่น (saffron) ทางภูมิศาสตร์โดยใช้สเปกโทรสโกปีที่มองเห็นได้ด้วยรังสียูวี ซึ่งนำมาใช้สำหรับการจัดระดับคุณภาพตามมาตรฐานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISO 3632 ทำการตรวจสอบหญ้าฝรั่น 81 ตัวอย่างที่ผลิตใน L'Aquila, Città della Pieve, Cascia และ Sardinia (อิตาลี) และสินค้าเชิงพาณิชย์ที่ซื้อในซูเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ ใช้การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบหลักเชิงสำรวจกับสเปกตรัม UV-VIS ของสารสกัดจากหญ้าฝรั่น เผยให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนของตัวอย่างที่อยู่ในหมวดหมู่คุณภาพที่แตกต่างกัน แต่มีการแยกที่ไม่ดีตามแหล่งกำเนิดทางภูมิศาสตร์ของหญ้าฝรั่น ในทางกลับกันการวิเคราะห์จำแนกเชิงเส้นโดยใช้ค่าการดูดกลืนปริมาณแสงที่เลือกไว้ 8 ค่าซึ่งมีความเข้มข้นใกล้ 279, 305 และ 328 นาโนเมตร ทำให้หญ้าฝรั่นที่มาจากแหล่งต่างๆมีความแตกต่างกันได้ดี ภายใต้เงื่อนไขการตรวจสอบที่เข้มงวด (30% และ 50% ของตัวอย่างหญ้าฝรั่นในชุดการประเมิน) การคาดการณ์ที่ถูกต้องคือ 85 และ 83% ตามลำดับ

M.Z. ABDULLAH และคณะ [32] คุณลักษณะด้านคุณภาพของปาล์มน้ำมัน Elgaeis Guineensis ธรรมชาติถูกหาปริมาณโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์วิทัศน์ เพื่อตรวจสอบและให้คะแนนพวงผลปาล์มน้ำมันสดด้วยระบบการผลิတ်อัตโนมัติ คุณลักษณะที่พิจารณาคือสี และเกณฑ์การตรวจสอบเป็นไปตามสถาบันวิจัยน้ำมันปาล์มแห่งมาเลเซีย มีการสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำมันและสีในโดเมน HSI (ฮิว ความอิ่มตัว และความเข้ม) สำหรับการกำหนดความสุก การวิเคราะห์ภาพโดยใช้ Wilk's A และการวิเคราะห์การเลือกปฏิบัติได้รับการพัฒนาเพื่อตรวจสอบปาล์มน้ำมันตามประเภทหลักสี่ประเภท ได้แก่ ที่ไม่สุก ส่วนที่ยังไม่สุก ส่วนที่สุก และส่วนที่เกิน มีการตรวจสอบตัวอย่างมากกว่า 400 ตัวอย่าง ซึ่งระบบการมองเห็นสามารถจำแนกปาล์มน้ำมันได้อย่างถูกต้องในอัตราความสำเร็จมากกว่า 90% การวิเคราะห์สีได้รับผลกระทบในทางลบจากปาล์มน้ำมันซึ่งมีคะแนนการจำแนกประเภทอยู่ใกล้ขอบเขตการเลือกปฏิบัติ และทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการจัดประเภทผิด อย่างไรก็ตาม อัตราการจำแนกประเภทผิดของระบบการมองเห็นนั้นต่ำกว่าอย่างสม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ตรวจสอบที่เป็นมนุษย์ ซึ่งหมายความว่าระบบการตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพที่ดีในการช่วยเหลือมนุษย์ในการคัดเกรดปาล์มน้ำมันแบบอัตโนมัติ

V. Saeheir [33] ได้ทำการศึกษาปัญหาการเสีรูปร่างของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีเป็นกระบวนการป้องกันการเกิดสนิมในโครงสร้างเหล็ก จึงได้นำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยมีตัวแปรอิสระที่มีผลทำให้แผ่นเหล็กกล้าเสีรูปร่าง คือตำแหน่งการเชื่อมของเหล็กแท่งสำหรับเสริมโครงสร้างความแข็งแรง, ขนาดความหนาของแผ่นเหล็ก และขนาดความหนาของเหล็กแท่งสำหรับเสริมโครงสร้าง ผลวิจัยพบว่าสมการจำแนกประเภทมีประสิทธิภาพการพยากรณ์ 92% และหลังจากการนำไปประยุกต์ใช้พบว่าของเสียจากปัญหาการเสีรูปร่างของแผ่นเหล็กลดลง จึงทำให้สามารถเพิ่มผลกำไรได้ 60.9 % เมื่อคิดเป็นตัวเงินได้ผลกำไร 3,147,356.94 บาทต่อเดือน

N. Promnang [34] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกกลุ่มในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสำเร็จการศึกษาภายในสองปีและมากกว่าสองปีการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังของทุกสาขาวิชาและทุกหลักสูตรที่จบในปีการศึกษา 2557-2561 ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยลอจิสติกทวิภาคและการวิเคราะห์จำแนกประเภท ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าวิธีการจำแนกประเภทมีร้อยละการจำแนกกลุ่มมีความถูกต้องสูงกว่าวิธีการถดถอยลอจิสติกทวิภาค โดยมีร้อยละการจำแนกกลุ่มเฉลี่ย 94.74, 87.50 และ 89.55 ตามลำดับ โดยมีตัวแปรอิสระจำนวน 5 ตัว ที่มีผลต่อการสำเร็จการศึกษาในคณะวิทยาศาสตร์คือ คณะที่จบ การศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต ระยะเวลาการศึกษาในระดับปริญญาโทบัณฑิต ลักษณะการมาศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต การรับรู้ความสามารถทางการวิจัยของนักศึกษา และสัมพันธ์ภาพระหว่างอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์กับนักศึกษา

N. Suwannasang และคณะ [35] ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกกลุ่มผลการเรียนสูงและผลการเรียนต่ำของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร จำนวน 18,179 คน โดยสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลการเรียนต่ำ (เกรด 0 1 และ 1.5) และกลุ่มผลการเรียนสูง (เกรด 3 3.5 และ 4) จำนวน 392 คน และเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม และนำข้อมูลวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (Discriminant analysis) ผลวิจัยพบว่า กลุ่มผลการเรียนสูงมีเจตคติต่อการเรียนวิชาภาษาอังกฤษ ความสัมพันธ์กับเพื่อน ครอบครัว บรรยากาศการเรียนรู้ และพฤติกรรมการเรียนสูงการกลุ่มผลการเรียนต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยตัวแปรที่มีน้ำหนักสูงสุดในฟังก์ชันการแบ่งกลุ่ม คือ พฤติกรรมการเรียน

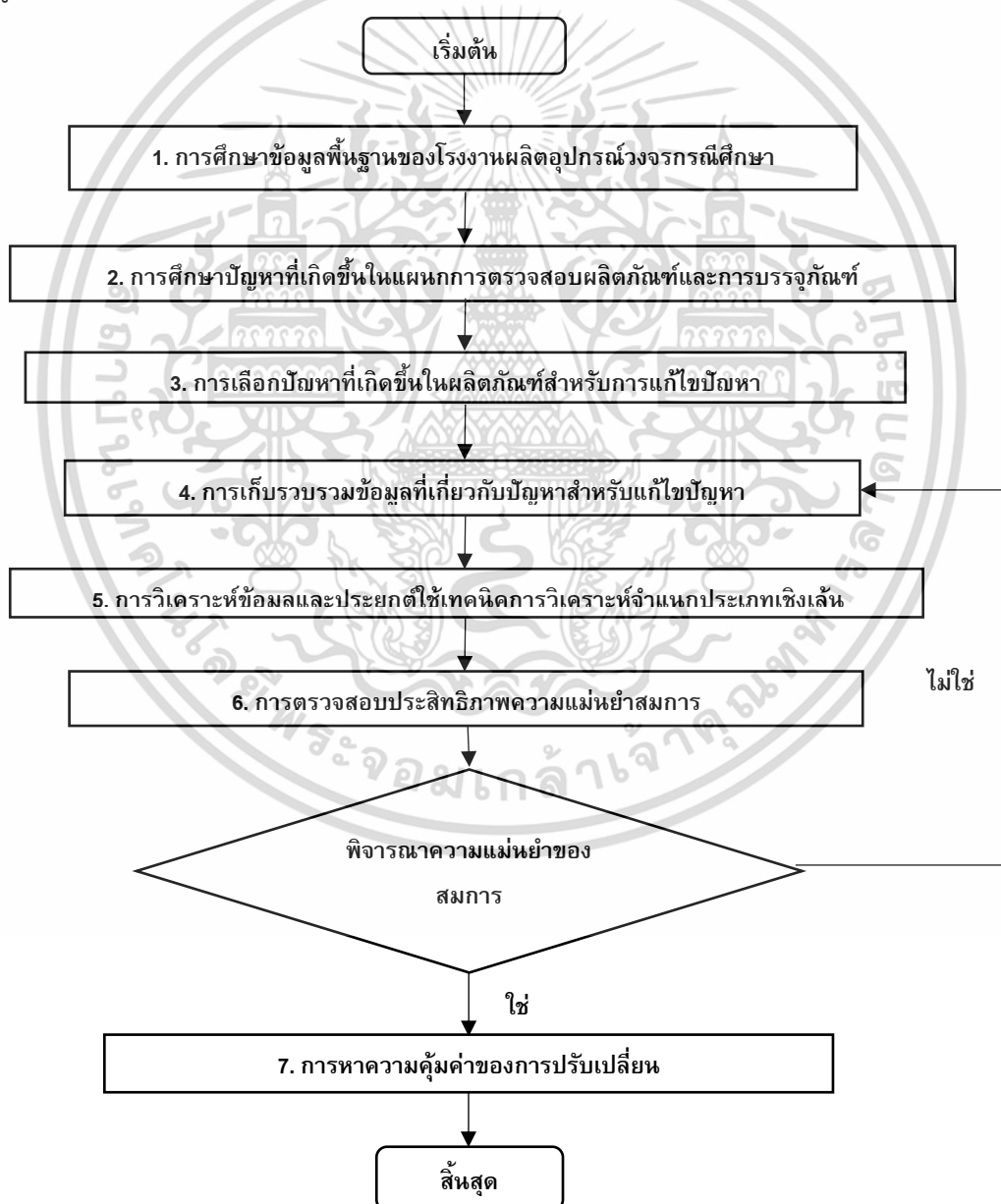
T. Moghaddam และคณะ [36] ทำการศึกษาคุณลักษณะของแยมผิวส้มดำในผู้ตอบแบบสอบถาม โดยใช้ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง 180 ข้อมูล นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการจำแนกประเภท โดยศึกษาคุณลักษณะประสาทสัมผัสของแยมผิวส้มดำ ได้แก่ สี รส ความแน่น ความเหนียว และการแผ่ออกได้เป็นลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่แผ่ออกได้ จากการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้ พบว่า มีประสิทธิภาพการพยากรณ์ 89% ดังนั้น ลักษณะของสี ความสม่ำเสมอ รสชาติ ความแข็ง และความสามารถในการการแผ่ออกได้เป็นลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่แผ่ออกได้ มีผลในเชิงบวกและมีนัยสำคัญต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยผู้ตอบแบบสอบถาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่องตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม เพื่อเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบน้อยที่สุด ด้วยวิธีการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1 กระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ใน โรงงานผลิตอุปกรณ์วงจรรวม กรณีศึกษา

สำหรับกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมในโรงงานผลิตวงจรรวมที่โรงงานกรณีศึกษา จะมีการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) โดยนำเทคนิคการตรวจสอบด้วยภาพเข้ามาช่วยในการตรวจสอบข้อบกพร่องของชิ้นงานแบบอัตโนมัติ โดยเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing machine) แสดงดังรูปที่ 3.2

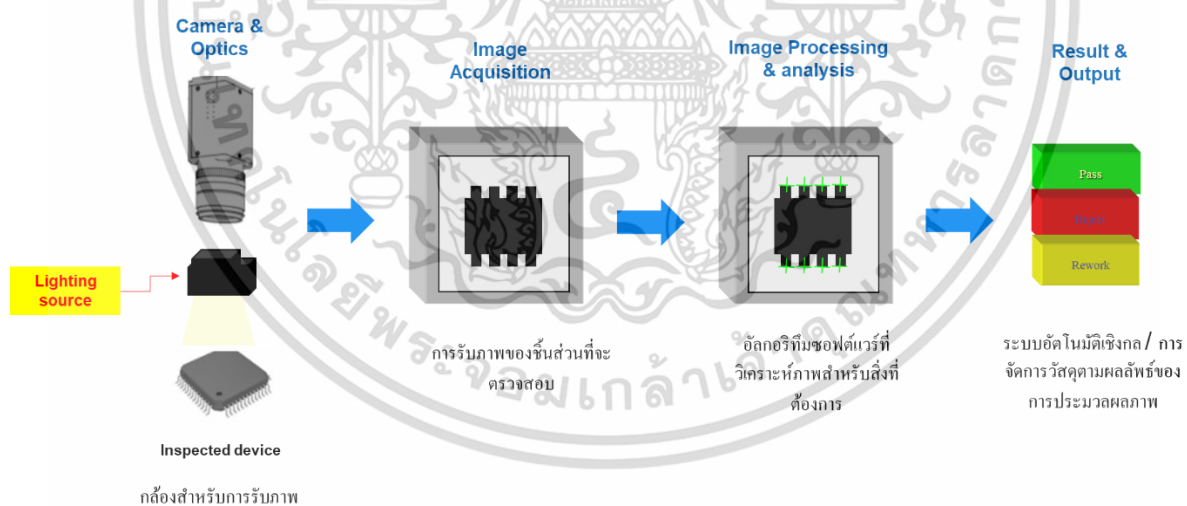


รูปที่ 3.2 เครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine)

สำหรับหลักการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์คือ เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกโหลดเข้าเครื่องจักร จะถูกป้อนเข้าไปในราง (Track) จากนั้นเคลื่อนไปข้างหน้าไปยังสถานีหัวรับตัวงาน ที่สถานีรับหัวรับตัวงานจะหยิบตัวงานขึ้นมาทีละตัวจากนั้นเคลื่อนเข้าสู่สถานีการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย (Mark Inspection) หลังจากนั้นตัวงานจะถูกเคลื่อนย้ายไปยังสถานีตรวจสอบขนาด (3D Lead Inspection) ในกรณีผลการตรวจสอบคือ “ไม่ผ่าน” ตัวงานจะถูกคัดแยกและถูกย้ายไปที่สถานีท้อคัดแยก (Reject Bin) หากผลการตรวจสอบ “ผ่าน” ตัวงานจะถูกเคลื่อนที่ไปยังการตรวจสอบพื้นผิวด้านล่าง (Bottom Inspection) ในกรณีผลการตรวจสอบคือ “ไม่ผ่าน” ตัวงานจะถูกคัดแยกและถูกย้ายไปที่สถานีท้อคัดแยก (Reject Bin) หากผลการตรวจสอบ “ผ่าน” ตัวงานจะถูกเคลื่อนที่ไปยังการตรวจสอบหลังจากวางลงบรรจุภัณฑ์ (In-Tape Inspection) จะมีการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายและขนาดอีกครั้ง ถ้าหากผลการตรวจสอบ “ไม่ผ่าน” เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกคัดแยกไปยังท่อคัดแยกด้วยแขน แล้วแขนกลจะหยิบงานตัวใหม่แทนที่ อย่างไรก็ตามหากผลการตรวจสอบ “ผ่าน” ตัวงานที่ดีจะถูกใส่ลงในบรรจุภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์จะถูกย้ายไปที่กระบวนการปิดผนึก (Sealing Inspection) และจะมีการตรวจสอบคุณภาพของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์เพื่อเตรียมจัดส่ง

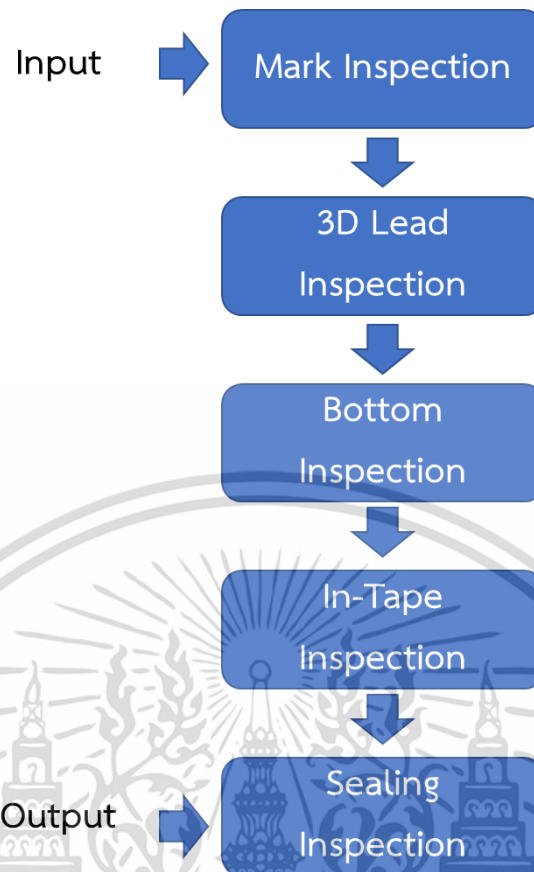
โดยการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) จะประกอบไปด้วยกล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ และแหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่าง เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบการตรวจจับด้วยภาพ ความสว่างมีผลต่อเครื่องมือมากที่สุดสำหรับการทำให้เกิดความแตกต่างเพื่อนำไปขยายให้เห็นถึงลักษณะที่น่าสนใจ เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของภาพ การปรับคุณภาพความสว่างมีความจำเป็นก่อนที่จะทำการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมตรวจสอบด้วยภาพอัตโนมัติ เพื่อให้ภาพที่ถ่ายได้ใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นวิชชันซิสเต็มส์ต้องการแสงสว่างในการทำงาน และสามารถปรับแต่งค่าที่เหมาะสม จากนั้นภาพที่ถ่ายได้จะถูกนำมาประมวลผลด้วยอัลกอริทึมที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพที่บันทึกได้ โดยหลักการของ การประมวลผลภาพ (Image Processing) และส่งการผ่านฮาร์ดแวร์ให้สร้างสัญญาณ ผ่านหรือไม่ผ่าน วัตถุชิ้นนั้น โดยการวิเคราะห์รูปภาพของหน่วยประมวลผลและทำการกำหนดเกี่ยวกับรูปภาพขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์การกำหนดของผู้ใช้ โดยส่วนประกอบของระบบการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของระบบการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System)

โดยระบบการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) ของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ จะมีการตรวจสอบจุดบกพร่องของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 5 สถานี โดยรายละเอียดการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แต่ละสถานีสามารถอธิบายได้ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การดำเนินการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติบนเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์

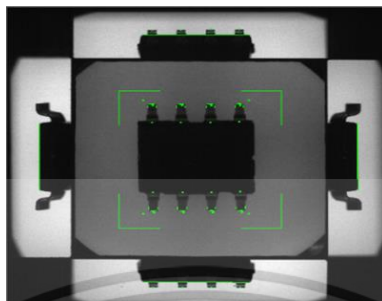
3.1.1 การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย (Marking Inspection) เพื่อตรวจสอบจุดบกพร่องด้านบนของผลิตภัณฑ์ เช่น ตรวจอักษรเครื่องหมาย, รอยขีดข่วน, รอยแตก, รุพารุ่น, สิ่งปนเปื้อน ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย

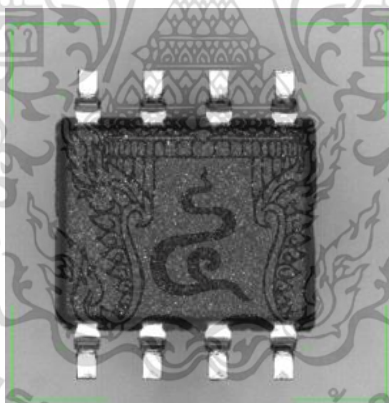
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การตรวจสอบขนาดของขางาน (3D Lead Inspection) เป็นการตรวจสอบคุณภาพของขางาน (Lead) ว่าได้ตามข้อกำหนดหรือไม่ เช่น ความกว้าง, ความยาว, วัสดุรูปร่างขางาน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การตรวจสอบขนาดของขางาน

3.1.3 การตรวจสอบพื้นผิวด้านล่างผลิตภัณฑ์ (Bottom Inspection) เป็นการตรวจสอบข้อบกพร่องของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ด้านล่าง เช่น รอยขีดข่วน, รอยแตก, รูพรุน, สิ่งปนเปื้อน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การตรวจสอบพื้นผิวด้านล่างผลิตภัณฑ์

3.1.4 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ (In-Tape Inspection) เป็นการตรวจสอบผลิตภัณฑ์หลังจากที่ลงบรรจุภัณฑ์ไปแล้ว เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ไม่มีข้อบกพร่อง โดยจะทำงานตรวจสอบ ขนาดของขางาน (Lead), คุณภาพเครื่องหมายตัวอักษร (Marking), ทิศทางของผลิตภัณฑ์ (Orientation) แสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์

3.1.5 การตรวจสอบการปิดผนึกของวัสดุบรรจุภัณฑ์ (Sealing Inspection) เป็นการตรวจสอบคุณภาพของรอยปิดผนึกให้ได้ตามข้อกำหนด ก็คือ เทปติดติดพลาสติกการจัดตำแหน่ง, ความกว้างของรอยปิดผนึก ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การตรวจสอบการปิดผนึกของวัสดุบรรจุภัณฑ์

## 3.2 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจร

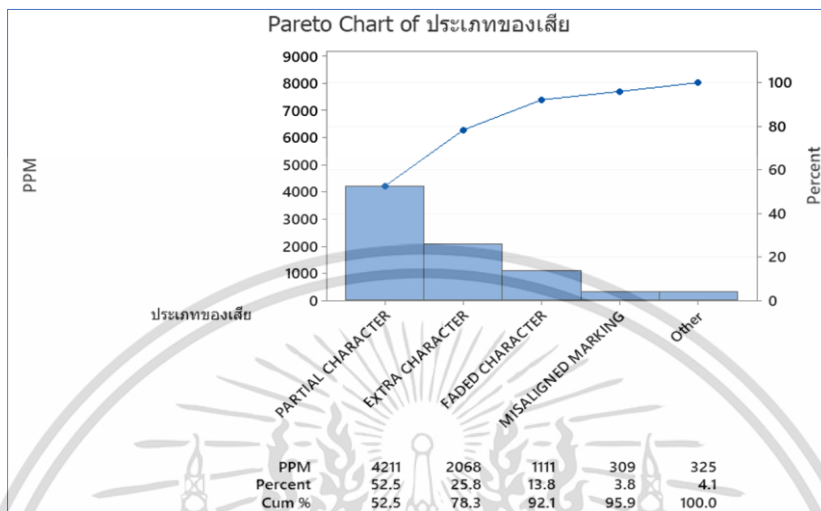
### รวม

3.2.1 การวิเคราะห์สภาพปัญหาของกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลการเกิดของเสียในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมบนผลิตภัณฑ์ SO8-12 ในช่วงเดือนมิถุนายน 2563 ถึง ธันวาคม 2563 ของโรงงานการศึกษา โดยเริ่มต้นจากการศึกษาใบรายงานผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (Nonconformance Report) ที่มาจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจจับและบันทึกจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QA) โดยนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโต แสดง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภูมิพาเรโตแสดงอาการของของเสียจากเครื่องจักรที่เกิดจากการบันทึกในใบรายงานผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

จากแผนภูมิพาเรโตข้อมูล PPM ของอาการของเสียจากเครื่องจักรที่เกิดจากการบันทึกในใบรายงานผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธผสมรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับ เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Under Reject ที่มาจากปัญหา Partial Character Extra Character Faded Character และ Misalignment Mark ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผิดพลาดจากสถานีการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายมากที่สุดเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกศึกษากระบวนการตรวจสอบในสถานีการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย (Mark Inspection) ที่มาจากเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากพบของเสียที่มาจาก การตรวจสอบผิดพลาดของการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายมากที่สุด

เมื่อทำการเก็บข้อมูลอัตราผลผลิตของเครื่องจักรในส่วนของสถานีการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย (Mark Inspection) 2563 พบว่าอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ยอยู่ที่ 91.0% ซึ่งพบว่ามีอัตราผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธเฉลี่ย (Reject Rate) อยู่ที่ 9.0% โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธจริง (Actual Reject) อยู่ที่ 3.2 % และมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับผสมไปในผลผลิตที่ถูกปฏิเสธด้วยถึง 5.8 % (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Over Reject) โดยในกลุ่มผลิตภัณฑ์อัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับ พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับถึง 4.0% (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Under Reject) ดังนั้นจำนวนเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบแสดงไว้ดังในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย

จากการวิเคราะห์ลักษณะผลิตภัณฑ์ในส่วนของคุณสมบัติของอัตราผลผลิตที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายจะมีประเภทของการเกิดความสูญเสีย 2 กรณี ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject) จากข้อมูลที่ทำกรเก็บมาเมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าเป็นการตรวจสอบผิดพลาดแบบที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์เท่ากับ 5.8% ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.12 ที่ระบบประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรตัดสินใจเป็นงานเสียที่ตัวอักษรเลข 4 โดยแท้จริงแล้วเป็นงานดีเนื่องจากสามารถอ่านตัวอักษร (Marking) ได้



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธแบบ Marking

2. ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) เมื่อทำการวิเคราะห์ชิ้นงานผลิตภัณฑ์พบว่า เป็นการตรวจสอบผิดพลาดแบบที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ (Marking) ที่ระบบประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรตัดสินใจเป็นงานดีที่มีรอยขีดข่วนบนตัวอักษรเครื่องหมาย โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท้จริงแล้วเป็นงานเสีย เนื่องจากไม่สามารถอ่านตัวอักษร (Marking) ได้ และยังทำให้มีผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐานส่งไปถึงลูกค้าถึง 4.0% แสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.13

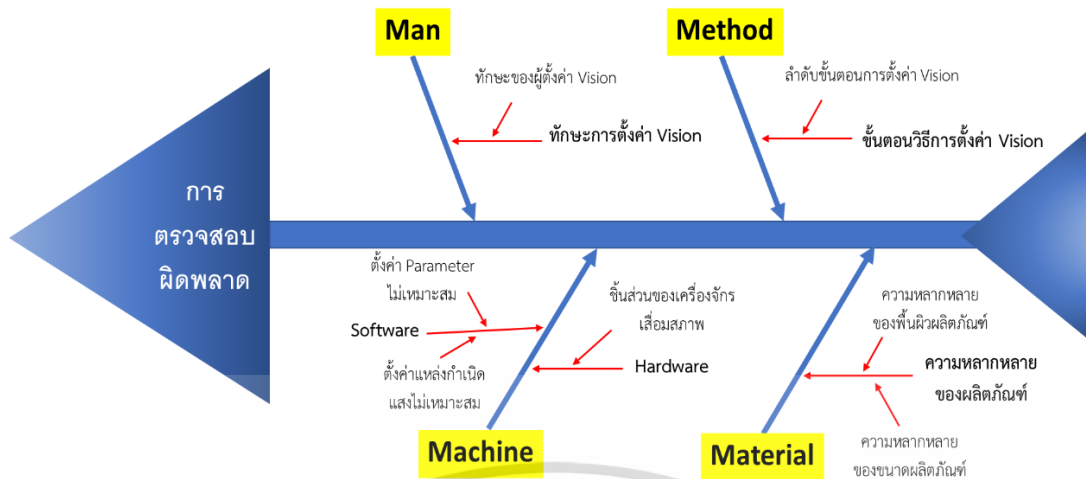


รูปที่ 3.13 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับแบบ Marking

3.2.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์วงจรรวม (Root cause Analysis)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์วงจรรวมในปัจจุบัน เพื่อให้ทราบว่าปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ของบริษัท กรณีศึกษา มีปัญหาที่แท้จริงอะไรบ้าง เพื่อนำมาเป็นส่วนหนึ่งในการหาแนวทางการแก้ไขปรับปรุงในเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุของปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักร ซึ่งผู้วิจัยกำหนดการหาสาเหตุของปัญหาประกอบไปด้วย คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) วิธีการดำเนินงาน (Method) หลังจากผู้วิจัยได้ระดมความคิดร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเครื่องจักรจึงได้แผนผังสาเหตุและผลที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์วงจรรวม ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนผังสาเหตุและผลที่แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

### 3.2.3 การวิเคราะห์การเรียงลำดับปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโต (Pareto Chart)

หลังจากทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่มีผลต่อการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ด้วย Parato Chart ข้อมูล PPM ของปัญหาที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ไปจัดลำดับความสำคัญตามหลักพาเรโต ได้แก่ แหล่งกำเนิดแสงไม่เหมาะสม Parameter ไม่เหมาะสม ความหลากหลายของตัวอักษร ลำดับขั้นตอนการตั้งค่า และความหลากหลายของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการคัดเลือกและพิจารณาสาเหตุสำคัญที่ควรแก้ไขในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม

## 3.3 การวิเคราะห์จำแนกประเภท

### 3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไขปัญหาการตรวจสอบผิดพลาด

หลังจากได้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลทำให้การตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์วงจรรวมต่อผลิตภัณฑ์นั้นก็คือการปรับแหล่งกำเนิดแสงของระบบการประมวลผลด้วยภาพภายในเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ คือ 1) แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 16 ถึง 26 เฟอร์เซ็นต์ 2) แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light สามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 10 ถึง 20 เฟอร์เซ็นต์ และ 3) แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 12 ถึง 20 เฟอร์เซ็นต์ โดยแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งนี้จะถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในขั้นตอนการสร้างสมการการจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทต่อไป แล้วทำการเก็บข้อมูลโดยการปรับค่าปัจจัยทุกตัวที่เป็นผลทำให้เกิดปัญหา โดยเกณฑ์ในการตัดสินผลิตภัณฑ์ที่โรงงานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาที่ยอมรับได้และยอมรับไม่ได้ตามเกณฑ์คุณภาพของลูกค้ำ โดยต้องอ่านค่าความคมชัดของตัวอักษร เครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ได้ที่ระดับ 80 - 150 gray scale ถ้าน้อยกว่า 80 gray scale และมากกว่า 150 gray scale ถือว่าไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของลูกค้ำ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลดังกล่าวเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทฤษฎี การวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับสร้างสมการจำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษร เครื่องหมายของผลิตภัณฑ์

### 3.3.2 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท

จากการเก็บข้อมูลปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนต่อไปคือการนำข้อมูลปัจจัยข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์นั้นก็คือ แหล่งกำเนิดแสง เราจะเรียกว่าตัวแปรอิสระ ( $x$ ) และค่าความคมชัดของเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์คือตัวแปรตอบสนองนั้น เราจะเรียกว่าตัวแปรตาม ( $Y$ ) โดยในขั้นตอนการเก็บข้อมูล การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 180 ชุด ข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือชุดที่ 1 ข้อมูลสำหรับการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจำนวน 70% ของข้อมูลที่เก็บทั้งหมด ประกอบด้วย 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ และชุดที่ 2 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ และชุดที่ 2 ที่เหลือ 30% ของข้อมูลที่เก็บทั้งหมด เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้ และสำหรับขั้นตอนการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลคือดังนี้

1. ชุดข้อมูลที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์
2. ชุดข้อมูลที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์
3. ชุดข้อมูลทั้งหมด (ชุดข้อมูลที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่าน

เกณฑ์)

### 3.3.3 การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของข้อมูลเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

จากข้อมูลทำการเก็บมานั้น นำข้อมูลมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูล ตามข้อกำหนดเบื้องต้น 4 ข้อ ก่อนนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการตรวจสอบมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ โดยนำข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปร ของทั้ง 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ มาทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสถิติแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิ่ง (Anderson-Darling)
- 2) การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม ข้อมูล ด้วยสถิติวิธี Box's M Test โดยการทดสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้มีการตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2 ; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มเท่ากัน}$$

$$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2 ; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มไม่เท่ากัน}$$

- 3) การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน
- 4) การตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน

### 3.3.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ เมื่อทำการตั้งค่าระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง (ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้) จะส่งผลให้ระบบการประมวลผลด้วยภาพตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบถูกยอมรับ หรือถูกปฏิเสธ ในการทดสอบจะนำเข้าข้อมูลกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มข้อมูล 30 % ข้อมูลที่เก็บทั้งหมด โดยนำข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ใส่ลงไปในสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นเพื่อตรวจสอบตัวแปรตามที่ได้ว่ามีความถูกต้องในการพยากรณ์มากน้อยเพียงใด

## 3.4 การวิเคราะห์และการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไข้ปัญหา

ขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลและนำระดับพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สมการจำแนกประเภทในการนำมาพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมที่ได้ไปปรับใช้จริงในการตั้งค่าเครื่องจักร เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาให้ความสำคัญในด้านการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า นั่นคืออัตราผลผลิตที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) และทำการเก็บข้อมูลเพื่อมาประเมินประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภท โดยมีรายละเอียดการวางแผนนำไปปรับใช้จริง แสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.4.1 ดำเนินการเลือกเครื่องจักร และกำหนดชิ้นงานที่นำมาตรวจสอบให้เป็นผลิตภัณฑ์เดียวกัน
- 3.4.2 ตั้งค่า Parameter แต่ละปัจจัยของเครื่องจักรที่ใช้ก่อนการปรับใช้ และทำการเก็บข้อมูล โดยมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง
- 3.4.3 ตั้งค่า Parameter แต่ละปัจจัยของเครื่องจักรที่ได้จากสมการจำแนกประเภท และทำการเก็บข้อมูล โดยมีการทำซ้ำ 3 ครั้ง
- 3.4.4 การทำการเปรียบเทียบเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลก่อนการปรับใช้และข้อมูลหลังการปรับใช้ และทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์

### 3.5 การสรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด และรวมไปถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ได้รับจากการศึกษาครั้งนี้ โดยขั้นตอนการสรุปผลการดำเนินงานวิจัยจะนำข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการนำสมการจำแนกประเภทเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้และข้อมูลผลการวิเคราะห์การนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา นำมาเขียนเป็นบทสรุปผลการดำเนินงานวิจัยเพื่ออธิบายและสรุปผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของระบบประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์วงจรรวมในครั้งนี้ให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยจะอธิบายถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ทั้งด้านจุดเด่นและจุดด้อยของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจหรือผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหา สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 4

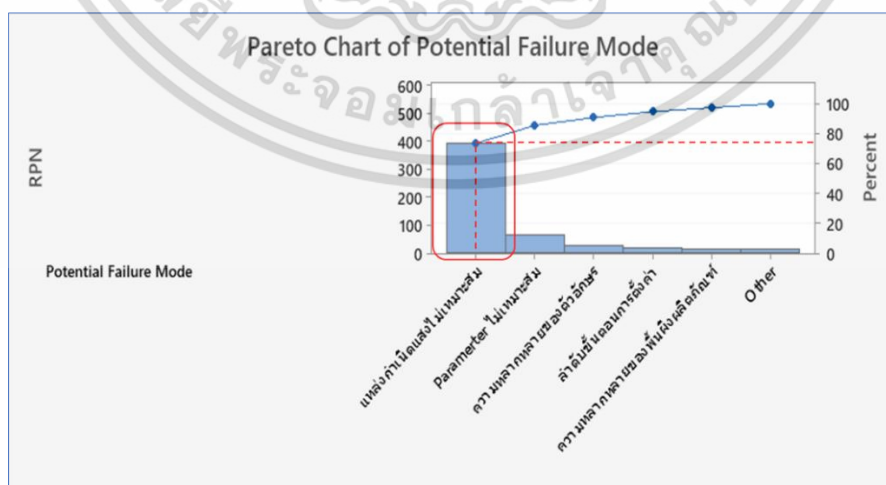
### ผลการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ที่ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่างๆ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ และทำการบันทึกผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอน ดังนั้นรายละเอียดในบทนี้แสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในบทที่ 3 สามารถแสดงรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยและผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยได้ดังนี้

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจร

##### รวม

จากการศึกษาข้อมูลการเกิดของเสียในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมบนผลิตภัณฑ์ SO8-12 ในช่วงเดือนมิถุนายน 2563 ถึง ธันวาคม 2563 ของโรงงานกรณีศึกษา โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูล PPM (Part Per Million) ของประเภทของเสียจากแผนภาพพารेट พบว่าปัญหาที่เกิดจากการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผิดพลาดจากสถานีการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย (Mark Inspection) ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด และจากการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการตรวจสอบและการวิเคราะห์ความเสี่ยงของปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ได้ตั้งแผนภูมิพารेट แสดงดังรูปที่ 4.1



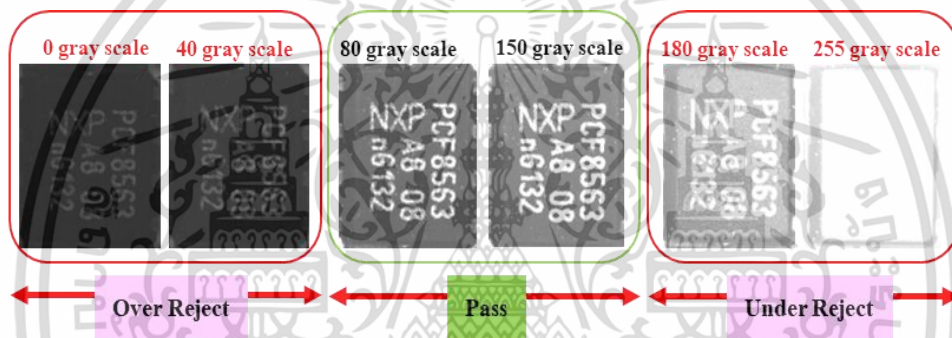
รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพพารेटสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อการตรวจสอบผิดพลาดของ

เครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพพาเรโตที่มีการเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาตามหลักพาเรโต 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าปัญหาแหล่งกำเนิดแสงไม่เหมาะสม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์วงจรรวม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาดังกล่าวมาศึกษาเพื่อแก้ปัญหากล่องตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์วงจรรวม

เมื่อทำการวิเคราะห์จากข้อมูลทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านตามเกณฑ์คุณภาพของลูกค้าย โดยปกติต้องอ่านค่าความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ได้ที่ระดับ 80–150 gray scale ถ้าอ่านค่าความคมชัดน้อยกว่า 80 gray scale ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject) และถ้าอ่านค่าความคมชัดได้มากกว่า 150 gray scale ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของลูกค้ายดังรูปที่ 4.2



**รูปที่ 4.2** ตัวอย่างภาพความคมชัดในการตรวจสอบคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมาย (Marking) แบบต่างๆ: ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject), ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) และผลิตภัณฑ์ผ่านแบบปกติ (Pass) ด้วยการประมวลผลด้วยภาพ

โดยตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ผิดพลาด คือ แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยระบบการประมวลผลด้วยภาพจากเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยมีอยู่ 3 แหล่งกำเนิดแสง คือ 1) แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light 2) แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light และ 3) แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light แหล่งนี้จะถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในขั้นตอนการสร้างสมการการจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนก โดยรายละเอียดและระดับความสว่างที่ปรับได้ของแต่ละแหล่งกำเนิดแสงมีดังนี้

4.1.1 แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light ( $X_1$ ) เป็นการฉายแสงช่วยให้เห็นพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 16 ถึง 26 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light ( $X_2$ ) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงมากทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนขึ้น สามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่มุม 10 ถึง 20 องศา

4.1.3 แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light ( $X_3$ ) เป็นแหล่งกำเนิดแสงมุมต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่มุม 12 ถึง 20 องศา

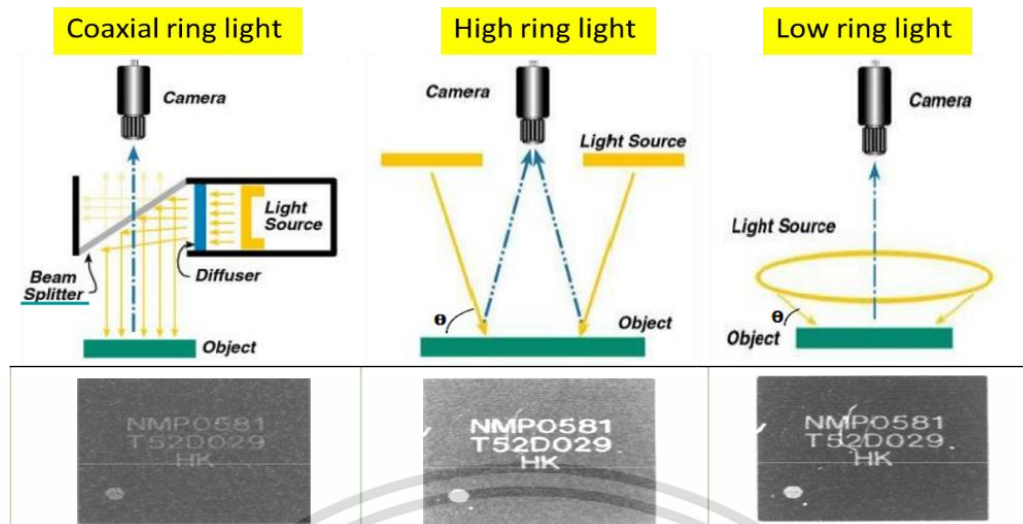
โดยทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ ( $x$ ) สามารถแสดงการแบ่งช่วงระยะของปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การแบ่งช่วงระยะของปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ข้างรวม

$X_1$	$X_2$	$X_3$
Coaxial Ring Light (เปอร์เซ็นต์)	High Ring Light (เปอร์เซ็นต์)	Low Ring Light (เปอร์เซ็นต์)
16	10	12
18	12	14
20	14	16
22	16	18
24	18	20
26	20	

ค่าความคมชัดของเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์คือตัวแปรตอบสนอง ( $Y$ ) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองในการตรวจสอบ

ผลิตพลาสติกตัวอักษรเครื่องหมายวงจรรวม

## 4.2 การวิเคราะห์จำแนกประเภท

### 4.2.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไขปัญหาการตรวจสอบผลิตพลาสติก

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 180 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือชุดข้อมูลที่ 1 ข้อมูลจำนวน 70% ของข้อมูลที่เก็บทั้งหมด และชุดที่ 2 จำนวน 30% ของข้อมูลที่เก็บทั้งหมด ดังต่อไปนี้

1. ชุดข้อมูลที่ 1 จำนวน 126 ชุดข้อมูล สำหรับการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบผลิตพลาสติกตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม ประกอบด้วย 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์จำนวน 66 ข้อมูล และกลุ่มที่ 2 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 60 ข้อมูล

2. ชุดข้อมูลที่ 2 จำนวน 54 ชุดข้อมูล สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้จากการวิเคราะห์ชุดข้อมูลที่ 1 ประกอบด้วย 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์จำนวน 25 ข้อมูล และกลุ่มที่ 2 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 29 ข้อมูล

### 4.2.2 ผลจากการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของข้อมูลเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ดำเนินการนำชุดข้อมูลที่ 1 มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูล ตามข้อกำหนดเบื้องต้น 4 ข้อ โดยผลการตรวจสอบคุณสมบัติข้อมูลพื้นฐานแสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ ด้วยสถิติแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิ่ง (Anderson-Darling) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป โดยนำข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปร ของทั้ง 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ผลที่ได้จากการตรวจสอบ พบว่าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม มีค่า P-value ของปัจจัย Coaxial Ring Light, High Ring Light และ Low Ring Light ที่ระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติแสดงดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่1 คือการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

Factor	N	Mean	Standard deviation	Average Deviation	P-value
Coaxial	66	21.400	3.118	0.575	0.130
High	66	14.970	3.419	0.502	0.200
Low	66	16.230	2.747	0.611	0.108

ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่2 คือการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

Factor	N	Mean	Standard deviation	Average Deviation	P-value
Coaxial	60	20.040	2.928	0.604	0.112
High	60	14.530	3.291	0.560	0.142
Low	60	15.480	2.862	0.615	0.105

2. การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มข้อมูล ด้วยสถิติวิธี Box's M Test ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยการทดสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้มีการตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มเท่ากัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มไม่เท่ากัน}$$

ซึ่งพิจารณาจากค่าความมีนัยสำคัญ (Sig.) ของ  $F$  แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.927 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญ จึงยอมรับ  $H_0$  นั้นหมายความว่าข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลการตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้

Box's M	1.974
F	Approx. .320
df1	6
df2	108666.169
Sig.	.927

3. การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง พบว่าค่า  $r_{x_1y}$ ,  $r_{x_2y}$  และ  $r_{x_3y}$  มีค่าเท่ากับ 0.336, 0.069 และ 0.701 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าแหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light และ Coaxial Ring Light มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากค่า  $r_{x_1y}$  และ  $r_{x_3y}$  ไม่มีค่าใกล้ 0 อย่างไรก็ตามค่า  $r_{x_2y} = 0.069$  ของค่าแหล่งกำเนิดแสง High Ring Light กับตัวแปรตอบสนอง อาจจะทำให้สามารถตัดผลกระทบของ High Ring Light ออกไปได้ แต่ในการวิจัยนี้ยังคงวิเคราะห์ผลของ High Ring Light ร่วมเข้าไปด้วยเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมผลกระทบของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งไว้

4. การตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน จากการวิเคราะห์ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นกัน พบว่าได้ค่า  $r_{x_1x_2}$ ,  $r_{x_1x_3}$  และ  $r_{x_2x_3}$  เท่ากับ -0.062, -0.014 และ -0.007 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้มีความอิสระต่อกันสูง เนื่องจาก  $r$  เข้าใกล้ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลทั้ง 4 ข้อ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลชุดที่ 1 ทั้ง 2 กลุ่มย่อย ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ข้อมูลชุดที่ 1 ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น และตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทุกตัวเป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถนำเทคนิคการจำแนกประเภทมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการจำแนกประเภทได้ โดยขั้นตอนอย่างละเอียดสำหรับการสร้างสมการพยากรณ์แสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยสมการพยากรณ์ที่ได้แสดงในสมการ 4.1

$$\hat{Y} = 0.108x_1 + 0.076x_2 + 0.549x_3 \quad (4.1)$$

จากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่าการแยกแยะ  $Y_C$  จะได้ค่าการแยกแยะ  $Y_C$  เท่ากับ 12.250 นั่นคือ ถ้าค่า  $\hat{Y} \leq Y_C = 12.250$  หมายถึง พยากรณ์ได้ว่าค่าการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีค่าน้อยกว่า 80 gray scale ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นถูกปฏิเสธ และ ถ้าค่า  $\hat{Y} > Y_C = 12.250$  หมายถึง พยากรณ์ได้ว่าค่าการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีค่ามากกว่า 80 gray scale หรืออยู่ระหว่าง 80–150 gray scale ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นถูกยอมรับ

เพื่อให้สามารถใช้ค่า  $Y_C = 12.250$  มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้ จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่มคือ ค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ และค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์ก่อนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยวิธี Hotelling  $T^2$  จากการคำนวณพบว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ของทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน นั่นทำให้สามารถใช้ค่า  $Y_C = 12.250$  มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้

### 4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการที่ (4.1) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ เมื่อทำการตั้งค่าระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง (ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้) จะส่งผลให้ระบบการประมวลผลด้วยภาพตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบ ถูกยอมรับ หรือถูกปฏิเสธ ในการทดสอบจะนำเข้าข้อมูลกลุ่มที่ 2 จำนวน 54 ข้อมูล หรือ 30% ข้อมูลที่เก็บทั้งหมด เข้าสู่สมการที่ (4.1) ผลที่ได้สามารถแสดงในตารางที่ 4.5 โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง ( $Y$ ) มีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

1.  $Y \geq 80-150$  grayscale คือค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายอยู่ในกลุ่มผ่านเกณฑ์
2.  $Y < 80$  grayscale คือค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายอยู่ในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์

ค่าการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายที่ได้จากการพยากรณ์ ( $\hat{Y}$ ) มีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

1.  $\hat{Y} \geq Y_C=12.25$  หมายถึงการพยากรณ์บอกว่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายที่เกิดขึ้นอยู่ในกลุ่มผ่านเกณฑ์
2.  $\hat{Y} < Y_C=12.25$  หมายถึงการพยากรณ์บอกว่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายที่เกิดขึ้นอยู่ในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์

ตารางที่ 4.5 ตารางตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ข้างจรรวม

	ประเภท	ค่าพยากรณ์		ผลรวม
		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์	
ผลการ	ผ่านเกณฑ์	23	2	25
ตรวจสอบที่ได้	ไม่ผ่านเกณฑ์	2	27	29
%	ผ่านเกณฑ์	92	8	100
	ไม่ผ่านเกณฑ์	6.9	93.1	100

เมื่อนำสมการที่ (4.1) มีการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 จำนวน 54 ข้อมูล จะได้ผลดังในตารางที่ 4.5 นั้นคือ สมการที่ (4.1) สามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับทั้งหมด 25 ชิ้นงาน (Pass) ถูกต้องถึง 23 ชิ้นงาน (92%) ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับมีผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมไป 8% และสามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมด 29 ชิ้นงาน (Fail) ถูกต้องถึง 27 ชิ้นงาน (93.1%) สรุปว่าจากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 54 ข้อมูล สมการที่ (4.1) สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบถูกต้องถึง 50 ชิ้นงาน (92.6%) นั้นหมายความว่า สมการที่ (4.1) มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์ถึง 92.6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การวิเคราะห์และการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไข้ปัญหา

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาให้ความสำคัญในด้านการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ต้องตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า นั่นคืออัตราผลผลิตที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) ดังนั้นจึงนำผลการจำแนกประเภทที่ได้ไปใช้ประโยชน์จริงในการทดลองปรับตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง โดยตั้งค่า Coaxial Ring Light เท่ากับ 22, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทโดยมีแนวโน้มให้  $\hat{Y} > Y_C = 12.250$  มากที่สุด เพื่อสร้างความมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับมีผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมไปไม่เกิน 8% ตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา ตามตารางที่ 4.5 และทำการเก็บข้อมูลจำนวน 30 ชุดข้อมูล แสดงผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางการพยากรณ์การตรวจสอบประสิทธิภาพที่ได้จากการดำเนินงานจริง

	ประเภท	ค่าพยากรณ์	
		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
ผลการ	ผ่านเกณฑ์	20	1
ตรวจสอบที่ได้	ไม่ผ่านเกณฑ์	0	9
%	ผ่านเกณฑ์	66.7	3.3
	ไม่ผ่านเกณฑ์	0	30

จากตารางที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภทในการนำมาพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์จริงรวมที่ได้ไปปรับใช้จริงในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยมีผลว่าสามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับทั้งหมด 21 ชิ้นงาน ถูกต้องถึง 20 ชิ้นงาน (95.2%) และสามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมด 9 ชิ้นงาน ถูกต้องทั้งหมด 9 ชิ้นงาน (100%) นั่นคือ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 30 ข้อมูล สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบถูกต้องถึง 29 ชิ้นงาน (96.7%) สามารถสรุปได้ว่าจากการทดลองปรับใช้จริงมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์ถึง 96.7% โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับหลุดออกไป 3.3% ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมไปไม่เกิน 8% จริงตรงตามการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภท โดยสอดคล้องกับข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับไม่เกิน 8%

ผลจากการปรับใช้จริงและทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือน มีนาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2564 พบว่าอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ย (Yield) อยู่ที่ 99.6% ซึ่งพบว่ามีอัตราผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธเฉลี่ย (Reject Rate) อยู่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 0.4% ซึ่งพบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธจริง (Actual Reject) 0.4% โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธผสมรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับ 0.6% (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Under Reject) ดังนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์วงจรรวมดีขึ้นโดยสามารถลดข้อผิดพลาดของกระบวนการตรวจสอบได้ 85%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# การสรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 การสรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาการแก้ปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ สำหรับเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพโดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis) มาประยุกต์ใช้ สมการจำแนกประเภทเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรในกระบวนการตรวจสอบความคมชัดของอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดด้วยระบบประมวลผลด้วยภาพในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยมีตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อยู่ 3 ตัวแปร คือ แหล่งกำเนิดแสงภายในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ นั่นก็คือ 1) Coaxial Ring Light ที่มีการปรับตั้งการเปล่งแสงที่ 16 ถึง 26 เพอร์เซ็นต์, 2) High Ring Light ที่มีการปรับตั้งการเปล่งแสงที่ 10 ถึง 20 เพอร์เซ็นต์ และ 3) Low Ring Light เพอร์เซ็นต์ ที่มีการปรับตั้งการเปล่งแสงอยู่ที่ 12 ถึง 20 ที่ส่งผลถึงการตรวจสอบเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบอยู่ ณ สภาพปัจจุบัน ปรากฏว่าเครื่องจักรตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด จึงส่งผลให้ปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีออกไป และยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพออกไปสู่ลูกค้า เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ เทคนิคการจำแนกประเภทจึงถูกนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ในสภาพการทำงานปัจจุบัน

หลังจากการประยุกต์ใช้วิเคราะห์จำแนกประเภททำให้สามารถสร้างสมการการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ผลการทำงานของเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ ได้ตามสมการดังนี้คือ

$$\hat{Y} = 0.108x_1 + 0.076x_2 + 0.549x_3$$

เมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภท พบว่าการพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับเท่ากับ 92 เพอร์เซ็นต์ และพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมดเท่ากับ 93.1 เพอร์เซ็นต์ นั่นคือ สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบสูงถึง 92.6 เพอร์เซ็นต์

จากนั้นนำค่าที่ได้ขึ้นไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานกรณีศึกษาในการปรับตั้งค่าระดับที่เหมาะสมให้แก่แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง โดยตั้งค่า Coaxial Ring Light เท่ากับ 22 เพอร์เซ็นต์, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 เพอร์เซ็นต์ และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 เพอร์เซ็นต์ ภายในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ พบว่าสามารถตรวจสอบผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับถูกต้องเท่ากับ 95.2 เพอร์เซ็นต์ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถตรวจสอบผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากข้อมูลทั้งหมดสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์ถูกต้องได้สูงถึง 96.7 เปอร์เซ็นต์ และมีโอกาสที่ผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าที่ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ย (Yield) จาก 91 เปอร์เซ็นต์ เป็น 99.6 เปอร์เซ็นต์ และสามารถช่วยลดผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธผสมรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับ (Under Reject) จาก 4 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.6 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์วงจรรวมของโรงงานในกรณีศึกษาได้ถึง 85 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้นตัวแปรอิสระหรือแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรคือ Coaxial Ring Light เท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำให้ลดการเกิดการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์วงจรรวมของโรงงานในกรณีศึกษาได้ดีที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ SO8-12 เท่านั้น และเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ประเภทเดียว ซึ่งในโรงงานกรณีศึกษายังมีผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆและเครื่องจักรอีกหลายประเภท ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงเพิ่มเติมต่อไป

5.2.2 สำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องลักษณะภายนอกของผลิตภัณฑ์ โดยระบบการประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษามีหลายสถานี สามารถนำหลักการแก้ไขปัญหาดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ได้ แต่อาจต้องมีการศึกษาปัญหาของแต่ละสถานีเพื่อให้สามารถศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยให้เหมาะสมกับแต่ละสถานี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. “ศูนย์ข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (E&E Intelligence Unit : EIU)” [Online]. Available : <http://www.thaieei.com/eiu/home.aspx>. 2021
- [2] สถาบันวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมอุตสาหกรรมการผลิต. “กลยุทธ์การควบคุมต้นทุนการผลิต” [Online]. Available : <http://www.thaieei.com/eiu/home.aspx>. 2021
- [3] สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. “ผลกระทบของการขาดแคลนชิปวงจรรวม ต่ออุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไทย” [Online]. Available : <https://www.mreport.co.th/experts/business-and-management/357-Impact-IC-Chip-Shortage-Thai-Electrical-Electronics-Industry> . 2021
- [4] โรงงานกรณีศึกษา. 2564. ข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา. กรุงเทพฯ
- [5] Laofor, C. and Peansupa, V. 2012. “Defect Detection and Quantification System to Support Subjective Visual Quality Inspection Via a Digital Image Processing: A Tiling Work Case Study,” **Automation in Construction**. 24: 160-174.
- [6] Luo, Q and He, Y. 2016. “A Cost-Effective and Automatic Surface Defect Inspection System for Hot-Rolled Flat Steel,” **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**. 38(1) : 16-30.
- [7] เอกชัย แสงอินทร์. 2553. การทดสอบวงจรรวมขนาดใหญ่มาก VLSI Testing. [Online]. Available : <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/49>
- [8] Kiatpanichagij, K and Afzulpurkar, N.V. 2006 “Automated Visual Inspection for Contamination Detection in Electronic Eproduct.” 341-350 in **Electrical Engineering Conference (EECON-29)**. Pattaya, Thailand.
- [9] Malamas, E.N, Petrakis, E.G.M. Zervakis, M. Petit, L. and Legat J.D. 2003. “A Survey on Industrial Vision Systems Applications and Tools,” **Image and Vision Computing**. 21(2) : 171-188.
- [10] Smith, G.E. 2009. “The invention and early history of the CCD,” **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**. 607(1) : 1-6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [11] Kiatpanichagij, K. “Introduction to Machine Vision.” [Online]. Available : [http://researchers.in.th/file/the\\_dark01/view/236.html](http://researchers.in.th/file/the_dark01/view/236.html). 2007.
- [12] ภาณุวัฒน์ เมฆะ. “การใช้งานแมชชีนวิชัน สำหรับการตรวจสอบแบบอัตโนมัติ.” [Online]. Available : <https://erp.mju.ac.th/acticleDetail.aspx?qid=445>. 2558.
- [13] กัลยา วินิชย์บัญชา. 2551. การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. บริษัท ธรรมสารจำกัด.
- [14] Hair, J.F. Black, W.C. Babin, B.J. and Anderson, R.E. “Multivariate Data Analysis: A Global Perspective,” (7<sup>th</sup> ed). New Jersey. Pearson Prentice Hall.
- [15] ปิยะวัฒน์ ปรีดาวัฒน์. “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าโดยใช้การจำลองสถานการณ์กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายก๊าซอุตสาหกรรม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสถิติและการวิเคราะห์ธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2564.
- [16] สมชาย หาญหิรัญ. “การขับเคลื่อนอุตสาหกรรมไทยสู่ “ประเทศไทย 4.0” [Online]. Available : <http://econs.co.th/index.php/2016/08/17/drivethailand4-0/>. 2559.
- [17] Akekachai Pannawan, “Automated part inspection by image processing system in vehicle part manufacturing”, Division of Instrumentation and Automation Engineering Technology, Faculty of Engineering Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Vol. 16 No. 1: 45-59, 2017
- [18] Huang, S.H. and Pan, Y.C. 2015. “Automated Visual Inspection in The Semiconductor Industry: A survey.” Computers in Industry. 66: 1-10.
- [19] Chao, Y. Dai, M. Chen, K. Chen, P. and Zhang, Z. 2016. “A Novel Gravitational Search Algorithm for Multilevel Imagesegmentation and Its Application on Semiconductor Packagesvision Inspection.” Optik. V127(14). : 5770-5782.
- [20] Rao, A.R. 1996. “Future Directions in Industrial Machine Vision: A Case Study of Semiconductor Manufacturing Applications.” Image and Vision Computing. 14(1) : 3- 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [21] Jiang, B.C. Tasi, S.L. and Wang, C.C. 2002. “Machine Vision-Based Gray Relational Theory Applied to IC Marking Inspection.” IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing. 15(4) : 531-539.
- [22] Sun, T.H. Tseng, C.C. and Chen, M.S. 2010. “Electric Contacts Inspection Using Machine Vision.” Image and Vision Computing. 28(6) : 890–901.
- [23] Suechoey, B. Meethong, I and Leelajindakraierk, M. 2020. “Development of Automatic Vision Gripper for Electronic Circuit Board Production” Sau Journal of Science & Technology. 6(1) : 22-33.
- [24] Luo, Q. and He, Y. 2016. “A cost-effective and automatic surface defect inspection system for hot-rolled flat steel.” Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 38: 16-30.
- [25] นวพร ณะสาร. “การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการตรวจสอบเส้นด้ายในการผลิตกึ่งแข็ง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2561.
- [26] อภิชาติ โคตรบุญมี. “การศึกษาประสิทธิภาพการประมวลผลของระบบตรวจสอบด้วยภาพภายใต้สภาพแวดล้อมควบคุม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2558.
- [27] M. Toğaçar, B. Ergen, and Z. Cömert, “Application of Breast Cancer Diagnosis Based on a Combination of Convolutional Neural Networks, Ridge Regression and Linear Discriminant Analysis Using Invasive Breast Cancer Images Processed with Autoencoders,” Medical Hypotheses, vol. 135, Feb., 2020, doi: org/10.1016/j.mehy.2019.109503
- [28] Z. Jing, G. Wang, S. Zhang, and C. Qiu, “Building Tianjin Driving Cycle Based on Linear Discriminant Analysis,” Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 53, pp.78–87, 2017, doi: org/10.1016/j.trd.2017.04.005
- [29] Raymond, A.K.C. and Grace, W.Y.W. 2014. “Predicting the US bank failure: A Discriminant Analysis,” Economic Analysis and Policy. 44(2) : 202–211.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [30] Close, M.E. Abraham, P. Humphries, B. Lilburne, L. Cuthill, T. and Wilson, S. 2016. "Predicting Groundwater Redox Status on A Regional Scale using Linear Discriminant Analysis," *Journal of Contaminant Hydrology*. 191 : 19–32.
- [31] A.A. D'Archivio and M.A. Maggi, "Geographical Identification of Saffron (*Crocus Sativus* L.) by Linear Discriminant Analysis Applied to The UV-Visible Spectra of Aqueous Extracts," *Food Chemistry*, vol. 219, pp. 408-413, Mar., 2017, doi: org/10.1016/j.foodchem.2016.09.169.
- [32] M.Z. Abdullah, L.C. Guan and B.M.N. Mohd Azemi, "Stepwise Discriminant Analysis For Color Grading Of Oil Palm Using Machine Vision System," *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE*, Vol 79, Part C, December 2001.
- [33] V. Saeheir, "Forecasting of Steel Plate in Hot-Dip Galvanized Process by Discriminant Analysis: A Case Study of Hot-Dip Galvanized Factory," M.S. Thesis, Dept. Industrial Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2019.
- [34] N. Promnang, "Efficiency Comparison of Classification in Completion of Master Degree Programs within Two Years and More Than Two Years in the Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang," .S. Thesis, Dept. of Statistics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2020.
- [35] N. Suwannasang, S. Thirakanan and K. Sihaset, "A Discriminant Analysis of Factor Related to Learning Achievement in English of Matthayom Sueksa Five Students at School Under the Jurisdiction of The Secondary Educational Service Area Office Area One, Bangkok Mattropolis," *Journal of Educational Measurement, Educational and Psychological Test Bureau Srinakharinwirot University*, Vol 36, No 100, Dec 2019.
- [36] T. Moghaddam and A. Firoozzare, "Investigating the effect of sensory properties of black plum peel marmalade on consumers acceptance by Discriminant Analysis," *Food Chemistry: X*, Volume 11, 30 October 2021.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)	ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
1	16	10	12	38		✓
2	16	10	14	41		✓
3	16	10	16	40		✓
4	16	10	18	80	✓	
5	16	10	20	82	✓	
6	16	12	12	53		✓
7	16	12	14	58		✓
8	16	12	16	42		✓
9	16	12	18	80	✓	
10	16	12	20	83	✓	
11	16	14	12	49		✓
12	16	14	14	52		✓
13	16	14	16	62		✓
14	16	14	18	58		✓
15	16	14	20	83	✓	
16	16	16	12	48		✓
17	16	16	14	43		✓
18	16	16	16	50		✓
19	16	16	18	84	✓	
20	16	16	20	83	✓	
21	16	18	12	47		✓
22	16	18	14	45		✓
23	16	18	16	81	✓	
24	16	18	18	80	✓	
25	16	18	20	83	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
26	16	20	12	51		✓
27	16	20	14	61		✓
28	16	20	16	58		✓
29	16	20	18	81	✓	
30	16	20	20	85	✓	
31	18	10	12	60		✓
32	18	10	14	64		✓
33	18	10	16	58		✓
34	18	10	18	61		✓
35	18	10	20	49		✓
36	18	12	12	69		✓
37	18	12	14	55		✓
38	18	12	16	63		✓
39	18	12	18	80	✓	
40	18	12	20	88	✓	
41	18	14	12	63		✓
42	18	14	14	64		✓
43	18	14	16	68		✓
44	18	14	18	84	✓	
45	18	14	20	89	✓	
46	18	16	12	59		✓
47	18	16	14	59		✓
48	18	16	16	65		✓
49	18	16	18	84	✓	
50	18	16	20	84	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring X <sub>1</sub> (%)	High Ring X <sub>2</sub> (%)	Low Ring X <sub>3</sub> (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
51	18	18	12	68		✓
52	18	18	14	49		✓
53	18	18	16	81	✓	
54	18	18	18	82	✓	
55	18	18	20	84	✓	
56	18	20	12	44		✓
57	18	20	14	51		✓
58	18	20	16	58		✓
59	18	20	18	81	✓	
60	18	20	20	85	✓	
61	20	10	12	53		✓
62	20	10	14	59		✓
63	20	10	16	51		✓
64	20	10	18	84	✓	
65	20	10	20	82	✓	
66	20	12	12	43		✓
67	20	12	14	55		✓
68	20	12	16	56		✓
69	20	12	18	85	✓	
70	20	12	20	86	✓	
71	20	14	12	61		✓
72	20	14	14	53		✓
73	20	14	16	63		✓
74	20	14	18	83	✓	
75	20	14	20	89	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring X <sub>1</sub> (%)	High Ring X <sub>2</sub> (%)	Low Ring X <sub>3</sub> (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
76	20	16	12	58		✓
77	20	16	14	62		✓
78	20	16	16	47		✓
79	20	16	18	83	✓	
80	20	16	20	86	✓	
81	20	18	12	63		✓
82	20	18	14	57		✓
83	20	18	16	50		✓
84	20	18	18	89	✓	
85	20	18	20	86	✓	
86	20	20	12	40		✓
87	20	20	14	48		✓
88	20	20	16	58		✓
89	20	20	18	84	✓	
90	20	20	20	83	✓	
91	22	10	12	44		✓
92	22	10	14	55		✓
93	22	10	16	84	✓	
94	22	10	18	81	✓	
95	22	10	20	84	✓	
96	22	12	12	58		✓
97	22	12	14	63		✓
98	22	12	16	50		✓
99	22	12	18	85	✓	
100	22	12	20	89	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring X <sub>1</sub> (%)	High Ring X <sub>2</sub> (%)	Low Ring X <sub>3</sub> (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
101	22	14	12	56		✓
102	22	14	14	61		✓
103	22	14	16	84	✓	
104	22	14	18	86	✓	
105	22	14	20	85	✓	
106	22	16	12	64		✓
107	22	16	14	55		✓
108	22	16	16	90	✓	
109	22	16	18	94	✓	
110	22	16	20	88	✓	
111	22	18	12	54		✓
112	22	18	14	60		✓
113	22	18	16	88	✓	
114	22	18	18	89	✓	
115	22	18	20	87	✓	
116	22	20	12	64		✓
117	22	20	14	59		✓
118	22	20	16	93	✓	
119	22	20	18	92	✓	
120	22	20	20	95	✓	
121	24	10	12	64		✓
122	24	10	14	68		✓
123	24	10	16	97	✓	
124	24	10	18	91	✓	
125	24	10	20	83	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring X <sub>1</sub> (%)	High Ring X <sub>2</sub> (%)	Low Ring X <sub>3</sub> (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
126	24	12	12	54		✓
127	24	12	14	64		✓
128	24	12	16	89	✓	
129	24	12	18	94	✓	
130	24	12	20	86	✓	
131	24	14	12	59		✓
132	24	14	14	56		✓
133	24	14	16	94	✓	
134	24	14	18	93	✓	
135	24	14	20	87	✓	
136	24	16	12	63		✓
137	24	16	14	58		✓
138	24	16	16	88	✓	
139	24	16	18	88	✓	
140	24	16	20	97	✓	
141	24	18	12	90	✓	
142	24	18	14	89	✓	
143	24	18	16	86	✓	
144	24	18	18	90	✓	
145	24	18	20	87	✓	
146	24	20	12	63		✓
147	24	20	14	60		✓
148	24	20	16	93	✓	
149	24	20	18	95	✓	
150	24	20	20	89	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring X <sub>1</sub> (%)	High Ring X <sub>2</sub> (%)	Low Ring X <sub>3</sub> (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
151	26	10	12	75		✓
152	26	10	14	63		✓
153	26	10	16	94	✓	
154	26	10	18	93	✓	
155	26	10	20	95	✓	
156	26	12	12	59		✓
157	26	12	14	57		✓
158	26	12	16	93	✓	
159	26	12	18	90	✓	
160	26	12	20	84	✓	
161	26	14	12	63		✓
162	26	14	14	66		✓
163	26	14	16	85	✓	
164	26	14	18	80	✓	
165	26	14	20	89	✓	
166	26	16	12	66		✓
167	26	16	14	49		✓
168	26	16	16	83	✓	
169	26	16	18	86	✓	
170	26	16	20	90	✓	
171	26	18	12	58		✓
172	26	18	14	85	✓	
173	26	18	16	82	✓	
174	26	18	18	82	✓	
175	26	18	20	80	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบ ผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)	ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
176	26	20	12	62		✓
177	26	20	14	48		✓
178	26	20	16	84	✓	
179	26	20	18	83	✓	
180	26	20	20	85	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
1	16	10	18	80
2	16	10	20	82
3	16	12	18	80
4	16	12	20	83
5	16	14	20	83
6	16	16	18	84
7	16	16	20	83
8	16	18	16	81
9	16	18	18	80
10	16	18	20	83
11	16	20	18	81
12	16	20	20	85
13	18	12	18	80
14	18	12	20	88
15	18	14	18	84
16	18	14	20	89
17	18	16	18	84
18	18	16	20	84
19	18	18	16	81
20	18	18	18	82
21	18	18	20	84
22	18	20	18	81
23	18	20	20	85
24	20	10	18	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
25	20	10	20	82
26	20	12	18	85
27	20	12	20	86
28	20	14	18	83
29	20	14	20	89
30	20	16	18	83
31	20	16	20	86
32	20	18	18	89
33	20	18	20	86
34	20	20	18	84
35	20	20	20	83
36	22	10	16	84
37	22	10	18	81
38	22	10	20	84
39	22	12	18	85
40	22	12	20	89
41	22	14	16	84
42	22	14	18	86
43	22	14	20	85
44	22	16	16	90
45	22	16	18	94
46	22	16	20	88
47	22	18	16	88
48	22	18	18	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
49	22	18	20	87
50	22	20	16	93
51	22	20	18	92
52	22	20	20	95
53	24	10	16	97
54	24	10	18	91
55	24	10	20	83
56	24	12	16	89
57	24	12	18	94
58	24	12	20	86
59	24	14	16	94
60	24	14	18	93
61	24	14	20	87
62	24	16	16	88
63	24	16	18	88
64	24	16	20	97
65	24	18	12	90
66	24	18	14	89
67	24	18	16	86
68	24	18	18	90
69	24	18	20	87
70	24	20	16	93
71	24	20	18	95
72	24	20	20	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
73	26	10	16	94
74	26	10	18	93
75	26	10	20	95
76	26	12	16	93
77	26	12	18	90
78	26	12	20	84
79	26	14	16	85
80	26	14	18	80
81	26	14	20	89
83	26	16	18	86
84	26	16	20	90
85	26	18	14	85
86	26	18	16	82
87	26	18	18	82
88	26	18	20	80
89	26	20	16	84
90	26	20	18	83
91	26	20	20	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
1	16	10	12	38
2	16	10	14	41
3	16	10	16	40
4	16	12	12	53
5	16	12	14	58
6	16	12	16	42
7	16	14	12	49
8	16	14	14	52
9	16	14	16	62
10	16	14	18	58
11	16	16	12	48
12	16	16	14	43
13	16	16	16	50
14	16	18	12	47
15	16	18	14	45
16	16	20	12	51
17	16	20	14	61
18	16	20	16	58
19	18	10	12	60
20	18	10	14	64
21	18	10	16	58
22	18	10	18	61
23	18	10	20	49
24	18	12	12	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
25	18	12	14	55
26	18	12	16	63
27	18	14	12	63
28	18	14	14	64
29	18	14	16	68
30	18	16	12	59
31	18	16	14	59
32	18	16	16	65
33	18	18	12	68
34	18	18	14	49
35	18	20	12	44
36	18	20	14	51
37	18	20	16	58
38	20	10	12	53
39	20	10	14	59
40	20	10	16	51
41	20	12	12	43
42	20	12	14	55
43	20	12	16	56
44	20	14	12	61
45	20	14	14	53
46	20	14	16	63
47	20	16	12	58
48	20	16	14	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
49	20	16	16	47
50	20	18	12	63
51	20	18	14	57
52	20	18	16	50
53	20	20	12	40
54	20	20	14	48
55	20	20	16	58
56	22	10	12	44
57	22	10	14	55
58	22	12	12	58
59	22	12	14	63
60	22	12	16	50
61	22	14	12	56
62	22	14	14	61
63	22	16	12	64
64	22	16	14	55
65	22	18	12	54
66	22	18	14	60
67	22	20	12	64
68	22	20	14	59
69	24	10	12	64
70	24	10	14	68
71	24	12	12	54
72	24	12	14	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
73	24	14	12	59
74	24	14	14	56
75	24	16	12	63
76	24	16	14	58
77	24	20	12	63
78	24	20	14	60
79	26	10	12	75
80	26	10	14	63
81	26	12	12	59
82	26	12	14	57
83	26	14	12	63
84	26	14	14	66
85	26	16	12	66
86	26	16	14	49
87	26	18	12	58
88	26	20	12	62
89	26	20	14	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลและการสร้างสมการวิเคราะห์  
จำแนกประเภทที่ได้ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
1	24	16	14	58
2	26	18	18	82
3	24	18	12	90
4	18	20	20	85
5	16	16	16	50
6	18	10	16	58
7	26	20	18	83
8	16	18	16	81
9	20	18	18	89
10	22	10	20	84
11	26	12	16	93
12	16	12	16	42
13	22	10	14	55
14	22	16	14	55
15	22	18	12	54
16	24	20	20	89
17	22	16	18	94
18	18	20	18	81
19	18	16	12	59
20	24	12	12	54
21	16	20	18	81
22	18	18	14	49
23	18	12	18	80
24	22	14	18	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลและการสร้างสมการวิเคราะห์  
จำแนกประเภทที่ได้ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
25	16	12	20	83
26	26	20	16	84
27	18	10	20	49
28	16	10	16	40
29	26	16	16	83
30	16	10	18	80
31	26	18	12	58
32	16	20	20	85
33	24	20	14	60
34	20	14	20	89
35	18	20	12	44
36	24	12	18	94
37	22	16	12	64
38	20	16	20	86
39	20	10	12	53
40	16	20	12	51
41	24	18	18	90
42	16	14	20	83
43	24	12	14	64
44	22	12	20	89
45	22	18	18	89
46	24	12	16	89
47	26	20	20	85
48	24	12	20	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลและการสร้างสมการวิเคราะห์  
จำแนกประเภทที่ได้ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
49	20	20	20	83
50	18	18	12	68
51	24	10	16	97
52	26	20	12	62
53	20	16	16	47
54	16	18	14	45
55	18	12	12	69
56	20	18	14	57
57	22	18	16	88
58	24	18	16	86
59	16	20	14	61
60	24	16	20	97
61	26	12	12	59
62	20	20	12	40
63	22	20	16	93
64	26	12	14	57
65	22	12	18	85
66	20	12	20	86
67	26	10	16	94
68	24	18	20	87
69	18	12	14	55
70	20	16	14	62
71	24	16	12	63
72	22	12	14	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลและการสร้างสมการวิเคราะห์  
จำแนกประเภทที่ได้ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
73	18	18	20	84
74	16	18	12	47
75	22	10	16	84
76	20	18	16	50
77	20	12	18	85
78	20	14	16	63
79	26	16	20	90
80	24	18	14	89
81	24	14	14	56
82	20	20	18	84
83	18	14	20	89
84	20	12	12	43
85	26	14	18	80
86	26	14	14	66
87	20	10	16	51
88	26	14	12	63
89	18	14	12	63
90	18	10	18	61
91	24	14	18	93
92	24	20	18	95
93	26	10	14	63
94	20	10	14	59
95	16	12	12	53
96	26	10	20	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลและการสร้างสมการวิเคราะห์  
จำแนกประเภทที่ได้ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
97	18	20	16	58
98	16	20	16	58
99	16	10	20	82
100	18	20	14	51
101	26	14	20	89
102	24	10	14	68
103	22	14	12	56
104	16	16	18	84
105	24	10	18	91
106	16	14	12	49
107	16	18	18	80
108	18	18	16	81
109	16	16	20	83
110	24	14	12	59
111	20	10	20	82
112	16	10	14	41
113	26	18	16	82
114	16	16	14	43
115	22	12	16	50
116	26	18	20	80
117	20	16	18	83
118	26	12	18	90
119	16	12	18	80
120	20	14	14	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลและการสร้างสมการวิเคราะห์  
จำแนกประเภทที่ได้ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
121	22	12	12	58
122	16	18	20	83
123	18	16	14	59
124	18	16	20	84
125	16	16	12	48
126	18	16	18	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
1	18	12	16	63
2	18	10	12	60
3	24	20	16	93
4	20	14	12	61
5	22	14	16	84
6	16	14	16	62
7	24	14	20	87
8	24	10	20	83
9	24	20	12	63
10	22	20	12	64
11	20	20	16	58
12	22	16	16	90
13	20	12	14	55
14	18	18	18	82
15	18	14	16	68
16	16	12	14	58
17	20	18	12	63
18	22	14	20	85
19	26	16	18	86
20	22	20	14	59
21	24	10	12	64
22	22	14	14	61
23	20	14	18	83
24	22	20	18	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
25	22	10	12	44
26	20	20	14	48
27	26	16	12	66
28	22	16	20	88
29	26	10	18	93
30	16	14	14	52
31	20	12	16	56
32	20	10	18	84
33	18	10	14	64
34	22	20	20	95
35	26	18	14	85
36	22	10	18	81
37	26	14	16	85
38	24	14	16	94
39	18	14	18	84
40	24	16	18	88
41	26	20	14	48
42	16	14	18	58
43	26	16	14	49
44	20	16	12	58
45	18	14	14	64
46	16	10	12	38
47	22	18	20	87
48	24	16	16	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ตารางข้อมูลสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย
	Coaxial Ring $X_1$ (%)	High Ring $X_2$ (%)	Low Ring $X_3$ (%)	Y (Gray scale)
49	18	12	20	88
50	18	16	16	65
51	26	10	12	75
52	26	12	20	84
53	20	18	20	86
54	22	18	14	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
ขั้นตอนการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาด  
ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม

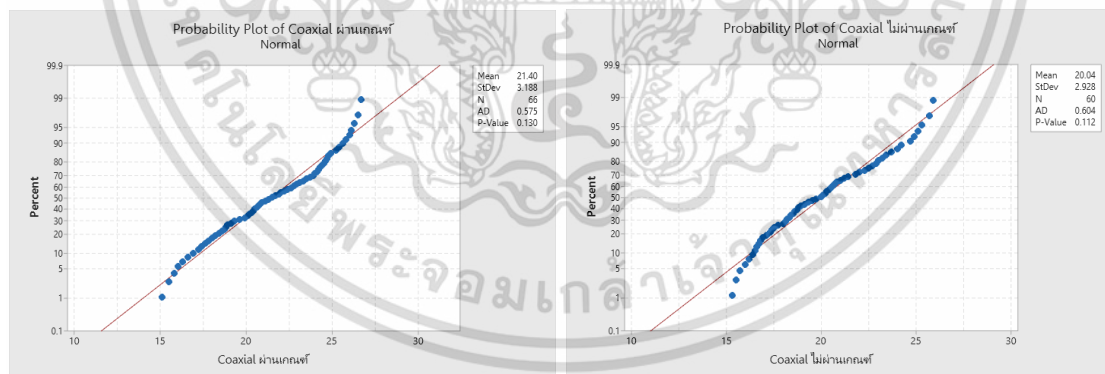
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของข้อมูลเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูล ตามข้อกำหนดเบื้องต้น 4 ข้อ โดยผลจากการตรวจสอบคุณสมบัติข้อมูลพื้นฐานแสดงดังต่อไปนี้

1.1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ โดยนำข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปร ของทั้ง 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ มาทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสถิติแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิง (Anderson-Darling) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปผลที่ได้พบว่าพบว่าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มมีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

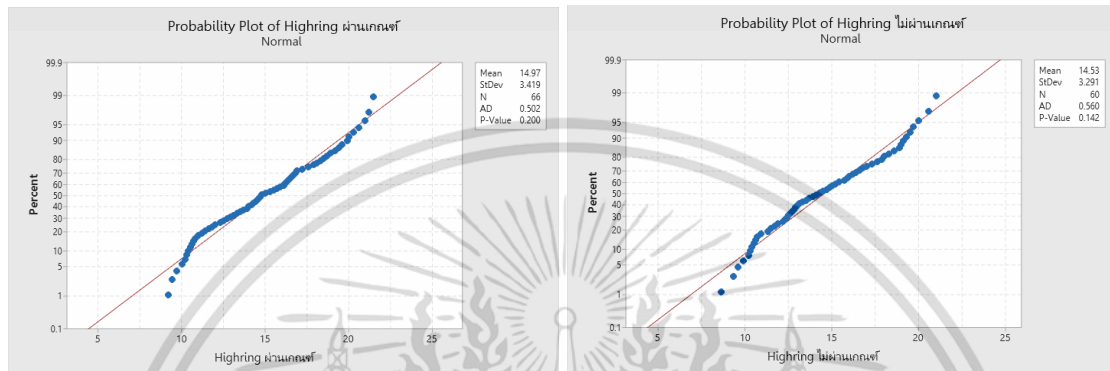
ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ 1 คือ แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light ( $X_1$ ) ทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของของข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์ 66 ข้อมูล และกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ 60 ข้อมูล โดยผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูปพบว่า ค่า P-Value ของกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.130 และค่า P-Value ของกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.112 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์มีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ 1 แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light

ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ 2 คือ แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light ( $X_2$ ) ทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของของข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์ 66 ข้อมูล และกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ 60 ข้อมูล โดยผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูปพบว่า ค่าเอกสารถือเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

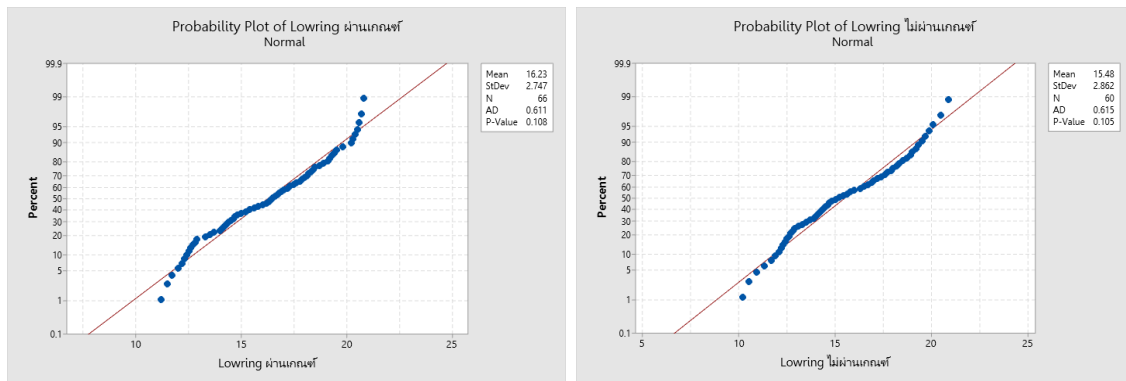
P-Value ของกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.200 และค่า P-Value ของกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.142 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์มีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ 2 แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light

ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ 3 คือ แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light ( $X_3$ ) ทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของของข้อมูลกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์ 66 ข้อมูล และกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ 60 ข้อมูล โดยผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูปพบว่า ค่า P-Value ของกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.108 และค่า P-Value ของกลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีค่าเท่ากับ 0.105 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$  ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่ากลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์มีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังรูปที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.3 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ 3 แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light

1.2 การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มข้อมูล คือ กลุ่มตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ ด้วยสถิติวิธี Box's M Test ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ ข.1 โดยการทดสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ได้มีการตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มเท่ากัน}$$

$$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มไม่เท่ากัน}$$

ซึ่งพิจารณาจากค่าความมีนัยสำคัญ (Sig.) ของ  $F$  แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าค่า Sig. เท่ากับ 0.927 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญ จึงยอมรับ  $H_0$  นั้นหมายความว่าข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้

Box's M	1.974
F	Approx. .320
df1	6
df2	108666.169
Sig.	.927

1.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation:  $r_{xy}$ ) โดยการตรวจสอบหาค่า  $r_{x1y}$ ,  $r_{x2y}$  และ  $r_{x3y}$  เพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ การคำนวณอ้างอิงจากสมการที่ 2.4 แสดงข้อมูลการคำนวณได้ดังตารางที่ ข.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการคำนวณการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนอง

การคำนวณความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง	$r_{x_1y}$	$r_{x_2y}$	$r_{x_3y}$
n	126	126	126
$\sum_{i=1}^n x_i$	2626	1900	2028
$\sum_{i=1}^n y_i$	9009	9009	9009
$\sum_{i=1}^n x_i y_i$	190248	136350	149214
$\sum_{i=1}^n (x_i)^2$	56300	30144	33672
$\sum_{i=1}^n (y_i)^2$	679137	679137	679137
$(\sum_{i=1}^n x_i)^2$	6895876	3610000	4112784
$(\sum_{i=1}^n y_i)^2$	81162081	81162081	81162081
$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{\left[ n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \left[ n \sum_{i=1}^n (y_i)^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right]}}$	0.336	0.069	0.701

1.4 การตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน โดยทำการตรวจสอบตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 3 ตัวแปร จากการคำนวณหาค่า  $r_{x_1x_2}$ ,  $r_{x_1x_3}$  และ  $r_{x_2x_3}$  เพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์ การคำนวณอ้างอิงจากสมการที่ 2.5 แสดงข้อมูลการคำนวณได้ดังตารางที่ ข.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการคำนวณการตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ออก 3 ตัวแปร

การคำนวณความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น	$r_{x_1x_2}$	$r_{x_1x_3}$	$r_{x_2x_3}$
n	126	126	126
$\sum_{i=1}^n x_i$	2626	1900	2028
$\sum_{i=1}^n x_i x_j$	39504	42248	30572
$\sum_{i=1}^n (x_i)^2$	56300.00	30144.00	33672.00
$\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2$	6895876.00	3610000.00	4112784.00
$r_{x_i x_j} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i x_j - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{j=1}^n x_j}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{j=1}^n x_i)^2] - [n \sum_{i=1}^n (x_j)^2 - (\sum_{i=1}^n x_j)^2]}}$	-0.062	-0.014	-0.007

## 2. การสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วางจรรวม

สำหรับขั้นตอนการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท เริ่มจากนำข้อมูลชุดที่ 1 คือกลุ่มข้อมูล 70 % ข้อมูลที่เก็บทั้งหมด จำนวน 126 ข้อมูล มาสร้างเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ออก 3 ตัวแปร โดยแยกการคำนวณเป็น 2 กลุ่มคือ  $\bar{X}_{Pass}$  สำหรับกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์ และ  $\bar{X}_{Fail}$  สำหรับกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ การตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายแสดงได้ดังนี้

$$\bar{X}_{Pass} = \begin{bmatrix} 21.424 \\ 15.455 \\ 18.242 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{x}_{Fail} = \begin{bmatrix} 20.200 \\ 14.667 \\ 13.733 \end{bmatrix}$$

สร้างเมทริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางกลุ่มระหว่างข้อมูลกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เพื่อหาค่า  $d$  โดยนำเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้  $\bar{x}_{Pass}$  และ  $\bar{x}_{Fail}$  มาลบกัน แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

$$d = \begin{bmatrix} 21.424 - 20.200 \\ 15.455 - 14.667 \\ 18.242 - 13.733 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.224 \\ 0.789 \\ 4.509 \end{bmatrix}$$

จากนั้นคำนวณเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรวมทั้งหมดของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และกลุ่มมีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ดังนี้

$$S_p = \begin{bmatrix} 12.567 & -0.755 & -0.145 \\ -0.755 & 11.946 & -0.072 \\ -0.145 & -0.072 & 8.274 \end{bmatrix}$$

ต่อจากนั้นทำการสร้างเมทริกซ์ตัวคูณ  $b$  นำมาคูณกับผลค่า  $d$  ที่ได้คำนวณไว้แล้วมาใช้ในการวิเคราะห์ อ้างอิงจากสมการที่ 2.11 โดยสำหรับสร้างสมการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาดแสดงดังนี้

$$S_p^{-1} = \begin{bmatrix} 0.0799 & 0.0051 & 0.0015 \\ 0.0051 & 0.084 & 0.0008 \\ 0.0014 & 0.0008 & 0.1213 \end{bmatrix}$$

$$b = S_p^{-1}d = \begin{bmatrix} 0.0799 & 0.0051 & 0.0015 \\ 0.0051 & 0.084 & 0.0008 \\ 0.0014 & 0.0008 & 0.1213 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.224 \\ 0.789 \\ 4.509 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.108 \\ 0.076 \\ 0.549 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการสร้างสมการจำแนกด้วยการนำค่าในเมทริกซ์  $b$  มาใช้เป็นสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้แต่ละตัว ตามลำดับ ทำให้สามารถสร้างสมการการจำแนกได้ดังสมการที่ ข.1 ดังนี้

$$\hat{Y} = 0.108x_1 + 0.076x_2 + 0.549x_3 \quad (\text{ข.1})$$

โดย  $x_1$  คือ ระดับแหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light

$x_2$  คือ ระดับแหล่งกำเนิดแสง High Ring Light

$x_3$  คือ ระดับแหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light

จากนั้นให้ทำการคำนวณค่าการแยกแยะ  $Y_C$  เพื่อใช้ในการแยกแยะชุดข้อมูล อ้างอิงดังสมการที่ 2.13 แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากสมการที่ 2.13

$$Y_C = \frac{n_1\bar{Y}_1 + n_2\bar{Y}_2}{n_1 + n_2}$$

โดย  $Y_C$  คือ ค่าการแยกแยะ

$n_1$  คือ 66 (จำนวนข้อมูลที่ผ่านมาเกณฑ์)

$n_2$  คือ 60 (จำนวนข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

$\bar{Y}_1$  คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ผ่านมาเกณฑ์

$\bar{Y}_2$  คือ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์

สามารถคำนวณค่า  $\bar{Y}_1$  และ  $\bar{Y}_2$  ได้ดังต่อไปนี้

$$\bar{Y}_1 = b \bar{x}_{Pass} = \begin{bmatrix} 0.108 \\ 0.076 \\ 0.549 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 21.424 \\ 15.455 \\ 18.242 \end{bmatrix} = 13.51811$$

$$\bar{Y}_2 = b \bar{x}_{Fail} = \begin{bmatrix} 0.108 \\ 0.076 \\ 0.549 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 20.200 \\ 14.667 \\ 13.733 \end{bmatrix} = 10.84857$$

แทนค่าในสมการ  $Y_C$  อ้างอิงดังสมการที่ 2.13 แสดงได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_C = \frac{(66)(13.51811) + (60)(10.84857)}{66 + 60} = 12.250$$

ดังนั้นจะได้ค่าการแยกแยะ  $Y_C$  เท่ากับ 12.250 นั่นคือ ถ้าค่า  $\hat{Y} \leq Y_C = 12.250$  หมายถึง พยากรณ์ได้ว่าค่าการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีค่าน้อยกว่า 80 gray scale ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นถูกปฏิเสธ และ ถ้าค่า  $\hat{Y} > Y_C = 12.250$  หมายถึง พยากรณ์ได้ว่าค่าการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีค่ามากกว่า 80 gray scale หรืออยู่ระหว่าง 80–150 gray scale ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นถูกยอมรับ

เพื่อให้สามารถใช้ค่า  $Y_C = 12.250$  มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้ จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่มคือ ค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ และค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์ก่อนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ด้วยวิธี Hotelling  $T^2$  ซึ่งจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานตามดังนี้

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

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

โดย  $[\mu_1]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$[\mu_2]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

เมื่อทำการคำนวณค่าสถิติทดสอบ  $F$  ตามขั้นตอนดังแสดงนี้ อ้างอิงจากสมการ (2.14 – 2.16)

$$D^2 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 = 13.158 - 10.849 = 2.670$$

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} D^2 = \frac{(66)(60)}{66 + 60} (2.670) = 83.900$$

$$F = \left( \frac{66 + 60 - 3 - 1}{3(66 + 60 - 2)} \right) (83.900) = 27.52$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าสถิติทดสอบ  $F$  จะมีค่าองศาอิสระ 2 ตัวแปร คือ  $\nu_1$  และ  $\nu_2$  อ้างอิงจากสมการที่ 2.17

$$\nu_1 = 3 \text{ และ } \nu_2 = 66 + 60 - 3 - 1 = 122$$

ทำการเปิดตารางสถิติ  $F$  ที่  $\alpha = 0.05$  และ  $\nu_1 = 3, \nu_2 = 122$  จะได้ไปเปิดตารางที่  $f_{0.05,3,122}$  แสดงดังรูปที่ ข.4

		$\alpha = 0.05$ degrees of freedom for the numerator ( $\nu_1$ )												
$\nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	

รูปที่ ข.4 ค่าสถิติทดสอบที่ได้จากตารางแจกแจงแบบเอฟ

ผลจากการเปิดตารางสถิติ  $F$  ที่  $\alpha = 0.05$  และ  $\nu_1 = 3, \nu_2 = 122$  จะได้ผลคือ  $f_{0.05,3,122} = 2.605$  นั่นคือค่า  $F$  สูงกว่า ค่า  $f_{0.05,3,122}$  หรือไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะยอมรับ  $H_0$  หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ของทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน นั่นทำให้สามารถใช้ค่า  $Y_C = 12.250$  มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์ของความคมชัดของตัวอักษร  
เครื่องหมาย

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการ ตรวจสอบผิดพลาด			ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย จากการเก็บข้อมูล		ผลการตรวจสอบตัวอักษร เครื่องหมายจากสมการพยากรณ์		ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์
	Coaxial Ring (%) $X_1$	High Ring (%) $X_2$	Low Ring (%) $X_3$	ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย $Y$ (Gray scale)	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ค่าการ ตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย $\hat{Y}$	เกณฑ์การ ตรวจสอบ อักษร เครื่องหมาย $\hat{Y} \geq 12.249$	
1	18	12	16	63	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.544	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
2	18	10	12	60	ไม่ผ่านเกณฑ์	9.22	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
3	24	20	16	93	ผ่านเกณฑ์	12.8	ผ่าน	ถูกต้อง
4	20	14	12	61	ไม่ผ่านเกณฑ์	9.74	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
5	22	14	16	84	ผ่านเกณฑ์	12.13	ไม่ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
6	16	14	16	62	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.48	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
7	24	14	20	87	ผ่านเกณฑ์	14.516	ผ่าน	ถูกต้อง
8	24	10	20	83	ผ่านเกณฑ์	14.212	ผ่าน	ถูกต้อง
9	24	20	12	63	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.628	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
10	22	20	12	64	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.412	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
11	20	20	16	58	ไม่ผ่านเกณฑ์	12.368	ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
12	22	16	16	90	ผ่านเกณฑ์	12.28	ผ่าน	ถูกต้อง
13	20	12	14	55	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.674	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
14	18	18	18	82	ผ่านเกณฑ์	13.086	ผ่าน	ถูกต้อง
15	18	14	16	68	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.696	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
16	16	12	14	58	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.242	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
17	20	18	12	63	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.044	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
18	22	14	20	85	ผ่านเกณฑ์	14.3	ผ่าน	ถูกต้อง
19	26	16	18	86	ผ่านเกณฑ์	13.798	ผ่าน	ถูกต้อง
20	22	20	14	59	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.498	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
21	24	10	12	64	ไม่ผ่านเกณฑ์	9.868	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
22	22	14	14	61	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.042	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
23	20	14	18	83	ผ่านเกณฑ์	12.998	ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์ของความคมชัดของตัวอักษร  
เครื่องหมาย (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการ ตรวจสอบผิดพลาด			ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย จากการเก็บข้อมูล		ผลการตรวจสอบตัวอักษร เครื่องหมายจากสมการ พยากรณ์		ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์
	Coaxial Ring (%) $X_1$	High Ring (%) $X_2$	Low Ring (%) $X_3$	ค่าการตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย $Y$ (Gray scale)	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ค่าการ ตรวจสอบ ตัวอักษร เครื่องหมาย $\hat{Y}$	เกณฑ์การ ตรวจสอบ อักษร เครื่องหมาย $\hat{Y} \geq 12.249$	
24	22	20	18	92	ผ่านเกณฑ์	13.67	ผ่าน	ถูกต้อง
25	22	10	12	44	ไม่ผ่านเกณฑ์	9.652	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
26	20	20	14	48	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.282	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
27	26	16	12	66	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.54	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
28	22	16	20	88	ผ่านเกณฑ์	14.452	ผ่าน	ถูกต้อง
29	26	10	18	93	ผ่านเกณฑ์	13.342	ผ่าน	ถูกต้อง
30	16	14	14	52	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.394	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
31	20	12	16	56	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.76	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
32	20	10	18	84	ผ่านเกณฑ์	12.694	ผ่าน	ถูกต้อง
33	18	10	14	64	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.306	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
34	22	20	20	95	ผ่านเกณฑ์	14.756	ผ่าน	ถูกต้อง
35	26	18	14	85	ผ่านเกณฑ์	11.778	ไม่ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
36	22	10	18	81	ผ่านเกณฑ์	12.91	ผ่าน	ถูกต้อง
37	26	14	16	85	ผ่านเกณฑ์	12.56	ผ่าน	ถูกต้อง
38	24	14	16	94	ผ่านเกณฑ์	12.344	ผ่าน	ถูกต้อง
39	18	14	18	84	ผ่านเกณฑ์	12.782	ผ่าน	ถูกต้อง
40	24	16	18	88	ผ่านเกณฑ์	13.582	ผ่าน	ถูกต้อง
41	26	20	14	48	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.93	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
42	16	14	18	58	ไม่ผ่านเกณฑ์	12.566	ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
43	26	16	14	49	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.626	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
44	20	16	12	58	ไม่ผ่านเกณฑ์	9.892	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
45	18	14	14	64	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.61	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
46	16	10	12	38	ไม่ผ่านเกณฑ์	9.004	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์ของความคมชัดของตัวอักษร  
เครื่องหมาย (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายจากการเก็บข้อมูล		ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายจากสมการพยากรณ์		ผลการพยากรณ์จากสมการพยากรณ์
	Coaxial Ring (%) $X_1$	High Ring (%) $X_2$	Low Ring (%) $X_3$	ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย Y (Gray scale)	เกณฑ์การตรวจสอบอักษรเครื่องหมาย	ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย $\hat{Y}$	เกณฑ์การตรวจสอบอักษรเครื่องหมาย $\hat{Y} \geq 12.249$	
47	22	18	20	87	ผ่านเกณฑ์	14.604	ผ่าน	ถูกต้อง
48	24	16	16	88	ผ่านเกณฑ์	12.496	ผ่าน	ถูกต้อง
49	18	12	20	88	ผ่านเกณฑ์	13.716	ผ่าน	ถูกต้อง
50	18	16	16	65	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.848	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
51	26	10	12	75	ไม่ผ่านเกณฑ์	10.084	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
52	26	12	20	84	ผ่านเกณฑ์	14.58	ผ่าน	ถูกต้อง
53	20	18	20	86	ผ่านเกณฑ์	14.388	ผ่าน	ถูกต้อง
54	22	18	14	60	ไม่ผ่านเกณฑ์	11.346	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลก่อนและหลังการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา

ลำดับ	ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย ก่อนการปรับใช้		ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย หลังการปรับใช้	
	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์
1	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
1	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
1	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
2	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
2	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
2	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
3	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
3	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
3	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
4	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
4	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
4	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
5	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
5	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
5	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
6	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
6	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
6	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
7	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
7	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
7	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
8	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
8	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
8	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลก่อนและหลังการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา (ต่อ)

ลำดับ	ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย ก่อนการปรับใช้		ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย หลังการปรับใช้	
	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์
9	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
9	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
9	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
10	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
10	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
10	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
11	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
11	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
11	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
12	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
12	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
12	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
13	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
13	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
13	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
14	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง
14	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง
14	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง
15	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
15	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
15	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
16	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
16	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
16	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลก่อนและหลังการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา (ต่อ)

ลำดับ	ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย ก่อนการปรับใช้		ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย หลังการปรับใช้	
	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์
17	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
17	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
17	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
18	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
18	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
18	ไม่ผ่านเกณฑ์	ไม่ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
19	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
19	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
19	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
20	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
20	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
20	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
21	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
21	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
21	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
22	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
22	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
22	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
23	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
23	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
23	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
24	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
24	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
24	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลก่อนและหลังการนำไปปรับใช้จริงสำหรับการแก้ไขปัญหา (ต่อ)

ลำดับ	ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย ก่อนการปรับใช้		ผลการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย หลังการปรับใช้	
	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์	เกณฑ์การ ตรวจสอบอักษร เครื่องหมาย	ผลการพยากรณ์ จากสมการ พยากรณ์
25	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
25	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
25	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
26	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
26	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
26	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
27	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
27	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
27	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
28	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
28	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
28	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
29	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
29	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
29	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ไม่ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
30	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
30	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง
30	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง	ผ่านเกณฑ์	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กนกอร บุญมา และ สกนธ์ คล่องบุญจิต (2565) “การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 39 ฉบับที่1 เดือนมีนาคม 2565.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบ  
ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม

The Application of Employing the Discriminant Analysis Technique to Forecast the  
Inspection Marking on the Integrated Circuit Product

กนกอร บุญมา<sup>1</sup> และ สกนธ์ คล่องบุญจิต<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Kanokon Boonma<sup>1</sup> and Sakon Klongboonjit<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

\*Corresponding Author E-mail: 62601102@kmitl.ac.th

Received: Oct 05, 2021; Revised: Jan 31, 2022; Accepted: Feb 04, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการตรวจสอบคุณภาพและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวม โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีขนาดเล็ก แต่มีกำลังการผลิตที่สูงมากทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบได้ง่ายและลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ ผู้วิจัยจึงพัฒนากระบวนการตรวจสอบที่เหมาะสมและถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่องตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม (Integrated Circuit) เพื่อเกิดความคิดพลาในการตรวจสอบน้อยที่สุด โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis) มาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ สำหรับเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพพบว่าแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งของเครื่องนี้คือควมแปรท่ายที่มีความเป็นไปได้ โดยที่  $x_1$  คือ Coaxial Ring Light,  $x_2$  คือ High Ring Light และ  $x_3$  คือ Low Ring Light และ 1 ตัวแปรตอบสนอง  $Y$  คือ ผลการตรวจสอบค่าความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีหน่วยเป็น gray scale ผลวิจัยที่ได้จากการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น คือ สมการจำแนกประเภทในการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย เมื่อนำสมการจำแนกประเภทที่ได้ไปประยุกต์ใช้ พบว่าสมการจำแนกประเภทนี้มีประสิทธิภาพการพยากรณ์สูงถึง 92.6% หลังจากการนำไปใช้จริงในการตั้งค่าระดับที่เหมาะสมภายในเครื่องจักร โดยตั้งค่า Coaxial Ring Light เท่ากับ 22, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 พบว่าสามารถตรวจสอบผลของข้อมูลผลิตภัณฑ์ถูกต้องสูงถึง 96.7% และสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตที่อุกยอมรับเหลือ (Yield) เป็น 99.6% รวมถึงสามารถช่วยลดผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมรวมในผลิตภัณฑ์ที่อุกยอมรับเหลือเพียง 0.6%

คำสำคัญ: วงจรรวม, การประมวลผลภาพ, การวิเคราะห์จำแนกประเภท

Abstract

This research aims to study the process of inspecting product quality on Integrated Circuit and Packaging of Electronics factory. Since the size of integrated circuit is quite small with high quantity production, this makes it easy to have some mistakes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

during inspection process and launch low quality product to customer. According to these reasons, the researcher decided to develop the accurate and reliable inspection process to improve the efficiency of Vision Inspection and Packing Machine to minimize the reject rate of the mistaken inspection of Integrated circuit markings. The method of Linear Discriminant Analysis is applied to analyze the mistakes in inspection. At this Inspection and Packing Machine with image process, it is found that three light sources of this machine are the main potential predictor variables with 1)  $x_1$ : Coaxial Ring Light, 2)  $x_2$ : High Ring Light, and 3)  $x_3$ : Low Ring Light and the one response variable of  $Y$  is the marking quality of integrated circuits in gray scale. Finally, the discriminant analysis equation is calculated to forecast the marking quality integrated circuits in Gray Scale. After this equation is applied, the calculation result shows that this equation yields the high efficiency of 92.6% after the actual implementation by setting the appropriate level of three potential predictor variables on Vision Inspection and Packing Machine: Coaxial Ring Light at 22, High Ring Light at 20 and Low Ring Light at 20 respectively with accuracy level of 96.7%, product quality yield increasing at level of 99.6% and the under reject products reducing at level of 0.6%.

**Keywords:** Integrated Circuit (IC), Image Processing, Discriminant Analysis

## 1. บทนำ

ปัจจุบันมีการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กันอย่างคั่งเนื่อง เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับมนุษย์ในด้านต่างๆ อีกทั้งยังได้แทรกอยู่ในหลายกลุ่มธุรกิจ อาทิเช่น โทรศัพท์มือถือ บัตรเครดิต รถยนต์ หรือแม้กระทั่งอุปกรณ์ให้แสงสว่างอย่างหลอดไฟ ก็ได้มีการนำวงจรรวมไปประยุกต์ใช้งานมากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) มีการเจริญเติบโตอย่างมาก [1] จึงทำให้ผู้ผลิตต้องเผชิญกับภาวะการแข่งขันที่สูง ทั้งด้านกำลังการผลิตที่มีการปรับตัวเพิ่มสูงขึ้น การส่งมอบสินค้าที่รวดเร็วและการลดต้นทุนการผลิต หรือการลดของเสียระหว่างการผลิตได้ [2] ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์จึงเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญสำหรับผู้ผลิต ซึ่งนอกจากจะช่วยให้สินค้ามีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า แล้วยังช่วยลดต้นทุนค่าเสียโอกาสและลดการส่งมอบล่าช้าเนื่องจากต้องผลิตใหม่จากสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพ [3]

สำหรับกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมในโรงงานผลิตวงจรรวมที่ โรงงานกรณีศึกษา จะมีการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) โดยนำเทคนิคการตรวจสอบและการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบความคมชัดด้วย

อักษรบนผลิตภัณฑ์แบบอัตโนมัติ ซึ่งอาจเกิดจุดบกพร่องจากการทำงานของเครื่องจักรในระหว่างการผลิต [4] ของผลิตภัณฑ์วงจรรวมก่อนทำการบรรจุลงทึบต่อได้แก่ เครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine) โดยโรงงานกรณีศึกษาประสบปัญหาในส่วนของ การขาดแนวทางหรือมาตรฐานในการปรับตั้งค่าความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพ เพื่อลดการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด คือการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์เสีย หรือตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียเป็นผลิตภัณฑ์ดี ซึ่งจะทำให้ต้องทิ้งผลิตภัณฑ์ดีที่ผ่านทุกกระบวนการขั้นตอนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักรให้ออกต้องแม่นยำ (Accuracy) และจะต้องมีวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือ (Reliable Test Methodology) และมีประสิทธิภาพสูง [5] เพื่อลดความเสี่ยงที่ลูกค้าจะได้รับผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิต หรือแม้กระทั่งในอุตสาหกรรมยานยนต์มีการประยุกต์ใช้งานระบบการตรวจสอบด้วยภาพกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำสูง ทำให้การทำงานสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ในการตรวจสอบคุณภาพถุงลมนิรภัยโดยใช้โปรแกรม MATLAB ควบคู่กับโครงข่ายประสาทเทียม [6] การคัดแยกความเข้มสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผลิตภัณฑ์ โดยผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากการประมวลผลภาพ [7] การตรวจสอบผลิตภัณฑ์อัตโนมัติผ่านระบบการประมวลผลภาพในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ [8] และการพัฒนาเครื่องตรวจสอบเชิงมองเห็นแบบอัตโนมัติสำหรับกระบวนการผลิตอาร์คติกส์ไครท์ [9]

ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญอย่างมาก แต่การแก้ไขปัญหาคือการตรวจสอบผิดพลาดที่เกิดขึ้นของโรงงานกรณีศึกษาเชิงอุตสาหกรรมและมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ชัดเจน ซึ่งวิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั้นมีหลากหลายวิธี โดยหนึ่งในวิธีการแก้ไขและปรับปรุงปัญหาให้ดียิ่งขึ้นคือวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับพยากรณ์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปัญหา และการจำแนกประเภทของกลุ่มข้อมูลในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ ได้แก่ การแก้ปัญหาค่าการเลือกรูปของเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน [10] การวิเคราะห์จำแนกหมวดหมู่ทางภูมิศาสตร์ของหมู่บ้าน (Saffoo) [11] การศึกษาการจำแนกมะเข็ญี่ด้านมะเข็ญี่เพื่อมาใช้ [12] และการพยากรณ์การจราจรในเมือง [13]

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อสร้างสมการพยากรณ์สำหรับการตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพความคมชัดของอักษรเครื่องหมายบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ SOE-12 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่สำคัญของโรงงานในกรณีศึกษา ด้วยการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น (Linear discriminant analysis) มาประยุกต์ใช้ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้มาซึ่งสมการการจำแนกประเภทที่มีประสิทธิภาพความแม่นยำในการพยากรณ์อย่างน้อย 80% ขึ้นไป เพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ในการตั้งค่าเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เพื่อหาสาเหตุปัญหาการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ SOE-12 ในโรงงานกรณีศึกษา พร้อมทั้งหาแนวทางป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้น

ด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น โดยขั้นตอนในการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาหาปัญหาและปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้เกิดการตรวจสอบผิดพลาดจากเครื่องจักร รวมถึงศึกษาหาแนวทางแก้ไขปัญหาคือการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรบนผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงงานผลิตวงจรรวมในกรณีศึกษา พร้อมทั้งกำหนดเกณฑ์การตรวจสอบสำหรับแยกผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบด้วยระบบประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักร เพื่อทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามหลักสถิติวิเคราะห์ [14] คือกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่มีผลการตรวจสอบผ่านเกณฑ์ สามารถนำผลิตภัณฑ์นั้นไปดำเนินการต่อกระบวนการถัดไปได้ และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีผลการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์ไม่สามารถนำไปดำเนินการต่อในกระบวนการถัดไป โดยกำหนดเกณฑ์ในการตรวจสอบของเสียที่ได้เป็นเกณฑ์ที่ได้การยอมรับจากโรงงานผลิตอุปกรณ์วงจรรวมกรณีศึกษา

2.2 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท

การวิเคราะห์จำแนกประเภทเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ความสัมพันธ์หรือการหาสาเหตุ โดยที่มีตัวแปรตาม (ตัวแปรตอบสนอง) 1 ตัว และมีตัวแปรอิสระ (ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้) อย่างน้อย 1 ตัว เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้กลุ่มมีความแตกต่างกัน และพยากรณ์กลุ่มใหม่ที่ไม่ทราบกลุ่มว่าควรอยู่ในกลุ่มใด [14] เริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ (x) คือแหล่งกำเนิดแสง ที่มีหน่วยเป็น % ที่มีผลต่อการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายผิดพลาดทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นของเสีย และตัวแปรตอบสนอง (y) คือผลการตรวจสอบค่าความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมาย โดยมีหน่วยเป็น gray scale โดยจะทำการแบ่งข้อมูลทั้งตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ และตัวแปรตอบสนองออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดแรกแบ่งชุดข้อมูลออกมาแบบสุ่มจำนวน 70% ของข้อมูลที่เก็บได้ทั้งหมด เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์สำหรับสร้างสมการจำแนกประเภท (Discriminant equation) เพื่อประโยชน์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุผลิตภัณฑ์และ  
พหุกรรมผลการตรวจสอบ ส่วนข้อมูลชุดที่สองจะเป็นข้อมูล  
ที่เหลืออยู่อีก 30% เพื่อนำมาใช้ทดสอบประสิทธิภาพความ  
แม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่พัฒนาขึ้นมา [14]

2.3 การตรวจสอบข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภท

เป็นการดำเนินการนำข้อมูลชุดแรกจำนวน 70% ของ  
ข้อมูลทั้งหมด มาทำการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐาน 4  
ประการตามข้อกำหนดการใช้งานเทคนิคการวิเคราะห์  
จำแนกประเภท [15] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐาน 4 ประการตามข้อ  
กำหนดการใช้งานเทคนิคการวิเคราะห์การจำแนกประเภท

คุณสมบัติที่ตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบข้อมูล
การตรวจสอบตัวแปรอิสระต้อง มีการแจกแจงปกติ	Anderson-Darling
การตรวจสอบความแปรปรวน ร่วมของตัวแปรอิสระ	Box's M test
การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิง เส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม	Pearson Product Moment Correlation
การตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มี ความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น	Pearson Product Moment Correlation

เริ่มขั้นตอนการสร้างเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  
ทำนายที่มีความเป็นไปได้ของทั้ง 2 กลุ่ม (ผ่าน/ไม่ผ่าน  
เกณฑ์) และทำการสร้างเมทริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุด  
กึ่งกลางกลุ่มจากเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มี  
ความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม แล้วทำการสร้างสมการจำแนก  
ประเภท จากนั้นนำสมการจำแนกประเภทที่ได้มาหา  
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ เพื่อตรวจว่า  
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามทั้ง 2 กลุ่มเท่ากันหรือไม่ ด้วยวิธี  
Hotelling T<sup>2</sup> โดยตามข้อกำหนดของการวิเคราะห์การ  
จำแนกประเภทค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองต้องไม่  
เท่ากัน และคำนวณหาค่าแยกแยะคือ  $Y_c$  เพื่อใช้ในการ  
แยกแยะข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภท

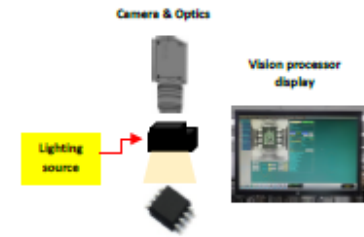
นำข้อมูลในชุดที่สองจำนวน 30% ของข้อมูลทั้งหมดที่  
แบ่งไว้มาทำการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการ  
จำแนกประเภทที่ได้ ด้วยการนำข้อมูลตัวแปรทำนายที่มี  
ความเป็นไปได้แทนค่าในสมการจำแนกประเภทเพื่อทำ  
การคำนวณค่าพยากรณ์  $\hat{Y}$  โดยมีเกณฑ์กำหนด กรณีที่  
 $\hat{Y} \leq Y_c$  หมายความว่าผลิตภัณฑ์จะอยู่ในกลุ่มช่วงการ  
ตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์  
จึงไม่สามารถนำผลิตภัณฑ์ส่งไปยังลูกค้าได้ และกรณีที่  
 $\hat{Y} > Y_c$  นั่นคือผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วงของการตรวจสอบ  
ความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ และสามารถ  
นำผลิตภัณฑ์ส่งไปยังลูกค้าได้ (เป้าหมายในการตรวจสอบ  
ประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภทคือมีความถูกต้อง  
แม่นยำสูงกว่า 90% ขึ้นไป)

3. ผลการทดลอง

3.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

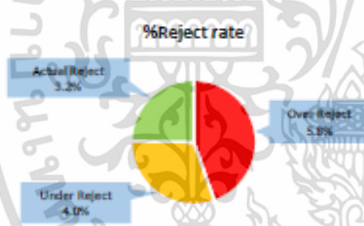
จากการศึกษาในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุ  
ภัณฑ์ของ โรงงานกรณีศึกษาพบว่าการ  
ตรวจสอบผิดพลาดของความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมาย  
บนผลิตภัณฑ์ SO8-12 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทวงจรรวม  
ด้วยการใช้แหล่งกำเนิดแสงของระบบการประมวลผลด้วย  
ภาพ (Image Processing) ภายในเครื่องจักรตรวจสอบ  
หลักการการทำงานของระบบการประมวลผล จะใช้  
แหล่งกำเนิดแสงที่ปรับระดับความสว่างได้ในระบบการ  
ตรวจจับภาพ จากนั้นภาพที่ถ่ายได้จะถูกนำมาประมวลผล  
ด้วยอัลกอริทึมที่ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากภาพด้วย  
หลักการตรวจสอบความคล้าย (Pattern Matching) ของ  
ตัวอักษรเครื่องหมาย ด้วยเกณฑ์กำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์  
ของ โรงงานกรณีศึกษา ระบบตรวจสอบจะส่งสัญญาณเพื่อ  
บ่งบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ค่าสังเกตการณ์นั้นเป็นผลิตภัณฑ์  
ที่มีคุณภาพหรือผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณภาพ การทำงานของ  
ระบบการประมวลผลด้วยภาพแสดงได้ดังรูปที่ 1 ดังนั้น  
ระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงจึงมีผลต่อระบบ  
ประมวลผลด้วยภาพในเครื่องจักรตรวจสอบอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 การทำงานบนระบบประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักรในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลโรงงานการศึกษาในช่วงเดือน มิถุนายน-ธันวาคม พ.ศ. 2563 พบว่าอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ยอยู่ที่ 91.0% ซึ่งพบว่ามีอัตราผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธเฉลี่ย (Reject Rate) อยู่ที่ 9.0% โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธจริง (Actual Reject) อยู่ที่ 3.2% และมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับผสมไปในผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธด้วยถึง 5.8% (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Over Reject) โดยในกลุ่มผลิตภัณฑ์อัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับ พบว่ามีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธผสมรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับถึง 4.0% (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Under Reject) ดังนั้นจำนวนเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบแสดงไว้ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบ

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject) จำนวน 5.8% พบว่าเป็นการตรวจสอบผิดพลาดแบบที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ (Marking) ตัวอย่างในรูปที่ 3



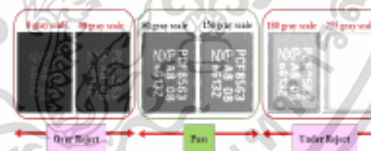
รูปที่ 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธแบบ Marking

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under reject) ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานส่งไปถึงลูกค้าถึง 4.0% พบว่า เป็นการตรวจสอบผิดพลาดแบบที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ (Marking) แสดงตัวอย่างในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับแบบ Marking

เมื่อทำการวิเคราะห์จากข้อมูลเบื้องต้นทำให้ทราบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผ่านตามเกณฑ์คุณภาพของลูกค้า โดยปกติต้องอ่านค่าความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ได้ที่ระดับ 80-150 gray scale ถ้าอ่านค่าความคมชัดน้อยกว่า 80 gray scale ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject) และถ้าอ่านค่าความคมชัดได้มากกว่า 150 gray scale ถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพของลูกค้าดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างภาพความคมชัดในการตรวจสอบคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับตัวอักษรเครื่องหมาย (Marking) แบบต่างๆ: ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูกปฏิเสธ (Over Reject), ผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) และผลิตภัณฑ์ผ่านแบบปกติ (Pass) ด้วยการประมวลผลด้วยภาพ

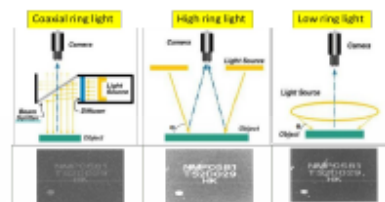
โดยตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจสอบของระบบการประมวลผลด้วยภาพภายในเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ คือ 1) แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light 2) แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light และ 3) แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light โดยแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งนี้จะถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในขั้นตอนการสร้างสรรค์การจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทต่อไป

3.2 การวิเคราะห์จำแนกประเภท

ดังที่กล่าวมาแล้วในการวิเคราะห์เบื้องต้น ตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์คือ แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยระบบการประมวลผลด้วยภาพจากเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยมีอยู่ 3 แหล่งกำเนิดแสง โดยรายละเอียดและระดับความสว่างที่ปรับได้ของแต่ละแหล่งกำเนิดแสงมีดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light ( $X_1$ ) เป็นการฉายแสงช่วยให้เห็นพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 16 ถึง 26
- 2) แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light ( $X_2$ ) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงมาทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนขึ้น สามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 10 ถึง 20
- 3) แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light ( $X_3$ ) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 12 ถึง 20 โดยทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรทำ

นายที่มีความเป็นไปได้อื่นๆ ( $X$ ) และค่าความคมชัดของเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์คือตัวแปรตอบสนอง ( $Y$ ) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อื่นๆและตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อื่นๆและตัวแปรตอบสนองในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องหมายจรรวม

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์จรรวม ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 180 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือ ชุดที่ 1 ข้อมูลสำหรับการสร้างสรรค์การวิเคราะห์จำแนกประเภทจำนวน 126 ชุดข้อมูล นั่นคือ 70% ของข้อมูลที่เก็บทั้งหมด ประกอบด้วย 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์จำนวน 66 ข้อมูล และกลุ่มที่ 2 ที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 60 ข้อมูล และชุดที่ 2 จำนวน 54 ชุดข้อมูล หรือ 30% ของข้อมูลที่เก็บทั้งหมด เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของผลการจำแนกประเภทที่ได้ โดยข้อมูลบางส่วนที่ทำการเก็บและศึกษาได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อื่นๆและตัวแปรตอบสนองบางส่วนที่ทำการศึกษา

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของโรงงานกรณีศึกษา	
Coaxial Ring	High Ring	Low Ring		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
$X_1$	$X_2$	$X_3$	Y (Grey scale)		
24	16	14	58		✓
26	18	18	82	✓	
24	18	12	90	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองบางส่วนที่ทำการศึกษา(ต่อ)

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของโรงงาน ภูมิศึกษา	
Coaxial Ring	High Ring	Low Ring		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
$X_1$	$X_2$	$X_3$	Y (Gray scale)		
18	20	20	85	✓	
16	16	16	50		✓
18	10	16	58		✓
26	20	18	83	✓	
16	18	16	81	✓	
20	18	18	89	✓	
22	10	20	84	✓	

จากนั้นนำข้อมูลมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานข้อมูล ตามข้อกำหนดเบื้องต้น 4 ข้อ ก่อนนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งการตรวจสอบมีดังนี้

1) ตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ โดยนำข้อมูลของทั้ง 3 ตัวแปร ของทั้ง 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ มาทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสถิติแอนเดอร์สัน-ดาร์ลิ่ง (Anderson-Darling) ผลที่ได้จากการตรวจสอบ พบว่าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม มีค่า P-value ของปัจจัย Coaxial Ring Light, High Ring Light และ Low Ring Light ที่ระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติแสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ 1 คือการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์ (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

Factor	N	Mean	Standard deviation	Average Deviation	P-value
Coaxial	66	21.400	3.118	0.575	0.130
High	66	14.970	3.419	0.502	0.200
Low	66	16.230	2.747	0.611	0.108

ตารางที่ 4 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ 2 คือการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ (ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05)

Factor	N	Mean	Standard deviation	Average Deviation	P-value
Coaxial	60	20.040	2.928	0.604	0.112
High	60	14.530	3.291	0.560	0.142
Low	60	15.480	2.862	0.615	0.105

2) ตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มข้อมูล ด้วยสถิติวิธี Box's M Test ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 5

โดยการทดสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้มีการตั้งสมมติฐานตามสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้

$$H_0: \Sigma_1 = \Sigma_2; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มเท่ากัน (1)}$$

$$H_1: \Sigma_1 \neq \Sigma_2; \text{ ความแปรปรวนของ 2 กลุ่มไม่เท่ากัน (2)}$$

ซึ่งพิจารณาจากค่าความมีนัยสำคัญ (sig.) ของ F แสดงดังตารางที่ 5 พบว่าค่า sig. เท่ากับ 0.927 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญ จึงยอมรับ  $H_0$  นั้นหมายความว่าข้อมูลตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน

ตารางที่ 5 ข้อมูลการตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้

Test Results	
Box's M	1.974
F	Approx. .320
df1	6
df2	108666.169
Sig.	.927

3) ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันดังสมการที่ (3)

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (3)$$

โดย  $r$  แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน  
 $n$  แทนจำนวนข้อมูล  
 $x_i$  แทนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่  $i$   
 $y_i$  แทนตัวแปรตอบสนองกลุ่มที่  $i$

จากตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง พบว่าค่า  $r_{x_1y}$ ,  $r_{x_2y}$  และ  $r_{x_3y}$  มีค่าเท่ากับ 0.336, 0.069 และ 0.701 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าแหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light และ Coaxial Ring Light มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตอบสนอง (เนื่องจากค่า  $r_{x_1y}$  และ  $r_{x_3y}$  ไม่มีค่าใกล้ 0 อย่างไรก็ดี ค่า  $r_{x_2y} = 0.069$  ของค่าแหล่งกำเนิดแสง High Ring Light กับตัวแปรตอบสนอง อาจจะทำให้สามารถตัดผลกระทบของ High Ring Light ออกไปได้ แต่ในการวิจัยนี้ยังคงวิเคราะห์ผลของ High Ring Light ไว้วมเข้าไปด้วยเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมผลกระทบของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งไว้

4) ตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเช่นกันดังสมการที่ (4)

$$r_{x_i x_j} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i x_j - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_j}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2][n \sum_{i=1}^n (x_j)^2 - (\sum_{i=1}^n x_j)^2]}} \quad (4)$$

โดย  $x_i$  แทนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่  $i$  ได้แก่  $x_1, x_2, x_3$   
 $x_j$  แทนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่  $j$  ได้แก่  $x_1, x_2, x_3$

จากตารางวิเคราะห์ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นกัน พบว่าค่า  $r_{x_1x_2}$ ,  $r_{x_1x_3}$  และ  $r_{x_2x_3}$  เท่ากับ  $-0.062$ ,  $-0.014$  และ  $-0.007$  ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้มีความอิสระต่อกันสูง เนื่องจาก  $r$  เข้าใกล้ 0

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลทั้ง 4 ข้อ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลชุดที่ 1 ทั้ง 2 กลุ่มย่อย ข้อมูลการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลมีความแปรปรวนเท่ากัน ข้อมูลชุดที่ 1 ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น และตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทุกตัวเป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถนำเทคนิคการจำแนกประเภทมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการจำแนกประเภทได้

3.3 สร้างสมการจำแนกประเภท

สำหรับขั้นตอนการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท เริ่มจากนำข้อมูลชุดที่ 1 ทั้ง 126 ข้อมูล มาสร้างเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 3 ตัวแปร โดยแยกการคำนวณเป็น 2 กลุ่มคือ  $\bar{x}_{Full}$  สำหรับกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์ และ  $\bar{x}_{Fail}$  สำหรับกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ การตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายแสดงได้ตามสมการที่ (5) ดังนี้

$$\bar{x}_{Pass} = \begin{bmatrix} 21.424 \\ 15.455 \\ 18.242 \end{bmatrix} \quad \bar{x}_{Fail} = \begin{bmatrix} 20.200 \\ 14.667 \\ 13.733 \end{bmatrix} \quad (5)$$

สร้างเมทริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางกลุ่มเพื่อหาค่า  $d$  ดังสมการที่ (6) โดยนำเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้  $\bar{x}_{Pass}$  และ  $\bar{x}_{Fail}$  มาลบกัน

$$d = \begin{bmatrix} 21.424 - 20.200 \\ 15.455 - 14.667 \\ 18.242 - 13.733 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.224 \\ 0.789 \\ 4.509 \end{bmatrix} \quad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถคำนวณเมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมรวมทั้งหมดของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อีก 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ตามสมการที่ (7) ดังนี้

$$S_p = \begin{bmatrix} 12.567 & -0.755 & -0.145 \\ -0.755 & 11.946 & -0.072 \\ -0.145 & -0.072 & 8.274 \end{bmatrix} \quad (7)$$

ต่อจากนั้นทำการสร้างเมทริกซ์ตัวคูณ  $b$  สำหรับสร้างสมการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาดตามสมการที่ (8) และ (9) ดังนี้

$$S_p^{-1} = \begin{bmatrix} 0.0799 & 0.0051 & 0.0015 \\ 0.0051 & 0.084 & 0.0008 \\ 0.0014 & 0.0008 & 0.1213 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$b = S_p^{-1}d = \begin{bmatrix} 0.0799 & 0.0051 & 0.0015 \\ 0.0051 & 0.084 & 0.0008 \\ 0.0014 & 0.0008 & 0.1213 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.224 \\ 0.789 \\ 4.509 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$= \begin{bmatrix} 0.1087 \\ 0.076 \\ 0.549 \end{bmatrix}$$

จากนั้นทำการสร้างสมการจำแนกด้วยการนำค่าในเมทริกซ์  $b$  มาใช้เป็นสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อีกแต่ละตัว ตามลำดับ ทำให้สามารถสร้างสมการการจำแนกได้ดังสมการที่ (10) ดังนี้

$$Y = 0.108x_1 + 0.076x_2 + 0.549x_3 \quad (10)$$

โดย  $x_1$  คือ ระดับแหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light  
 $x_2$  คือ ระดับแหล่งกำเนิดแสง High Ring Light  
 $x_3$  คือ ระดับแหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light

จากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่าการแยกแยะ  $Y_c$  ดังสมการที่ (11)

$$Y_c = \frac{n_1 \bar{Y}_1 + n_2 \bar{Y}_2}{n_1 + n_2} \quad (11)$$

โดย  $Y_c$  คือ ค่าการแยกแยะ  
 $n_1$  คือ 66 (จำนวนข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์)

$n_2$  คือ 60 (จำนวนข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)  
 $\bar{Y}_1$  คือ 13.158 (ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์)  
 ค่ารวมด้วยการแทนค่า  $\bar{x}_{pass}$  ลงในสมการที่ (10)  
 $\bar{Y}_2$  คือ 10.849 (ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)  
 ค่ารวมด้วยการแทนค่า  $\bar{x}_{fail}$  ลงในสมการที่ (10)

ในที่สุดจะได้ค่าการแยกแยะ  $Y_c$  เท่ากับ 12.250 นั่นคือ ถ้าค่า  $Y \leq Y_c = 12.250$  หมายถึง พยากรณ์ได้ว่าค่าการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีค่าน้อยกว่า 80 gray scale ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นถูกปฏิเสธ และ ถ้าค่า  $Y > Y_c = 12.250$  หมายถึง พยากรณ์ได้ว่าค่าการตรวจสอบความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีค่ามากกว่า 80 gray scale หรืออยู่ระหว่าง 80-150 gray scale ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นถูกยอมรับ

เพื่อให้สามารถใช้ค่า  $Y_c = 12.250$  มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้ จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่มคือ ค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์ และค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์ก่อนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ด้วยวิธี Hotelling  $T^2$  ซึ่งจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานตามสมการที่ (12) และ (13) ดังนี้

$$H_0: [\mu_1] = [\mu_2] \quad (12)$$

$$H_1: [\mu_1] \neq [\mu_2] \quad (13)$$

โดย  $[\mu_1]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อีกกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์  
 $[\mu_2]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อีกกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

เมื่อทำการคำนวณค่าสถิติทดสอบ  $F$  ตามขั้นตอนดังแสดงในสมการที่ (14)-(16) ดังนี้

$$D^2 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 = 13.158 - 10.849 = 2.670 \quad (14)$$

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} D^2 = \frac{(66)(60)}{66+60} (2.670) = 83.900 \quad (15)$$

$$F = \frac{(n_1 + n_2 - p - 1)}{p(n_1 + n_2 - 2)} T^2 = \frac{(66+60-3-1)}{3(66+60-2)} (83.900) = 27.52 \quad (16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $p$  คือจำนวนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้  
 $n_1$  คือ 66 (จำนวนข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์)  
 $n_2$  คือ 60 (จำนวนข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)  
 เมื่อทำการเปิดตารางสถิติ  $F$  ที่  $\alpha = 0.05$  และ  $v_1 = 3$ ,  
 $v_2 = 122$  จะ ได้ผลคือ  $f_{0.05,3,122} = 2.605$  นั่นคือค่า  $F$  สูง  
 กว่า ค่า  $f_{0.05,3,122}$  หรือไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะยอมรับ  
 $H_0$  หมายความว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความ  
 เป็นไปได้ของทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน นั่นทำให้สามารถใส่  
 ค่า  $Y_C = 12.250$  มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้

**3.4 การทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการ  
 จำแนกประเภท**

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพและ  
 ความแม่นยำของสมการที่ (10) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการ  
 พยากรณ์ เมื่อทำการตั้งค่าระดับความสว่างของแหล่งกำเนิด  
 แสงทั้ง 3 แหล่ง (ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายที่มีความ  
 เป็นไปได้) จะส่งผลให้ระบบการประมวลผลด้วยภาพ  
 ตัดสินให้ผลึกภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบถูกยอมรับ หรือถูก  
 ปฏิเสธ ในการทดสอบจะนำเข้าข้อมูลกลุ่มที่ 2 จำนวน 54  
 ข้อมูล หรือ 30% ข้อมูลที่เก็บทั้งหมด เข้าสู่สมการที่ (10)  
 โดยตัวอย่างการคำนวณแสดงดังนี้

**ตัวอย่างที่ 1** ตั้งค่าระดับแสงทั้ง 3 แหล่ง ดังนี้  $x_1 = 22$ ,  
 $x_2 = 16$ ,  $x_3 = 16$  และ  $Y = 90$  gray scale หรือ ระบบ  
 ประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสินให้ผลึกภัณฑ์ถูกยอมรับ  
 (ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลึกภัณฑ์มีความคมชัด) จาก  
 สมการที่ (10) จะได้ผลการคำนวณค่า  $\hat{Y}$  ดังสมการที่ (17)

$$\hat{Y} = 0.108(22) + 0.076(16) + 0.549(16) \quad (17)$$

$$\hat{Y} = 12.28$$

นั่นคือ  $\hat{Y} = 12.280$  ซึ่งสูงกว่า  $Y_C = 12.250$  หรือสมการ  
 ที่ (10) พยากรณ์ว่าผลึกภัณฑ์นี้น่าจะถูกยอมรับ หรือ  $Y =$   
 $80-150$  gray scale หรือ ระบบประมวลผลด้วยภาพต้อง  
 ตัดสินให้ผลึกภัณฑ์ถูกยอมรับ (ตัวอักษรเครื่องหมายบน  
 ผลึกภัณฑ์มีความคมชัด) ซึ่งกรณีนี้ สมการที่ (10) พยากรณ์  
 ถูกต้อง

**ตัวอย่างที่ 2** ตั้งค่าระดับแสงทั้ง 3 แหล่ง ดังนี้  $x_1 = 20$ ,  
 $x_2 = 20$ ,  $x_3 = 16$  และ  $Y = 58$  gray scale หรือ ระบบ  
 ประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสินให้ผลึกภัณฑ์ถูกปฏิเสธ  
 (ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลึกภัณฑ์ไม่มีความคมชัด) จาก  
 สมการที่ (10) จะได้ผลการคำนวณค่า  $\hat{Y}$  ดังสมการที่ (18)

$$\hat{Y} = 0.108(20) + 0.076(20) + 0.549(16) \quad (17)$$

$$\hat{Y} = 12.35$$

นั่นคือ  $\hat{Y} = 12.350$  ซึ่งสูงกว่า  $Y_C = 12.250$  หรือ สมการ  
 ที่ 3 พยากรณ์ว่าผลึกภัณฑ์นี้น่าจะถูกยอมรับ หรือ  $Y = 80-$   
 $150$  gray scale หรือ ระบบประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสิน  
 ให้ผลึกภัณฑ์ถูกยอมรับ (ตัวอักษรเครื่องหมายบน  
 ผลึกภัณฑ์มีความคมชัด) ซึ่งกรณีนี้ สมการที่ (10)  
 พยากรณ์ผิดพลาด

เมื่อนำสมการที่ (10) มีการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2  
 จำนวน 54 ข้อมูล จะได้ผลดังในตารางที่ 6 นั่นคือ สมการที่  
 (10) สามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลึกภัณฑ์ที่ถูก  
 ยอมรับทั้งหมด 25 ชิ้นงาน (Pass) ถูกต้องถึง 23 ชิ้นงาน  
 (92%) ดังนั้น ในผลึกภัณฑ์ที่ถูกยอมรับมีผลึกภัณฑ์ที่ควร  
 ปฏิเสธผสมไป 3% และสามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่ม  
 ผลึกภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมด 29 ชิ้นงาน (Fail) ถูกต้องถึง  
 27 ชิ้นงาน (93.1%) สรุปว่าจากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 54  
 ข้อมูล สมการที่ (10) สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบถูก  
 ถึง 50 ชิ้นงาน (92.6%) นั่นหมายความว่า สมการที่ (10) มี  
 ประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์ถึง 92.6%  
 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์  
 การตรวจสอบผิดพลาดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลึกภัณฑ์  
 วงจรรวม

ประเภท	ค่าพยากรณ์		ผลรวม
	ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
ผลการ ตรวจสอบที่ได้	ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
	23	2	25
	2	27	29
%	ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์	
	92	8	100
	6.9	93.1	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโรงงานการศึกษาให้ความสำคัญในด้านการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า นั่นคืออัตราผลผลิตที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) ดังนั้นจึงนำผลการจำแนกประเภทที่ได้ไปใช้ประโยชน์จริงในการทดลองปรับตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสง ทั้ง 3 แหล่ง โดยตั้งค่า Coaxial Ring Light เท่ากับ 22, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทโดยมีแนวโน้มให้  $P > Y_c = 12.250$  มากที่สุด เพื่อสร้างความมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับมีผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมไปไม่เกิน 8% ตามตารางที่ 6 และทำการเก็บข้อมูลจำนวน 30 ชุดข้อมูล แสดงผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางการพยากรณ์การตรวจสอบประสิทธิภาพที่ได้จากการดำเนินงานจริง

ประเภท	ค่าพยากรณ์	
	ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
ผลการตรวจสอบที่ได้	ผ่านเกณฑ์ 20	ไม่ผ่านเกณฑ์ 1
	ไม่ผ่านเกณฑ์ 0	ผ่านเกณฑ์ 9
%	ผ่านเกณฑ์ 66.7	ไม่ผ่านเกณฑ์ 3.3
	ไม่ผ่านเกณฑ์ 0	ผ่านเกณฑ์ 30

จากตารางที่ 7 พบว่าประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภทในการนำมาพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมที่ได้ไปปรับใช้จริงในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยมีผลที่สามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับทั้งหมด 21 ชิ้นงาน ถูกต้องถึง 20 ชิ้นงาน (95.2%) และสามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมด 9 ชิ้นงาน ถูกต้องทั้งหมด 9 ชิ้นงาน (100%) นั่นคือ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 30 ข้อมูล สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบถูกต้องถึง 29 ชิ้นงาน (96.7%) สามารถสรุปได้ว่าจากการทดลองปรับใช้จริงมีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์ถึง 96.7% โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับหลุดออกไป 3.3% ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมไปไม่

เกิน 8% จริงตรงตามการทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภท โดยสอดคล้องกับข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับไม่เกิน 10%

ผลจากการปรับใช้จริงและทำการเก็บข้อมูลในช่วงเดือน มีนาคม-สิงหาคม พ.ศ. 2564 พบว่าอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ย (Yield) อยู่ที่ 99.6% ซึ่งพบว่าอัตราผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธเฉลี่ย (Reject rate) อยู่ที่ 0.4% ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธจริง (Actual reject) 0.4% โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธผสมรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับ 0.6% (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้ว่าเป็นแบบ Under reject) ดังนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์วงจรรวมดีขึ้นโดยสามารถลดข้อผิดพลาดของกระบวนการตรวจสอบได้ 85%

#### 4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการศึกษา พบว่าสมการจำแนกประเภทเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรในกระบวนการตรวจสอบความคมชัดของอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมด้วยระบบประมวลผลด้วยภาพในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยมีตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อยู่ 3 ตัวแปร คือ แหล่งกำเนิดแสงภายในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ นั่นก็คือ 1) Coaxial Ring Light ที่มีการปรับตั้งการเปล่งแสงที่ 16 ถึง 26, 2) High Ring Light มีการปรับตั้งการเปล่งแสงที่ 10 ถึง 20 และ 3) Low Ring Light มีการปรับตั้งการเปล่งแสงอยู่ที่ 12 ถึง 20 ที่ส่งผลการตรวจสอบเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบอยู่ ณ สภาพปัจจุบัน ปรากฏว่าเครื่องจักรตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด จึงส่งผลให้ปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีออกไปและยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพออกไปสู่ลูกค้า เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ เทคนิคการจำแนกประเภทจึงถูกนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมด้วยข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ในสภาพการทำงานปัจจุบัน หลังจากการประยุกต์ใช้วิเคราะห์จำแนกประเภททำให้สามารถสร้าง

สมการการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ผลการทำงานของเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ ได้ตามสมการที่ (10) ดังนี้  $\hat{y} = 0.108x_1 + 0.076x_2 + 0.549x_3$  และเมื่อทำการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการพบว่าพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับเท่ากับ 92% และพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมดเท่ากับ 93.1% นั่นคือ สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบสูงถึง 92.6%

จากนั้นนำค่าที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานกรณีศึกษาในการปรับตั้งค่าระดับที่เหมาะสมให้แก่แหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง โดยตั้งค่า Coaxial Ring Light เท่ากับ 22, ค่า High Ring Light เท่ากับ 20 และค่า Low Ring Light เท่ากับ 20 ภายในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์พบว่าสามารถตรวจสอบผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับถูกต้องเท่ากับ 95.2% และสามารถตรวจสอบผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธเท่ากับ 100% ดังนั้นจากข้อมูลทั้งหมดสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์ถูกต้องได้สูงถึง 96.7% และมีโอกาสที่ผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมกับผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับ 3.3% ซึ่งสอดคล้องกับข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าที่ไม่เกิน 10% และสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตที่ถูกยอมรับเฉลี่ย (Yield) จาก 91% เป็น 99.6% และสามารถช่วยลดผลิตภัณฑ์ที่ควรออกปฏิเสธผสมรวมในผลผลิตที่ถูกยอมรับ (Under Reject) จาก 4% เป็น 0.6% แสดงให้เห็นว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์วางจรรวมของโรงงานในกรณีศึกษาได้ถึง 85%

##### 5. ข้อเสนอแนะ

โรงงานกรณีศึกษานำการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาใช้ในการวิเคราะห์ปรับตั้งค่าของเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์เพื่อลดการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ผิดพลาดไปสู่ลูกค้า

##### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กรณีศึกษาที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้

##### เอกสารอ้างอิง

- [1] "Electrical and Electronics Institute, "Integrated circuits, May. 31, 2020. Accessed: Apr. 28, 2021 [Online]. Available: <http://ein.thaitee.com/box/Products/9IC%2031-05-2560.pdf>
- [2] P. Pholphirul, "Roles of Thai Small and Medium Enterprises Under Creative Economy," *NZD4 Economic Review Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 207-249, 2013.
- [3] C. Laofor and V. Peanrupa, "Defect Detection and Quantification System to Support Subjective Visual Quality Inspection Via a Digital Image Processing: A Tiling Work Case Study," *Automation in Construction*, vol. 24, pp. 160-174, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2012.02.012.
- [4] J. Hesselbach, H. W. Hoffmeister and T. Looß, "Process-Integrated Quality Assurance in Wood Machining Centers with The Help of Image Processing," *Production Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 97-101, 2007, doi:10.1007/s11740-007-0032-x.
- [5] Q. Luo and Y. He, "A Cost-Effective and Automatic Surface Defect Inspection System for Hot-Rolled Flat Steel," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 38, no. 1, pp. 16-30, 2016, doi: [org/10.1016/j.rcim.2015.09.008](https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.09.008).
- [6] S. Xianjiang, Z. Yue, S. Peng, S. Han, L. Xiaohui and W. Andong, "Automotive Airbag Assembly Quality Visual Inspection Method Studies Based on MATLAB," in *Proc. 2012 2nd International Conference on Computer Science and Network Technology*, Changchun, China, Dec. 29-31, 2012, pp. 1225-1228, doi: 10.1109/ICCSNT.2012.6526145.
- [7] W. Boonsuk, "Applying for Classifying System of Rubber Quality Using Technique of Color Average," *The Journal of KMUTNB*, vol. 25, no. 2, 2015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] A. Panawan and S. Sudsawat, "Automated part inspection by image processing system in vehicle part manufacturing," *The Journal of Applied Science*, vol. 16, no. 1, pp. 45-59, 2017, doi: 10.14416/j.appsci.2017.06.001.
- [9] J. Varagul, "Development of Automatic Visual Inspection Machine for HDD Manufacturing Process," M.S. Thesis, Dept. Mechanical Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2010.
- [10] V. Saeheir, "Forecasting of Steel Plate in Hot-Dip Galvanized Process by Discriminant Analysis: A Case Study of Hot-Dip Galvanized Factory," M.S. Thesis, Dept. Industrial Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2019.
- [11] A. A. D'Archivio and M. A. Maggi, "Geographical Identification of Saffron (*Crocus sativus* L.) by Linear Discriminant Analysis: Applied to The UV-Visible Spectra of Aqueous Extracts," *Food Chemistry*, vol. 219, pp. 405-413, 2017, doi: org/10.1016/j.foodchem.2016.09.169.
- [12] M. Toğaçar, B. Ergen and Z. Cömert, "Application of Breast Cancer Diagnosis Based on a Combination of Convolutional Neural Networks, Ridge Regression and Linear Discriminant Analysis Using Invasive Breast Cancer Images Processed with Autoencoders," *Medical Hypotheses*, vol. 135, 2020, doi: org/10.1016/j.mehy.2019.109503
- [13] Z. Jiang, G. Wang, S. Zhang and C. Qiu, "Building Tianjin Driving Cycle Based on Linear Discriminant Analysis," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 53, pp.78-87, 2017, doi: org/10.1016/j.trd.2017.04.005
- [14] K. Wanichbuncha, "Discriminant Analysis," in *Multivariate analysis*, Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press, 2008, ch. 10, sec. 10.1-10.11, pp. 375-405.
- [15] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin and R. E. Anderson, "Multiple Discriminant Analysis," in *Multivariate data analysis: A Global Perspective*, 7th ed. NJ, USA: Pearson Prentice Hall, 2010, ch. 7, sec. 4, pp. 471-547.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

# วิศวกรรมลาดกระบัง

Engineering & Technology Journal of Ladkrabang Rajabhat University  
 วิศวกรรมศาสตร์ - สาขาวิชาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

E-mail : [kritleng.jrle@gmail.com](mailto:kritleng.jrle@gmail.com)

วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2565

เลขที่อ้างอิง 245799

เรื่อง คอปรับตีพิมพ์ความ

เรียน คุณกนกอร บุญมา และ คุณสิกนธ์ คล่องบุญจิต

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง “การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม” (The Application of Employing the Discriminant Analysis Technique to Forecast the Inspection Marking on the Integrated Circuit Product) บัดนี้ ผู้ทรงคุณวุฒิได้ทำการพิจารณาแล้วเห็นว่า ยอมรับตีพิมพ์ได้ โดยจะตีพิมพ์ในปีที่ 39 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม 2565

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ศาสตราจารย์ ดร.ธรมมา สืบบุญเรือง)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

## หมายเหตุ :

วิศวกรรมลาดกระบังเป็นวารสารวิชาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Journal Citation Index (TCI) Centre) และอยู่ในฐานข้อมูลของ TCI เพื่อเป็นการเผยแพร่บทความวิศวกรรมลาดกระบังให้เป็นที่รู้จักและยอมรับในวงการศึกษาวิชาการมากขึ้นทางวารสารจึงขอความอนุเคราะห์ท่านเจ้าของบทความโปรดพิจารณาการอ้างอิงบทความมายังวิศวกรรมลาดกระบังในโอกาสต่อไป โดยท่านสามารถดาวน์โหลดบทความวิศวกรรมลาดกระบังย้อนหลังได้ที่ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกนกอร บุญมา
วัน เดือน ปีเกิด	23 ธันวาคม 2534 ที่จังหวัดเชียงราย
ที่อยู่	71/38 ซอยรามอินทรา 127 ถ.รามอินทรา แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510 โทร 097-163-5154
ประวัติการศึกษา	2557 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2557 - ปัจจุบัน	ตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการผลิต บริษัท NXP Manufacturing (Thailand) Co.,Ltd
ผลงานทางวิชาการ	กนกอร บุญมา และ สกนธ์ คล่องบุญจิต (2565) “การประยุกต์ใช้เทคนิคการ วิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมาย บนผลิตภัณฑ์วงจรรวม” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 39 ฉบับที่1 เดือนมีนาคม 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้