

การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การตรวจสอบ ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม

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

กนกอร บุญมา^{1,*} และ สกนช์ คล่องบุญจิต¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Kanokon Boonma^{1,*} and Sakon klongboonjit¹

¹Department 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

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการตรวจสอบคุณภาพและบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์วงจรรวมมีขนาดเล็ก แต่มีกำลังการผลิตที่สูงมากทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบได้ง่ายและลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ ผู้วิจัยจึงพัฒนากระบวนการตรวจสอบให้เหมาะสมและถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรในกระบวนการตรวจสอบข้อบกพร่องตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์วงจรรวม (Integrated Circuit) เพื่อเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบน้อยที่สุด โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis) มาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ สำหรับเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพพบว่าแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งของเครื่องนี้คือตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ 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% และสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตที่ถูกต้องรับเฉลี่ย (Yield) เป็น 99.6% รวมถึงสามารถช่วยลดผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมรวมในผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องรับเหลือเพียง 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

during inspection process and launch low quality product to customers. 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

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

สำหรับกระบวนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์อุปกรณ์วงจรรวมในโรงงานผลิตวงจรรวมที่โรงงานการศึกษา จะมีการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยภาพอัตโนมัติ (Vision System) โดยนำเทคนิคการตรวจสอบและการประมวลผลด้วยภาพ (Image Processing) เข้ามาช่วยในการตรวจสอบความคมชัดตัว

อักษรบนผลิตภัณฑ์แบบอัตโนมัติ ซึ่งอาจเกิดจุดบกพร่องจากการทำงานของเครื่องจักรในระหว่างการผลิต [4] ของผลิตภัณฑ์วงจรรวมก่อนทำการบรรจุลงหีบห่อ ได้แก่ เครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ (Vision Inspection and Packing Machine) โดยโรงงานกรณีศึกษาประสบปัญหาในส่วนของการขาดแนวทางหรือมาตรฐานในการปรับตั้งค่าความเข้มแสงหรือความสว่างของแสงที่ตกกระทบบนผลิตภัณฑ์วงจรรวมของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการประมวลผลด้วยภาพ เพื่อลดการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาดคือการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลิตภัณฑ์เสีย หรือตรวจสอบผลิตภัณฑ์เสียเป็นผลิตภัณฑ์ดี ซึ่งจะทำให้ต้องทิ้งผลิตภัณฑ์ดีที่ผ่านทุกกระบวนการขั้นตอนการผลิตตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องการปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักรให้ถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) และจะต้องมีวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือ (Reliable Test Methodology) และมีประสิทธิภาพสูง [5] เพื่อลดความเสี่ยงที่ลูกค้าจะได้รับผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิต หรือแม้กระทั่งในอุตสาหกรรมยานยนต์มีการประยุกต์ใช้งานระบบการตรวจสอบด้วยภาพกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความถูกต้องแม่นยำสูง ทำให้การทำงานสะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ได้แก่ ในการตรวจสอบคุณภาพถุงลมนิรภัยโดยใช้โปรแกรม MATLAB ควบคู่กับโครงข่ายประสาทเทียม [6] การคัดแยกความเข้มสี

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

ดังนั้นการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญอย่างมาก แต่การแก้ไขปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดที่เกิดขึ้นของโรงงานกรณศึกษาข้างต้นแนวทางและมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ชัดเจน ซึ่งวิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั้นมีหลากหลายวิธี โดยหนึ่งในวิธีการแก้ไขและปรับปรุงปัญหานี้ให้ดียิ่งขึ้นคือวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น (Linear Discriminant Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สำหรับพยากรณ์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อปัญหา และการจำแนกประเภทของกลุ่มข้อมูลในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ ได้แก่ การแก้ปัญหาคัดเลือกของเสียในกระบวนการชุมนุมเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน [10] การวิเคราะห์จำแนกหมวดหมู่ทางภูมิศาสตร์ของหญ้าฝรั่น (Saffron) [11] การศึกษาการจำแนกมะเร็งเต้านมมะเร็งท่อนำไข่ [12] และการพยากรณ์การจราจรในเมือง [13]

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อสร้างสมการพยากรณ์สำหรับการตรวจสอบและคัดแยกคุณภาพความคมชัดของอักษรเครื่องหมายบนพื้นผิวผลิตภัณฑ์ SO8-12 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่สำคัญของโรงงานในกรณีศึกษาด้วยการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น (Linear discriminant analysis) มาประยุกต์ใช้ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้มาซึ่งสมการการจำแนกประเภทที่มีประสิทธิภาพความแม่นยำในการพยากรณ์อย่างน้อย 80% ขึ้นไป เพื่อจะนำไปใช้ประโยชน์ในการตั้งค่าเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

2. วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เพื่อหาสาเหตุปัญหาการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ SO8-12 ในโรงงานกรณศึกษา พร้อมทั้งหาแนวทางการป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้น

ด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น โดยขั้นตอนในการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ของโรงงานกรณศึกษา โดยทำการศึกษาหาปัญหาและปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้เกิดการตรวจสอบผิดพลาดจากเครื่องจักร รวมถึงศึกษาหาแนวทางการแก้ปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรบนผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงงานผลิตวงจรรวมในกรณีศึกษา พร้อมทั้งกำหนดเกณฑ์การตรวจสอบสำหรับแยกผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบด้วยระบบประมวลผลด้วยภาพของเครื่องจักร เพื่อทำการแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามหลักสถิติวิเคราะห์ [14] คือ กลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่มีผลการตรวจสอบผ่านเกณฑ์สามารถนำผลิตภัณฑ์นั้นไปดำเนินการต่อกระบวนการถัดไปได้ และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีผลการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์ไม่สามารถนำไปดำเนินการต่อในกระบวนการถัดไป โดยกำหนดเกณฑ์ในการตรวจสอบของเสียที่ได้นั้นเป็นเกณฑ์ที่ได้การยอมรับจากโรงงานผลิตอุปกรณ์วงจรรวมกรณีศึกษา

2.2 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภท

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

การตั้งค่าเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุผลิตภัณฑ์และ
พยากรณ์ผลการตรวจสอบ 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

เริ่มขั้นตอนการสร้างเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปร
ทำนายที่มีความเป็นไปได้ของทั้ง 2 กลุ่ม (ผ่าน/ไม่ผ่าน
เกณฑ์) และทำการสร้างเมตริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุด
กึ่งกลางกลุ่มจากเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มี
ความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม แล้วทำการสร้างสมการจำแนก
ประเภท จากนั้นนำสมการจำแนกประเภทที่ได้มาหา
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ เพื่อตรวจว่า
ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามทั้ง 2 กลุ่มเท่ากันหรือไม่ ด้วยวิธี
Hotelling T^2 โดยตามข้อกำหนดของการวิเคราะห์การ
จำแนกประเภทค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองต้องไม่
เท่ากัน และคำนวณค่าแยกแยะคือ Y_C เพื่อใช้ในการ
แยกแยะข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม

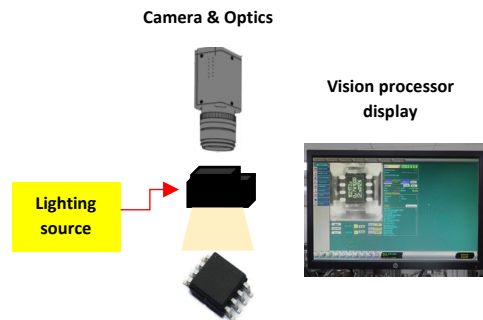
2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภท

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 80% ขึ้นไป)

3. ผลการทดลอง

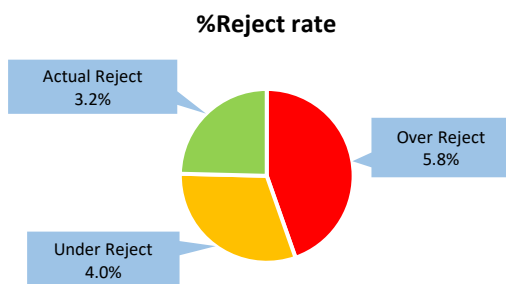
3.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

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



รูปที่ 1 การทำงานบนระบบประมวลผลด้วยภาพของ
เครื่องจักรในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลในโรงงานกรณีศึกษาในช่วงเดือน 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



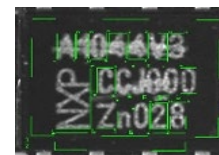
รูปที่ 2 เปอร์เซนต์ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความผิดพลาดในการ
ตรวจสอบ

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



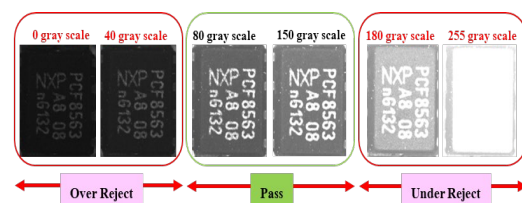
รูปที่ 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกยอมรับแต่กลับถูก
ปฏิเสธแบบ Marking

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



รูปที่ 4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูก
ยอมรับแบบ 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 แหล่งนี้จะถูกนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในขั้นตอนการสร้างสมการการจำแนกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทต่อไป

3.2 การวิเคราะห์จำแนกประเภท

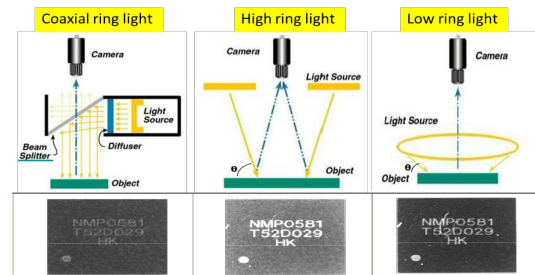
ดังที่กล่าวมาแล้วในการวิเคราะห์เบื้องต้น ตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจสอบความคมชัดของตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ผิดพลาด คือ แหล่งกำเนิดแสงที่ให้ความสว่างในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ด้วยระบบการประมวลผลด้วยภาพจากเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยมีอยู่ 3 แหล่งกำเนิดแสง โดยรายละเอียดและระดับความสว่างที่ปรับได้ของแต่ละแหล่งกำเนิดแสงมีดังนี้

1) แหล่งกำเนิดแสง Coaxial Ring Light (X_1) เป็นการฉายแสงช่วยให้เห็นพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้ดี ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 16 ถึง 26

2) แหล่งกำเนิดแสง High Ring Light (X_2) เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของแสงมากทำให้เห็นเงาและพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจนขึ้น สามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 10 ถึง 20

3) แหล่งกำเนิดแสง Low Ring Light (X_3) เป็นแหล่งกำเนิดแสงมุ่มต่ำช่วยเพิ่มความคมชัดของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถปรับการเปล่งแสงได้ตั้งแต่ระดับ 12 ถึง 20 โดยทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรทำ

นายที่มีความเป็นไปได้ (X) และค่าความคมชัดของเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์คือตัวแปรตอบสนอง (Y) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองในการตรวจสอบผิดพลาดตัวอักษรเครื่องหมายจรรยา

ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายของผลิตภัณฑ์จรรยา ได้ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 180 ชุดข้อมูล ซึ่งข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือชุดที่ 1 ข้อมูลสำหรับการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทจำนวน 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 เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้ โดยข้อมูลบางส่วนที่ทำการเก็บและศึกษาได้แสดงไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองบางส่วนที่ทำการศึกษา

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของโรงงาน กรณีศึกษา	
Coaxial Ring X_1	High Ring X_2	Low Ring X_3		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
24	16	14	58		✓
26	18	18	82	✓	
24	18	12	90	✓	

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองบางส่วนที่ทำการศึกษา(ต่อ)

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการตรวจสอบผิดพลาด			ค่าการตรวจสอบตัวอักษร เครื่องหมาย	เกณฑ์การตัดสินใจของโรงงาน กรณีศึกษา	
Coaxial Ring X_1	High Ring X_2	Low Ring X_3		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
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

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 ร่วมเข้าไปด้วยเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมผลกระทบของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่งไว้

4) ตรวจสอบความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สันเช่นกันดังสมการที่ (4)

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

โดย x_i แทนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ i ได้แก่ x_1, x_2, x_3

x_j แทนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ j ได้แก่ x_1, x_2, x_3

จากตารางวิเคราะห์ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้นกัน 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

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานข้อมูลทั้ง 4 ข้อ แสดงให้เห็นว่าข้อมูลชุดที่ 1 ทั้ง 2 กลุ่มย่อย ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และข้อมูลมีค่าความแปรปรวนเท่ากัน ข้อมูลชุดที่ 1 ตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้และตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น และตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทุกตัวเป็นอิสระต่อกัน ทำให้สามารถนำเทคนิคการจำแนกประเภทมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการจำแนกประเภทได้

3.3 สร้างสมการจำแนกประเภท

สำหรับขั้นตอนการสร้างสมการวิเคราะห์จำแนกประเภท เริ่มจากนำข้อมูลชุดที่ 1 ทั้ง 126 ข้อมูล มาสร้างเมทริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 3 ตัวแปร โดยแยกการคำนวณเป็น 2 กลุ่มคือ $\bar{x}_{Pass}$ 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

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

และสามารถคำนวณเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมรวมทั้งหมดของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่มีความคมชัดตัวอักษรเครื่องหมายไม่ผ่านเกณฑ์ ได้ตามสมการที่ (7) ดังนี้

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

ต่อจากนั้นทำการสร้างเมตริกซ์ตัวคูณ b สำหรับสร้างสมการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาดตามสมการที่ (8) และ (9) ดังนี้

$$\begin{aligned} S_p^{-1} &= \begin{bmatrix} 0.0799 & 0.0051 & 0.0015 \\ 0.0051 & 0.084 & 0.0008 \\ 0.0014 & 0.0008 & 0.1213 \end{bmatrix} \quad (8) \\ b &= S_p^{-1}d \\ &= \begin{bmatrix} 0.0799 & 0.0051 & 0.0015 \\ 0.0051 & 0.084 & 0.0008 \\ 0.0014 & 0.0008 & 0.1213 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.224 \\ 0.789 \\ 4.509 \end{bmatrix} \quad (9) \\ &= \begin{bmatrix} 0.108 \\ 0.076 \\ 0.549 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

จากนั้นทำการสร้างสมการจำแนกด้วยการนำค่าในเมตริกซ์ b มาใช้เป็นสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้แต่ละตัว ตามลำดับ ทำให้สามารถสร้างสมการการจำแนกได้ดังสมการที่ (10) ดังนี้

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

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 (จำนวนข้อมูลที่ผ่านมาเกณฑ์)

n_2 คือ 60 (จำนวนข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

$\bar{Y}_1$ คือ 13.158 (ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ผ่านมาเกณฑ์)

คำนวณด้วยการแทนค่า $\bar{x}_{Pass}$ ลงในสมการที่ (10)

$\bar{Y}_2$ คือ 10.849 (ค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

คำนวณด้วยการแทนค่า $\bar{x}_{Fail}$ ลงในสมการที่ (10)

ในที่สุดจะได้ค่าการแยกแยะ 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 ค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ผ่านมาเกณฑ์ และค่าเฉลี่ยกลุ่มข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์ก่อนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ด้วยวิธี Hotelling T^2 ซึ่งจำเป็นต้องตั้งสมมติฐานตามสมการที่ (12) และ (13) ดังนี้

$$H_0: [\mu_1] = [\mu_2] \quad (10)$$

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

โดย $[\mu_1]$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ผ่านมาเกณฑ์

$[\mu_2]$ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้กลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

เมื่อทำการคำนวณค่าสถิติทดสอบ F ตามขั้นตอนดังแสดงในสมการที่ (14)–(16) ดังนี้

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

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

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

โดย p คือจำนวนตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้

n_1 คือ 66 (จำนวนข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์)

n_2 คือ 60 (จำนวนข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

เมื่อทำการเปิดตารางสถิติ F ที่ $\alpha = 0.05$ และ $v_1 = 3$, $v_2 = 122$ จะได้ผลคือ $f_{0.05,3,122} = 2.605$ นั่นคือค่า F สูงกว่า ค่า $f_{0.05,3,122}$ หรือ ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะยอมรับ H_0 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้ของทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน นั่นทำให้สามารถใช้ค่า $Y_C = 12.250$ มาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการแยกแยะได้

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภท

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของสมการที่ (10) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ เมื่อทำการตั้งค่าระดับความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 3 แหล่ง (ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้) จะส่งผลให้ระบบการประมวลผลด้วยภาพตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบถูกยอมรับ หรือถูกปฏิเสธ 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 ระบบประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ถูกยอมรับ (ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์มีความคมชัด) จากสมการที่ (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 $Y_C = 12.250$ หรือสมการที่ (10) พยากรณ์ว่าผลิตภัณฑ์นี้น่าจะถูกยอมรับ หรือ $Y = 80-150$ gray scale หรือ ระบบประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ถูกยอมรับ (ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์มีความคมชัด) ซึ่งกรณีนี้ สมการที่ (10) พยากรณ์ถูกต้อง

ตัวอย่างที่ 2 ตั้งค่าระดับแสงทั้ง 3 แหล่ง ดังนี้ $x_1 = 20$,

$x_2 = 20$, $x_3 = 16$ และ $Y = 58$ gray scale หรือ ระบบประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ถูกปฏิเสธ (ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ไม่มีความคมชัด) จากสมการที่ (10) จะได้ผลการคำนวณค่า $\hat{Y}$ ดังสมการที่ (18)

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

$$\hat{Y} = 12.35 \quad (17)$$

นั่นคือ $\hat{Y} = 12.350$ ซึ่งสูงกว่า $Y_C = 12.250$ หรือ สมการที่ 3 พยากรณ์ว่าผลิตภัณฑ์นี้น่าจะถูกยอมรับ หรือ $Y = 80-150$ gray scale หรือ ระบบประมวลผลด้วยภาพต้องตัดสินใจให้ผลิตภัณฑ์ถูกยอมรับ (ตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์มีความคมชัด) ซึ่งกรณีนี้ สมการที่ (10) พยากรณ์ผิดพลาด

เมื่อนำสมการที่ (10) มีการพยากรณ์ข้อมูลชุดที่ 2 จำนวน 54 ข้อมูล จะได้ผลดังในตารางที่ 6 นั่นคือ สมการที่ (10) สามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับทั้งหมด 25 ชิ้นงาน (Pass) ถูกต้องถึง 23 ชิ้นงาน (92%) ดังนั้นในผลิตภัณฑ์ที่ถูกยอมรับมีผลิตภัณฑ์ที่ควรปฏิเสธผสมไป 8% และสามารถพยากรณ์ผลในข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ถูกปฏิเสธทั้งหมด 29 ชิ้นงาน (Fail) ถูกต้องถึง 27 ชิ้นงาน (93.1%) สรุปว่าจากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 54 ข้อมูล สมการที่ (10) สามารถพยากรณ์ผลการตรวจสอบถูกต้องถึง 50 ชิ้นงาน (92.6%) นั่นหมายความว่า สมการที่ (10) มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการพยากรณ์ถึง 92.6% แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์การตรวจสอบผิดพลาดตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์วงจรรวม

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

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาให้ความสำคัญในด้านการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า นั่นคืออัตราผลผลิตที่ควรถูกปฏิเสธแต่กลับถูกยอมรับ (Under Reject) ดังนั้นจึงนำสมการจำแนกประเภทที่ได้ไปใช้ประโยชน์จริงในการทดลองปรับตั้งค่าแหล่งกำเนิดแสงทั้ง 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

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

จากตารางที่ 7 พบว่าประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภทในการนำมาพยากรณ์การตรวจสอบตัวอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์ทั้งจรรวมที่ได้ไปปรับใช้จริงในการตั้งค่าเครื่องจักร 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% 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% (เรียกความผิดพลาดลักษณะนี้เป็นแบบ Under reject) ดังนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จรรวมดีขึ้น โดยสามารถลดข้อผิดพลาดของกระบวนการตรวจสอบได้ 85%

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการศึกษา พบว่าสมการจำแนกประเภทเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดของเครื่องจักรในกระบวนการตรวจสอบความคมชัดของอักษรเครื่องหมายบนผลิตภัณฑ์จรรวมด้วยระบบประมวลผลด้วยภาพในเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ โดยมีตัวแปรทำนายที่มีความเป็นไปได้อยู่ 3 ตัวแปรคือ 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 ที่ส่งผลถึงการตรวจสอบเพื่อตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่กำลังถูกตรวจสอบอยู่ ณ สภาพปัจจุบัน ปรากฏว่าเครื่องจักรตรวจสอบผลิตภัณฑ์ผิดพลาด จึงส่งผลให้ปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคือออกไปและยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพออกไปสู่ลูกค้า เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ เทคนิคการจำแนกประเภทจึงถูกนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรตรวจสอบและบรรจุภัณฑ์ในสภาพการทำงานปัจจุบัน หลังจากการประยุกต์ใช้วิเคราะห์จำแนกประเภททำให้สามารถสร้าง

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

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

5. ข้อเสนอแนะ

โรงงานกรณีศึกษาควรนำการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาใช้ในการวิเคราะห์ปรับตั้งค่าของเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่ผิดพลาดไปสู่ลูกค้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุน โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์กรณีศึกษา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] “Electrical and Electronics Institute, “Integrated circuits, May. 31, 2020. Accessed: Apr. 28, 2021 [Online]. Available: <http://eiu.thaieei.com/box/Products/9/IC%2031-05-2560.pdf>
- [2] P. Pholphirul, “Roles of Thai Small and Medium Enterprises Under Creative Economy,” *NIDA Economic Review Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 207–249, 2013.
- [3] C. Laofor and V. Peansupa, “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. Loohß, “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. Heb, “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.
- [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.

- [8] A. Pannawan 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. 408–413, 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. 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
- [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.