

การพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี  
แบบจุ่มร้อนโดยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท  
กรณีศึกษา โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

FORECASTING OF STEEL PLATE IN HOT-DIP GALVANIZED PROCESS BY  
DISCRIMINANT ANALYSIS: A CASE STUDY OF  
HOT-DIP GALVANIZED FACTORY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-217-024

การพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี  
แบบจุ่มร้อนโดยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท  
กรณีศึกษา โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

FORECASTING OF STEEL PLATE IN HOT-DIP GALVANIZED PROCESS BY  
DISCRIMINANT ANALYSIS: A CASE STUDY OF  
HOT-DIP GALVANIZED FACTORY



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และผู้สงวนลิขสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-217-024

FORECASTING OF STEEL PLATE IN HOT-DIP GALVANIZED PROCESS BY  
DISCRIMINANT ANALYSIS: A CASE STUDY OF  
HOT-DIP GALVANIZED FACTORY



VEERAWAT SAEHEIR

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้ง 2019 ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2019-EN-M-217-024



COPYRIGHT 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

FACULTY OF ENGINEERING

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางประการ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท กรณีศึกษาโรงงานชุบเคลือบ สังกะสีแบบจุ่มร้อน
นักศึกษา	วีรวัฒน์ แซ่เหี้ย
รหัสประจำตัว	60601103
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

### บทคัดย่อ

กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีเป็นกระบวนการป้องกันโครงสร้างเหล็กจากสนิม โดยวิธีที่ได้รับ ความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนใน กระบวนการที่ต่ำและทำให้เหล็กกล้ามีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาเกิดขึ้น นั้นคือการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าขนาดบางขนาดน้อยกว่า 6.35 มิลลิเมตร ในโรงงานชุบ เคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาพบปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการชุบเคลือบ สังกะสีแบบจุ่มร้อนในแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และขนาดความหนา 3 ขนาดคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตร ปัญหาการเสียรูปที่กล่าวมาได้รับ การปรับปรุงด้วยการนำเหล็กแท่งมาเสริมโครงสร้างของแผ่นเหล็กให้มีความแข็งแรงมากขึ้นแต่ยังขาด มาตรฐานการแก้ไข ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมา ประยุกต์ใช้สำหรับแก้ไขปัญหาการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยมีตัวแปรอิสระที่มีผลทำ ให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เสียรูปในระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนทั้งหมด 3 ตัวแปร  $X_1$  คือตำแหน่งการเชื่อมของเหล็กแท่งสำหรับเสริมโครงสร้างความแข็งแรงที่มีขนาดตั้งแต่ 320 มิลลิเมตร ถึง 450 มิลลิเมตร  $X_2$  คือขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาด ความหนา 3 ขนาดคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตร และ  $X_3$  คือขนาดความหนาของเหล็กแท่งสำหรับเสริม โครงสร้างความแข็งแรงที่มีขนาดความหนา 3 ขนาด คือ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร และ 1 ตัวแปรตาม  $Y$  คือขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี แบบจุ่มร้อนผลวิจัยที่ได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นคือ สมการจำแนก ประเภทสำหรับการพยากรณ์ขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 คือ  $\hat{Q} = 0.044X_1 + 0.3616X_2 + 0.1328X_3$  โดยค่าจุดแยกแยะกลุ่มที่ได้  $Q_c$  เท่ากับ 19.59 สมการจำแนกประเภทนี้มี ประสิทธิภาพการพยากรณ์อยู่ที่ 92.11 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการนำสมการจำแนกประเภทมา ประยุกต์ใช้พบว่าได้กำไรเพิ่มขึ้น 60.9 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็นกำไร 3,147,356.94 บาทต่อเดือนซึ่ง เป็นผลมาจากของเสียที่ลดลงหลังจากการปรับปรุง

<b>Thesis title</b>	Forecasting of Steel Plate in Hot-Dip Galvanized Process by Discriminant Analysis: A Case Study of Hot-Dip Galvanized Factory.
<b>Student</b>	Mr. Veerawat Saeheir
<b>Student ID</b>	60601103
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Industrial Engineering
<b>Year</b>	2562
<b>Thesis Advisor</b>	Asso.Prof.Dr Sakon Sklongboonjit

### Abstract

Galvanizing process is one of methods for rust protection of structural steel. The Hot-Dip Galvanized process is a popular process because it is really simple process, low cost process and life time expansion for structural steel. However, one of problem found in Hot-Dip Galvanized is the deformation for thin – steel plates of thickness less than 6 mm. As in Hot-Dip Galvanized factory in our case study, the deformation problem is found in hot-dip galvanizing processes of steel plate SS400 at size of 600 mm x 1200 mm with thickness of 4, 5 and 6 mm. Generally, this problem is corrected by using reinforcing steels, however, there is no standard for this technique. So the method of Linear Discriminant Analysis is introduced and applied to cope with this problem in this study. With the Linear Discriminant Analysis method, three main independent variable ( $X_1$ : The welding position of reinforcing steels at size 320 mm to 450 mm,  $X_2$ : Thickness of SS400 steel plate at size 4, 5 and 6 mm and  $X_3$ : Thickness of reinforcing steels at size 6, 8 and 10 mm) and one dependent variable ( $Y$ : Deformation of steel plate) are analyzed. Finally, the calculation result shows that predictive equation of  $\hat{Q} = 0.044X_1 + 0.3616X_2 + 0.1328X_3$  and  $Q_c = 19.59$  by it is appropriate for this problem with 92.11 % predict efficiency. After applying this equation with hot-dip galvanizing processes of case study factory, the net income is increased 60.9 % (3,147,356.94 Bahts per month) since deflection rate is reduced.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการลดปัญหาการเสีรूपของแผ่นเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น กรณีศึกษา โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์

โดยได้รับความกรุณาอย่างสูงเนื่องและความช่วยเหลืออย่างดีเยี่ยมจาก รศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต วิศวกรรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่คอยช่วยเหลือและคอยแนะนำเรื่องต่างๆในระหว่างการทำดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อห้องสำหรับการศึกษาค้นคว้างานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัทชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนขนาดกลางแห่งหนึ่ง ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีในการเก็บข้อมูลต่างๆสำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอบคุณผู้มีส่วนร่วมในการให้คำแนะนำเรื่องต่างๆ รวมถึงกำลังใจที่ให้เสมอมาจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดีและสุดท้ายขอขอบคุณบิดาและมารดาพร้อมครอบครัว ที่ช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจเสมอมา โดยคุณงามความดีอันพึงจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แต่ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง

วีรวัฒน์ แซ่เจี๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน .....	4
2.1.1 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน.....	5
2.2 สมการการนำความร้อน.....	7
2.2.1 กลไกการถ่ายเทความร้อน.....	7
2.2.2 สมการนำความร้อน.....	7
2.3 กลไกการเสียรูปที่มีสาเหตุมาจากความเค้น.....	10
2.3.1 ความเค้น.....	10
2.3.2 ความเครียด.....	11
2.3.3 กลไกการเสียรูปของวัสดุเนื่องจากความเค้น.....	12
2.4 ทฤษฎีทางสถิติในการประยุกต์ใช้.....	15
2.4.1 การตรวจสอบข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น.....	15
2.4.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท.....	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.5.1 งานวิจัยในเรื่องกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน.....	24
2.5.2 งานวิจัยเรื่องทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้.....	26
2.5.3 งานวิจัยในเรื่องความแม่นยำการตรวจสอบด้วยโปรแกรม ANSYS.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ถือว่าผิดกฎหมาย

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	30
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา.....	33
3.2 การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา .....	33
3.2.1 การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน	33
3.3 การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล .....	34
3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไขปัญหาการเสียรูป .....	34
3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท .....	35
3.3.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์ .....	37
3.4 การหาความคุ้มค่าของการลงทุนสำหรับการแก้ไขปัญหา.....	40
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	41
4.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน.....	41
4.2 ผลการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา.....	43
4.2.1 ผลการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน .....	43
4.3 ผลการเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	45
4.3.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไขปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้น .....	45
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น..	47
4.3.3 ผลตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์.....	49
4.3.4 ผลตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS ...	50
4.4 ผลการหาความคุ้มค่าของการลงทุนสำหรับการแก้ไขปัญหา .....	54
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	60
5.1 สรุปผล.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	61
เอกสารอ้างอิง .....	61
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบ	
เชิงเส้น .....	65

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข ขั้นตอนการสร้างสมการจำแนกประเภทด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนก ประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสียชีวิต .....	85
ภาคผนวก ค การตรวจสอบประสิทธิภาพสมการพยากรณ์จากเทคนิคการวิเคราะห์จำแนก ประเภทแบบเชิงเส้น .....	97
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการเสียชีวิตของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ด้วย โปรแกรม ANSYS .....	105
ภาคผนวก จ บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ .....	108
ประวัติผู้เขียน .....	116



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความหมายของระดับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ .....	19
3.1 รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา.....	33
3.2 รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลการเสีรูปร่างของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษา .....	34
3.3 รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสีรูปร่างของผลิตภัณฑ์.....	35
3.4 รูปแบบตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสีรูปร่างที่สามารถยอมรับได้ .....	36
3.5 รูปแบบตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสีรูปร่างที่ไม่สามารถยอมรับได้ .....	37
3.7 รูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภท.....	38
3.8 รูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภทด้วยแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS .....	39
3.9 รูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภทด้วยแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS .....	40
4.1 ตารางการเก็บข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา.....	42
4.2 ตารางการเก็บข้อมูลปัญหาการเสีรูปร่างของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษา .....	44
4.3 ตารางการแบ่งช่วงระยะของปัจจัยที่มีผลทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เสีรูปร่าง.....	47
4.4 ตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์การเสีรูปร่าง.....	50
4.5 ตารางคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 .....	51
4.6 ตารางการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS เปรียบเทียบกับข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา.....	52
4.7 ตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์การเสีรูปร่างกับแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS.....	53
4.8 ตารางข้อมูลการผลิตและต้นทุนของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกรณีที่ไม่มีการเสีรูปร่าง.....	54
4.9 ตารางกำไรจากแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดการเสีรูปร่างอยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์.....	56
4.10 ตารางมูลค่าการสูญเสียกำไรเนื่องจากการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 .....	56
4.11 ตารางมูลค่าการสูญเสียกำไรเนื่องจากการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 .....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน .....	6
2.2 สมดุลความร้อนสำหรับการนำความร้อน .....	8
2.3 A ความเค้นจากแรงดึง, B ความเค้นจากแรงอัด, C ความเค้นจากแรงเฉือน.....	10
2.4 ตัวอย่างการเสียรูปแบบ 2 มิติ.....	12
2.5 พื้นฐานการเสียรูปโดยอธิบายจากจุดสองจุดที่สัมพันธ์กัน.....	12
2.6 ความสัมพันธ์ของค่า $\hat{Q}$ และ $Q_c$ .....	24
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	32
4.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา .....	43
4.2 แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 และ แท่งเหล็กกล้าเสริมความแข็งแรงแผ่นเหล็กกล้า .....	45
4.3 ปัจจัยและทิศทางการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 .....	46
4.4 ระดับอุณหภูมิในบ่อสังกะสีหลอมเหลว .....	51
4.5 มาตรฐานของขนาดตัวแปรอิสระในการแบ่งกลุ่มคุณภาพ .....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เหล็กกล้าเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยสถานการณ์อุตสาหกรรมเหล็กในตลาดโลก มีการผลิตเหล็กดิบในไตรมาส 1 ปี 2561 ในภูมิภาคเอเชียอยู่ที่ 292.7 ล้านตัน ซึ่งสูงขึ้นจากปี 2560 อยู่ที่ 4.6 % [1] โดยคาดว่าในปี 2562 และ ปี 2563 จะมีความต้องการใช้เหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 5 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ [2] อุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในประเทศไทย อาจกล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้านั้น คืออุตสาหกรรมพื้นฐานสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทย ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมก่อสร้าง และ อุตสาหกรรมขนส่ง ฯลฯ สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการนำเหล็กกล้ามาใช้งานซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากสำหรับผู้บริโภคคือ การบำรุงรักษาอายุการใช้งานของเหล็กกล้า เพราะยิ่งถ้าเหล็กกล้าที่นำมาใช้งานได้นานเท่าไรยิ่งจะส่งผลดีต่อผู้บริโภค หรืออาจจะป้องกันปัญหาอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น โดยปัญหาหลักที่ทำให้เหล็กกล้านั้นมีอายุการใช้งานที่น้อยลงคือ ปัญหาการเกิดสนิม

ปัญหาการเกิดสนิมนั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เหล็กกล้ามีความแข็งแรงน้อยลงและเสียหายได้ ปัญหาการเกิดสนิมนั้นเกิดขึ้นจากการนำเอาเหล็กกล้ามาใช้งานนอกอาคารมีผลทำให้เหล็กกล้าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสนิม วิธีการป้องกันการเกิดสนิมนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งหนึ่งในวิธีการป้องกันปัญหานี้ คือการนำเหล็กกล้าไปชุบเคลือบด้วยสังกะสีในวิธีการต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เป็นต้นเหตุของปัญหาการเกิดสนิมบนเหล็กกล้า โดยกระบวนการชุบเคลือบด้วยสังกะสีนั้นมีกระบวนการชุบเคลือบด้วยกันหลายวิธีเช่น การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน การเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้า การเคลือบด้วยวิธีทางกล การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน การทาด้วยสีฝุ่นสังกะสี การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนด้วยกระบวนการต่อเนื่อง การเคลือบด้วยเทคนิคเซอร์ราไดซ์ซิง [3]

กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน เป็นหนึ่งในวิธีการชุบเคลือบสังกะสีเพื่อป้องกันปัญหาการเกิดสนิมขึ้น ถือได้ว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องนำเหล็กกล้าไปใช้นอกอาคารซึ่งวิธีนี้มีการใช้งานมาแล้วมากกว่า 200 ปี เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ และเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีในวิธีนี้จะมีอายุการใช้งานที่สูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ แต่วิธีนี้ก็ยังมีปัญหาเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน โดยส่วนมากแล้วปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นนั้นจะเกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กที่มีความหนาที่ต่ำกว่า 6.35 มิลลิเมตร [4] สาเหตุหลักที่ทำให้เกิด

การเสียรูปขึ้นนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน [5] ระหว่างกระบวนการนำเหล็กกล้าไปจุ่มลงในบ่อสังกะสีที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 438 องศาเซลเซียส ถึง 454 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ทำให้เกิดความเค้นตกค้างขึ้นบนเหล็กกล้าทำให้เหล็กกล้าเสียรูปหรือบิดงอ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเจอบ่อยในโรงงานอุตสาหกรรมการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาพบปัญหาการเสียรูปขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตรและความหนา 3 ขนาดคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตร โดยปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะการเสียรูปแบบโก่งงอเกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นทำให้เกิดการสูญเสียต้นทุนการผลิตเนื่องจากไม่สามารถนำแผ่นเหล็กกล้าชนิดนี้กลับมาใช้ใหม่ได้ จากการศึกษาพบว่ามีความรู้ทางสถิติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นได้โดยมีอยู่ด้วยกันหลายเทคนิคซึ่งเทคนิคที่ให้ผลเป็นที่น่าพอใจและเหมาะสมสำหรับการแก้ไขปัญหานี้คือเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นซึ่งเป็นวิธีการสร้างสมการจำแนกกลุ่มสำหรับการพยากรณ์ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นว่าอยู่ในกลุ่มใด ดังนั้นก็วิจัยหลายๆท่านนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการแก้ไขปัญหานี้ในงานประเภทต่างๆ คือ ด้านคมนาคม ด้านธรณีวิทยา ด้านนิติวิทยาศาสตร์ ดังเช่น Jing [6] นำทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกการจราจรในเมืองแห่งหนึ่งเพื่อใช้ในการพยากรณ์จำแนกกลุ่มการจราจรที่แออัดและกลุ่มการจราจรแบบปกติในเมืองนี้ Close [7] นำทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์การจำแนกประเภทของน้ำใต้ดินในเมืองแห่งหนึ่งที่ประเทศนิวซีแลนด์โดยทำการตรวจสอบสภาพดินด้านบนของน้ำบาดาล Mukhopadhyay [8] นำทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกประเภทลักษณะการตายของมนุษย์โดยใช้ขนาดในส่วนของกระดูกไฮออยล์มาใช้ในการจำแนกประเภทมนุษย์ที่ตายโดยการแขวนคอและมนุษย์ที่ตายในแบบอื่นๆ เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่าทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับงานหลากหลายประเภท ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาใช้สำหรับพยากรณ์การเสียรูปที่เกิดขึ้นของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนของโรงงานกรณีศึกษา สำหรับปรับปรุงวิธีการแก้ไขปัญหาคือการนำเหล็กแท่งมาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างแผ่นเหล็กเพื่อลดปัญหาการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการนำทฤษฎีการวิเคราะห์การจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาหาสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ว่าอยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์หรือกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์ก่อนจะนำแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มาผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสร้างสมการพยากรณ์การเสีรูปที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์การเสีรูปที่ถูกต้องอย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

1.2.2 เพื่อนำสมการพยากรณ์การเสีรูปที่ได้มาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

## 1.3 ขอบเขตของการทำวิจัย

1.3.1 ในการศึกษาจะใช้ข้อมูลกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจากโรงงานชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนปี 2561 ของโรงงานการศึกษา

1.3.2 ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการแก้ไขปัญหาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตรและความหนา 3 ขนาดคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตร

1.3.3 ในการศึกษาครั้งนี้แท่งเหล็กเสริมโครงสร้างมีขนาดกว้าง 3 ขนาดคือ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และหนา 50 มิลลิเมตร

1.3.4 ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้โปรแกรม ANSYS 18.2 Student Software เพื่อทดแทนกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจริงของโรงงานการศึกษา

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงวิธีการลดของเสียด้วยแท่งเหล็กเสริมโครงสร้างของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นเกิดขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนสำหรับ แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตรและความหนา 3 ขนาดคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้แก่ผลิตภัณฑ์อื่นๆของโรงงานการศึกษาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวกับความสำคัญในการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นของเหล็กกล้าแผ่นบางเกรด SS400 ที่เกิดปัญหาการเสีรูบขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dip Galvanized Process) พร้อมทั้งวิธีการที่นำมาใช้ประยุกต์ในการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ โดยการศึกษาในครั้งนี้จะประกอบไปด้วย 5 หัวข้อหลักดังต่อไปนี้

- 2.1 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน
- 2.2 สมการนำความร้อน
- 2.3 กลไกการเสีรูบของวัสดุที่มีสาเหตุมาจากความเค้น
- 2.4 ทฤษฎีทางสถิติในการประยุกต์ใช้
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

กระบวนการชุบเคลือบบนเหล็กชนิดต่างๆเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการป้องกันปัญหาการเกิดสนิมที่เกิดขึ้นบนเหล็กเนื่องจากสนิมเป็นออกไซด์ของเหล็กที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ การป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดปัญหาสนิมขึ้นนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีการเคลือบสารปิดทับผิวเหล็กบริเวณด้านนอกนั้นสามารถช่วยแก้ปัญหสนิมได้ สารที่ใช้เคลือบนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งสารที่เป็นที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือ สังกะสี โดยเหล็กที่ได้รับการชุบเคลือบด้วยสังกะสีนั้นเรียกว่า เหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) ในกระบวนการชุบเคลือบด้วยสังกะสีนั้นมีกระบวนการชุบเคลือบด้วยกันหลายวิธี เช่น การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน การเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้า การเคลือบด้วยวิธีทางกล การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน การทำด้วยสีฝุ่นสังกะสี การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนด้วยกระบวนการต่อเนื่อง และการเคลือบด้วยเทคนิคเซอร์ราโดซ์ซิง [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเป็นกระบวนการที่ทำให้เหล็กกล้ามีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูงขึ้น โดยการจุ่มเหล็กกล้าลงในบ่อสังกะสีหลอมเหลวที่มีอุณหภูมิสูง โดยส่วนใหญ่แล้วจะนำวัสดุที่เป็นเหล็กกล้ามาทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน แต่เนื่องจากสังกะสีหลอมเหลวจะไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กกล้าที่มีคราบสนิม คราบไขมัน คราบน้ำมันติดอยู่ดังนั้นก่อนเข้าสู่กระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจะต้องผ่านกระบวนการต่างๆสำหรับทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าซึ่งสามารถแบ่งกระบวนการได้ดังนี้ [10]

2.1.1.1 การทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าด้วยสารละลายต่าง เป็นขั้นตอนสำหรับทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าก่อนจะเข้าสู่กระบวนการถัดไป โดยใช้สารละลายต่างสำหรับชำระล้างสิ่งสกปรกและคราบไขมันต่างๆรวมถึงเศษดินและสิ่งแปลกปลอมต่างๆที่มาติดบริเวณผิวเหล็กกล้าโดยในกระบวนการนี้ถือว่าเป็นกระบวนการแรกในการล้างผิวเหล็กกล้า

2.1.1.2 การทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าด้วยน้ำ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากชำระล้างผิวเหล็กกล้าด้วยสารละลายต่างในกระบวนการแรกโดยกระบวนการนี้จะนำเหล็กกล้าไปจุ่มลงในบ่อน้ำที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 35 องศาเซลเซียส สำหรับกำจัดสภาพความเป็นด่างและสภาพความเป็นกรดออกจากผิวเหล็กกล้า

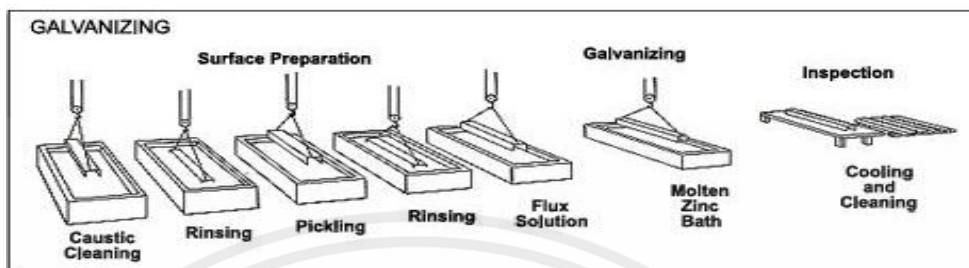
2.1.1.3 การทำความสะอาดผิวเหล็กกล้าด้วยกรดรุนแรง เป็นกระบวนการขจัดสนิมขนาดเล็กที่เกาะหรือติดอยู่บริเวณผิวของเหล็กกล้าและไม่มีการทำลายผิวเหล็กกล้า โดยการล้างด้วยกรดเข้มข้น โดยสารละลายกรดเข้มข้นที่นำมาใช้มีหลายประเภท เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก เป็นต้น เพื่อกำจัดฟิล์มออกไซด์และสิ่งปนเปื้อนผิวโลหะออกไป

2.1.1.4 การนำเหล็กกล้าไปชุบน้ำยาประสาน เป็นกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการยึดเกาะระหว่างสังกะสีหลอมเหลวกับผิวเหล็กกล้าหลังจากผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดรุนแรง โดยการนำชิ้นงานเหล็กกล้ามาแช่ไว้ในน้ำยาประสาน (สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์) เพื่อปรับความตึงผิวของเหล็กกล้า ให้มีความเหมาะสมกับการเคลือบด้วยสังกะสีหลอมเหลว

2.1.1.5 การนำเหล็กกล้าไปชุบเคลือบด้วยสังกะสี หลังจากผ่านกระบวนการข้างต้นแล้ว ก็จะมาเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนทันที ในกระบวนการนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญเป็นอย่างมาก โดยอุณหภูมิของบ่อสังกะสีหลอมเหลวประมาณ 438 องศาเซลเซียส ถึง 454 องศาเซลเซียส โดยหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนแล้วจะต้องทำการระบายความร้อนบนแผ่นเหล็กกล้า ซึ่งโดยปกติแล้วจะให้ชิ้นงานเหล็กกล้าเย็นตัวลงด้วยน้ำ ด้วยการนำชิ้นงานจุ่มลงไป

2.1.1.6 การตกแต่งผิวชิ้นงาน เป็นกระบวนการที่ทำให้ผิวชิ้นงานเหล็กกล้าหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี มีความสวยงามขึ้นด้วยตะไบ หรือการเจียรผิวส่วนที่เกินออกหากพบว่ามีมีความหนาของสังกะสีที่หนาจนเกินไป

2.1.1.7 การตรวจสอบ เป็นกระบวนการตรวจสอบชิ้นงานเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบเคลือบสังกะสีแล้ว โดยทำการตรวจสอบความหนาของชั้นชุบเคลือบ สภาพผิวเคลือบ โดยขั้นตอนต่างๆที่กล่าวมานั้นแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สมการนำความร้อน

### 2.2.1. กลไกการถ่ายเทความร้อน

ความร้อนคือพลังงานที่ถ่ายเทระหว่างจุดสองจุดโดยการถ่ายเทนั้นเกิดขึ้นจากความไม่สมดุลกันทางความร้อนของจุดทั้งสองจุดหรือเรียกว่าอุณหภูมิทั้งสองจุดนั้นมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน กลไกการถ่ายเทความร้อนคือ วิธีการที่ความร้อนเกิดการเคลื่อนที่จากจุดที่หนึ่งไปยังจุดที่สองนั่นเอง โดยกลไกการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในธรรมชาติที่ค้นพบมีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และ การแผ่รังสี

การนำความร้อน คือ คือการส่งผ่านความร้อนจากจุดที่หนึ่งไปยังจุดที่สองโดยส่งผ่านเนื้อของสสารที่นิ่งอยู่กับที่ เช่น การนำมือจับปลายของคีมที่คีบถ่านไฟเป็นเวลานานพอสมควร ซึ่งผู้จับจะรู้สึกร้อน เนื่องจากความร้อนจากถ่านนั้นได้ไหลผ่านเนื้อวัสดุ

การพาความร้อน คือ การที่ความร้อนจากจุดที่หนึ่งในสสารเคลื่อนที่ไปยังอีกจุดที่สองในสสารโดยติดไปกับสสารที่เกิดการเคลื่อนที่

การแผ่รังสี คือ การที่ความร้อนจากจุดที่หนึ่งเคลื่อนที่ไปยังจุดที่สองโดยที่จุดที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีซึ่งเป็นกลุ่มของพลังงานรูปหนึ่งในอัตราการจ่ายพลังงานที่มากกว่าไปให้จุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งการแผ่รังสีนั้นเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ของความร้อน [11]

### 2.2.2 สมการนำความร้อน

สมการแสดงพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนแบบการนำนั้น ได้ถูกนำเสนอโดยฟูเรียร์ โดยได้อธิบายไว้ดังนี้ ฟลักซ์ของความร้อนที่การถ่ายเท ณ ตำแหน่งหนึ่ง จะเป็นปฏิภาคตรงกับค่าลบของเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งที่เกิดการถ่ายเทความร้อนนั้น และสามารถเขียนเป็นสมการการนำความร้อนในแกนเดียว (แกน X) ได้ดังต่อไปนี้

$$q_x = -k \frac{dT}{dX} \quad (2.1)$$

เมื่อ  $q_x$  คือความร้อนที่เกิดการถ่ายเท  $k$  คือค่าการนำความร้อน และ  $\frac{dT}{dX}$  คืออุณหภูมิใน

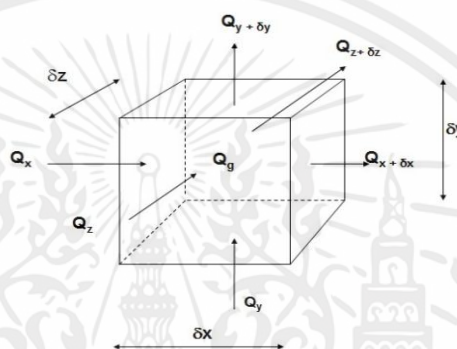
แนวแกน X จากสมการที่ 2.1 การวิเคราะห์หาค่าอัตราการไหลของความร้อนในทิศทาง X แสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dX} \quad (2.2)$$

เมื่อ A คือพื้นที่สำหรับการถ่ายเทความร้อน  $Q_x$  คือ อัตราการไหลของความร้อนในทิศทางแกน X จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นสมการการถ่ายเทความร้อนแบบ 1 มิติหรือในแนวแกนใดแกนหนึ่ง กรณีที่ความร้อนมีการถ่ายเทในแบบ 3 มิติ แสดงในรูปที่ 2.2 สามารถอธิบายได้ในสมการ 2.3

$$(Q_x - Q_{x+\delta x}) + (Q_y - Q_{y+\delta y}) + (Q_z - Q_{z+\delta z}) + Q_g + mC \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.2 สมดุลความร้อนสำหรับการนำความร้อน [11]

การไหลของความร้อนจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยใช้นิยามกฎของฟูเรียร์ซึ่งแสดงอัตราการไหลของความร้อนทั้งสามแนวแกน (x, y, z) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4 ถึง 2.6

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -k\delta y\delta z \frac{dT}{dx} \quad (2.4)$$

$$Q_y = -kA \frac{dT}{dy} = -k\delta x\delta z \frac{dT}{dy} \quad (2.5)$$

$$Q_z = -kA \frac{dT}{dz} = -k\delta x\delta y \frac{dT}{dz} \quad (2.6)$$

จากสมการข้างต้นการหาค่าการนำความร้อน 3 มิติ หรือค่าการนำความร้อนทั้งสามแนวแกน (X, Y, Z) เมื่อมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในวัสดุ แสดงในสมการที่ 2.7 และไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในวัสดุแสดงในสมการที่ 2.8 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( -k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( -k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_g = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \left( \frac{\rho C}{k} \right) \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\left( \frac{\rho C}{k} \right)$  แทนด้วย  $\alpha$  คือค่าการแพร่ความร้อนมีหน่วยเป็น (m<sup>2</sup>/s) สำหรับสภาวะคงที่ของการนำความร้อน ค่าการนำความร้อนจะคงที่ และไม่มีการสร้างความร้อนภายในวัสดุ แสดงในสมการที่ 2.9

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.9)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

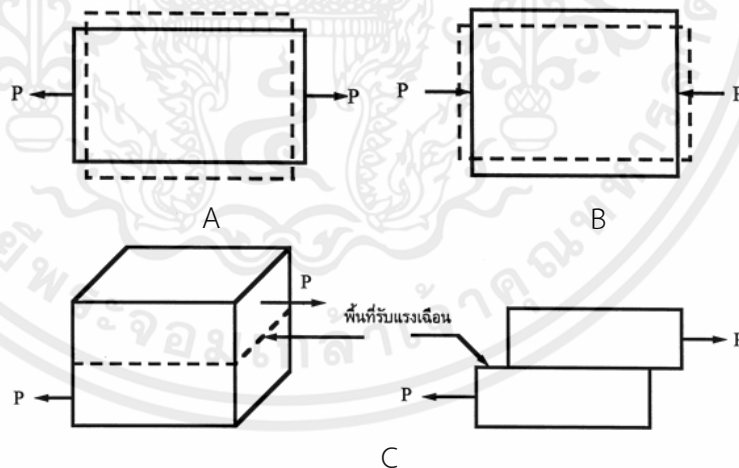
## 2.3 กลไกการเสียรูปที่มีสาเหตุมาจากความเค้น [12]

### 2.3.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้นเมื่อพิจารณาวัตถุชิ้นหนึ่ง ซึ่งอยู่ภายใต้แรงภายนอก (P) มากกระทำถ้าแรงกระทำชุดนี้มีค่าไม่มากมวลของวัตถุจะยืดออกเล็กน้อยแล้วไม่ยืดต่อไปอีกสำหรับระนาบของหน้าตัดใดๆ ของมวลวัตถุ แรงภายนอกต่างๆ ที่มากกระทำกับมวลวัตถุจะอยู่ในสภาวะสมดุลได้ก็ต่อเมื่อมีแรงต้านชุดหนึ่งซึ่งเป็นแรงสมดุลที่กระทำอยู่ภายในเนื้อวัตถุ เรียกว่าแรงภายในและจะกระจายไปตลอดภายในพื้นที่หน้าตัด แรงที่กระทำกับอนุภาคเล็กๆ ในเนื้อวัตถุคือ แรงต่อพื้นที่หน้าตัดซึ่งเรียกว่า ความเค้นจะเกิดขึ้นในมวลของวัตถุนั้นซึ่งสามารถอธิบายได้ในสมการที่ 2.10 [13]

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ความเค้น(Stress) มีหน่วยเป็นปาสคาล, P คือ แรงภายนอกที่มากกระทำ และ A คือพื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ โดยทั่วไปแล้วแบ่งชนิดของความเค้นได้เป็น 3 ชนิด คือ ความเค้นแรงดึง ความเค้นแรงกด และความเค้นแรงเฉือน ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 [13]



รูปที่ 2.3 A ความเค้นจากแรงดึง, B ความเค้นจากแรงอัด, C ความเค้นจากแรงเฉือน [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียด(Strain) คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงกระทำภายนอกกระทำ โดยการเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.2.1 การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูปเป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำอะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้

2.3.2.2 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงเป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปแล้วโดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

การคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบเส้นตรง และแบบเฉือนซึ่งอธิบายไว้ในสมการที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $e$  คือ ความเครียดแบบเส้นตรง  $\Delta L$  คือ ความยาวที่เปลี่ยนไป  $(L - L_0)$ ,  $L_0$  คือ ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจก่อนมีแรงกระทำภายนอกกระทำ

$$\gamma = \frac{a}{h} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $\gamma$  คือความเค้นแบบเฉือน ค่า  $a$  คือระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement) และค่า  $h$  คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ  $\theta$  คือ มุมที่เปลี่ยนไป [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

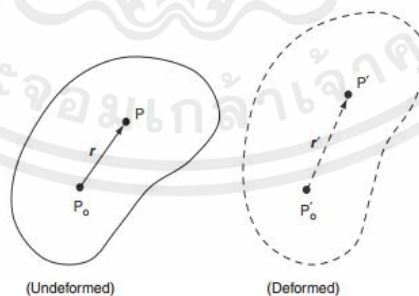
### 2.3.3 กลไกการเสียรูปของวัสดุเนื่องจากความเค้น

กลไกการเสียรูปของวัสดุเนื่องมาจากความเค้นนั้นเกิดขึ้นจากแรงกระทำภายนอกที่เข้ามากระทำกับวัสดุหนึ่งจึงทำให้เกิดความเค้นขึ้นจากที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยถ้าค่าความเค้นมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งจะทำให้วัสดุที่โดยแรงภายนอกกระทำนั้นเกิดความเครียดซึ่งเป็นสาเหตุทำให้วัสดุเกิดการเสียรูป โดย ความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดคือ ความเค้นแรงอัด ความเค้นแรงดึง ความเค้นแรงเฉือน และความเค้นเนื่องจากอุณหภูมิ ยกตัวอย่างความเค้นเนื่องจากแรงอัดและแรงดึงแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 [10]



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการเสียรูปแบบ 2 มิติ [12]

จากรูปที่ 2.4 วัตถุแท่งทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า บริเวณฐานถูกยึดติดไว้เมื่อมีแรงดึงมากระทำจนถึงจุดๆหนึ่งทำให้วัสดุแท่งทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเสียรูปดังที่แสดงในรูป โดยสามารถอธิบายหลักการเสียรูปของวัสดุไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 พื้นฐานการเสียรูปโดยอธิบายจากจุดสองจุดที่สัมพันธ์กัน [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 แสดงจุดสองจุด คือ จุด  $P_0$  และ  $P$  โดยที่ระยะจาก จุด  $P_0$  ถึง เท่ากับ  $r$  เมื่อเกิดการเสียรูปขึ้นในวัสดุจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจาก  $P_0$  เป็น  $P'_0$  ระยะจาก จุด  $P'_0$  ถึง  $P'$  เท่ากับ  $r'$  โดยจะมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งสามแกน ( $X, Y, Z$ ) ซึ่งแสดงสมการ 2.13 ถึง 2.15

$$u = u^0 + \frac{\partial u}{\partial x} r_x + \frac{\partial u}{\partial y} r_y + \frac{\partial u}{\partial z} r_z \quad (2.13)$$

$$v = v^0 + \frac{\partial v}{\partial x} r_x + \frac{\partial v}{\partial y} r_y + \frac{\partial v}{\partial z} r_z \quad (2.14)$$

$$w = w^0 + \frac{\partial w}{\partial x} r_x + \frac{\partial w}{\partial y} r_y + \frac{\partial w}{\partial z} r_z \quad (2.15)$$

โดยที่ระยะการเสียรูปในแต่ละแนวแกนแสดงในสมการที่ 2.16 – 2.19

$$\Delta r = r' - r = u - u^0 \quad (2.16)$$

$$\Delta r_x = \frac{\partial u}{\partial x} r_x + \frac{\partial u}{\partial y} r_y + \frac{\partial u}{\partial z} r_z \quad (2.17)$$

$$\Delta r_y = \frac{\partial v}{\partial x} r_x + \frac{\partial v}{\partial y} r_y + \frac{\partial v}{\partial z} r_z \quad (2.18)$$

$$\Delta r_z = \frac{\partial w}{\partial x} r_x + \frac{\partial w}{\partial y} r_y + \frac{\partial w}{\partial z} r_z \quad (2.19)$$

จากสมการข้างต้นสามารถเขียนสมการให้อยู่ในรูปเมตริกซ์แสดงในสมการที่ 2.20

$$\begin{bmatrix} \Delta r_x \\ \Delta r_y \\ \Delta r_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} \\ \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเมตริกซ์สมการที่ 2.20 สามารถเขียนได้อีกหนึ่งรูปโดยแสดงในสมการที่ 2.21

$$\Delta r_i = u_{i,j} r_j \quad (2.21)$$

ซึ่งความสัมพันธ์เมตริกซ์ด้านบนสามารถแยกด้วยวิธี Decompose ได้สองส่วนแสดงไว้ในสมการที่ 2.22

$$u_{i,j} = e_{i,j} + w_{i,j} \quad (2.22)$$

โดยค่า  $e_{i,j}$  และ  $w_{i,j}$  คือ

$$e_{i,j} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (2.24)$$

$$w_{i,j} = \frac{1}{2}(u_{i,j} - u_{j,i}) \quad (2.25)$$

เมื่อเมตริกซ์  $e_{i,j}$  คือเมตริกซ์ของความเครียดเชิงเส้น ในขณะที่  $w_{i,j}$  คือเมตริกซ์ของความเครียดเชิงมุมหรือระยะการเสีรูปในลักษณะการโก่งงอ ซึ่งความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.21 และสมการที่ 2.22 นั้นบ่งบอกถึงทฤษฎีการเสีรูปของวัสดุการเปลี่ยนแปลงของจุดทั้งสองจุดสามารถอธิบายได้ในผลรวมของความเครียดและการโก่งงอ จากสมการที่ 2.16 สมการที่ 2.21 ถึง 2.22 จะได้สมการใหม่แสดงในสมการที่ 2.25

$$u_i = u_i^0 + e_{i,j} dx_j + w_{i,j} dx_j \quad (2.25)$$

โดยกลไกทางเสีรูปของวัสดุที่เกิดขึ้นจากความเค้นทางความร้อนนั้นเกิดขึ้นจากผลกระทบจากความร้อนภายในวัสดุแข็งที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนการไหลของความร้อนสร้างพื้นที่ความร้อนภายในวัสดุ โดยส่วนมากแล้ววัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเมื่อได้รับผลกระทบจากความร้อน เนื่องจากการกระจายตัวของความร้อนภายในวัสดุทำให้เกิดความเค้นขึ้นภายในวัสดุถ้าความร้อนมีอุณหภูมิที่สูงมาก ๆ จนถึงจุดที่วัสดุรับไม่ได้จะทำให้วัสดุเสียหายหรือเสีรูปได้ โดยสมการความร้อนสำหรับการนำความร้อนแสดงไว้ใน สมการที่ 2.10 ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นแบบ 2 มิติ ซึ่งจะวิเคราะห์ 2 แนวแกนคือ แกน X และ แกน Y [12]

## 2.4 ทฤษฎีทางสถิติในการประยุกต์ใช้

### 2.4.1 การตรวจสอบข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

#### 2.4.1.1 การตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจกแจงปกติ

เทคนิคการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งแบบตัวแปรหนึ่งและแบบหลายตัวแปรนั้นล้วนแต่มีเงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์คือข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติโดยถ้าเงื่อนไขที่กล่าวมานี้ไม่เป็นจริงอาจส่งผลกระทบต่อระดับนัยสำคัญและผลที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยการตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจกแจงปกตินั้นแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ การตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหนึ่งตัวแปร และการตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหลายตัวแปร [14]

การตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหนึ่งตัวแปร จะนำมาใช้ตรวจสอบสำหรับกรณีที่มีตัวแปรเชิงปริมาณเพียงหนึ่งตัว โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ การตรวจสอบด้วยกราฟ และการตรวจสอบด้วยสถิติทดสอบโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ กลุ่มที่ 1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยกราฟสามารถตรวจสอบด้วยฮิสโทแกรม(Histogram) แผนภาพลำต้นและใบ(Stem and Leaf Display) บล็อกพล็อต(Boxplot) เป็นต้น โดยการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยกราฟนั้นผู้วิเคราะห์จะต้องเป็นผู้พิจารณาข้อมูลจากกราฟดังกล่าวด้วยตัวเอง กลุ่มที่ 2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยสถิติทดสอบสามารถตรวจสอบด้วยค่าสถิติทดสอบต่างๆ ดังเช่น สถิติทดสอบไคกำลังสอง สถิติทดสอบโคโมโกรอฟ(Kolmogorov-Smirnov Test) ลิลีเฟอร์(Lilliefors Test) และแอนเดอร์สัน – ดาลิ่ง(Anderson-Darling) เป็นต้น

การตรวจสอบการแจกแจงปกติแบบหลายตัวแปร เป็นการตรวจสอบตัวแปรหลายๆตัวพร้อมกันโดยตัวแปรดังกล่าวมักมีความสัมพันธ์กันวิธีการตรวจสอบการแจกแจงปกติของหลายตัวแปร (Multivariate Normal Distribution) มีด้วยกันไม่กี่วิธีดังเช่น พล็อตของไคกำลังสอง(Chi – Square plot) กับวิธีของมาร์ตินา (Martina) [14]

### 2.4.1.2 การตรวจสอบความแปรปรวนด้วยวิธี Box's M Test

การตรวจสอบการเท่ากันของความแปรปรวนด้วยวิธี Box's M Test คือการทดสอบ ข้อตกลงเบื้องต้นของความเท่ากันในเมตริกความแปรปรวนร่วมในแต่ละชุดข้อมูล โดยทางสถิติ ทดสอบนั้นจะมีการตั้งสมมติฐานหลักว่าเมตริกความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมจะมีความ เท่ากันในทุกกลุ่มของชุดข้อมูล โดยมีการตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

$$H_0 : \sum_1 = \sum_2 = \dots = \sum_k$$

$$H_1 : \sum_1 \neq \sum_2 \text{ อย่างน้อย 1 คู่; } i \neq j$$

เมื่อสถิติทดสอบแสดงในสมการที่ 2.27 – 2.28

$$B = (1-c) \left\{ \left[ \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \right] \ln |S_p| - \left[ \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \right] \ln |S_i| \right\} \quad (2.27)$$

$$c = \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{(n_i - 1)} - \frac{1}{\sum_{k=1}^i (n_i - 1)} \right] \left[ \frac{2p^2 + 3p - 1}{6(p+1)(k-1)} \right] \quad (2.28)$$

โดยจากสถิติทดสอบค่า B มีการแจกแจงแบบไคกำลังสองที่องศาอิสระในสมการ 2.29

$$v = \frac{1}{2} p(p+1)(k-1) \quad (2.29)$$

เมื่อ  $p$  คือจำนวนตัวแปรอิสระ

$n_i$  คือจำนวนข้อมูลในกลุ่มที่  $i$

$k$  คือจำนวนกลุ่ม

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

$S_p$  คือเมตริกซ์ค่าแปรปรวนร่วมตัวอย่างของทุกกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดช่วงความเชื่อมั่นและนำค่าองศาอิสระที่ได้มาเปิดหาค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์ (จากตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์) เพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า B ที่ได้จากสมการที่ 2.29 สำหรับการหาหลักฐานสนับสนุนการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักข้างต้น [15]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1.3 ตรวจสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีจำนวนตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยค่าสหสัมพันธ์นั้นเป็นค่ามาตรฐานของค่าแปรปรวนร่วมโดยการนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร X และ Y ไปหารด้วยค่าความแปรปรวนร่วม จึงทำให้ค่าสหสัมพันธ์นั้นเป็นค่าที่ไม่มีหน่วยโดยวิธีการตรวจสอบนั้นแสดงในสมการที่ 2.30 โดยค่า  $r_{xy}$  ที่ได้จะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.30)$$

สำหรับการพิจารณาระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรที่พิจารณานั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r_{xy}$ ) โดยหากค่า  $r_{xy}$  ที่ได้นั้นมีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 จะบ่งบอกว่าการเกิดความสัมพันธ์กันในระดับที่สูง แต่หากค่า  $r_{xy}$  ที่ได้นั้นมีค่าเข้าใกล้ 0 จะบ่งบอกว่าการเกิดความสัมพันธ์กันในระดับที่ต่ำหรือไม่มีเลย โดยอาจจะใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจดังตารางที่ 2.1 [16]

**ตารางที่ 2.1** ความหมายของระดับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ [16]

ค่า $r_{xy}$	ระดับความสัมพันธ์
0.90 ถึง 1.00	มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกสูงมาก
0.70 ถึง 0.90	มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกระดับสูง
0.50 ถึง 0.70	มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกระดับปานกลาง
0.30 ถึง 0.50	มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกระดับต่ำ
0.00 ถึง 0.30	มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกระดับต่ำมาก
-0.30 ถึง 0.00	มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบระดับต่ำมาก
-0.50 ถึง -0.30	มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบระดับต่ำ
-0.70 ถึง -0.50	มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบระดับปานกลาง
-0.90 ถึง -0.50	มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบระดับสูง
-1.00 ถึง -0.90	มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่วนนี้ได้รับอนุญาตให้นำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต  
หมายเหตุ  $r_{xy}$  มีค่าเป็นบวก คือความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนั้นมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน  
 $r_{xy}$  มีค่าเป็นลบ คือความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนั้นมีแนวโน้มไปในทางตรงข้ามกัน

### 2.4.1.4 ตรวจสอบ Hotelling's $T^2$

การตรวจสอบโฮเทลลิงก์ (Hotelling's  $T^2$ ) เป็นส่วนขยายขอบเขตของ การทดสอบ t-test โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยจะแตกต่างจาก t-test คือ การตรวจสอบสถิติทดสอบ t-test เป็นการศึกษาตัวแปรตามตัวเดียว ส่วนในกรณีของการตรวจสอบโฮเทลลิงก์ (Hotelling's  $T^2$ ) จะเป็นการศึกษาตัวแปรตามที่มีมากกว่า 1 ตัวขึ้นไปข้อมูล โดยมีการตั้งสมมุติฐานดังต่อไปนี้ และสถิติทดสอบแสดงในสมการ 2.30 ถึง 2.32

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

เมื่อ  $[\mu_1]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 1

$[\mu_2]$  คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 2

$$D^2 = (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' S^{-1} (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 \quad (2.30)$$

$$T^2 = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} D^2 \quad (2.31)$$

$$F = \left( \frac{n_1 + n_2 - p - 1}{p(n_1 + n_2 - 2)} \right) T^2 \quad (2.32)$$

โดยจากสถิติทดสอบค่า F จะมองศาอิสระ 2 ตัวแปรด้วยกัน แสดงในสมการ 2.33

$$v_1 = p \quad \text{และ} \quad v_2 = n_1 + n_2 - p - 1 \quad (2.33)$$

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) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ

กับค่า F ที่ได้จากสมการที่ 2.33 สำหรับการหาหลักฐานสนับสนุนการยอมรับหรือปฏิเสธสมมุติฐานข้างต้น [14]

## 2.4.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภท

การวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นเป็นวิธีหนึ่งทางสถิติสำหรับวิเคราะห์ชุดข้อมูล 2 ชุดข้อมูลขึ้นไป โดยการนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์ ซึ่งจะมี 1 ตัวแปรตามซึ่งเป็นตัวแปรที่เราต้องการจะจำแนก โดยปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรซึ่งเราเรียกว่าตัวแปรอิสระจะมีตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไปวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นจะสามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างกลุ่มและธรรมชาติบางอย่างของการจำแนกกลุ่มได้โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อ สร้างสมการจำแนกประเภทสำหรับใช้ในการพยากรณ์เพื่อพยากรณ์หน่วยวิเคราะห์ใหม่ว่าเหมาะสมที่จะจัดอยู่ในกลุ่มชุดข้อมูลใด การนำชุดข้อมูลที่ได้มาใช้สำหรับวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นจำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนโดยต้องผ่านวิธีการตรวจสอบดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ตรวจสอบตัวแปรอิสระจะต้องมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร (Multivariate Normality of Independent Variables) ทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติหลายตัวแปรได้โดยทำการตรวจสอบด้วยวิธีการแจกแจงปกติแบบตัวแปรเดียวและทำการตรวจสอบตัวแปรตามทีละตัวแปร

2.4.3.2 ตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระกลุ่มตัวอย่างต้องเท่ากัน ซึ่งการตรวจสอบความแปรปรวนของชุดข้อมูลนี้ทำได้ด้วยวิธีทางสถิติของบล็อก (Box's M test) โดยหากพบว่าค่าความแปรปรวนของชุดข้อมูลนั้นเท่ากันตามหลักทางสถิติจะถือว่าสามารถวิเคราะห์ในรูปแบบการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

2.4.3.3 ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งการตรวจสอบวิธีนี้ทำการตรวจสอบได้ด้วยการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของเพียร์สัน

2.4.3.4 ตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น ซึ่งตรวจสอบได้ด้วยวิธีสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Multicollinearity) โดยต้องทำการตรวจสอบข้อมูลทั้ง 4 การทดสอบเป็นการพิสูจน์ว่ารูปแบบข้อมูลสามารถนำมาวิเคราะห์การวิเคราะห์จำแนกประเภทในแบบเชิงเส้นได้โดยขั้นตอนสำหรับทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นแบบเชิงเส้นนั้นมีขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ขั้นตอนสำหรับการทำเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม หรือมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป โดยเมตริกซ์สำหรับข้อมูลชุดต่างๆ โดยสมมติว่าในการวิเคราะห์การจำแนกประเภทครั้งนี้มีชุดข้อมูลอยู่ทั้งหมด 2 ชุดข้อมูล เมตริกซ์ชุดข้อมูล 1 เมตริกซ์ชุดข้อมูล 2 และเมตริกซ์ชุดข้อมูลรวม แสดงไว้ในสมการ 2.34 ถึง 2.36 ตามลำดับ เมื่อ  $p$  คือจำนวนของตัวแปรอิสระ

$$S_1 = \begin{bmatrix} S_{X1,1}^2 & S_{X1X2,1} & S_{X1X3,1} & \cdots & S_{X1Xp,1} \\ S_{X1X2,1} & S_{X2,1}^2 & S_{X1X2,1} & \cdots & S_{X2Xp,1} \\ S_{X1X3,1} & S_{X1X2,1} & S_{X3,1}^2 & \cdots & S_{X3Xp,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{X1Xp,1} & S_{X2Xp,1} & S_{X3Xp,1} & \cdots & S_{Xp,1}^2 \end{bmatrix}_{p \times p} \quad (2.34)$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} S_{X1,2}^2 & S_{X1X2,2} & S_{X1X3,2} & \cdots & S_{X1Xp,2} \\ S_{X1X2,2} & S_{X2,2}^2 & S_{X1X2,2} & \cdots & S_{X2Xp,2} \\ S_{X1X3,2} & S_{X1X2,2} & S_{X3,2}^2 & \cdots & S_{X3Xp,2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{X1Xp,2} & S_{X2Xp,2} & S_{X3Xp,2} & \cdots & S_{Xp,2}^2 \end{bmatrix}_{p \times p} \quad (2.35)$$

$$S_p = \begin{bmatrix} S_{X1}^2 & S_{X1X2} & S_{X1X3} & \cdots & S_{X1Xp} \\ S_{X1X2} & S_{X2}^2 & S_{X1X2} & \cdots & S_{X2Xp} \\ S_{X1X3} & S_{X1X2} & S_{X3}^2 & \cdots & S_{X3Xp} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{X1Xp} & S_{X2Xp} & S_{X3Xp} & \cdots & S_{Xp}^2 \end{bmatrix}_{p \times p} \quad (2.36)$$

2 ขั้นตอนสำหรับสร้างเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ กลุ่ม ในสมการที่ 2.37

$$\bar{X}_1 = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,1} \\ \bar{X}_{2,1} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,1} \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad \bar{X}_2 = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,1} \\ \bar{X}_{2,1} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,1} \end{bmatrix}_{p \times 2} \quad (2.37)$$

3 ขั้นตอนสำหรับสร้างเมตริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางกลุ่มจากเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระของทั้ง 2 กลุ่มโดยการนำเมตริกซ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาลบกัน

แสดงใน สมการที่ 2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,1} - \bar{X}_{1,2} \\ \bar{X}_{2,1} - \bar{X}_{2,2} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,1} - \bar{X}_{p,2} \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (2.38)$$

4 ขั้นตอนการสร้างเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ตัวคูณ  $b$  โดยการนำผลค่า  $d$  ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มาคิดต่อแสดงในสมการ 2.39

$$b = S_p^{-1}d = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad (2.39)$$

5 ขั้นตอนการสร้างสมการจำแนกประเภทและคำนวณหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระแสดงในสมการที่ 2.40 – 2.41

$$\hat{Q} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{p \times 1}^T \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_p \end{bmatrix}_{p \times 1} = b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p \quad (2.40)$$

$$\bar{Q}_1 = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{p \times 1}^T \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,1} \\ \bar{X}_{2,1} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,1} \end{bmatrix}_{p \times 1}, \bar{Q}_2 = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix}_{p \times 2}^T \begin{bmatrix} \bar{X}_{1,2} \\ \bar{X}_{2,2} \\ \vdots \\ \bar{X}_{p,2} \end{bmatrix}_{p \times 2} \quad (2.41)$$

6 ขั้นตอนการหาค่าจุดแยกแยกประเภท  $Q_c$  เพื่อใช้ในการแบ่งแยกประเภทของชุดข้อมูลโดยแสดงในสมการ 2.42

$$Q_c = \begin{bmatrix} n_1 \bar{Y}_1 + n_2 \bar{Y}_2 \\ n_1 + n_2 \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 ขั้นตอนการตรวจสอบการพยากรณ์ที่ได้จากสมการจำแนกประเภทเพื่อใช้พยากรณ์ข้อมูลชุดใหม่ว่าอยู่ในชุดข้อมูลกลุ่มใด โดยใช้ค่าจุดแยกแยะ  $Q_c$  ตามสมการที่ 2.42 เป็นมาตรฐานในการจำแนกโดยสมการจำแนกประเภทที่ได้แสดงในสมการที่ 2.43

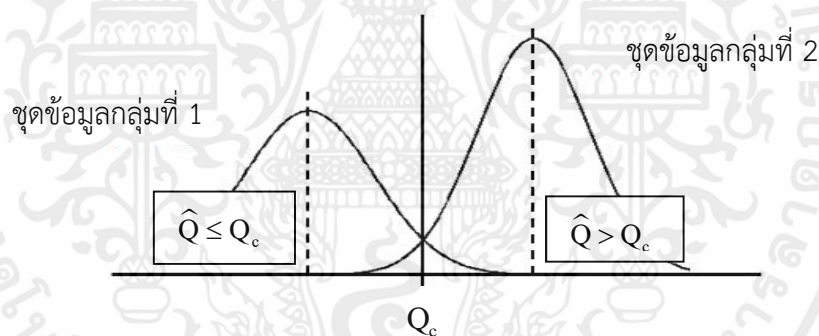
$$\hat{Q} = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.43)$$

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

จากความสัมพันธ์ของค่า  $\hat{Q}$  และ  $Q_c$  สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.6 [14]



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของค่า  $\hat{Q}$  และ  $Q_c$  [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ได้มีการศึกษาโดยแบ่งออกเป็นสามหัวข้อหลักดังต่อไปนี้

2.5.1 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนสำหรับงานวิจัย

2.5.2 การวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัย

2.5.3 งานวิจัยในเรื่องการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS สำหรับงานวิจัย

โดยรายละเอียดต่างๆในส่วนของการวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นมีดังต่อไปนี้

### 2.5.1 กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนสำหรับงานวิจัย

Kuklika [17] และคณะทำการศึกษาความปลอดภัยสำหรับโครงสร้างเหล็กที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อหาต้นเหตุและความสำคัญของปัญหาการเสีรูปร่างของวัสดุที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน ซึ่งหลังจากการศึกษาพบว่าเหล็กนั้นมีการสะสมความเค้นมาตั้งแต่กระบวนการผลิตขึ้นตอนแรกไม่ว่าจะเป็นการรีดเหล็ก การเชื่อม และเมื่อมาถึงกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่บ่อซึ่งมีอุณหภูมิ 450 °C ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อนอย่างฉับพลันซึ่งอาจจะนำไปสู่การเสียหายขึ้นบนโครงสร้างเหล็ก ความรู้ที่สำคัญในการแก้ปัญหาเหล่านี้คือความรู้ที่เกี่ยวกับความเค้นที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงโดยฉับพลัน ซึ่งในบทความนี้ได้ศึกษาปัญหาการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นบนเหล็กหลายหลายชนิดที่เสียหายจากกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน และพบว่าปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาสำคัญและน่าสนใจในการหาวิธีแก้ไข

DiGiovanni [18] และคณะทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อหาสาเหตุความเสียหายแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้นบนวัสดุหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน ซึ่งจากการศึกษาพบรอยแตกร้าว เกิดขึ้นตรงมุมข้อต่อของเหล็กโครงสร้างและเกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนในทางอุตสาหกรรมนั้นถือได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาใหญ่ งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยศึกษา คุณสมบัติทางกล ความเค้นทางความร้อน และความเสียหายที่เกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่า ปัญหาการแตกร้าวเกิดจากคุณสมบัติทางกลของวัสดุนั้นมีลักษณะที่เปราะ จึงมีความเสียหายในรูปแบบการแตกร้าว ซึ่งจะเกิดการแตกร้าวในอุณหภูมิของบ่อสังกะสีที่บ่อชุบ ผลจากการทดสอบพบว่าต้นเหตุของปัญหาที่ทำให้เหล็กโครงสร้างเสีรูปร่างนั้นเกิดจากกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนซึ่งทำให้เกิดความเค้นทางความร้อนขึ้น ทำให้เหล็กโครงสร้างแตกร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Di Cocco [19] และคณะทำการศึกษาหาประโยชน์ที่รับจากการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน และปัญหาการแตกหักของเฟสต่างๆที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างเวลาชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกับความแข็งแรงของวัสดุหลังจากผ่านการทดสอบแรงดัด โดยนำวัสดุไปทดสอบในเครื่องดัด ซึ่งแบ่งเวลาการชุบสังกะสี ตั้งแต่ 15 – 900 วินาที ซึ่งผลที่ได้คือ เวลาในการชุบที่ 900 วินาที สามารถทนแรงโก่งงอได้มากที่สุด และทำให้วัสดุมีความหนาแน่นซึ่งยิ่งวัสดุมีความหนาแน่นเท่าไรยิ่งทำให้สามารถรับแรงดัดได้มากกว่าการชุบเคลือบที่มีขนาดบางกว่า ซึ่งถือได้ว่าเป็นประโยชน์อีกอย่างหนึ่งสำหรับกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัย

Close [7] และคณะทำการศึกษาคุณภาพของน้ำบาดาลในประเทศนิวซีแลนด์เพื่อพยากรณ์หาคุณภาพน้ำบาดาลในภูมิภาคประเทศต่างๆที่อยู่ในเมืองหนึ่งในประเทศนิวซีแลนด์โดยการนำเทคนิคทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาใช้ในการวิเคราะห์โดยการเก็บข้อมูลจากบ่อบาดาลบ่อต่างๆในเมืองของประเทศนิวซีแลนด์สำหรับสร้างสมการจำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์คุณภาพน้ำบาดาลก่อนจะทำการขุดเจาะโดยพบว่าสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทที่ได้นั้นมีความแม่นยำในการทำนายสูงและเหมาะสมต่อการใช้งานโดยตัวชี้วัดคุณภาพน้ำบาดาลคือการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำบาดาล

Lee [20] และคณะทำการศึกษาลักษณะการเดินของมนุษย์โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นเพื่อหารสมการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับแยกข้อมูลกลุ่มของคนที่เดินในสภาวะมีแรงภายนอกและสภาวะปกติออกจากกันโดยจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าสมการจำแนกประเภทมีความแม่นยำของการพยากรณ์อยู่ที่ 92.5 เปอร์เซ็นต์ ที่ว่ามีความแม่นยำสูงและเหมาะสมต่อการใช้งานในงานวิจัย

Jing [6] และคณะทำการศึกษาการจราจรที่เกิดขึ้นในเมือง Tianjin โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นเพื่อทำการพยากรณ์สำหรับจำแนกประเภทการจราจรที่เกิดขึ้นโดยแบ่งการจราจรของเมืองดังกล่าวออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีการจราจรแออัด และกลุ่มที่มีการจราจรปกติ ทำการเก็บข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การจำแนกประเภทด้วยรถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลพารามิเตอร์การเคลื่อนไหวต่างๆที่เกี่ยวกับรถยนต์ จากงานวิจัยนี้พบว่าทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเหมาะสมกับการวิเคราะห์เนื่องจากมีความแม่นยำสำหรับการพยากรณ์

Talevi [21] และคณะทำการศึกษาสารสกัดต้านการชักจากกรดอะมิติกโดยได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นในการจำแนกโมเลกุลที่มีผลต่อการป้องกันการชักกับโมเลกุลที่ไม่มีผลต่อการป้องกันการชักออกจากกันในกรดอะมิติกโดยทำการแยกโมเลกุลในกรดอะมิติกทั้งหมด 48 โมเลกุลออกจากกันซึ่งพบว่าทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นเหมาะสมและสามารถใช้ในการพยากรณ์ในการแยกโมเลกุลที่มีคุณสมบัติต่างๆออกจากกันได้เป็นอย่างดีและแม่นยำ

Mukhopadhyay [8] และคณะทำการศึกษาหลักการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับจำแนกประเภทลักษณะการตายของมนุษย์ด้วยการแวนคอคและลักษณะการตายของมนุษย์ด้วยวิธีการอื่นด้วยการตรวจสอบลักษณะของกระดูกไฮออยล์ซึ่งเป็นกระดูกที่อยู่บริเวณด้านหน้าของลำคอโดยในการศึกษานี้ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกประเภทลักษณะการตายของมนุษย์ด้วยการแวนคอคและลักษณะการตายของมนุษย์ด้วยวิธีการอื่นในการทดสอบครั้งนี้ตัวแปรอิสระสำหรับการจำแนกประเภทคือ ขนาดกว้างยาวของกระดูกไฮออยล์ของคนที่ยาแล้วโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 100 ข้อมูล แบ่งเป็น 16 ชุดข้อมูลคือการตายด้วยวิธีการแวน

คอและ 84 ชุดข้อมูลสำหรับการตายด้วยวิธีอื่นโดยไม่มีการจำแนกเพศ ผลที่ได้พบว่าสมการจำแนกประเภทที่ได้จากงานวิจัยนี้มีความแม่นยำสำหรับการพยากรณ์อยู่ที่ 96 เปอร์เซ็นต์

Cox [22] และคณะทำการศึกษาความล้มเหลวของธนาคารในประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงปี พ.ศ. 2551 จนถึง พ.ศ. 2553 ซึ่งถือว่าเป็นช่วงวิกฤตทางการเงินโดยนำทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์เพื่อจำแนกประเทศธนาคารที่มีโอกาสล้มเหลวและธนาคารที่ไม่ล้มเหลวออกจากกันโดยนำตัวแปรทางด้านการเงินต่างๆมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อใช้สำหรับการดูแนวโน้มและการเตือนภัยทางการเงินในเริ่มแรก โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองมาทั้งสิ้น 4 แบบจำลองเพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดนั้นมีตัวแปรอิสระทางด้านการเงินดังต่อไปนี้ อสังหาริมทรัพย์ อัตราการเติบโตของสินเชื่อ ส่วนของผู้ถือหุ้น ขนาดของธนาคาร ผลตอบแทนของสินทรัพย์และสินเชื่อที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ โดยวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นมีความเหมาะสมและสามารถช่วยในการพยากรณ์ความล้มเหลวของธนาคารในประเทศสหรัฐอเมริกาได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.3 งานวิจัยในเรื่องการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS สำหรับงานวิจัย

Bajpei [23] และคณะทำการศึกษากการวิเคราะห์หาการเสีรรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กขนาดบางที่ผ่านกระบวนการเชื่อม GMA จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการหาความแม่นยำของโปรแกรม ANSYS โดยนำผลที่ได้คือ อุณหภูมิ ความเค้นตัก้าง และการเสีรรูป มาทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม ANSYS โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม กับการทดลองจริงๆในห้องทดลอง ซึ่งผลที่ได้พบว่าโปรแกรม ANSYS มีความผิดพลาดเมื่อเทียบกับการทดลองอยู่ที่ 6 เปอร์เซ็นต์ ถึง 18 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอาจจะมีความผิดพลาดขึ้นจากการติดตั้งในกระบวนการเชื่อม GMA ในห้องทดลอง โดยถือได้ว่า โปรแกรม ANSYS มีความแม่นยำค่อนข้างสูง

Tchoumi [24] และคณะทำการศึกษากการวิเคราะห์หาการเสีรรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็ก 316L ซึ่งผ่านกระบวนการเชื่อมแบบ GMA โดยผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กชนิดนี้ใช้สำหรับประกอบเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรมทางอาหาร จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือต้องการหาความแม่นยำของโปรแกรม ANSYS โดยการใช้ทฤษฎีการออกแบบการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่ดีที่สุด (ความเร็วและลักษณะการเชื่อม) โดยการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม ANSYS และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการเชื่อมจริงในงาน ซึ่งผลที่ได้หลังจากการเปรียบเทียบระหว่างโปรแกรม ANSYS และงานจริงพบว่ามีความผิดพลาดเมื่อเทียบกับการทดลองน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ามีความแม่นยำที่สูง

Sutaphan [25] และคณะทำการศึกษากการวิเคราะห์หาการกระจายความร้อนของเสีรสูบในรถจักรยานยนต์ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อหาวัสดุที่ใช้ทำเสีรสูบให้มีคุณสมบัติการกระจายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยใช้การทดสอบด้วยโปรแกรม ANSYS ทดสอบหาการกระจายความร้อน ซึ่งพบว่าผลที่ได้นั้นมีความแม่นยำสูงสามารถนำมาใช้แทนการทดลองได้จริง

Agrawal [26] และคณะทำการศึกษากการวิเคราะห์หาค่าและลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบผิววัสดุทองแดงด้วยวิธีการพ่นเคลือบด้วยความร้อน จุดประสงค์ในงานวิจัยคือเพื่อหาชนิดของผงที่ใช้ในกระบวนการพ่นเคลือบที่ดีที่สุดสำหรับการยืดอายุการใช้งานให้กับวัสดุทองแดงโดยทำการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม ANSYS ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น ผลที่ได้พบว่า ผง FeCrAlY ที่ใช้สำหรับกระบวนการนี้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดและยังสามารถยืดอายุการใช้งานให้ปลือกทองแดงได้ดีที่สุดเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Singh [27] และคณะทำการศึกษาค้นคว้าทดสอบแรงดึงและการทดสอบความล้าที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กที่เชื่อมติดกันในลักษณะเอียงกันอยู่ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อหาวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงสุดและเสียรูปน้อยที่สุด ในกรณีที่มีการเชื่อมเอียงกันอยู่ทั้งสองแผ่น โดยมีการการใส่แรงดึงและแรงกดขนาด 1,000 N ซึ่งพิจารณาวัสดุทั้งหมด 4 ประเภท คือ แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นโลหะผสมทองแดง แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม และ แผ่นเหล็กที่ทำโครงสร้าง ที่มีขนาดกว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร และ สูง 5 มิลลิเมตรโดยการทดสอบผ่านโปรแกรม ANSYS ซึ่งพบว่าหลังจากการทดสอบผ่านโปรแกรม ANSYS แผ่นอะลูมิเนียมมีการเสียหายที่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทั้ง 4 ชนิด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

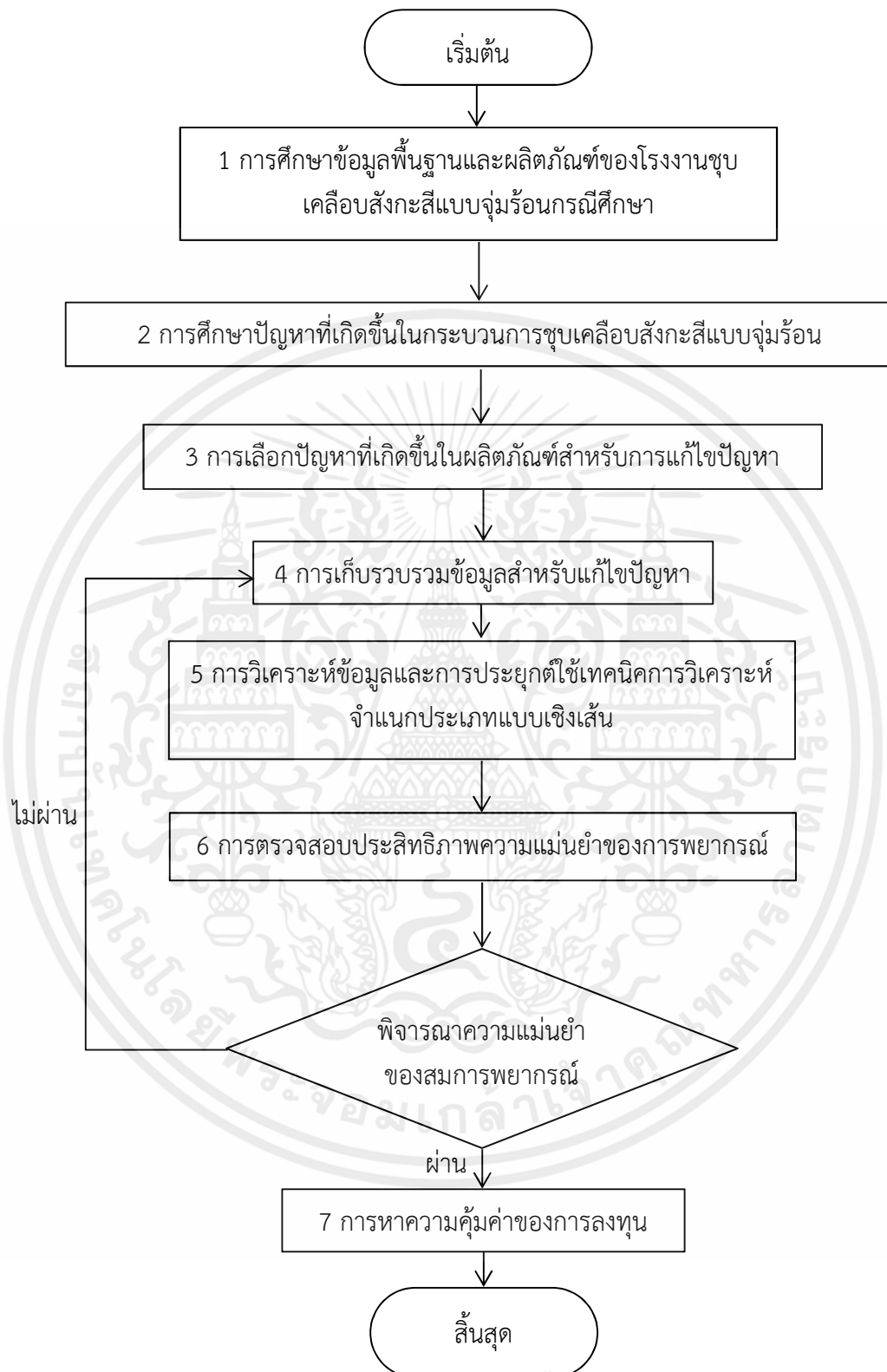
### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด เพื่อหาสาเหตุปัญหาการเสีรूपที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนในโรงงานกรณีศึกษา พร้อมทั้งหาแนวทางการป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้น โดยขั้นตอนในการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

- 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน กรณีศึกษา
- 3.2 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา
  - 3.2.1 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน
  - 3.2.2 การเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์สำหรับการแก้ไข้ปัญหา
- 3.3 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล
  - 3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไข้ปัญหา
  - 3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลและการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น
  - 3.3.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์
  - 3.3.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS
- 3.4 การหาความคุ้มค่าของการลงทุนสำหรับการแก้ไข้ปัญหา

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งรายละเอียดสำหรับขั้นตอนต่างๆที่กล่าวไว้ข้างต้น จะอธิบายไว้ในส่วนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 3.1** ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

ในส่วนของการศึกษาในหัวข้อนี้ ทำการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาพร้อมทั้งศึกษาผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษาว่าเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอะไรจากข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน (มกราคม 2561 – มิถุนายน 2561) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจะแสดงรูปแบบตารางการเก็บข้อมูลดัง ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา

หัวข้อ	รายละเอียด
ประเภทกิจการ	
ขนาดหม้อแปลง	
ประเภทอุตสาหกรรม	
จำนวนพนักงาน	
จำนวนเวลาทำงาน	
มาตรฐานอุตสาหกรรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

### 3.2.1 การศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

ในส่วนการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนของโรงงานกรณีศึกษาเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน (มกราคม 2561 ถึง มิถุนายน 2561) จากโรงงานกรณีศึกษานำมาเพื่อจัดลำดับความสำคัญในแต่ละผลิตภัณฑ์ว่าผลิตภัณฑ์ชนิดไหนมีความสำคัญของปัญหามากที่สุดและเป็นปัญหาที่ควรค่าแก่การปรับปรุงมากที่สุดโดยใช้เกณฑ์การแก้ไขปัญหามาจัดลำดับความสำคัญ มุ่งเน้นไปที่วัสดุที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขและมีความเป็นไปได้ที่จะแก้ไขปัญหานั้นเป็นหลัก ซึ่งจะแสดงรูปแบบตารางการเก็บข้อมูลปัญหาการเสีรูของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษาดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลการเสีรูของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษา

ลำดับ	ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการเสีรูของผลิตภัณฑ์	การแก้ไขปัญหา		
			สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ยังไม่ได้รับการแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไขปัญหาการเสียรูป

ทำการศึกษากระบวนการที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เลือกมานั้นเสียรูปจากตารางที่ 3.2 พร้อมทั้งศึกษาหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นโดยหลังจากทราบถึงปัจจัยที่มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแก้ไขเสียรูปแล้วจะทำการเก็บข้อมูลโดยการปรับค่าปัจจัยทุกตัวที่เป็นผลทำให้เกิดปัญหา โดยสอบถามเกณฑ์ในการตัดสินใจขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์ที่โรงงานกรณีศึกษาที่ยอมรับได้และยอมรับไม่ได้พร้อมทั้งเก็บข้อมูลดังกล่าว เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับสร้างสมการจำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์การเสียรูปของผลิตภัณฑ์สำหรับรูปแบบตารางเก็บข้อมูลปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูปของผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รูปแบบตารางการเก็บข้อมูลปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูปของผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป		เกณฑ์การตัดสินใจของโรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1, \dots, X_n$		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท

จากการเก็บข้อมูลปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดปัญหาการเสีรูปของผลิตภัณฑ์ขึ้นในตารางที่ 3.3 ขั้นตอนถัดไปคือการนำข้อมูลปัจจัยข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภท โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเสีรูปของผลิตภัณฑ์นั้นเราจะเรียกว่าตัวแปรอิสระ (X) ส่วนขนาดการเสีรูปที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์นั้นเราจะเรียกว่าตัวแปรตาม (Y) อธิบายไว้ในรูปที่ 3.1 ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นจุดประสงค์หลักคือการหาสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสีรูปที่เกิดขึ้นเพื่อลดปัญหาการสูญเสียต้นทุนที่เกิดขึ้น

โดยจะทำการแบ่งข้อมูลทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะมีชุดข้อมูลอยู่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลทั้งหมดสำหรับสร้างสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ และ กลุ่มสองจะมีชุดข้อมูลประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์สำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทในการพยากรณ์ สำหรับขั้นตอนการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นแสดงไว้ในหัวข้อ 2.4.3 จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่มสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลคือ

- 1 ชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสีรูปที่สามารถยอมรับได้
- 2 ชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสีรูปที่สามารถยอมรับไม่ได้
- 3 ชุดข้อมูลทั้งหมด (ชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสีรูปที่สามารถยอมรับได้และยอมรับไม่ได้)

โดยรูปแบบตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นของทั้ง 3 กลุ่มนั้น แสดงในตารางที่ 3.4 ถึง 3.6 ตามลำดับ

**ตารางที่ 3.4** รูปแบบตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสีรูปที่สามารถยอมรับได้

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสีรูป $X_1, \dots, X_n$	ขนาดการเสีรูป (Y)
ค่าเฉลี่ย		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 รูปแบบตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่ไม่สามารถยอมรับได้

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป $X_1, \dots, X_n$	ขนาดการเสียรูป (Y)
ค่าเฉลี่ย		

ตารางที่ 3.7 รูปแบบตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลทั้งหมด

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป $X_1, \dots, X_n$	ขนาดการเสียรูป (Y)
ค่าเฉลี่ย		

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นทั้ง 3 ชุดข้อมูลเมตริกซ์ขั้นตอนถัดไปดำเนินการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์จำแนกประเภทต่อไปโดยอ้างอิงจากหัวข้อ 2.4.3 เพื่อให้ได้สมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสียรูปของผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในรูปแบบสมการ  $\hat{Q} = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$  สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์

จากการวิเคราะห์เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นในการหาสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสียชีวิตในหัวข้อ 3.3.2 นั้นคือการนำชุดข้อมูลประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ จากชุดข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ ในส่วนของหัวข้อนี้จะนำข้อมูลที่แบ่งไว้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มที่ 2 มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของการพยากรณ์การเสียชีวิตเพื่อหาประสิทธิภาพความแม่นยำในการพยากรณ์การเสียชีวิตของผลิตภัณฑ์ว่ามีความถูกต้องในการพยากรณ์การเสียชีวิตมากน้อยเพียงใดโดยนำข้อมูลตัวแปรอิสระใส่ลงไปในการสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นเพื่อตรวจสอบตัวแปรตามที่ได้ว่ามีความถูกต้องในการพยากรณ์มากน้อยเพียงใด ซึ่งรูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภทนั้น แสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 รูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภท

ลำดับ	ตัวแปรอิสระ	ผลการเสียชีวิตจากการสมการพยากรณ์		ผลการเสียชีวิตจริงจากการเก็บข้อมูล		ผลการพยากรณ์จากสมการพยากรณ์
	$X_1, \dots, X_n$	ขนาดการเสียชีวิต ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์การเสียชีวิต	ขนาดการเสียชีวิต ( $Y$ )	ผ่านเกณฑ์การเสียชีวิต	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตาราง 3.7 ในขั้นตอนถัดไปจะเข้าสู่ขั้นตอนการนำสมการจำแนกประเภทที่ได้จากข้างต้นมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องของการใช้งานในกระบวนการจริงโดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษา งานวิจัยในเรื่องการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS สำหรับงานวิจัย โดยจากการสืบค้นข้อมูลพบว่าแบบจำลองที่สร้างจากโปรแกรมสำเร็จรูป ANSYS นั้นมีความแม่นยำในการพยากรณ์ที่สูงโดยมีความคลาดเคลื่อนจากการทดลองประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ [24] ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำโปรแกรม ANSYS มาประยุกต์ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการเสีรูปของผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนการทดลองจริงในโรงงานกรณีศึกษาเนื่องจากทางโรงงานกรณีศึกษานั้นไม่สามารถเอื้ออำนวยความสะดวกในการทดลองในครั้งนี้ได้ โดยได้แบ่งขั้นตอนการตรวจสอบออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองที่ได้จากโปรแกรม ANSYS เปรียบเทียบกับข้อมูลที่เก็บมาจากโรงงานกรณีศึกษา สำหรับนำเอาแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS ไปใช้แทนการทดลองจริงที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา โดยตัวอย่างตารางเก็บผลแสดงในตารางที่ 3.8

2 การตรวจสอบความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS โดยกำหนดตัวแปรอิสระขึ้นมาแล้วทำการพยากรณ์ผ่านโปรแกรม ANSYS โดยตัวอย่างตารางเก็บผลแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.8 รูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภทด้วยแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS

ลำดับ	ตัวแปรอิสระ	ข้อมูลที่ได้จากโรงงานกรณีศึกษา		ผลการเสีรูปจากโปรแกรม ANSYS		ผลการพยากรณ์จากสมการพยากรณ์
	$X_1, \dots, X_n$	ขนาดการเสีรูป (Y)	ผ่านเกณฑ์การเสีรูป	ขนาดการเสีรูป ( $Y_{ANSYS}$ )	ผ่านเกณฑ์การเสีรูป	

ตารางที่ 3.9 รูปแบบตารางการตรวจสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภท  
ด้วยแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS

ลำดับ	ตัวแปรอิสระ	ผลการเสียรูปจากโปรแกรม ANSYS		ผลการเสียรูปจากสมการพยากรณ์		ผลการพยากรณ์จากสมการพยากรณ์
	$X_1, \dots, X_n$	ขนาดการเสียรูป ( $Y_{ANSYS}$ )	ผ่านเกณฑ์การเสียรูป	ขนาดการเสียรูป ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์การเสียรูป	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การหาความคุ้มค่าของการลงทุนสำหรับการแก้ไขปัญห

ทำการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในการนำสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสีรูปของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับเลือกมาแก้ไขปัญหการเสีรูปโดยเริ่มต้นจากการนำข้อมูลความถูกต้องของการพยากรณ์ที่ได้ในสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาวิเคราะห์ต้นทุนและกำไรในการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน เพื่อมาเปรียบเทียบกำไรและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นว่าในการปรับปรุงครั้งนี้สามารถเพิ่มกำไรเนื่องจากปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนได้มากน้อยเพียงใดพร้อมทั้งสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

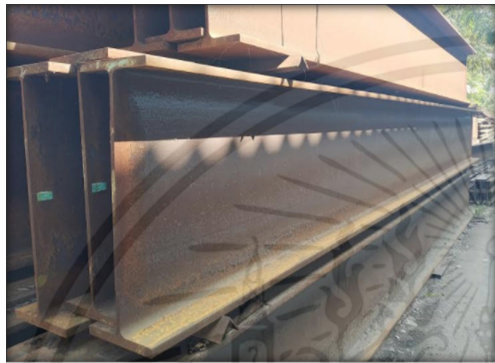
โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาแห่งหนึ่งเป็นโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ มีประสบการณ์ด้านธุรกิจเสาส่งไฟฟ้าแรงสูง 51 ปี มีบริการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนบริการลูกค้าทั่วไปที่ต้องการนำผลิตภัณฑ์โครงเหล็กชนิดต่างๆ สำหรับมาตรฐานการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนนั้นมีมาตรฐานมีตั้งแต่มาตรฐานอเมริกัน อังกฤษ ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และเยอรมัน รายละเอียดจะแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางการเก็บข้อมูลพื้นฐานของโรงงานกรณีศึกษา

หัวข้อ	รายละเอียด	
ประเภทกิจการ	บริษัท (มหาชน) โรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	
ขนาดหม้อแปลง	2055 KVA	
ประเภทอุตสาหกรรม	รับจ้างทำเสาโครงเหล็กไฟฟ้าแรงสูง เสาโทรคมนาคม ด้วยกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน	
จำนวนพนักงาน	145 คน	
จำนวนเวลาทำงาน	จำนวนชั่วโมงทำงาน	8 ชั่วโมง/วัน
	จำนวนวันทำงาน	250 วัน/ปี
	รวมจำนวนชั่วโมงทำงาน	2,000 ชั่วโมง/ปี
มาตรฐานอุตสาหกรรม	ASTM A123 ASTM A153 , BS 729 , JIS H 8641 , AS 1214	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษานั้นเป็นโรงงานที่บริการชุบเคลือบสังกะสีโดยใช้เทคนิคการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเป็นหลักมีผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภทโดยส่วนมากแล้วผลิตภัณฑ์ของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาจะเป็นเหล็กโครงสร้างที่ใช้สำหรับเสาไฟฟ้าแรงสูง เสาโทรคมนาคม และ งานโครงสร้างต่างๆเป็นหลัก ดังรูป 4.1 ได้แก่ (ก) เหล็กโครงสร้าง (ข) แผ่นเหล็กกล้า (ค) เหล็กสำหรับโครงสร้างเสาไฟฟ้าแรงสูง (ง) แผ่นเหล็กฝาครอบ



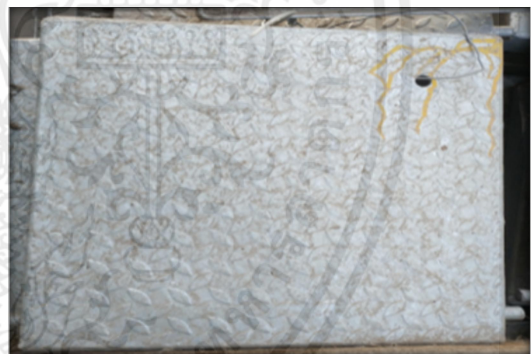
(ก) เหล็กโครงสร้าง



(ข) แผ่นเหล็กกล้า



(ค) เหล็กสำหรับโครงสร้างเสาไฟฟ้าแรงสูง



(ง) แผ่นเหล็กฝาครอบ

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

### 4.2.1 ผลการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

ดำเนินการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่เกิดปัญหาการเสียรูปขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน (มกราคม 2561 – มิถุนายน 2561) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดปัญหาการเสียรูปนั้นมีอยู่ด้วยกัน 5 ชนิด ดังต่อไปนี้ เหล็กโครงสร้างไวแฟรงค์เกรด SM520 เหล็กกล้าโครงสร้าง(Circuit Breaker) แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 แผ่นเหล็กกล้าฝาครอบสายไฟ และเสาเหล็กกล้า (Breaker Steel) โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางการเก็บข้อมูลปัญหาการเสียรูปของผลิตภัณฑ์ในโรงงานกรณีศึกษา

ลำดับ	ผลิตภัณฑ์	ลักษณะการเสียรูปของผลิตภัณฑ์	การแก้ไขปัญหา		
			สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ยังไม่ได้รับการแก้ไข
1	เหล็กกล้าไวแฟรงค์เกรด SM520	มีเสียรูปแบบบิดงอ		✓	
2	เหล็กกล้า (Circuit Breaker)	มีการเสียรูปแบบโก่งงอ	✓		
3	แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400	มีการเสียรูปแบบโก่งงอ			✓
4	แผ่นเหล็กกล้าฝาครอบ	มีการเสียรูปแบบโก่งงอ	✓		
5	เสาเหล็กกล้า (Breaker Steel)	มีการเสียรูปแบบโก่งงอบริเวณฐานผลิตภัณฑ์	✓		

ข้อมูลจากตารางที่ 4.2 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างสมบูรณ์หรือยังไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ผลิตภัณฑ์ด้วยกันคือ เหล็กกล้าไวแฟรงค์เกรด SM520 และแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 จากการศึกษาโรงงานกรณีศึกษาพบว่าทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าไวยาแฟรงค์เกรด SM520 ยังไม่ได้รับการแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ โดยมีขนาดกว้าง 800 มิลลิเมตร ยาว 8,000 มิลลิเมตร และสูง 300 มิลลิเมตร จึงส่งผลให้การแก้ไขผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ต้องใช้ต้นทุนในการปรับปรุงที่สูง อีกทั้งความต้องการของลูกค้ายังไม่คงที่ จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ควรค่าแก่การปรับปรุง

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กโดยมีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และมีขนาดความหนามาตรฐานอยู่ 3 ขนาด มีความต้องการของลูกค้าที่คงที่ โดยมีการแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างที่เกิดขึ้นแล้วแต่ยังไม่สมบูรณ์เนื่องจากขนาดมาตรฐานในการจัดการ

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และมีขนาดความหนามาตรฐานอยู่ 3 ขนาด คือมีความหนาอยู่ในช่วง 3.5 มิลลิเมตร ถึง 4.5 มิลลิเมตร ความหนาอยู่ในช่วง 4.5 มิลลิเมตร ถึง 5.5 มิลลิเมตร และความหนาอยู่ในช่วง 5.5 มิลลิเมตร ถึง 6.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ากึ่งกลางช่วงอยู่ที่ความหนา 4.5 และ 6 มิลลิเมตรตามลำดับ ได้รับการแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยการนำแท่งเหล็กกล้ามาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยแท่งเหล็กกล้าสำหรับเสริมความแข็งแรงนั้นจะนำมาเชื่อมติดบริเวณด้านหลังของผลิตภัณฑ์ก่อนผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจำนวน 2 ชั้น แสดงในรูปที่ 4.2 ผลที่ได้นั้นพบว่า การแก้ไขปัญหของทางโรงงานกรณีศึกษานั้นยังขาดความรู้ความเข้าใจในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงส่งผลให้สามารถแก้ไขปัญหการเสีรูปร่างได้จริงเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์วิธีแก้ไขปัญหานี้ตามหลักการเชิงสถิติเพื่อสร้างมาตรฐานที่มีความน่าเชื่อถือขึ้น



รูปที่ 4.2 แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 และ แท่งเหล็กกล้าเสริมความแข็งแรงแผ่นเหล็กกล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.3.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับแก้ไขปัญหาการเสีรรูปที่เกิดขึ้น

จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าวการนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการเสีรรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เสีรรูปนั้นมีอยู่ด้วยกัน 3 ปัจจัย ดังต่อไปนี้

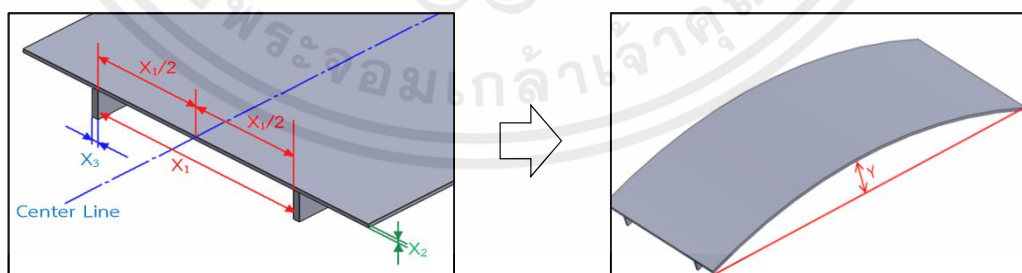
ปัจจัยที่ 1 คือ ตำแหน่งการเชื่อมของเหล็กแท่งเสริมความแข็งแรง ( $X_1$ ) วัดระยะระหว่างจุดกึ่งกลางของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 (Center line) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมีระยะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 315 มิลลิเมตร ถึง 455 มิลลิเมตร โดยมีขนาดมาตรฐานทั้งหมด 13 ค่าคือ 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 มิลลิเมตร

ปัจจัยที่ 2 คือ ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ( $X_2$ ) โดยจากการเก็บรวบรวมข้อมูลมีระยะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 3.5 มิลลิเมตร ถึง 6.5 มิลลิเมตร โดยมีขนาดมาตรฐานทั้งหมด 3 ค่าคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตร

ปัจจัยที่ 3 คือ ขนาดความหนาของเหล็กแท่งเสริมโครงสร้างแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ( $X_3$ ) โดยจากการเก็บรวบรวมข้อมูลมีระยะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5.5 มิลลิเมตร ถึง 10.5 มิลลิเมตร โดยมีขนาดมาตรฐานทั้งหมด 3 ค่าคือ 6 8 และ 10 มิลลิเมตร

ปัจจัยทั้ง 3 แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.3 โดยปัจจัยทั้ง 3 ข้างต้นเป็นสาเหตุที่ทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เสีรรูป (Y)

เกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับการเสีรรูปที่เกิดขึ้นทางโรงงานกรณีศึกษาได้ตั้งเกณฑ์ไว้คือต้องมีขนาดการโก่งไม่เกิน 5.25 มิลลิเมตร แสดงไว้ดังรูปที่ 4.3 ดำเนินการเก็บข้อมูลปัจจัยและขนาดการเสีรรูปที่เกิดขึ้นในกรณีศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทโดยเก็บรวบรวมชุดข้อมูลอยู่ทั้งสิ้น 126 ชุดข้อมูล แสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 4.3 ปัจจัยและทิศทางการเสีรรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การแบ่งช่วงระยะของปัจจัยที่มีผลทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เสียรูป

X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>		X <sub>3</sub>	
ช่วงการวัด (มิลลิเมตร)	ขนาด มาตรฐาน (มิลลิเมตร)	ช่วงการวัด (มิลลิเมตร)	ขนาด มาตรฐาน (มิลลิเมตร)	ช่วงการวัด (มิลลิเมตร)	ขนาด มาตรฐาน (มิลลิเมตร)
315 – 324	320	3.5 – 4.49	4	5 – 6.99	6
325 – 334	330	4.5 – 5.49	5	7 – 8.99	8
335 – 344	340	5.5 – 6.5	6	9 – 10.99	10
345 – 354	350	-	-	-	-
355 – 364	360	-	-	-	-
365 – 374	370	-	-	-	-
375 – 384	380	-	-	-	-
385 – 394	390	-	-	-	-
395 – 404	400	-	-	-	-
405 – 414	410	-	-	-	-
415 – 424	420	-	-	-	-
425 – 434	430	-	-	-	-
435 – 444	440	-	-	-	-
445 – 450	450	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

จากการเก็บข้อมูลข้างต้นทั้งหมด 126 ชุดข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ก (มกราคม 2561 – มิถุนายน 2561) ทำการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม โดยจะแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 70 เปอร์เซ็นต์ หนึ่งกลุ่มและ 30 เปอร์เซ็นต์ [28] หนึ่งกลุ่มดังต่อไปนี้

1 กลุ่มที่ 1 จำนวน 88 ชุดข้อมูลสำหรับการสร้างสมการการวิเคราะห์จำแนกประเภท สำหรับการพยากรณ์การเสีรูปของผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

2 กลุ่มที่ 2 จำนวน 38 ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพ ในการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภทที่ได้จากการวิเคราะห์ชุดข้อมูลในกลุ่มที่ 1

ดำเนินการนำข้อมูลกลุ่มที่ 1 มาตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานทั้ง 4 การตรวจสอบคือ การตรวจสอบตัวแปรอิสระต้องมีการแจกแจงปกติ การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระต้องเท่ากัน การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และ การตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้น จากการตรวจสอบทั้ง 4 การตรวจสอบพบว่าชุดข้อมูลกลุ่มที่ 1 ผ่านเกณฑ์การตรวจสอบทั้ง 4 การตรวจสอบ รายละเอียดขั้นตอนการตรวจสอบแสดงในภาคผนวก ข โดยในที่นี้จะแสดงเฉพาะผลที่ได้จากการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นแสดงดังต่อไปนี้

การตรวจสอบตัวแปรอิสระมีการแจกแจงปกติ ทำการตรวจสอบด้วยสถิติแอนเดอร์สัน – ดาลิ่ง (Anderson-Darling) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป ทำการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมด 6 ชุดข้อมูลโดยแบ่งออกเป็น ตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร จำนวน 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีการเสีรูปที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่มีการเสีรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์ โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ( $\alpha = 0.05$ ) ผลที่ได้พบว่าตัวแปรอิสระทั้งหมด 6 ชุดข้อมูลมีการแจกแจงข้อมูลปกติ โดยมีค่า P- Value ที่มากกว่า 0.05 ทั้ง 6 ชุดข้อมูล

การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระ ทำการตรวจสอบด้วยการตรวจสอบด้วยวิธี Box's M Test โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นทางสถิติเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ( $\alpha = 0.05$ ) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย วิธี Box's M test คือค่าสถิติทดสอบ  $B = 2.06$  โดยนำมาเทียบค่าสถิติทดสอบที่เปิดได้จากตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์คือ 12.59 โดยพบว่าค่าสถิติทดสอบ  $B$  มีค่าน้อยกว่าค่าสถิติทดสอบที่เปิดได้จากตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์คือ 12.59 จึงสรุปได้ว่ามีหลักฐานเพียงพอที่จะกล่าวว่าคุณสมบัติแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์

การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระ ทั้ง 3 ตัวแปร และตัวแปรตาม โดยใช้วิธีการทดสอบของ เพียร์สันหาค่า  $r_{x_1y}$   $r_{x_2y}$  และ  $r_{x_3y}$  จากการตรวจสอบพบว่าค่า  $r_{x_1y}$   $r_{x_2y}$  และ  $r_{x_3y}$  มีค่าเท่ากับ 0.925 -0.211 และ -0.19 ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่า ตัวแปรอิสระ  $X_1$  มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตามในเชิงบวกค่อนข้างสูง และตัวแปรอิสระ  $X_2$  และ  $X_3$  มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตามในเชิงลบระดับต่ำ

การตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้น ทำการตรวจสอบด้วยวิธีการทดสอบของเพียร์สันหาค่า โดยจากการตรวจสอบด้วยวิธีดังกล่าวพบว่า  $r_{x_1x_2}$   $r_{x_1x_3}$  และ  $r_{x_2x_3}$  มีค่าเท่ากับ  $-0.092$   $-0.109$  และ  $-0.055$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมากจึงสรุปได้ว่าตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้น

หลังจากนำชุดข้อมูลมาทำการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานทั้ง 4 การตรวจสอบแล้วพบว่าชุดข้อมูลเหมาะสมกับการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นในขั้นตอนถัดไปคือทำการสร้างสมการพยากรณ์สำหรับพยากรณ์กลุ่มการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น โดยขั้นตอนและรายละเอียดสำหรับการสร้างสมการพยากรณ์นั้นแสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยสมการพยากรณ์ที่ได้แสดงในสมการ 4.1

$$\hat{Q} = 0.044X_1 + 0.3616X_2 + 0.1328X_3 \quad (4.1)$$

โดยมีจุดแยกแยะกลุ่มสำหรับหน่วยวิเคราะห์ใหม่  $Q_c = 19.59$  โดยจุดแยกแยะนี้จะเป็นเกณฑ์ในการกำหนดว่าค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 4.1 นั้นมีการเสียรูปอยู่ในเกณฑ์ของกลุ่มใด และค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 อยู่ที่  $\bar{Q}_1 = 18.19$  และ  $\bar{Q}_2 = 21.62$  ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

$\hat{Q} \leq 19.59$  การพยากรณ์ที่ได้พยากรณ์กล่าวว่าแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีการเสียรูปอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

$\hat{Q} > 19.59$  การพยากรณ์ที่ได้กล่าวว่าแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีการเสียรูปอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้

ขั้นตอนถัดไปคือการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์การเสียรูปโดยจะกล่าวไว้ในส่วนถัดไป

### 4.3.3 ผลตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์

ดำเนินการนำข้อมูลกลุ่มที่ 2 จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์จากข้อมูลทั้งหมด โดยนำตัวแปรอิสระของข้อมูลทั้งหมด 38 ข้อมูล มาตรวจสอบในสมการพยากรณ์การเสีรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่จากการวิเคราะห์ในสมการที่ 4.1 นำผลการพยากรณ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าการเสีรูปที่เกิดขึ้นจริงว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใดผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังต่อไปนี้

ค่าการเสีรูปที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง (Y) เกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

$Y \leq 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสีรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$Y > 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสีรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

ค่าการเสีรูปที่ได้จากการพยากรณ์ ( $\hat{Q}$ ) มีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

$\hat{Q} \leq 19.59$  คือการพยากรณ์บอกว่าขนาดการเสีรูปที่เกิดขึ้นอยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$\hat{Q} > 19.59$  คือการพยากรณ์บอกว่าขนาดการเสีรูปที่เกิดขึ้นอยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

ตารางที่ 4.4 การตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์การเสีรูป

		ค่าพยากรณ์ ( $\hat{Q}$ )	
		การเสีรูปผ่านเกณฑ์	การเสีรูปไม่ผ่านเกณฑ์
การเสีรูปที่เกิดขึ้นจริง (Y)	การเสีรูปผ่าน เกณฑ์	17 (44.73%)	3 (7.89%)
	การเสีรูปไม่ผ่าน เกณฑ์	0 (0%)	18 (47.36%)

หมายเหตุ รายละเอียดของข้อมูลทั้งหมด 38 ข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.1

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสมการพยากรณ์การเสีรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรดสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องถึง 35 ข้อมูลจากทั้งหมด 38 โดยมีการพยากรณ์ในกลุ่มที่มีการเสีรูปผ่านเกณฑ์ถูกต้อง 17 ข้อมูล ผิดพลาด 0 ข้อมูล และการพยากรณ์ในกลุ่มมีการเสีรูปไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 18 ข้อมูล ผิดพลาด 3 ข้อมูล ข้อมูลคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 92.11 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

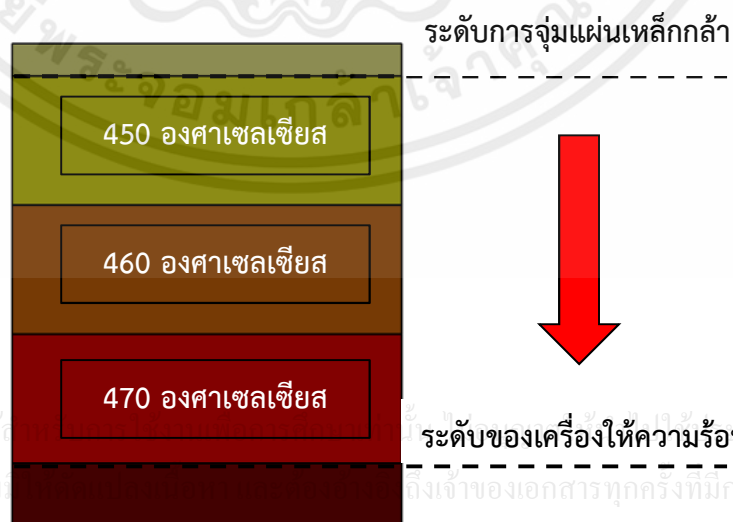
#### 4.3.4 ผลตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS

ดำเนินการสร้างแบบจำลองการเสียดรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจากโปรแกรม ANSYS สำหรับใช้แทนการทดลองจริงที่เกิดขึ้นในโรงงานการศึกษา โดยมีการตั้งสมมุติฐานในแบบจำลองให้สอดคล้องกับโรงงานการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1 แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีคุณสมบัติเชิงกลดังตารางที่ 4.5
- 2 บ่อมีขนาดกว้าง 1200 มิลลิเมตร ยาว 9800 มิลลิเมตร และลึก 1500 มิลลิเมตร
- 3 ระยะการจุ่มของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 จะจุ่มลึกลงไป 100 มิลลิเมตรนับจากบริเวณผิวบ่อสังกะสีหลอมเหลว
- 4 ความร้อนภายในบ่อสังกะสีหลอมเหลว มีอุณหภูมิอยู่ที่ 450 องศาเซลเซียสที่ระดับความลึกลงไป 100 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 10 องศาเซลเซียส ตามระดับความลึกทุกๆ 400 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 4.4
- 5 มีการยึดแผ่นบริเวณด้านกว้างของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 จำนวน 2 รู สำหรับจุ่มแผ่นเหล็กกล้าลงในบ่อสังกะสีหลอมเหลว

ตารางที่ 4.5 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

1. แรงต้านทานการดึง	290 MPa
2. โมดูลัสของยัง	190 GPa
3. ความจุความร้อนจำเพาะ	470 J/Kg-K
4. ค่าการนำความร้อน	50 W/m-K
5. ความหนาแน่น	7.9 g/cm <sup>3</sup>



รูปที่ 4.4 ระดับอุณหภูมิในบ่อสังกะสีหลอมเหลว SS400

ทำการทดสอบความแม่นยำสำหรับการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจากโปรแกรม ANSYS โดยการนำข้อมูลที่ได้จากทางโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 30 ชุดข้อมูล (ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างสมการพยากรณ์ 70 เปอร์เซ็นต์) [28] เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างแบบจำลองการเสียรูปจากโปรแกรม ANSYS และข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากโรงงานกรณีศึกษา เหนือการตัดสินใจสำหรับการแบ่งกลุ่มการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์และการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์มีดังต่อไปนี้

ค่าการเสียรูปที่ได้จากข้อมูลทางโรงงานกรณีศึกษา

$Y \leq 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$Y > 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

ค่าการเสียรูปที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม ANSYS ( $Y_{ANSYS}$ ) เหนือการตัดสินใจดังนี้

$Y_{ANSYS} \leq 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$Y_{ANSYS} > 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.2 ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS เปรียบเทียบกับข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา

		ค่าการเสียรูปที่ได้จากข้อมูลทางโรงงานกรณีศึกษา (Y)	
		การเสียรูปในกลุ่มผ่านเกณฑ์	การเสียรูปในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์
ค่าพยากรณ์ที่ได้จากโปรแกรม ANSYS ( $Y_{ANSYS}$ )	การเสียรูปในกลุ่มผ่านเกณฑ์	15 (50%)	1 (3.33%)
	การเสียรูปในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์	0 (0%)	14 (46.67%)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าแบบจำลองการเสียรูปที่สร้างโดยโปรแกรม ANSYS นั้นมีความถูกต้องเมื่อเทียบกับข้อมูลที่เก็บมาจากทางโรงงานกรณีศึกษาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเท่ากับ 96.66 เปอร์เซ็นต์ โดยแบบจำลองการเสียรูปที่สร้างจากโปรแกรม ANSYS มีความถูกต้องของการพยากรณ์ในกลุ่มการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 15 ข้อมูล และผิดพลาดอยู่ที่ 0 ข้อมูล และมีความถูกต้องของการพยากรณ์ในกลุ่มการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 14 ข้อมูล ผิดพลาดอยู่ที่ 1 ข้อมูล

สรุปได้ว่าแบบจำลองการเสียรูปที่สร้างโดยโปรแกรม ANSYS นั้นมีความถูกต้องและสามารถนำมาใช้ทดแทนกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนในการทดลองจริงของโรงงานกรณีศึกษาได้ซึ่งจะทำการทดลองในส่วนถัดไป

จากข้อมูลข้างต้นนำแบบจำลองการเสียรูปที่สร้างโดยโปรแกรม ANSYS มาใช้ทดแทนการทดลองในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจริงของโรงงานกรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยนำผลที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS และผลที่ได้จากสมการจำแนกประเภทมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ทำการสุ่มข้อมูลทั้งหมด 20 ข้อมูลซึ่งรายละเอียดการสร้างแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS แสดงในภาคผนวก ง ผลโดยรวมที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7 โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจดังต่อไปนี้

ค่าการเสียรูปที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยโปรแกรม ANSYS ( $Y_{ANSYS}$ ) เกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

$Y_{ANSYS} \leq 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$Y_{ANSYS} > 5.25$  มิลลิเมตร คือ ขนาดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์อยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

ค่าการเสียรูปที่ได้จากการพยากรณ์ ( $\hat{Q}$ ) มีเกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

$\hat{Q} \leq 19.59$  คือการพยากรณ์บอกว่าขนาดการเสียรูปที่เกิดขึ้นอยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

$\hat{Q} > 19.59$  คือการพยากรณ์บอกว่าขนาดการเสียรูปที่เกิดขึ้นอยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์

ตารางที่ 4.7 การตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์การเสียรูปกับแบบจำลองจากโปรแกรม ANSYS

		ค่าพยากรณ์ ( $\hat{Q}$ )	
		การเสียรูปผ่านเกณฑ์	การเสียรูปไม่ผ่านเกณฑ์
ค่าพยากรณ์ที่ได้จากโปรแกรม ANSYS ( $Y_{ANSYS}$ )	การเสียรูปในกลุ่มผ่านเกณฑ์	10 (50%)	1 (5%)
	การเสียรูปในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์	0	9 (45%)

หมายเหตุ รายละเอียดของข้อมูลทั้งหมด 20 ข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์ของสมการพยากรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเสียรูปที่ได้จากแบบจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS มีความถูกต้องถึง 19 ข้อมูล จากข้อมูลทั้งหมด 20 ข้อมูล คิดเป็นร้อยละความถูกต้องเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบความแม่นยำของสมการพยากรณ์ทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า ประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์การเสียรูปนั้นมีประสิทธิภาพที่สูงและสามารถนำมาใช้เพื่อพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการหาความคุ้มค่าของการลงทุนสำหรับการแก้ไขปัญห

จากข้อมูลราคาแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ของทางกรณีศึกษานั้นพบว่าแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 นั้นมียอดการสั่งจองจากลูกค้าอยู่ที่ 400,000 กิโลกรัมต่อเดือน แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีราคาต้นทุนอยู่ที่ กิโลกรัมละ 26 บาท โดยหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนแล้วนั้นพบว่ามีความขายอยู่ที่ กิโลกรัมละ 52 บาท ซึ่งมีกำไรจากการขายอยู่ที่กิโลกรัมละ 26 บาท มีน้ำหนักแต่ละขนาดคือ

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาด 600 x 1200 x 4 มิลลิเมตร มีน้ำหนักอยู่ที่ 22.75 กิโลกรัม  
 แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาด 600 x 1200 x 5 มิลลิเมตร มีน้ำหนักอยู่ที่ 28.44 กิโลกรัม  
 แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาด 600 x 1200 x 6 มิลลิเมตร มีน้ำหนักอยู่ที่ 34.14 กิโลกรัม

โดยจำนวนการผลิตและต้นทุนของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ทั้ง 3 ขนาด ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่เกิดการเสียรูปขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการผลิตและต้นทุนของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในกรณีที่ไม่มีการเสียรูป

ลำดับ	ขนาดความหนา (มิลลิเมตร)	จำนวนแผ่นเหล็กกล้า เกรด SS400 (แผ่นต่อเดือน)	ต้นทุน (บาทต่อแผ่น)	ราคาขาย (บาทต่อแผ่น)	กำไร (บาทต่อแผ่น)
1	4	1,573	591.50	1,183	591.50
2	5	2,359	739.44	1,478.88	739.44
3	6	786	887.64	1,775.28	887.64
รวม	-	4,718	-	-	-

จากตารางที่ 4.8 พบว่าต้นทุนและกำไรที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้รับสำหรับแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ทั้ง 3 ขนาดมีดังต่อไปนี้

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาด 600 x 1200 x 4 มิลลิเมตร

ต้นทุนรวม  $1,573 \times 591.50 = 930,429.50$  บาทต่อเดือน

ราคาขายรวม  $1,573 \times 1,183 = 1,860,859$  บาทต่อเดือน

กำไรรวม  $1,573 \times 591.50 = 930,429.50$  บาทต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาด 600 x 1200 x 5 มิลลิเมตร

ต้นทุนรวม  $2,359 \times 739.44 = 1,744,338.96$  บาทต่อเดือน

ราคาขายรวม  $2,359 \times 1,478.88 = 3,488,677.92$  บาทต่อเดือน

กำไรรวม  $2,359 \times 739.44 = 1,744,338.96$  บาทต่อเดือน

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาด 600 x 1200 x 6 มิลลิเมตร

ต้นทุนรวม  $786 \times 887.64 = 697,685.04$  บาทต่อเดือน

ราคาขายรวม  $786 \times 1,775.28 = 1,395,370.08$  บาทต่อเดือน

กำไรรวม  $786 \times 887.64 = 697,685.04$  บาทต่อเดือน

จากข้อมูลข้างต้นนั้นพบว่าในกรณีที่ไม่เกิดการเสียรูปขึ้นในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนสำหรับแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในโรงงานกรณีศึกษานั้น มีต้นทุนรวม ราคาขายรวม และกำไรรวมแสดงดังต่อไปนี้ ต้นทุนรวม 3,372,453.50 บาทต่อเดือน ราคาขายรวม 6,744,907 บาทต่อเดือน และกำไรรวม 3,372,453.50 บาทต่อเดือน

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในโรงงานกรณีศึกษานั้นพบว่าความเป็นจริงเกิดปัญหาการเสียรูปขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน ส่งผลให้มีแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 บางส่วนที่ไม่สามารถนำส่งขายให้ลูกค้าได้เนื่องจากมีขนาดการเสียรูปที่สูงกว่าเกณฑ์ที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้ตั้งไว้ทำให้เกิดการสูญเสียกำไรขึ้น จากการเก็บข้อมูล (ตารางที่ ก.1 ภาคผนวก ก) พบว่าชุดข้อมูลที่เก็บทั้งหมด 126 ชุดข้อมูล ของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีการเสียรูปที่อยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 73 ชุดข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 57.94 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มการเสียรูปที่อยู่ในกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 53 ชุดข้อมูล คิดเป็นร้อยละ 42.06 เปอร์เซ็นต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แผ่นเหล็กกล้าขนาด 600 x 1200 x 4 มิลลิเมตร ทั้งหมด 43 ข้อมูล อยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 24 ข้อมูล และอยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 19 ข้อมูลคิดเป็น 55.81 เปอร์เซ็นต์ และ 44.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แผ่นเหล็กกล้าขนาด 600 x 1200 x 5 มิลลิเมตร ทั้งหมด 41 ข้อมูล อยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 24 ข้อมูล และอยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 17 ข้อมูลคิดเป็น 58.54 เปอร์เซ็นต์ และ 41.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

แผ่นเหล็กกล้าขนาด 600 x 1200 x 6 มิลลิเมตร ทั้งหมด 42 ข้อมูล อยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 25 ข้อมูล และอยู่ในกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์อยู่ที่ 17 ข้อมูลคิดเป็น 59.52 เปอร์เซ็นต์ และ 40.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากการเก็บข้อมูลพบว่ากำไรที่ได้จากการขายแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดการเสียรูปอยู่ในเกณฑ์ที่ผ่านอยู่ที่ 57.94 เปอร์เซ็นต์ จากชุดข้อมูลที่เก็บทั้งหมด 126 แสดงในตารางที่ 4.9 และเกิดการสูญเสียกำไรขึ้นเนื่องจากการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 อยู่ที่ 42.06 เปอร์เซ็นต์ จากชุดข้อมูลที่เก็บทั้งหมด 126 ชุดข้อมูลโดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.10

**ตารางที่ 4.9** กำไรจากแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดการเสียรูปอยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์

ลำดับ	ขนาดความหนา (มิลลิเมตร)	ร้อยละ (กลุ่มการเสียรูปที่ ผ่านเกณฑ์)	จำนวนแผ่นเหล็กกล้า เกรด SS400 (แผ่นต่อเดือน)	กำไร (บาทต่อเดือน)
1	4	55.81	878 (จาก 1,573)	519,272.7
2	5	58.54	1,381 (จาก 2,359)	1,021,136
3	6	59.52	468 (จาก 786)	415,262.14
รวม	-	-	2,727 (จาก 4,718)	1,955,670.84

**ตารางที่ 4.10** มูลค่าการสูญเสียกำไรเนื่องจากการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

ลำดับ	ขนาดความหนา (มิลลิเมตร)	ร้อยละ (กลุ่มการเสียรูปที่ ผ่านเกณฑ์)	จำนวนแผ่นเหล็กกล้า เกรด SS400 (แผ่นต่อเดือน)	การสูญเสียกำไร (บาทต่อเดือน)
1	4	44.19	695 (จาก 1,573)	411,156.80
2	5	41.46	978 (จาก 2,359)	723,202.96
3	6	40.48	318 (จาก 786)	282,422.90
รวม	-	-	1,991 (จาก 4,718)	1,416,782.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้นั้นเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปจำหน่ายหรือทำซ้ำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.9 พบว่าในแต่ละเดือนทางโรงงานกรณีศึกษามีค่าเสียโอกาสทางธุรกิจอยู่ที่ 1,416,782.66 บาทต่อเดือน โดยเกิดขึ้นจากการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 จำนวนทั้งสิ้นประมาณ 1,991 แผ่นต่อเดือน โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงเพื่อทำให้ค่าเสียโอกาสทางธุรกิจของทางโรงงานกรณีศึกษาลดลง ซึ่งนำสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสียรูปมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์การเสียรูปก่อนที่จะนำแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ไปผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจริง หลังจากการวิเคราะห์พบว่าสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นที่หามาได้มีความแม่นยำในการพยากรณ์การเสียรูปอยู่ที่ 92.11 เปอร์เซ็นต์ อ้างอิงจากตารางที่ 4.4 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความถูกต้องของการพยากรณ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดกว้าง 600 ยาว 1200 และหนา 4 มิลลิเมตร เท่ากับ 83.33 เปอร์เซ็นต์

ความถูกต้องของการพยากรณ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดกว้าง 600 ยาว 1200 และหนา 5 มิลลิเมตร เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์

ความถูกต้องของการพยากรณ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่มีขนาดกว้าง 600 ยาว 1200 และหนา 6 มิลลิเมตร เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

โดยหลังจากการนำสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสียรูปมาประยุกต์ใช้นั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียกำไรที่เกิดขึ้นในตารางที่ 4.9 จากเดิม 1,416,534.34 บาทต่อเดือน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.11

**ตารางที่ 4.11** การลดการสูญเสียกำไรเนื่องจากการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หลังการปรับปรุงด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

ขนาดความหนา (มิลลิเมตร)	กลุ่มการเสียรูปหลังจากปรับปรุง	ร้อยละ (กลุ่มการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์)	จำนวนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 (แผ่นต่อเดือน)	กำไรที่เพิ่มขึ้นหลังปรับปรุง (บาทต่อเดือน)	การสูญเสียกำไรที่ยังคงเกิดขึ้น (บาทต่อเดือน)
4	กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ “ผ่านเกณฑ์”	83.33 %	1,311 (จาก 1,573)	775,456.50	-
	กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ “ไม่ผ่านเกณฑ์”	16.67 %	262 (จาก 1,573)	-	154,973

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิอาจนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุผลเบื้องหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไป

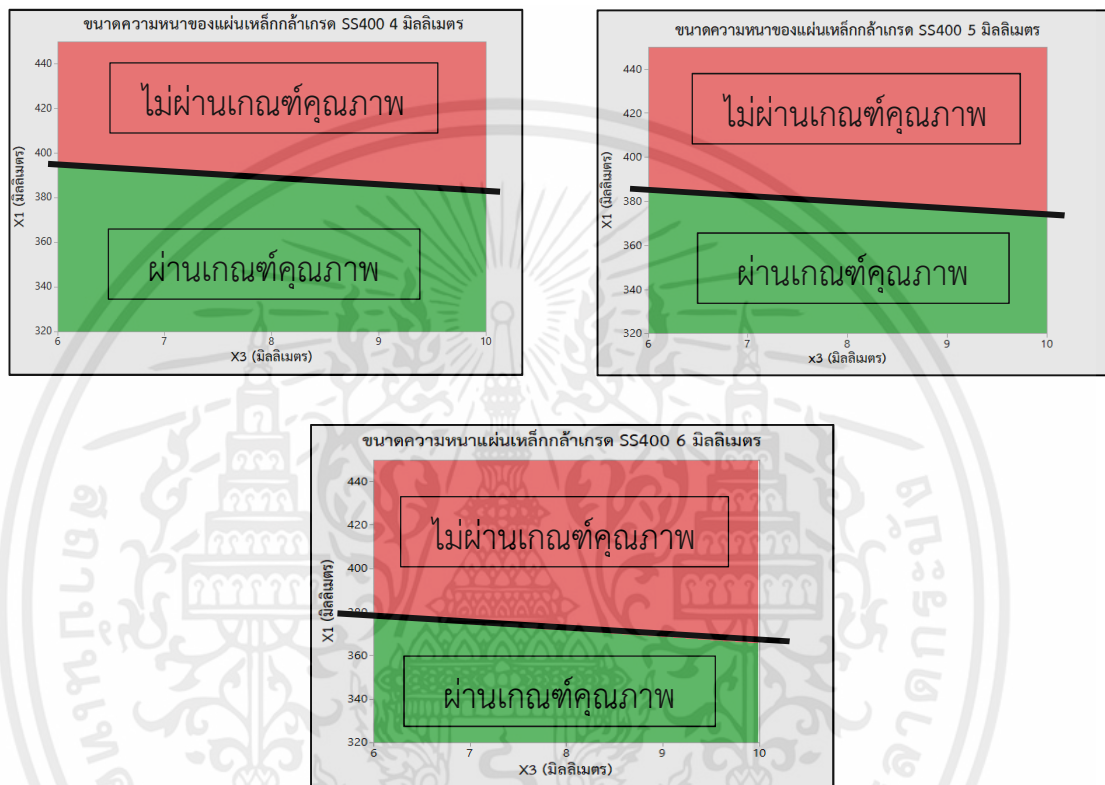
ขนาดความ หนา (มิลลิเมตร)	กลุ่มการเสีรูปร หลังจาก ปรับปรุง	ร้อยละ (กลุ่มการเสี รูปที่ผ่าน เกณฑ์)	จำนวนแผ่น เหล็กกล้า เกรด SS400 (แผ่นต่อเดือน)	กำไรที่เพิ่มขึ้น หลังปรับปรุง (บาทต่อเดือน)	การสูญเสีย กำไรที่ยังคง เกิดขึ้น (บาทต่อเดือน)
5	กลุ่มที่มีการเสี รูปที่ “ผ่านเกณฑ์”	100 %	2,359 (จาก 2,359)	1,744,338.96	-
	กลุ่มที่มีการเสี รูปที่ “ไม่ผ่านเกณฑ์”	0 %	0 (จาก 2,359)	-	0
6	กลุ่มที่มีการเสี รูปที่ “ผ่านเกณฑ์”	90 %	707 (จาก 786)	627,561.48	-
	กลุ่มที่มีการเสี รูปที่ “ไม่ผ่านเกณฑ์”	10 %	79 (จาก 786)	-	70,123.56
รวม	-	-	-	3,147,356.94	225,096.56
				3,372,453.50	

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าโรงงานกรณีศึกษานั้นจากปกติที่ได้กำไร 1,955,670.84 บาทต่อเดือน เมื่อนำสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสีรูปรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มาประยุกต์ใช้นั้นพบว่าสามารถลดปัญหาการเสีรูปรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ได้ส่งผลให้มีกำไรเพิ่มขึ้นเป็น 3,147,356.94 บาทต่อเดือน โดยแบ่งรายละเอียดออกเป็นดังต่อไปนี้

แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ความหนา 4 มิลลิเมตร ลดต้นทุนได้ 775,456.50 บาทต่อเดือน  
แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ความหนา 5 มิลลิเมตร ลดต้นทุนได้ 1,744,338.96 บาทต่อเดือน  
แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ความหนา 6 มิลลิเมตร ลดต้นทุนได้ 627,561.48 บาทต่อเดือน

จากตารางที่ 4.8 พบว่ากำไรปกติที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้รับคือ 1,955,670.84 บาทต่อเดือน หลังจากปรับปรุงด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นสามารถเพิ่มกำไรได้เป็น 3,147,356.94 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 60.9 เปอร์เซ็นต์ โดยยังเกิดการสูญเสียกำไรอยู่ที่ 225,096.56 บาทต่อเดือน

นำสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นที่ได้มาสร้างมาตรฐานของขนาดตัวแปรอิสระที่นำไปใช้ติดตั้งในผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 สำหรับกำหนดขนาดมาตรฐานของตัวแปรอิสระที่มีผลทำให้ค่าการเสียรูปมีขนาดการโก่งอยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพโดยการทำการถ่วงน้ำหนักหน่วยวิเคราะห์ใหม่ลงในสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นที่ได้โดยผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 มาตรฐานของขนาดตัวแปรอิสระในการแบ่งกลุ่มคุณภาพ

จากรูปที่ 4.5 แสดงพื้นที่กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพและกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ (สีเขียวและสีแดงตามลำดับ) พบว่าปัจจัยที่สำคัญสำหรับกำหนดมาตรฐานในการเสริมแท่งเหล็กเสริมความแข็งแรงคือ  $X_1$  โดยพบว่าขนาด  $X_1$  ที่ทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีขนาดการเสียรูปที่อยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพสำหรับ 3 ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 คือ ขนาด  $X_1$  ต้องมีค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 380 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ครอบคลุมทุกขนาดตัวแปรอิสระที่เหลือส่งผลให้การเสียรูปอยู่ในกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพและสามารถนำผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ส่งให้ลูกค้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 บทสรุป

จากการศึกษาการแก้ไขปัญหาในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนด้วยวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นพบว่าวิธีนี้สามารถพยากรณ์การเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ได้และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาก็จริงในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนของโรงงานกรณีศึกษา โดยการศึกษาแบ่งได้ 6 ขั้นตอนหลัก และสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ทั้งสิ้น 126 ชุดข้อมูลแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือ 88 ชุดข้อมูลสำหรับสร้างสมการจำแนกประเภท และ 38 ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของสมการจำแนกประเภท

2 การสร้างสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสียรูปโดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 88 ข้อมูล สมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นที่ได้คือ  $\hat{Q} = 0.044X_1 + 0.3616X_2 + 0.1328X_3$

3 การตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์โดยใช้ชุดข้อมูลจำนวน 38 ชุดข้อมูลในการตรวจสอบความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นพบว่าสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมีการพยากรณ์ที่ถูกต้องอยู่คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 92.11 เปอร์เซ็นต์

4 การสร้างแบบจำลองการเสียรูปด้วยโปรแกรม ANSYS สำหรับใช้ทดแทนการทดลองจริง และทำการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเสียรูปด้วยโปรแกรม ANSYS ทำการสุ่มข้อมูล 30 ชุดข้อมูลจากชุดข้อมูลเก่าจำนวน 126 ชุดข้อมูล สำหรับใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง ผลที่ได้พบว่าแบบจำลองการเสียรูปด้วยโปรแกรม ANSYS มีความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 96.66 เปอร์เซ็นต์ โดยสรุปได้ว่าสามารถใช้แบบจำลองการเสียรูปจากโปรแกรม ANSYS มาทดแทนการทดลองจริงได้

5 การตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นกับการทดลองจริงโดยใช้แบบจำลองการเสียรูปจากโปรแกรม ANSYS ทำการสุ่มข้อมูลใหม่จำนวน 20 ข้อมูล เปรียบเทียบผลกับแบบจำลองการเสียรูปจากโปรแกรม ANSYS ที่ได้ผลที่ได้พบว่าสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมีความแม่นยำในการพยากรณ์เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม ANSYS อยู่ที่ 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 สรุปผลที่ได้จากการนำสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยหลังจากนำสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสำหรับการพยากรณ์การเสีรूपไปประยุกต์ใช้งาน คาดว่าจะสามารถลดต้นทุนในส่วนของการเสีรूपของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ลงได้ทำให้โรงงาน วิทยาลัยศึกษานั้นมีกำไรเพิ่มขึ้นจากเดิมที่เก็บรวบรวมข้อมูล 1,955,670.84 บาทต่อเดือนเป็น 3,147,356.94 บาทต่อเดือน โดยแบ่งออกเป็นกำไรที่ได้จากแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ความหนา 4 มิลลิเมตร จำนวน 775,456.50 บาทต่อเดือน แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ความหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 1,744,338.96 บาทต่อเดือน และแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ความหนา 6 มิลลิเมตร จำนวน 627,561.48 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 60.9 เปอร์เซ็นต์

7 ขนาดตัวแปรอิสระที่สำคัญที่ทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีการเสีรूपหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนอยู่ในกลุ่มการเสีรूपที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพคือ ขนาด  $X_1$  ซึ่งต้องมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 380 มิลลิเมตรจะครอบคลุมขนาดตัวแปรอิสระทุกตัว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้พบปัญหาการเก็บข้อมูลปัจจัยที่มีผลทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เสีรूप เนื่องจากชุดข้อมูลที่เก็บมานั้นต้องผ่านการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานทั้ง 4 คือ การตรวจสอบเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจกแจงปกติของชุดข้อมูล การตรวจสอบความแปรปรวน การตรวจสอบสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการตรวจสอบ Hotelling's  $T^2$  ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4.1 จึงมีความยุ่งยากในการตรวจสอบชุดข้อมูลอีกทั้งเกิดความยุ่งยากในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นในส่วนของสถานที่และเวลาแต่ถึงแม้จะมีปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นแต่ผลที่ได้ในงานวิจัยครั้งนี้ก็แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการพยากรณ์ของสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนได้จริงโดยยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ ในโรงงานวิทยาลัยศึกษาได้แต่ควรคำนึงถึงความคุ้มค่าในการลงทุนด้วยเช่นกันและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆ ได้หลากหลายประเภทดังที่มันักวิจัยหลายท่านได้นำไปประยุกต์ใช้ในงานประเภทต่างๆ โดยผู้ที่สนใจนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ในอนาคตสามารถดูเป็นแนวทางและนำไปปรับใช้กับงานในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] “รายงานสรุปสถานการณ์อุตสาหกรรมเหล็ก ไตรมาส 1 ปี พ.ศ. 256 1,” pp. 3–7.
- [2] F. S. Products, E. Users, L. Products, and S. Steel, “อุตสาหกรรมเหล็กปี 2561 - 2563,” pp. 1–13, 2000.
- [3] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, “ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กชุบเคลือบสังกะสี.” [Online]. Available: <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/70->
- [4] ASTM, “Standard Practice for Safeguarding Against Warpage and Distortion During Hot-,” *Astm*, vol. 01, no. Reapproved 1996, pp. 2–3, 2015.
- [5] Industrial Galvanizers Corporation (AUSTRALIA), “How to minimise Distortion when hot - dip galvanizing,” *East*, no. 10, pp. 1–4, 2003.
- [6] Z. Jing, G. Wang, S. Zhang, and C. Qiu, “Building Tianjin driving cycle based on linear discriminant analysis,” *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 53, pp. 78–87, 2017.
- [7] M. E. Close, P. Abraham, B. Humphries, L. Lilburne, T. Cuthill, and S. Wilson, “Predicting groundwater redox status on a regional scale using linear discriminant analysis,” *J. Contam. Hydrol.*, vol. 191, pp. 19–32, 2016.
- [8] P. P. Mukhopadhyay, “Predictors of hyoid fracture in hanging: Discriminant function analysis of morphometric variables,” *Leg. Med.*, vol. 12, no. 3, pp. 113–116, 2010.
- [9] มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ, “เทคโนโลยีการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน,” 2554, pp. 26–30.
- [10] สมคิด ภริมย์ภักดี, “การพัฒนากระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน,” มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2549.
- [11] D. Hahn and M. Ozisik, *Heat conduction*. 2012.
- [12] M. Hosadd, *Elasticity Theory Applications, and Numerics this second editions*. 2009.
- [13] กนกพร ไชยวิเศษ วิทยาลัย เทคนิคอุบลราชธานี, “หนังสือสำหรับการเรียนการสอน ความเค้นและความเครียด,” pp. 1–39, 2560.
- [14] รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. 2551.
- [15] G. C. R. Douglas C. Montgomery, *Applied Statistics and Probability for Engineers Fifth Edition*. 2011.
- [16] W. and S. G. J. Hinkle, D.E, William, *Applied Statistics for the Behavior Sciences. 4th ed*. Newyork, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] V. Kuklík, “Post on the issue of safety of steel structures of hot dip galvanized structural components,” *Procedia Eng.*, vol. 40, pp. 241–246, 2012.
- [18] C. DiGiovanni, L. Li, R. Driver, and L. Callele, “Cracking in welded steel platform structures during hot-dip galvanization,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 79, no. April, pp. 1031–1042, 2017.
- [19] V. Di Cocco, F. Iacoviello, L. D’Agostino, and S. Natali, “Damage micromechanisms in a hot dip galvanized steel,” *Procedia Struct. Integr.*, vol. 3, pp. 231–236, 2017.
- [20] M. Lee, M. Roan, B. Smith, and T. E. Lockhart, “Gait analysis to classify external load conditions using linear discriminant analysis,” *Hum. Mov. Sci.*, vol. 28, no. 2, pp. 226–235, 2009.
- [21] A. Talevi, M. S. Cravero, E. A. Castro, and L. E. Bruno-Blanch, “Discovery of anticonvulsant activity of abietic acid through application of linear discriminant analysis,” *Bioorganic Med. Chem. Lett.*, vol. 17, no. 6, pp. 1684–1690, 2007.
- [22] R. A. K. Cox and G. W. Y. Wang, “Predicting the US bank failure: A discriminant analysis,” *Econ. Anal. Policy*, vol. 44, no. 2, pp. 202–211, 2014.
- [23] T. Bajpei, H. Chelladurai, and M. Z. Ansari, “Experimental investigation and numerical analyses of residual stresses and distortions in GMA welding of thin dissimilar AA5052-AA6061 plates,” *J. Manuf. Process.*, vol. 25, pp. 340–350, 2017.
- [24] T. Tchoumi, F. Peyraut, and R. Bolot, “Influence of the welding speed on the distortion of thin stainless steel plates—Numerical and experimental investigations in the framework of the food industry machines,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 229, pp. 216–229, Mar. 2016.
- [25] Khanittha Sutaphan King Mongkut’s Institute of Technology North Bangkok, “Computational Techniques for Simulation and Surgical Planning Aid of Cardiovascular Disease,” 2549.
- [26] D. H. Agrawal, J. R. Patel, H. G. Rana, and C. P. Patel, “Thermal stress analysis of FeCrAlY powder in HVOF thermal spray coating using ANSYS,” *Procedia Eng.*, vol. 38, pp. 321–329, 2012.
- [27] O. Singh, Vikas, and S. Sharma, “Analysis and Comparison of Total Deformation of Welded Plates in Tensile and Fatigue Tests using ANSYS,” *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 8, pp. 8409–8417, 2017.
- [28] L. G. Methods, “A Comparative Study of Classification Profit and Loss Groups Methods for Savings Co-operatives in Thailand,” vol. 20, no. 2, 2010.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของโรงงาน กรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่านเกณฑ์
1	360	6	6	3.92	✓	
2	330	6	6	3.37	✓	
3	430	5	8	6.75		✓
4	320	4	8	4.31	✓	
5	320	5	10	3.42	✓	
6	450	6	10	7.19		✓
7	440	4	10	6.72		✓
8	450	6	8	7.31		✓
9	320	4	6	4.86	✓	
10	330	4	10	3.71	✓	
11	430	4	8	6.72		✓
12	420	6	8	6.37		✓
13	350	6	8	3.93	✓	
14	370	5	6	4.25	✓	
15	400	6	8	6.20		✓
16	320	6	8	3.47	✓	
17	380	5	10	4.16	✓	
18	340	6	10	3.84	✓	

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
19	430	4	10	6.42		✓
20	420	5	6	6.46		✓
21	380	4	6	4.20	✓	
22	320	4	10	3.61	✓	
23	330	5	8	3.59	✓	
24	350	4	10	4.42	✓	
25	420	6	6	6.66		✓
26	410	4	6	5.84		✓
27	410	6	6	5.79		✓
28	330	5	10	3.37	✓	
29	360	5	6	4.23	✓	
30	350	4	8	3.89	✓	
31	440	6	10	6.74		✓
32	410	6	10	5.66		✓
33	350	5	8	3.64	✓	
34	430	4	10	6.42		✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปเผยแพร่หรือแจ้งถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำข้อมูลไปใช้

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
35	400	6	6	5.36		✓
36	370	5	10	3.82	✓	
37	420	5	8	6.6		✓
38	420	5	10	5.79		✓
39	410	4	8	5.48		✓
40	440	5	8	6.78		✓
41	320	6	10	3.09	✓	
42	430	6	8	6.48		✓
43	330	6	10	3.19	✓	
44	340	5	6	4.51	✓	
45	400	4	8	6.17		✓
46	450	4	8	7.44		✓
47	370	6	8	4.81	✓	
48	430	5	10	6.42		✓
49	430	6	10	6.12		✓
50	420	4	8	6.53		✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
51	330	4	8	4.04	✓	
52	330	5	6	3.88	✓	
53	410	5	6	5.99		✓
54	320	6	6	3.64	✓	
55	370	6	10	3.65	✓	
56	410	5	10	5.99		✓
57	350	6	6	3.98	✓	
58	360	4	8	4.42	✓	
59	360	4	6	3.26	✓	
60	360	6	10	3.65	✓	
61	370	4	10	3.79	✓	
62	360	5	8	3.91	✓	
63	450	4	10	7.07		✓
64	420	4	6	6.95		✓
65	370	6	6	4.24	✓	
66	350	6	6	3.98	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังห้ามนำไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจ ของโรงงาน กรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่าน เกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
67	430	5	6	6.75		✓
68	380	4	10	4.27	✓	
69	450	5	6	7.53		✓
70	340	5	8	4.32	✓	
71	390	6	10	5.06	✓	
72	340	4	10	3.72	✓	
73	350	4	6	4.52	✓	
74	350	5	6	4.04	✓	
75	370	4	6	4.91	✓	
76	420	4	10	5.76		✓
77	330	4	6	4.31	✓	
78	340	4	8	4.47	✓	
79	440	4	6	6.76		✓
80	360	6	8	3.84	✓	
81	320	5	8	4.31	✓	
82	360	4	10	4.43	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปภายนอกโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
83	380	6	10	4.2	✓	
84	330	6	8	3.35	✓	
85	440	5	6	6.79		✓
86	450	5	8	7.28		✓
87	340	6	6	4.18	✓	
88	380	6	6	5.09	✓	
89	380	5	6	4.90	✓	
90	390	5	8	4.89	✓	
91	410	5	8	5.44		✓
92	390	4	6	5.11	✓	
93	390	4	10	4.81	✓	
94	400	5	10	5.45		✓
95	400	5	8	5.51		✓
96	360	5	10	4.01	✓	
97	390	6	8	5.06	✓	
98	370	4	8	5.09	✓	
99	380	5	8	4.87	✓	
100	440	4	8	7.02		✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องสงวนอ้างอิงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
101	380	4	8	5.12	✓	
102	340	4	6	5.01	✓	
103	430	4	6	6.80		✓
104	450	6	6	7.74		✓
105	370	5	8	5.13	✓	
106	400	4	10	4.84	✓	
107	390	5	6	4.91	✓	
108	390	5	10	4.48	✓	
109	440	6	8	6.88		✓
110	440	6	6	7.02		✓
111	430	6	6	7.02		✓
112	390	6	6	5.35		✓
113	400	6	10	5.18	✓	
114	400	4	6	5.56		✓
115	440	5	10	6.81		✓
116	420	6	10	5.78		✓
117	320	5	6	3.81	✓	
118	410	4	10	5.46		✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

ตารางที่ ก.1 การเก็บข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น(ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการ เสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)	เกณฑ์การตัดสินใจของ โรงงานกรณีศึกษา	
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)		ผ่านเกณฑ์	ไม่ผ่าน เกณฑ์
119	450	5	10	7.11		✓
120	350	6	10	3.80	✓	
121	390	4	8	5.35		✓
122	340	5	10	3.39	✓	
123	450	4	6	7.37		✓
124	380	6	8	4.90	✓	
125	340	5	6	4.51	✓	
126	320	6	8	3.47	✓	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
1	360	5	6	4.23
2	320	4	6	4.86
3	330	4	8	4.04
4	350	5	10	3.49
5	340	5	6	4.51
6	350	6	8	3.93
7	370	6	10	3.65
8	320	6	8	3.47
9	350	6	6	3.98
10	330	4	6	4.31
11	330	5	8	3.59
12	380	5	10	4.16
13	330	6	6	3.37
14	320	4	10	3.61
15	360	4	10	4.43
16	350	4	10	4.42
17	370	4	6	4.91
18	350	4	8	3.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
19	370	6	8	4.81
20	340	5	8	4.32
21	350	5	8	3.64
22	320	6	6	3.64
23	330	5	10	3.37
24	320	5	10	3.42
25	330	6	8	3.35
26	340	6	10	3.84
27	360	6	6	3.92
28	330	5	6	3.88
29	360	5	8	3.91
30	350	4	6	4.52
31	380	6	10	4.2
32	360	6	8	3.84
33	380	4	10	4.27
34	370	5	6	4.25
35	360	4	6	3.26
36	360	4	8	4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
37	320	5	8	4.31
38	350	5	6	4.04
39	340	6	8	4.12
40	320	6	10	3.09
41	370	5	10	3.82
42	380	4	6	4.20
43	320	4	8	4.31
44	340	4	8	4.47
45	350	6	6	3.98
46	370	4	10	3.79
47	370	6	6	4.24
48	340	4	10	3.72
49	330	6	10	3.19
50	360	6	10	3.65
51	330	4	10	3.71
52	390	6	10	5.06
ค่าเฉลี่ย	348.08	4.96	8	3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับไม่ได้

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
1	450	6	10	7.19
2	410	4	6	5.84
3	430	5	6	6.75
4	430	6	8	6.48
5	420	5	8	6.6
6	440	5	8	6.78
7	420	5	10	5.79
8	440	5	6	6.79
9	450	5	6	7.53
10	400	4	8	6.17
11	410	6	6	5.79
12	410	6	10	5.66
13	420	4	10	5.76
14	420	4	8	6.53
15	430	4	10	6.42
16	440	6	10	6.74
17	420	4	6	6.95
18	430	6	10	6.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับไม่ได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
19	430	5	10	6.24
20	420	6	8	6.37
21	410	5	6	5.99
22	420	6	6	6.66
23	410	5	10	5.99
24	430	4	10	6.42
25	450	4	8	7.44
26	450	6	8	7.31
27	440	4	10	6.72
28	400	6	8	6.20
29	430	4	8	6.72
30	450	4	10	7.07
31	420	5	6	6.46
32	450	5	8	7.28
33	400	6	6	5.36
34	410	4	8	5.48
35	440	4	6	6.76
36	430	5	8	6.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับไม่ได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
ค่าเฉลี่ย	426.94	4.92	7.83	6.48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้และขนาดการเสียรูปที่ยอมรับไม่ได้

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
1	360	5	6	4.23
2	320	4	6	4.86
3	330	4	8	4.04
4	350	5	10	3.49
5	340	5	6	4.51
6	350	6	8	3.93
7	370	6	10	3.65
8	320	6	8	3.47
9	350	6	6	3.98
10	330	4	6	4.31
11	330	5	8	3.59
12	380	5	10	4.16
13	330	6	6	3.37
14	320	4	10	3.61
15	360	4	10	4.43
16	350	4	10	4.42
17	370	4	6	4.91
18	350	4	8	3.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้และขนาดการเสียรูปที่ยอมรับไม่ได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
19	370	6	8	4.81
20	340	5	8	4.32
21	350	5	8	3.64
22	320	6	6	3.64
23	330	5	10	3.37
24	320	5	10	3.42
25	330	6	8	3.35
26	340	6	10	3.84
27	360	6	6	3.92
28	330	5	6	3.88
29	360	5	8	3.91
30	350	4	6	4.52
31	380	6	10	4.2
32	360	6	8	3.84
33	380	4	10	4.27
34	370	5	6	4.25
35	360	4	6	3.26
36	360	4	8	4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้และขนาดการเสียรูปที่ยอมรับไม่ได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
37	320	5	8	4.31
38	350	5	6	4.04
39	340	6	8	4.12
40	320	6	10	3.09
41	370	5	10	3.82
42	380	4	6	4.20
43	320	4	8	4.31
44	340	4	8	4.47
45	350	6	6	3.98
46	370	4	10	3.79
47	370	6	6	4.24
48	340	4	10	3.72
49	330	6	10	3.19
50	360	6	10	3.65
51	330	4	10	3.71
52	390	6	10	5.06
53	360	5	6	4.23
54	320	4	6	4.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้และขนาดการเสียรูปที่ยอมรับไม่ได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป ( $Y$ ) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
55	330	4	8	4.04
56	350	5	10	3.49
57	340	5	6	4.51
58	350	6	8	3.93
59	370	6	10	3.65
60	320	6	8	3.47
61	350	6	6	3.98
62	330	4	6	4.31
63	330	5	8	3.59
64	380	5	10	4.16
65	330	6	6	3.37
66	320	4	10	3.61
67	360	4	10	4.43
68	440	6	10	6.74
69	420	4	6	6.95
70	430	6	10	6.12
71	430	5	10	6.24
72	420	6	8	6.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทของชุดข้อมูลที่มีขนาดการเสียรูปที่สามารถยอมรับได้และขนาดการเสียรูปที่ยอมรับไม่ได้ (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเสียรูป ( $X_1 - X_3$ )			ขนาดการเสียรูป (Y) (มิลลิเมตร)
	$X_1$ (มิลลิเมตร)	$X_2$ (มิลลิเมตร)	$X_3$ (มิลลิเมตร)	
73	410	5	6	5.99
74	420	6	6	6.66
75	410	5	10	5.99
76	430	4	10	6.42
77	450	4	8	7.44
78	450	6	8	7.31
79	440	4	10	6.72
80	400	6	8	6.20
81	430	4	8	6.72
82	450	4	10	7.07
83	420	5	6	6.46
84	450	5	8	7.28
85	400	6	6	5.36
86	410	4	8	5.48
87	440	4	6	6.76
88	430	5	8	6.75
ค่าเฉลี่ย	380.34	5.01	5.05	5.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการสร้างสรรค์การจำแนกประเภทด้วยเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น  
สำหรับการพยากรณ์การเสียชีวิต

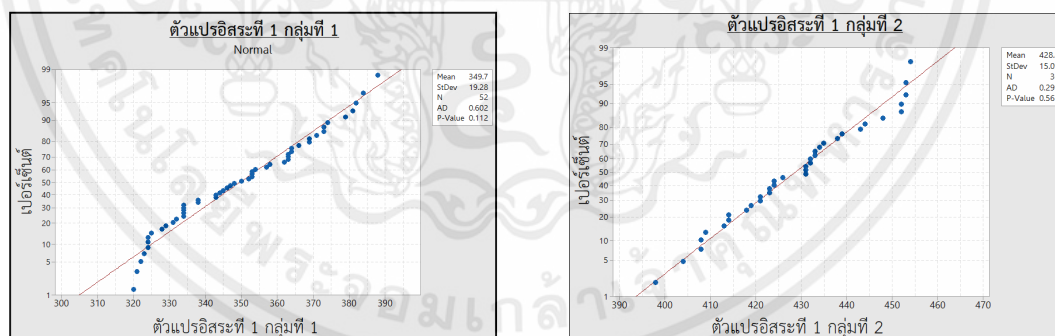
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานทั้ง 4 การตรวจสอบ

การสร้างสมการพยากรณ์จากเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นเริ่มต้นจากการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นทั้ง 4 ชนิด คือ การตรวจสอบตัวแปรอิสระต้องมีการแจกแจงปกติ การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระกลุ่มตัวอย่างต้องมีค่าเท่ากัน การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และการตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น รายละเอียดดังต่อไปนี้

การตรวจสอบตัวแปรอิสระต้องมีการแจกแจงปกตินำตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรอิสระจากทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยใช้สถิติแอนเดอร์สัน – ดาลิ่ง (Anderson-Darling) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปโดยผลที่ได้พบว่าตัวแปรอิสระทั้งหมดที่นำมาทดสอบมีการแจกแจงข้อมูลปกติ รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

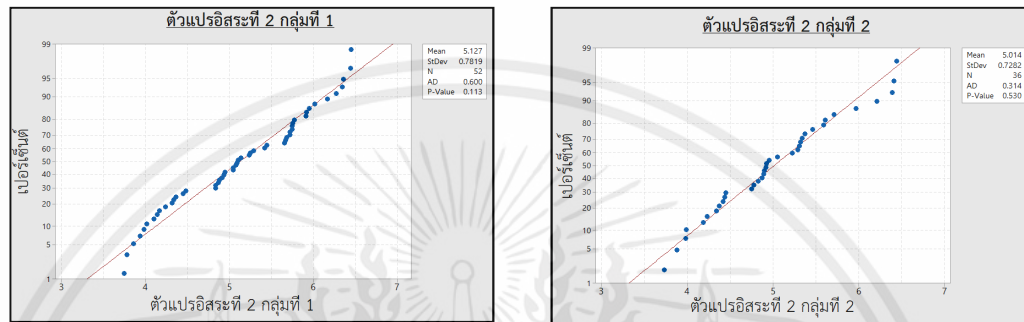
ตัวแปรอิสระที่ 1 คือ ตำแหน่งการเชื่อมของเหล็กแท่งเสริมความแข็งแรง ( $X_1$ ) ทำการทดสอบการแจกแจงปกติโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 52 ข้อมูล และกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 36 ข้อมูล พบว่าตัวแปรอิสระที่ 1 ทั้ง 2 กลุ่มมีการแจกแจงข้อมูลอย่างอิสระโดยค่า P- Value ที่ได้ของตัวแปรอิสระที่ 1 กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.112 และ 0.567 ตามลำดับ ซึ่งมีความมากกว่า 0.05 แสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติจากโปรแกรมสำเร็จรูป ตัวแปรอิสระที่ 1 กลุ่มที่ 1 และ 2

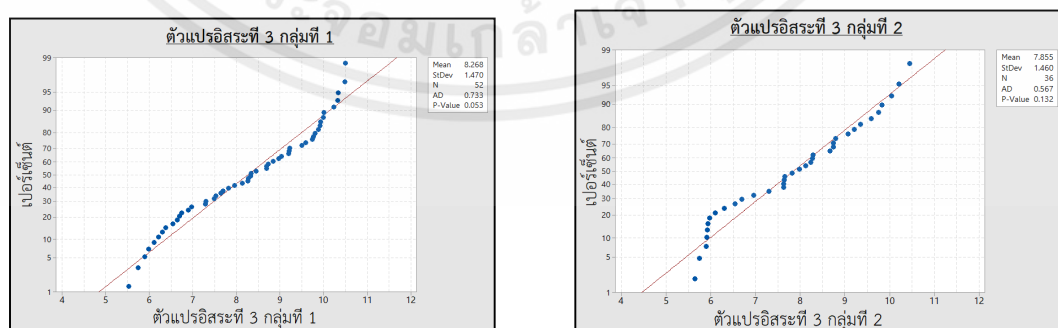
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรอิสระที่ 2 คือ ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ( $X_2$ ) ทำการทดสอบการแจกแจงปกติโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 52 ข้อมูล และกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 36 ข้อมูลพบว่าตัวแปรอิสระที่ 2 ทั้ง 2 กลุ่มมีการแจกแจงข้อมูลอย่างอิสระโดยค่า P- Value ที่ได้ของตัวแปรอิสระที่ 2 กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.113 และ 0.530 ตามลำดับซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงในรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 การตรวจสอบการแจกแจงปกติจากโปรแกรมสำเร็จรูป ตัวแปรอิสระที่ 2 กลุ่มที่ 1 และ 2

ตัวแปรอิสระที่ 3 คือ ขนาดความหนาของเหล็กแท่งเสริมโครงสร้างแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ( $X_3$ ) ทำการทดสอบการแจกแจงปกติโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์จำนวน 52 ข้อมูล และกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 36 ข้อมูลพบว่าตัวแปรอิสระที่ 3 ทั้ง 2 กลุ่มมีการแจกแจงข้อมูลอย่างอิสระโดยค่า P- Value ที่ได้ของตัวแปรอิสระที่ 3 กลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 คือ 0.053 และ 0.53 ตามลำดับซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงในรูป ข.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 การตรวจสอบการแจกแจงปกติจากโปรแกรมสำเร็จรูปตัวแปรอิสระที่ 3 กลุ่มที่ 1 และ 2

การตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระกลุ่มตัวอย่างต้องมีค่าเท่ากัน หลังจากพบว่าตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่มมีการกระจายแบบอิสระแล้ว ทำการนำค่าตัวแปรอิสระที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ให้ค่าของตัวแปรอิสระอยู่ในมาตรฐานที่ทางโรงงานกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นนำข้อมูลค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระมาทำการสร้างเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทั้ง 3 กลุ่ม คือกลุ่มที่มีขนาดการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่มีขนาดการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์ และ กลุ่มชุดข้อมูลทั้งหมด โดยอ้างอิงข้อมูลจากตารางที่ ก.2 ถึง ก.4 รายละเอียดต่างๆแสดงในตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม

	กลุ่มที่ 1 ข้อมูลที่ผ่านเกณฑ์	กลุ่มที่ 2 ข้อมูลที่ไม่ผ่านเกณฑ์	กลุ่มที่ 3 ข้อมูลทั้งหมด
n	52	36	88
$\bar{X}_1$	348.08	426.94	380.34
$\bar{X}_2$	4.96	4.92	5.01
$\bar{X}_3$	8	7.83	8.05
$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)^2}{n-1}$	357.85	216.11	1837.81
$\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)^2}{n-1}$	33.01	0.54	0.23
$\frac{\sum (X_3 - \bar{X}_3)^2}{n-1}$	2.51	2.37	1.02
$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_2 - \bar{X}_2)}{n-1}$	0.35	-0.55	-3.11
$\frac{\sum (X_1 - \bar{X}_1)(X_3 - \bar{X}_3)}{n-1}$	1.95	-3.95	-7.37
$\frac{\sum (X_2 - \bar{X}_2)(X_3 - \bar{X}_3)}{n-1}$	0.13	-0.01	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในตารางที่ ก.5 นำข้อมูลที่ได้มาเขียนอยู่ในรูปเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วม สำหรับทำการตรวจสอบความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 2 ชุดข้อมูล อ้างอิงจากสมการที่ 2.34 ถึง สมการที่ 2.36 แสดงดังต่อไปนี้

$$S_1 = \begin{bmatrix} 357.85 & 0.35 & 1.95 \\ 0.35 & 0.65 & 0.13 \\ 1.95 & 0.13 & 2.51 \end{bmatrix} \quad S_2 = \begin{bmatrix} 216.11 & -0.55 & -3.95 \\ -0.55 & 0.54 & -0.01 \\ -3.95 & -0.01 & 2.37 \end{bmatrix}$$

$$S_p = \begin{bmatrix} 1837.81 & -3.11 & -7.37 \\ -3.11 & 0.23 & 0.07 \\ -7.37 & 0.07 & 1.02 \end{bmatrix}$$

เมื่อค่า  $S_1$  คือเมตริกซ์ของชุดข้อมูลกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์  $S_2$  คือเมตริกซ์ของชุดข้อมูลกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ และ  $S_p$  คือเมตริกซ์ของชุดข้อมูลกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 หลังจากนั้นทำการหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ของ  $S_1$   $S_2$  และ  $S_p$  สำหรับการตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์โดยค่าดีเทอร์มิแนนต์ของ  $S_1$   $S_2$  และ  $S_p$  ที่ได้จากการคำนวณคือ 578.32 265.36 และ 402.74 ตามลำดับหลังจากนั้นจึงทำการตรวจสอบความแปรปรวนด้วยวิธี Box's M Test โดยมีการตั้งสมมุติฐานดังต่อไปนี้

$$H_0 : \sum_1 = \sum_2 : \text{ความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มเท่ากัน}$$

$$H_1 : \sum_1 \neq \sum_2 : \text{ความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มไม่เท่ากัน}$$

จากสมการที่ 2.27 ถึง สมการที่ 2.28 ทำการตรวจสอบความแปรปรวนร่วมของชุดข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม ทำการหาค่าสถิติทดสอบ B เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการเปิดตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์โดยเริ่มจากการหาค่า c อ้างอิงจากสมการที่ 2.28 เมื่อ p คือจำนวนตัวแปรอิสระมีค่าเท่ากับ 3 และ k คือจำนวนกลุ่มที่แบ่งออกโดยในได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่มีเกณฑ์การเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์และกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์ จึงมีค่าเท่ากับ 2 โดยวิธีการคำนวณค่าสถิติทดสอบ B อ้างอิงจากสมการที่ 2.27 ถึง สมการที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = \left[ \left( \frac{1}{51} + \frac{1}{35} \right) - \frac{1}{51+35} \right] \left[ \frac{2(3)^2 + 3(3) - 1}{6(3+1)(2-1)} \right] = 0.04$$

นำค่า  $c$  ที่ได้ไปคำนวณหาค่าสถิติทดสอบ  $B$  สำหรับเปรียบเทียบในการหาหลักฐานมา ยอมรับสมมติฐานข้างต้น

$$B = (1 - 0.04) \{ [(88 - 1) \ln |402.744|] - [((52 - 1) \ln |578.319|) + ((36 - 1) \ln |265.314|)] \} = 2.06$$

ทำการเปิดตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์สำหรับมา เปรียบเทียบกับค่าสถิติทดสอบ  $B$  เมื่อระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ ( $\alpha = 0.05$ ) และ  $v$  อ้างอิงจากสมการที่ 2.29

$$v = \frac{1}{2} p(p+1)(k-1) = \frac{1}{2} 3(3+1)(2-1) = 6$$

จากตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์ค่าสถิติทดสอบที่ได้เมื่อ  $v = 6$  และ  $\alpha = 0.05$  คือ 12.59 แสดงในรูป ข.4 [11]

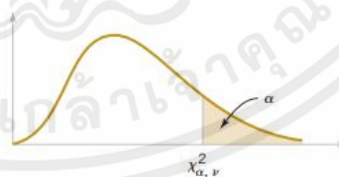


TABLE • IV Percentage Points  $\chi^2_{\alpha, v}$  of the Chi-Squared Distribution

$\alpha$ $v$	.995	.990	.975	.950	.900	.500	.100	.050	.025
1	.00+	.00+	.00+	.00+	.02	.45	2.71	3.84	5.02
2	.01	.02	.05	.10	.21	1.39	4.61	5.99	7.38
3	.07	.11	.22	.35	.58	2.37	6.25	7.81	9.35
4	.21	.30	.48	.71	1.06	3.36	7.78	9.49	11.14
5	.41	.55	.83	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83
6	.68	.87	1.24	1.64	2.20	5.35	10.65	12.59	14.45

รูปที่ ข.4 ค่าสถิติทดสอบจากการเปิดตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์ [11]

นำค่าสถิติทดสอบที่ได้จากการเปิดตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์ข้างต้นมาเปรียบเทียบกับค่าสถิติทดสอบ B ผลที่ได้พบว่าค่าสถิติทดสอบ B = 2.06 มีค่าน้อยกว่าค่าสถิติทดสอบที่เปิดได้จากตารางค่าเปอร์เซ็นต์  $\chi^2_{\alpha, v}$  ของการแจกแจงแบบไคสแควร์คือ 12.59 จึงสรุปได้ว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวได้ว่ามีหลักฐานเพียงพอที่จะกล่าวว่าค่าความแปรปรวนของทั้งสองกลุ่มเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์จึงถือว่ารูปแบบข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลสามารถวิเคราะห์ให้อยู่ในรูปการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นได้

ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระโดยใช้วิธีการตรวจสอบของเพียร์สันหาค่า  $r_{x_1y}$   $r_{x_2y}$   $r_{x_3y}$  เพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์อ้างอิงจากสมการที่ 2.30 โดยข้อมูลสำหรับการคำนวณแสดงในตาราง ข.2

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

	ชุดข้อมูลทั้งหมด		
	$r_{x_1y}$	$r_{x_2y}$	$r_{x_3y}$
n	88	88	88
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$	4572.21	-19.04	-34.44
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	15988.77	52.99	215.82
$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	152.89	152.89	152.89
$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$	4944.23	90	181.648
$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$	0.925	-0.211	-0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเชิงเส้น (Multicollinearity) ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวแปรโดยใช้วิธีการตรวจสอบของเพียร์สันหาค่า  $r_{x_1 \times 2}$   $r_{x_1 \times 3}$  และ  $r_{x_2 \times 3}$  เพื่อตรวจสอบระดับความสัมพันธ์อ้างอิงจากสมการที่ 2.31 โดยข้อมูลสำหรับการคำนวณแสดงในตาราง ข.3

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของตัวแปรอิสระ

	ชุดข้อมูลทั้งหมด		
	$r_{x_1 \times 2}$	$r_{x_1 \times 3}$	$r_{x_2 \times 3}$
n	88	88	88
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})$	-270.34	-641.36	5.95
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2$	159889.77	159889.77	52.99
$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_k)^2$	52.99	215.82	215.82
$\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_k)^2}$	2910.72	5874.27	106.93
$r_{x_i \times x_j} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)(x_i - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_k)^2}}$	-0.092	-0.109	-0.055

จากการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นทั้ง 4 การตรวจสอบพบว่าชุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจากทางโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษานั้นมีรูปแบบที่ตรงกับทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นในส่วนถัดไปจะเป็นการอธิบายถึงขั้นตอนการสร้างสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นขึ้นสำหรับพยากรณ์กลุ่มการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การสร้างสมการพยากรณ์การเสีรูปจากการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

นำข้อมูลจำนวน 70 เปรอร์เซ็นต์ที่ใช้สำหรับสร้างการพยากรณ์มาสร้างเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่ม โดยนำข้อมูลที่ได้จากตาราง ข.1 โดยนำค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 3 ตัวแปรทั้ง 2 กลุ่มมาใส่ให้อยู่ในเมตริกซ์โดยอ้างอิงจากสมการที่ 2.37 รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

$$\bar{X}_{\text{Pass}} = \begin{bmatrix} 348.08 \\ 4.96 \\ 8 \end{bmatrix}_{p \times 1} \quad \bar{X}_{\text{Fail}} = \begin{bmatrix} 426.94 \\ 4.92 \\ 7.83 \end{bmatrix}_{p \times 2}$$

สร้างเมตริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางกลุ่มจากเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระของทั้ง 2 กลุ่มเพื่อทำการหาค่า d สำหรับใช้ในการสร้างสมการพยากรณ์ในส่วนถัดไป โดยการนำเมตริกซ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาลบกันโดยอ้างอิงจากสมการที่ 2.38 รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

$$d = \begin{bmatrix} 348.08 - 426.94 \\ 4.96 - 4.92 \\ 8 - 7.83 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -78.86 \\ 0.04 \\ 0.17 \end{bmatrix}$$

การสร้างเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ตัวคูณ b โดยการนำผลค่า d ที่ได้จากข้างต้นมาใช้ในการวิเคราะห์ โดยอ้างอิงจากสมการที่ 2.39 สำหรับสร้างสมการพยากรณ์การเสีรูป

$$b = S_p^{-1}d = \begin{bmatrix} 0.0006 & 0.0066 & 0.0037 \\ 0.0066 & 4.5038 & -0.2554 \\ 0.0037 & -0.2554 & 1.0277 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -78.87 \\ 0.04 \\ 0.17 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.044 \\ -0.3616 \\ -0.1328 \end{bmatrix}$$

สมการพยากรณ์การเสีรูปที่ได้จากข้างต้นแสดงในสมการที่ ข.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\hat{Q} = 0.044X_1 + 0.3616X_2 + 0.1328X_3 \quad (\text{ข.1})$$

คำนวณหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระโดยอ้างอิงวิธีการคำนวณจากสมการที่ 2.40 แสดงดังต่อไปนี้

$$\bar{Q}_1 = \begin{bmatrix} 0.044 \\ 0.3616 \\ 0.1328 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 348.08 \\ 4.96 \\ 8 \end{bmatrix} = 18.19$$

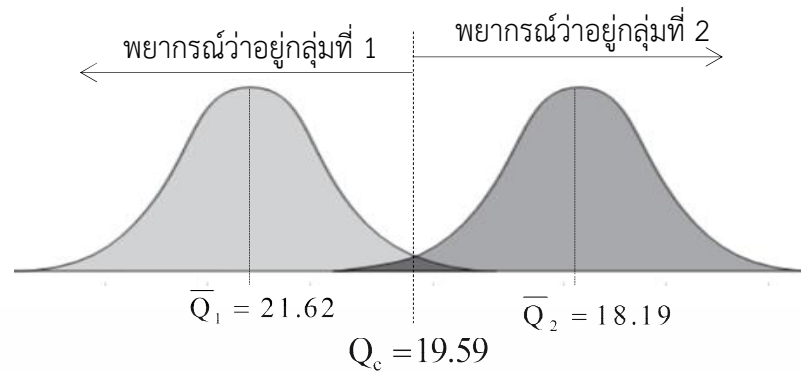
$$\bar{Q}_2 = \begin{bmatrix} 0.044 \\ 0.3616 \\ 0.1328 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 426.94 \\ 4.92 \\ 7.83 \end{bmatrix} = 21.62$$

คำนวณหาค่าจุดแยกแยกประเภท  $Q_c$  เพื่อใช้ในการแบ่งแยกประเภทของชุดข้อมูลโดยอ้างอิงจากสมการ 2.41 รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

$$Q_c = \left[ \frac{52(18.19) + 32(21.62)}{52 + 36} \right] = 19.59$$

ค่า  $\bar{Q}_1$ ,  $\bar{Q}_2$  และ  $Q_c$  ที่ได้จากการวิเคราะห์หานั้นจะมีหน่วยแตกต่างจากค่าการเสียรูป  $Y$  ที่ ได้จากการเก็บข้อมูลจากทางโรงงานกรณีศึกษามีหน่วยคือ มิลลิเมตรซึ่งในการวิเคราะห์โดยการพยากรณ์ด้วยสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นที่ได้ในสมการที่ ข.1 ค่า  $\hat{Q}$  ที่ได้นั้นมีหน่วยที่แตกต่างจากค่า  $Y$  เช่นเดียวกันโดยความสัมพันธ์ที่ได้นั้นจะใช้เกณฑ์การตัดสินใจจากค่าจุดแยกแยกคุณภาพ  $Q_c$  ความสัมพันธ์ที่ได้นั้นแสดงในรูปที่ ข.5 โดยค่าพยากรณ์ที่ได้  $\hat{Q}$  มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $Q_c$  คือ 19.59 จะถือว่าหน่วยวิเคราะห์ใหม่ที่ได้อยู่ในกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ และถ้า ค่าพยากรณ์ที่ได้  $\hat{Q}$  มีค่าที่มากกว่า  $Q_c$  คือ 19.59 จะถือว่าหน่วยวิเคราะห์ใหม่ที่ได้อยู่ในกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่า  $\hat{Q}$  ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดคือ 16.32 และ 23.30 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดแยกแยะคุณภาพ  $Q_c$  และค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่ม

ทำการตรวจสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม คือ  $\bar{Q}_1$  และ  $\bar{Q}_2$  ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ด้วยวิธี การตรวจสอบ Hotelling's  $T^2$  โดยมี การตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

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

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

เมื่อ  $[\mu_1]$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ

$[\mu_2]$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ

ทำการหาค่าสถิติทดสอบ F อ้างอิงอ้างอิงจากสมการ (2.30 – 2.32) รายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

$$D^2 = \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 = 21.62 - 18.19 = 3.43$$

$$T^2 = \frac{(52)(36)}{52 + 36} (3.43) = 72.965$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก (F =  $\frac{(56 + 32 - 3 - 1)}{3(52 + 36 - 2)} (72.965) = 23.75$ ) หรือเผยแพร่เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสถิติทดสอบค่า F จะมีองศาอิสระ 2 ตัวแปรด้วยกัน อ้างอิงจากสมการ 2.33

$$v_1 = 3 \text{ และ } v_2 = 56 + 32 - 3 - 1 = 84$$

กำหนดใน  $\alpha = 0.05$  นำค่าอิสระที่ได้ไปเปิดตาราง  $f_{0.05,3,84}$  จากการเปิดตารางการแจกแจงแบบเพฟทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเทียบผลเนื่องจากช่วง  $v_2$  ในตารางมีค่า 60 และข้ามเป็น 120 จึงทำการเทียบผล โดยผลที่ได้คือ  $f_{0.05,3,84} = 2.724$  แสดงในรูปที่ ข.5

**TABLE • VI Percentage Points  $f_{\alpha, v_1, v_2}$  of the F Distribution (Continued)**

$f_{\alpha, v_1, v_2}$

$v_1$	Degrees of freedom								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

รูปที่ ข.5 ค่าสถิติทดสอบที่ได้จากตารางการแจกแจงแบบเพฟ [11]

นำค่าสถิติทดสอบที่ได้จากตารางการแจกแจงแบบเพฟข้างต้นมาเปรียบเทียบกับค่าสถิติทดสอบ F พบว่า  $F > f_{0.05,3,84}$  คือ 23.75 มีค่ามากกว่า 2.724 จึงสรุปได้ว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะบอกว่าคุณสมบัติของตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 นั้นมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผลที่ได้นั้นพบว่าสมการพยากรณ์การเสีรूपสำหรับแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่ได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นผ่านการตรวจสอบข้อมูลทั้งหมด โดยแสดงในสมการ ข.2 (อ้างอิงจากสมการที่ ข.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก  $\hat{Q} = 0.044X_1 + 0.3616X_2 + 0.1328X_3$  (ข.2)



ภาคผนวก ค

การตรวจสอบประสิทธิภาพสมการพยากรณ์จากเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการพยากรณ์การเสีรูปของผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตาม			ผลการเสีรูปจากสมการ พยากรณ์		ผลการเสีรูปจริงจาก การเก็บข้อมูล		ผลการ พยากรณ์จาก สมการ พยากรณ์
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ขนาด การเสี รูป ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์ การเสีรูป ( $\hat{Q} \leq 19.59$ )	ขนาด การเสี รูป ( $Y$ )	ผ่านเกณฑ์ การเสีรูป ( $Y \leq 5.25$ )	
1	320	5	6	16.68	ผ่าน	3.81	ผ่าน	ถูกต้อง
2	340	6	6	17.82	ผ่าน	4.18	ผ่าน	ถูกต้อง
3	340	4	6	17.2	ผ่าน	5.01	ผ่าน	ถูกต้อง
4	340	5	10	18.09	ผ่าน	3.39	ผ่าน	ถูกต้อง
5	350	6	10	18.89	ผ่าน	3.81	ผ่าน	ถูกต้อง
6	360	5	10	18.97	ผ่าน	4.01	ผ่าน	ถูกต้อง
7	370	5	8	19.15	ผ่าน	5.14	ผ่าน	ถูกต้อง
8	380	6	6	19.24	ผ่าน	5.09	ผ่าน	ถูกต้อง
9	380	5	6	19.32	ผ่าน	4.90	ผ่าน	ถูกต้อง
10	380	4	6	18.96	ผ่าน	4.88	ผ่าน	ถูกต้อง
11	380	4	8	19.22	ผ่าน	5.19	ผ่าน	ถูกต้อง
12	370	5	8	19.15	ผ่าน	4.90	ผ่าน	ถูกต้อง
13	380	5	6	19.32	ผ่าน	4.89	ผ่าน	ถูกต้อง
14	390	4	6	19.4	ผ่าน	5.11	ผ่าน	ถูกต้อง
15	390	4	8	19.66	ผ่าน	4.81	ไม่ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
16	370	5	8	19.15	ผ่าน	5.19	ผ่าน	ถูกต้อง
17	380	4	8	19.22	ผ่าน	4.48	ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

ตารางที่ ค.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการพยากรณ์การเสีรูปของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตาม			ผลการเสีรูปจากสมการ พยากรณ์		ผลการเสีรูปจริงจาก การเก็บข้อมูล		ผลการ พยากรณ์จาก สมการ พยากรณ์
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	ขนาด การเสี รูป ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์ การเสีรูป ( $\hat{Q} \leq 19.59$ )	ขนาด การเสี รูป (Y)	ผ่านเกณฑ์ การเสีรูป ( $Y \leq 5.25$ )	
18	410	6	6	21	ไม่ผ่าน	5.35	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
19	410	6	8	21.27	ไม่ผ่าน	5.35	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
20	410	5	6	20.64	ไม่ผ่าน	5.51	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
21	400	5	10	20.73	ไม่ผ่าน	5.45	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
22	410	5	8	20.91	ไม่ผ่าน	5.51	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
23	390	4	8	19.66	ผ่าน	4.84	ไม่ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
24	370	5	8	19.15	ผ่าน	5.19	ผ่าน	ถูกต้อง
25	400	4	6	19.84	ไม่ผ่าน	5.57	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
26	400	6	8	20.83	ผ่าน	4.68	ไม่ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
27	410	5	8	20.91	ไม่ผ่าน	5.44	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
28	410	4	10	20.81	ไม่ผ่าน	5.46	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
29	420	6	8	21.97	ไม่ผ่าน	5.78	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
30	430	4	8	21.16	ไม่ผ่าน	6.8	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
31	430	6	8	21.88	ไม่ผ่าน	6.84	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
32	440	4	6	21.86	ไม่ผ่าน	7.02	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
33	440	6	8	22.59	ไม่ผ่าน	6.88	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
34	440	6	6	22.32	ไม่ผ่าน	7.02	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

ตารางที่ ค.1 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการพยากรณ์การเสีรูปของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม			ผลการเสีรูปจากสมการพยากรณ์		ผลการเสีรูปจริงจากการเก็บข้อมูล		ผลการพยากรณ์จากสมการพยากรณ์
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ขนาดการเสีรูป ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์การเสีรูป ( $\hat{Q} \leq 19.59$ )	ขนาดการเสีรูป ( $Y$ )	ผ่านเกณฑ์การเสีรูป ( $Y \leq 5.25$ )	
35	440	5	5	24.96	ไม่ผ่าน	6.81	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
36	450	6	6	22.76	ไม่ผ่าน	7.74	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
37	450	5	5	22.93	ไม่ผ่าน	7.11	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
38	450	4	4	22.04	ไม่ผ่าน	7.37	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400  
ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยโปรแกรม ANSYS

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตาม			ผลการเสียรูปจริงจากการ เก็บข้อมูล		ผลการเสียรูปจากการพยากรณ์ ด้วย ANSYS		ผลการ พยากรณ์ จาก สมการ พยากรณ์
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ขนาดการ เสียรูป (Y)	ผ่านเกณฑ์ การเสียรูป ( $Y \leq 5.25$ )	ขนาดการ เสียรูป ( $Y_{ANSYS}$ )	ผ่านเกณฑ์ การเสียรูป ( $Y_{ANSYS} \leq 5.25$ )	
1	430	4	8	6.72	ไม่ผ่าน	6.14	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
2	450	4	10	7.07	ไม่ผ่าน	6.77	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
3	410	4	8	5.48	ไม่ผ่าน	5.34	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
4	440	4	6	6.76	ไม่ผ่าน	6.43	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
5	430	4	10	6.42	ไม่ผ่าน	6.23	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
6	320	4	10	3.61	ผ่าน	3.26	ผ่าน	ถูกต้อง
7	360	4	10	4.43	ผ่าน	4.04	ผ่าน	ถูกต้อง
8	380	4	6	4.20	ผ่าน	3.89	ผ่าน	ถูกต้อง
9	320	4	8	4.31	ผ่าน	4.15	ผ่าน	ถูกต้อง
10	340	4	8	4.47	ผ่าน	4.23	ผ่าน	ถูกต้อง
11	420	5	6	6.46	ไม่ผ่าน	6.1	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
12	450	5	8	7.28	ไม่ผ่าน	6.95	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
13	430	5	10	6.24	ไม่ผ่าน	5.97	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
14	410	5	6	5.99	ไม่ผ่าน	5.99	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
15	430	5	8	6.75	ไม่ผ่าน	6.41	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
16	320	5	8	4.31	ผ่าน	3.93	ผ่าน	ถูกต้อง
17	350	5	6	4.04	ผ่าน	3.69	ผ่าน	ถูกต้อง

**ตารางที่ ค.2** การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400  
ในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยโปรแกรม ANSYS (ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตาม			ผลการเสียรูปจริงจากการ เก็บข้อมูล		ผลการเสียรูปจากการพยากรณ์ ด้วย ANSYS		ผลการ พยากรณ์ จาก สมการ พยากรณ์
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	ขนาดการ เสียรูป (Y)	ผ่านเกณฑ์ การเสียรูป (Y ≤ 5.25)	ขนาดการ เสียรูป (Y <sub>ANSYS</sub> )	ผ่านเกณฑ์ การเสียรูป (Y <sub>ANSYS</sub> ≤ 19.59)	
18	370	5	10	3.82	ผ่าน	3.27	ผ่าน	ถูกต้อง
19	360	5	6	4.23	ผ่าน	3.82	ผ่าน	ถูกต้อง
20	350	5	10	3.49	ผ่าน	3.17	ผ่าน	ถูกต้อง
21	440	6	10	6.74	ไม่ผ่าน	6.48	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
22	420	6	8	6.37	ไม่ผ่าน	6.08	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
23	420	6	6	6.66	ไม่ผ่าน	6.32	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
24	450	6	8	7.31	ไม่ผ่าน	6.99	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
25	400	6	6	5.36	ไม่ผ่าน	5.05	ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
26	350	6	8	3.93	ผ่าน	3.62	ผ่าน	ถูกต้อง
27	370	6	10	3.65	ผ่าน	3.32	ผ่าน	ถูกต้อง
28	320	6	8	3.47	ผ่าน	3.05	ผ่าน	ถูกต้อง
29	330	6	6	3.37	ผ่าน	3.01	ผ่าน	ถูกต้อง
30	330	4	6	4.31	ผ่าน	3.84	ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการพยากรณ์การเสีรูปของผลิตภัณฑ์ด้วย ANSYS

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตาม			ผลการเสีรูปจากการ พยากรณ์ด้วย ANSYS		ผลการเสีรูปจากการ สมการพยากรณ์		ผลการ พยากรณ์ จาก สมการ พยากรณ์
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ขนาดการ เสีรูป ( $Y_{ANSYS}$ )	ผ่านเกณฑ์ การเสีรูป ( $Y_{ANSYS} \leq 19.59$ )	ขนาดการ เสีรูป ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์การ เสีรูป ( $\hat{Q} \leq 19.59$ )	
1	324	4.4	7.9	4.21	ผ่าน	16.89	ผ่าน	ถูกต้อง
2	332	6.1	9.8	3.28	ผ่าน	18.11	ผ่าน	ถูกต้อง
3	447	5.1	5.9	7.7	ไม่ผ่าน	22.29	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
4	421	3.9	6.3	6.89	ไม่ผ่าน	20.77	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
5	398	4.2	7.8	6.02	ไม่ผ่าน	20.06	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
6	375	4.1	9.7	4.58	ผ่าน	19.27	ผ่าน	ถูกต้อง
7	399	6.1	8.4	5.56	ไม่ผ่าน	20.87	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
8	340	5.8	7.9	3.94	ผ่าน	18.1	ผ่าน	ถูกต้อง
9	447	4.7	5.8	7.37	ไม่ผ่าน	22.13	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
10	442	3.8	6.2	7.27	ไม่ผ่าน	21.64	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
11	335	5.4	7.8	4.18	ผ่าน	17.72	ผ่าน	ถูกต้อง
12	367	6.3	9.7	4.19	ผ่าน	19.71	ไม่ผ่าน	ไม่ถูกต้อง
13	357	4.3	8.3	4.3	ผ่าน	18.36	ผ่าน	ถูกต้อง
14	319	3.7	6.1	4.87	ผ่าน	16.18	ผ่าน	ถูกต้อง
15	429	3.2	6.3	7.20	ไม่ผ่าน	20.97	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
16	431	4.3	5.9	6.54	ไม่ผ่าน	21.3	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง
17	446	5.7	5.7	7.24	ไม่ผ่าน	22.44	ไม่ผ่าน	ถูกต้อง

ตารางที่ ค.3 การตรวจสอบความถูกต้องของสมการพยากรณ์การเสียรูปของผลิตภัณฑ์ด้วย ANSYS  
(ต่อ)

ลำดับ	ตัวแปรอิสระและ ตัวแปรตาม			ผลการเสียรูปจากการ พยากรณ์ด้วย ANSYS		ผลการเสียรูปจากการ สมการพยากรณ์		ผลการ พยากรณ์ จาก สมการ พยากรณ์
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	ขนาดการ เสียรูป ( $Y_{ANSYS}$ )	ผ่านเกณฑ์ การเสียรูป ( $Y_{ANSYS} \leq 19.59$ )	ขนาดการ เสียรูป ( $\hat{Q}$ )	ผ่านเกณฑ์การ เสียรูป ( $\hat{Q} \leq 19.59$ )	
18	367	5.2	7.5	4.43	ผ่าน	19.02	ผ่าน	ถูกต้อง
19	361	4.7	7.7	4.61	ผ่าน	18.6	ผ่าน	ถูกต้อง
20	333	4.9	8.9	2.61	ผ่าน	17.6	ผ่าน	ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



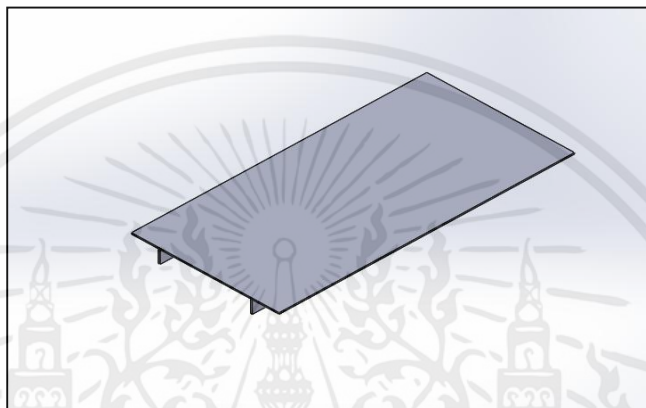
ภาคผนวก ง

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองการเสีรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ด้วยโปรแกรม ANSYS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

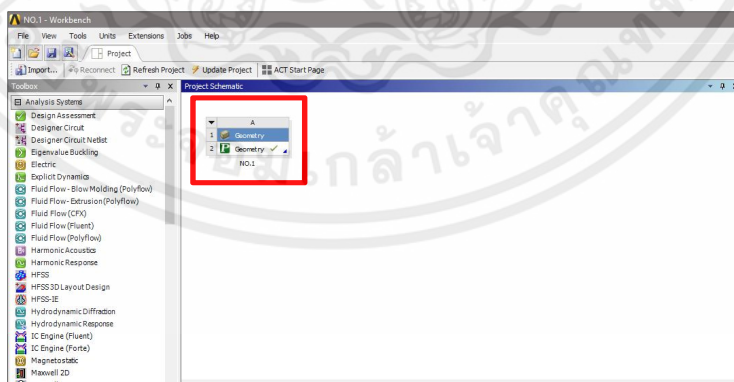
## การสร้างแบบจำลองการเสีรूपแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยโปรแกรม ANSYS

สร้างชิ้นงานแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ด้วยโปรแกรม ANSYS โดยแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีขนาดอยู่ที่ กว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1,200 มิลลิเมตร และมีขนาดความหนา 3 ขนาดคือ 4 5 และ 6 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ ง.1 สำหรับนำไปวิเคราะห์ขนาดการเสีรूपในส่วนถัดไป



รูปที่ ง.1 สร้างชิ้นงานแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ด้วยโปรแกรม ANSYS

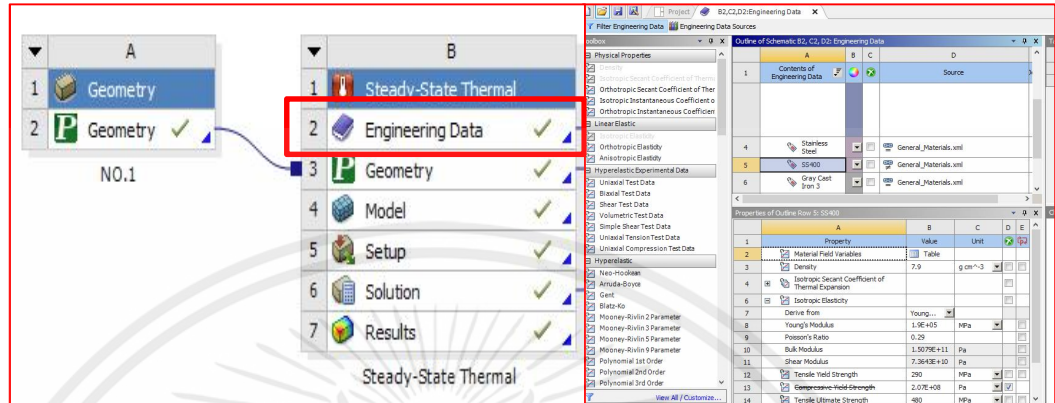
นำ Files แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่ได้จากโปรแกรม ANSYS เข้าสู่ในส่วนของ ANSYS Workbench สำหรับใช้ทดสอบขนาดการเสีรूपที่เกิดขึ้น แสดงในรูป ง.2



รูปที่ ง.2 Files แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่ได้จากโปรแกรม SolidWorks เข้าสู่โปรแกรม ANSYS

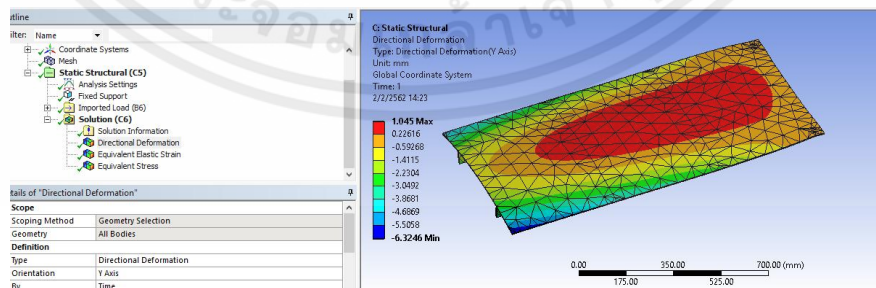
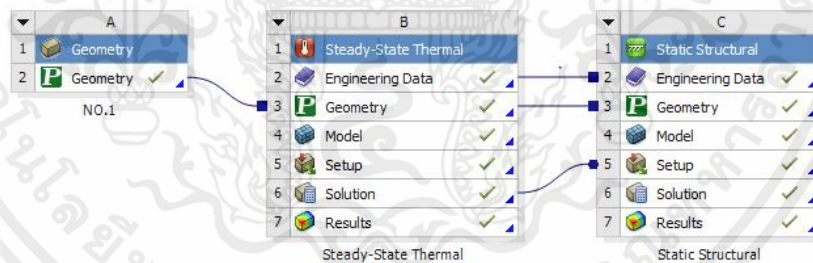
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ในส่วน of Workbench  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการกำหนดค่าคุณสมบัติต่างๆอ้างอิงจากสมมุติฐานในหัวข้อที่ 4.3.4 สำหรับแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ในส่วนของ Engineering Data แสดงในรูป ง.3



รูปที่ ง.3 การกำหนดค่าคุณสมบัติสำหรับแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

นำผลลัพธ์ของอุณหภูมิในรูปที่ ง.4 มาทำการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยใช้คำสั่ง Static Structural ในส่วนของคำสั่ง Model กำหนดจุดยึดแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ให้มีตำแหน่งที่เหมือนกันการใช้งานจริงโดยทำการค่า Deformation Y axis แสดงในรูปที่ ง.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ ง.4 การหาค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 นี้เป็นการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# OR-Net 2019

## Operations Research Network 2019 Conference

February 7-8, 2019  
Wintree City Resort Chiang Mai

Department of Industrial Engineering  
Faculty of Engineering  
Chiang Mai University






### Subject Areas:

- ⇨ Computing and Information Technologies
- ⇨ Financial Engineering
- ⇨ Manufacturing Management
- ⇨ Service and Revenue Management
- ⇨ Logistics and Supply Chain Management
- ⇨ Simulation
- ⇨ Probability and Statistics
- ⇨ Stochastic Models
- ⇨ Transportation
- ⇨ Inventory and Warehouse Management
- ⇨ Project Management
- ⇨ Decision Science
- ⇨ Operations Research in Environment Management and Sustainability
- ⇨ Healthcare Engineering
- ⇨ Other Related Topics



*Operations Research  
for Healthcare Innovation*

### CONTACT US:

-  [ornet2019.eng.cmu.ac.th](http://ornet2019.eng.cmu.ac.th)
-  [ornet2019@gmail.com](mailto:ornet2019@gmail.com)
-  [ornet2019](https://www.facebook.com/ornet2019)

### IMPORTANT DATES:

Full Paper Submission: Nov 15, 2018  
Paper Notification: Dec 1, 2018  
Final Submission: Dec 15, 2018



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยไม่ได้รับค่าตอบแทนในการดำเนินการ  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในลิขสิทธิ์และทรัพย์สินทางปัญญาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การลดปัญหาการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน  
โดยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น กรณีศึกษา โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน  
Deformation Reduction of Steel Plate in Hot-Dip Galvanized Process by Linear Discriminant  
Analysis: Case study of Hot-Dip Galvanized Factory.

วีรวัฒน์ แซ่เหี้ย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

E-mail: 60601103@kmitl.ac.th

สกนธ์ คล่องบุญจิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

E-mail: sklongboonjit@hotmail.com

บทคัดย่อ

การชุบเคลือบสังกะสีเป็นกระบวนการป้องกันโครงสร้างเหล็กจากสนิม โดยวิธีที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนในกระบวนการที่ต่ำและทำให้เหล็กกล้ามีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงพบปัญหาเกิดขึ้นนั้นคือการเสียรูปที่เกิดขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าขนาดบางขนาดน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาพบปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนในแผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 ที่มีขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และขนาดความหนา 3 ขนาดคือ 4.5 และ 6 มิลลิเมตร ปัญหาการเสียรูปที่กล่าวมาได้รับการปรับปรุงด้วยการนำเหล็กแท่งมาเสริมโครงสร้างของแผ่นเหล็กให้มีความแข็งแรงมากขึ้นแต่ยังขาดมาตรฐานการแก้ไข ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้สำหรับแก้ไข ปัญหาการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 โดยมีตัวแปรอิสระที่มีผลทำให้แผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 เสียรูปในระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนทั้งหมด 3 ตัวแปร  $X_1$  คือตำแหน่งการเชื่อมของเหล็กแท่งสำหรับเสริมโครงสร้างความแข็งแรงที่มีขนาดตั้งแต่ 320 มิลลิเมตร ถึง 450 มิลลิเมตร  $X_2$  คือขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 ที่มีขนาดความหนา 3 ขนาดคือ 4.5 และ 6 มิลลิเมตร และ  $X_3$  คือขนาดความหนาของเหล็กแท่งสำหรับเสริมโครงสร้างความแข็งแรงที่มีขนาดความหนา 3 ขนาด คือ 6.8 และ 10 มิลลิเมตร และ 1 ตัวแปรตาม Y คือขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 หลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนผลวิจัยที่ได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นคือ สมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ขนาดการเสียรูปของแผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 คือ  $\hat{Y} = 0.0428X_1 + 0.0827X_2 + 0.0065X_3$  โดยสมการจำแนกประเภทนี้มีประสิทธิภาพการพยากรณ์อยู่ที่ 87.5 เปอร์เซ็นต์  
คำสำคัญ: กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน, การวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น

Abstract

Galvanizing process is one of methods for rust protection of structural steel. The hot - dip Galvanized process is a popular process because it is really simple process, low cost process and life time expansion for structural steel. However, one of problem found in hot - dip Galvanized is the deformation for thin - steel plates of thickness less than 6 mm. Presently, the deformation of steel plate S5400 at size of 600 mm x 1200 mm with thickness of 4.5 and 6 mm is improved by using reinforcing steel, however, there is no standard for this technique. So the method of Linear Discriminant Analysis is applied to cope with this problem in this study. With the Linear Discriminant Analysis method, three main independent variable ( $X_1$ : The welding position of bars steel at size 320 mm x 450 mm,  $X_2$ : Thickness of S5400 steel plate at size 4.5 and 6 mm and  $X_3$ : Thickness of bars steel at size 6.8 and 10 mm) and one dependent variable (Y: Deformation of steel plate) are analyzed. The result shows that predictive equation of  $\hat{Y} = 0.0428X_1 + 0.0827X_2 + 0.0065X_3$  is appropriate for this problem with 87.5 % predict efficiency.

Keywords: hot - dip Galvanized process, Linear Discriminant Analysis.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\* Corresponding author: E-mail: [60601103@kmitl.ac.th](mailto:60601103@kmitl.ac.th)

## 1. บทนำ

เหล็กกล้าเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยปัจจุบันพบว่าการผลิตเหล็กดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา [1] อุตสาหกรรมเหล็กกล้านั้นถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น โดยทุกๆ อุตสาหกรรมที่กล่าวมานั้นล้วนแต่ใช้เหล็กกล้าเป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งจากที่กล่าวมานั้นจะพบว่าวัสดุเหล็กกล้านั้นมีความสำคัญอย่างมากสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการนำเหล็กกล้ามาใช้ในงานต่างๆ นั้นคือ อายุการใช้งานของเหล็กกล้า เพราะยิ่งถ้าเหล็กกล้าที่นำมาใช้งานได้นานเท่าไรยิ่งจะส่งผลดีต่อผู้บริโภค หรืออาจจะป้องกันปัญหาอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่าปัญหาของเหล็กกล้าที่มีผลต่ออายุการใช้งานคือ ปัญหาการเกิดสนิมซึ่งทำให้เหล็กกล้ามีความแข็งแรงน้อยลงและเสียหายได้ ปัญหาการเกิดสนิมนั้นเกิดขึ้นจากการนำเอาเหล็กกล้ามาใช้งานนอกอาคารซึ่งจะทำให้เหล็กกล้าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดสนิม จากการศึกษาพบว่าวิธีการป้องกันปัญหาการเกิดสนิมนั้นมียุทธวิธีด้วยกันหลายวิธี [2] ซึ่งวิธีที่นิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนนั้น เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับป้องกันปัญหาการเกิดสนิมขึ้น ถือได้ว่าเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เหมาะกับลักษณะงานที่ต้องนำเหล็กกล้าไปใช้ออกอาคาร ซึ่งวิธีนี้มีการใช้งานมาแล้วมากกว่า 200 ปี เนื่องจากเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ และเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีในวิธีนี้จะมีอายุการใช้งานที่สูง เมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามมีการพบปัญหาขึ้นในการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนคือเกิดปัญหาการเสีรูบขึ้นกับเหล็กกล้าที่มีขนาดบางหรือยาวมากๆ ซึ่งพบปัญหาหลังจากนำเหล็กกล้าดังกล่าวผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาการเสีรูบขึ้นนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน [3] ในระหว่างกระบวนการนำเหล็กกล้าไปจุ่มลงในบ่อสังกะสีที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ  $435^{\circ}\text{C} - 455^{\circ}\text{C}$  ทันทีทำให้เกิดความเค้นตกค้างขึ้นบนเหล็กกล้า จึงทำให้เหล็กกล้าเสีรูบหรือโก่งงอซึ่งเป็นปัญหาที่พบเจอบ่อยในโรงงานอุตสาหกรรมการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน [4] จากปัญหาการเสีรูบที่เกิดขึ้นนั้นส่งผลให้เกิดการสูญเสียทั้งเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต

จากการศึกษาในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาพบว่าเกิดปัญหาการเสีรูบขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 โดยได้มีการแก้ไขปัญหามันเบื้องต้นโดยใช้โครงสร้างเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน แต่การแก้ไขปัญหการเสีรูบด้วยวิธีดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดหรือมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กในการเสริมความแข็งแรงของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่ชัดเจนทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหการเสีรูบดังกล่าวได้อย่างเต็ม

ประสิทธิภาพ โดยวิธีที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวนั้นมียุทธวิธีกันหลายวิธี และวิธีการพยากรณ์การเสีรูบของชิ้นงานคือหนึ่งในวิธีการแก้ไขและปรับปรุงปัญหาเหล่านี้ให้ดียิ่งขึ้นซึ่งวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นเป็นวิธีการทางสถิติหนึ่งที่ใช้สำหรับจำแนกประเภทของกลุ่มข้อมูลและพยากรณ์ปัจจัยต่างๆ สำหรับหาสมการจำแนกประเภทเพื่อพยากรณ์ผลต่างๆ โดยในปัจจุบันนั้นได้มีการนำทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้กับงานหลายๆ ประเภท เช่น ทางด้านคมนาคมสำหรับพยากรณ์จำแนกประเภทการจราจร [5] ทางด้านธรณีวิทยาสำหรับพยากรณ์จำแนกประเภทคุณภาพน้ำใต้ดิน [6] ทางด้านมนุษยศาสตร์สำหรับพยากรณ์จำแนกประเภทพฤติกรรมการณ์การเดินของมนุษย์ [7] เป็นต้น โดยพบว่าวิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทเชิงเส้นสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานในหลายด้าน

ในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านอุตสาหกรรมชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนสำหรับปรับปรุงและพัฒนาการแก้ไขปัญหการเสีรูบปัจจุบันคือใช้โครงสร้างเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยในการประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นจะทำการหาสมการจำแนกประเภทสำหรับพยากรณ์ปัญหาการเสีรูบของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เพื่อหาขนาดของปัจจัยเหล็กเสริมโครงสร้างที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหการเสีรูบที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

## 2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้งาน การสร้างสมการจำแนกประเภทสำหรับปัญหา และสรุปและข้อเสนอแนะ

### 2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

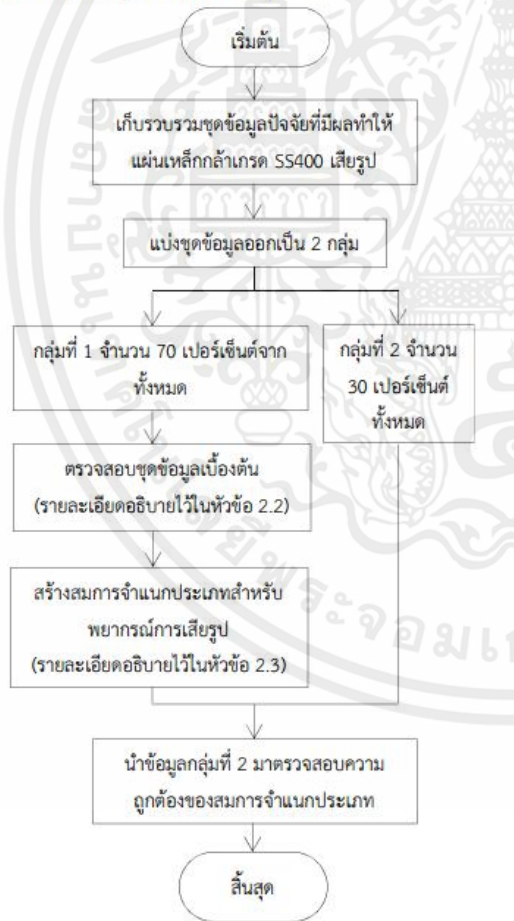
ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยศึกษาหาปัญหาการเสีรูบที่เกิดขึ้นบนแผ่นชิ้นงานในแต่ละประเภทหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนศึกษาลักษณะและทิศทางการเสีรูบที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน และศึกษาหา

แนวทางแก้ไขปัญหการเสีรูบที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนในกรณีศึกษา พร้อมทั้งตั้งเกณฑ์การวัดขนาดการเสีรูบที่เกิดขึ้นสำหรับแยกแยะชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน โดยการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามหลักการสถิติวิเคราะห์ คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีระยะการเสีรูบที่ผ่านเกณฑ์สามารถนำชิ้นงานไปใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ และกลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีระยะการเสีรูบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ไม่สามารถนำชิ้นงานไปใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ได้ โดยการกำหนดเกณฑ์ขนาดการเสีรูบ

ที่ได้ นั้น เป็นเกณฑ์ที่ได้รับการยอมรับจากโรงงานซูบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษา

2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทและการประยุกต์ใช้

การวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น นั้นเป็นวิธีหนึ่งในทางสถิติสำหรับจำแนกชุดข้อมูลตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป ด้วยการวิเคราะห์ตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป โดยจุดประสงค์หลัก ในการวิเคราะห์จำแนกประเภทคือ หาสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบ่งกลุ่มชุดข้อมูล และสร้างสมการจำแนกประเภทที่เหมาะสมสำหรับนำมาพยากรณ์หน่วยวิเคราะห์ชุดใหม่ว่าควรจัดอยู่ในกลุ่มประเภทใด โดยก่อนที่จะนำข้อมูลของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมาทำการประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้น จำเป็นต้องตรวจสอบข้อมูลพื้นฐาน [8] โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระในกลุ่มตัวอย่างต้องเท่ากัน ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้น โดยขั้นตอนในการนำเทคนิคการวิเคราะห์การจำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้ในครั้งนี้แสดงในรูปที่ 1



2.3 การสร้างสมการจำแนกประเภทสำหรับปัญหา

จากรูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาเริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลตัวแปรอิสระที่เป็นปัจจัยที่มีผลทำให้แผ่นชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการซูบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเสียรูป และตัวแปรตามคือการเสียรูปที่เกิดขึ้น (ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2) โดยทำการแบ่งข้อมูลที่เก็บออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกมีชุดข้อมูลประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสร้างสมการพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์จำแนกประเภท และ ชุดข้อมูลอีกประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ จะนำมาเก็บไว้สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์ โดยขั้นตอนสำหรับการสร้างสมการจำแนกประเภทมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ ทำการหาเมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรทั้ง 2 กลุ่ม ในที่นี้คือ กลุ่มที่มีระยะการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้ และ กลุ่มที่มีระยะการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ หลังจากนั้นจึงทำการตรวจสอบความมั่นใจว่าความแปรปรวนของตัวแปรตามทั้ง 2 กลุ่มเท่ากันใหม่ ด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยวิธีทดสอบของบ็อกซ์ (Box's test) หลังจากนั้นจึงได้ว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระและมีค่าความแปรปรวนของตัวแปรตามทั้งสองกลุ่มเท่ากัน จึงเริ่มขั้นตอนการสร้างเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่มและทำการสร้างเมตริกซ์ความแตกต่างระหว่างจุดกึ่งกลางกลุ่มจากเมตริกซ์ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่มทำการสร้างเมตริกซ์สัมประสิทธิ์ตัวคูณและเริ่มขั้นตอนการสร้างสมการจำแนกประเภท พร้อมทั้งคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระทั้ง 2 กลุ่ม หลังจากนั้น ทำการตรวจสอบให้มั่นใจว่าค่าเฉลี่ยที่ได้ของตัวแปรตามทั้ง 2 กลุ่มต้องไม่เท่ากันทำการตรวจสอบด้วยการทดสอบ Hotelling test  $T^2$  และสุดท้ายคือการคำนวณค่าจุดแยกแยะ  $Y_c$  เพื่อใช้ในการแยกแยะกลุ่มข้อมูลทั้ง 2 กลุ่ม การทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนั้นทำได้โดยการ นำข้อมูลที่แบ่งไว้กลุ่มที่ 2 จำนวน 30 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณลงในสมการจำแนกประเภทที่ได้โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องจากค่าที่ได้จากสมการจำแนกประเภทคือ  $\hat{Y}$  โดยถ้าค่า  $\hat{Y} \leq Y_c$  หมายถึงชิ้นงานจะอยู่ในกลุ่มที่มีระยะการเสียรูปที่ผ่านเกณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้า  $\hat{Y} > Y_c$  หมายถึงชิ้นงานจะอยู่ในกลุ่มที่มีระยะการเสียรูปที่ไม่ผ่านเกณฑ์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งเป้าหมายสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการจำแนกประเภทนั้นต้องการความถูกต้องและแม่นยำที่มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่แม่นยำและยอมรับได้

2.4 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากข้างต้น นำสมการจำแนกประเภทที่ได้นั้นมาใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานซูบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาและนำผลการศึกษาที่ได้มาสรุปและวิเคราะห์หาผลข้อดีและข้อเสียพร้อมทั้งเสนอแนะการปรับปรุงสำหรับปรับปรุงสมการจำแนกประเภทให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 1 ขั้นตอนในการนำเทคนิคการวิเคราะห์การจำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้สำหรับพยากรณ์การเสียรูป

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการศึกษาในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษาพบว่าเกิดปัญหาการเสีรูปร่างขึ้นบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ขนาดกว้าง 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และความหนา 4.5 และ 6 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 2 โดยมีคุณสมบัติทางกลดังต่อไปนี้คือ แรงต้านทานการดึง 290 เมกะปาสคาล มอดูลัสของยัง 190 จิกะปาสคาล ความจุความร้อนจำเพาะ 470 จูลต่อกรัม - เคลวิน ค่าการนำความร้อน 50 วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน และความหนาแน่น 7.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยปัญหาการเสีรูปร่างนั้นเกิดขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยมีลักษณะการเสีรูปร่างการโค้งงอบนแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400



รูปที่ 2 เหล็กกล้าเกรด SS400

วิธีการแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างสำหรับโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนในกรณีศึกษาเบื้องต้นโดยใช้โครงสร้างเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์แผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ก่อนจะนำเข้าสู่กระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนเพื่อกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจากสาเหตุการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ฉับพลันในบ่อสังกะสีร้อนที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 435 องศาเซลเซียส - 455 องศาเซลเซียส ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เหล็กแห่งเสริมความแข็งแรงของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

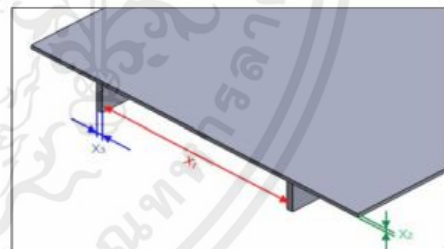
การแก้ไขปัญหาลักษณะในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษานั้นยังขาดแนวทางหรือมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างเหล็กในการเสริมความแข็งแรงของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ที่ชัดเจนทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาการเสีรูปร่างดังกล่าวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากโครงสร้างเหล็กสำหรับเสริมความแข็งแรงนั้นเป็นวัสดุที่เลือกใช้ในโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษารวมถึงขนาดการเสีรูปร่างการโค้งงอที่ยอมรับได้สำหรับโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนกรณีศึกษานั้นต้องมีขนาดการโค้งงอไม่เกิน

5.25 มิลลิเมตร หรือหมายความว่าทางโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนได้ทำการตั้งเกณฑ์สำหรับจำแนกแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ออกเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์ซึ่งสามารถนำเอาแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มาใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ มีขนาดการโค้งงอต้องมีค่าไม่เกิน 5.25 มิลลิเมตร กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ซึ่งไม่สามารถนำเอาแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มาใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ คือขนาดการโค้งงอมีค่ามากกว่า 5.25 มิลลิเมตร ถือว่าเกณฑ์การตัดสินใจดังกล่าวมีค่าที่น้อยมากและเสี่ยงต่อความผิดพลาดในการแก้ไขทำให้การแก้ไขปัญหาลักษณะนั้นยังมีประสิทธิภาพที่ไม่เพียงพอสำหรับการแก้ไขของโรงงานชุบเคลือบสังกะสีในกรณีศึกษา และจำเป็นต้องการปรับปรุงและพัฒนาการแก้ไขปัญหาลักษณะนั้นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุในการนำสู่การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสีรูปร่าง

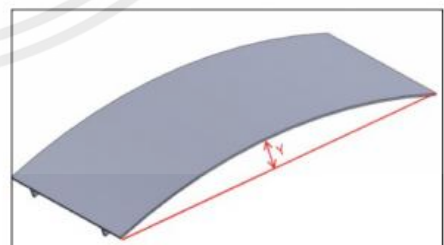
3.2 การวิเคราะห์จำแนกประเภท

ในกรณีศึกษาครั้งนี้ พบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้เหล็กกล้าเกรด SS400 เกิดปัญหาการโค้งงอขึ้นมีอยู่ 3 ตัวแปรคือตำแหน่งการเชื่อมของเหล็กแห่งสำหรับเสริมความแข็งแรง ( $X_1$ ) ทำการสุ่มตั้งแต่ ระยะ 320 มิลลิเมตร ถึง 450 มิลลิเมตร ขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ( $X_2$ ) ซึ่งทางโรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนนั้นมียูด้วยกัน 3 ขนาดคือ 4.5 และ 6 มิลลิเมตร และขนาดความหนาของเหล็กแห่งสำหรับเสริมความแข็งแรงที่นำมาเชื่อมติด ( $X_3$ ) ซึ่งมีขนาดอยู่ 3 ค่าด้วยกันคือ 4.6 และ 10 มิลลิเมตร โดยทั้ง 3 ตัวแปรเรียกว่าตัวแปรอิสระ และระยะการโค้งงอของชิ้นงานเรียกว่าตัวแปรตามโดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และ ตัวแปรตามสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4

ตัวแปรอิสระ



ตัวแปรตาม



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระสำหรับปัญหาการเสีรูปร่างของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

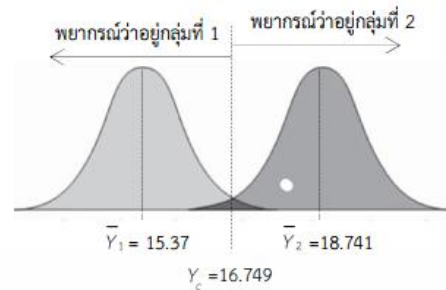
การเก็บข้อมูลขนาดการโค้งงอของชิ้นงานแผ่นเหล็กกล้า SS400 ดำเนินการเก็บข้อมูลทั้งหมด 128 ชุดข้อมูล แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ทั้งหมด 88 ชุดข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์จำแนกประเภทเพื่อหาสมการจำแนกประเภทและ กลุ่มที่ 2 ทั้งหมด 40 ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้ จากทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทนำชุดข้อมูลกลุ่มที่ 1 จำนวน 88 ชุดข้อมูลมาทำการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นคือตัวแปรอิสระ มีการแจกแจงปกติหลายตัวแปร ความแปรปรวนร่วมของตัวแปรอิสระ ในกลุ่มตัวอย่างต้องเท่ากัน ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้น โดยการตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานที่กล่าวมาแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าเมื่อนำข้อมูลพื้นฐานมาทำการทดสอบข้อมูลพื้นฐานทั้ง 4 แบบ ผลที่ได้คือ ข้อมูลพื้นฐานมีการแจกแจงปกติ ความแปรปรวนร่วมของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กล่าวคือกลุ่มที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์เท่ากัน ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง และสุดท้ายคือ ตัวแปรอิสระทั้ง 3 ไม่มีความสัมพันธ์เชิงพหุเส้นกัน

ตารางที่ 1 การทดสอบข้อมูลพื้นฐาน

ประเภทข้อมูลพื้นฐาน	การทดสอบข้อมูลพื้นฐาน
ตัวแปรอิสระมีการแจกแจงปกติ	ตรวจสอบด้วยวิธีสถิติทดสอบ โคลโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ
ความแปรปรวนร่วมของกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 2 กลุ่ม (ผ่านเกณฑ์คุณภาพและไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ) ต้องเท่ากัน	ตรวจสอบด้วยการทดสอบโดยวิธีทดสอบแบบบล็อก
ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง	ตรวจสอบด้วยวิธีการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน
ตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ร่วมเชิงพหุเส้น	ตรวจสอบด้วยวิธีการทดสอบค่าสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

หมายเหตุ: ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จำแนกประเภทในการสร้างสมการจำแนกประเภทสำหรับการพยากรณ์การเสีรูปร่างงอคือ จุดแยกแยะสำหรับการจำแนกประเภทที่ได้ของ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ผ่านเกณฑ์ซึ่งสามารถนำเอาแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มาใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ มีขนาดการโค้งงอไม่เกิน 5.25 มิลลิเมตร กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่ไม่ผ่านเกณฑ์ซึ่งไม่สามารถนำเอาแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มาใช้งานในกระบวนการถัดไปได้ มีขนาดการโค้งงอมากกว่า 5.25 มิลลิเมตร โดยจากการวิเคราะห์การจำแนกประเภทพบว่าข้อมูลชุดนี้มีจุดแยกแยะสำหรับการจำแนกประเภทชุดข้อมูลนั้นคือ  $Y_c$  มีค่าเท่ากับ 16.749 ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลกลุ่มที่ 1 คือ  $\bar{Y}_1$  ค่าเท่ากับ 15.37 และค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลกลุ่มที่ 2 คือ  $\bar{Y}_2$  มีค่าเท่ากับ 18.741 โดยความสัมพันธ์สำหรับค่าที่กล่าวมาข้างต้นนั้นแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของจุดแยกแยะสำหรับการพยากรณ์

สมการจำแนกประเภทที่ได้จากทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทนั้นแสดงไว้ในสมการที่ 1

$$\hat{Y} = 0.0428X_1 + 0.0827X_2 + 0.0065X_3 \quad (1)$$

เมื่อ  $X_1$  คือ ตำแหน่งการเชื่อมของแท่งเหล็กสำหรับเสริม

ความแข็งแรงหน่วยมิลลิเมตร  $X_2$  คือขนาดความหนาของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หน่วยมิลลิเมตร  $X_3$  คือขนาดความหนาของแท่งเหล็กสำหรับเสริมความแข็งแรงที่นำมาเชื่อมติดบริเวณด้านหลังของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 หน่วยมิลลิเมตร และ  $\hat{Y}$  คือค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการจำแนกประเภทผลที่ได้สามารถอธิบายได้ดังนี้ ถ้าค่า  $\hat{Y} \leq Y_c$  หมายถึง ผลการพยากรณ์จากสมการจำแนกประเภทที่ได้บอกว่าแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีขนาดการโค้งงอน้อยกว่า 5.25 มิลลิเมตรสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้าค่า  $\hat{Y} > Y_c$  หมายถึง ผลการพยากรณ์จากสมการจำแนกประเภทที่ได้บอกว่าแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 มีขนาดการโค้งงอมากกว่า 5.25 มิลลิเมตร ส่งผลให้ไม่สามารถนำแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 ไปใช้งานในกระบวนการถัดไปได้

ดำเนินการตรวจสอบประสิทธิภาพความแม่นยำของสมการจำแนกประเภทที่ได้จากข้างต้น โดยนำค่า  $X_1$ ,  $X_2$  และ  $X_3$  จากชุดข้อมูลกลุ่มที่ 2 จำนวน 40 ชุดข้อมูลมาวิเคราะห์ลงในสมการพยากรณ์ในสมการที่ 1 เพื่อหาความถูกต้องของค่า  $\hat{Y}$  ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความแตกต่างระหว่างการเสีรูปร่างงอและการพยากรณ์

		ค่าพยากรณ์ ( $\hat{Y}$ )	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
ข้อมูลชุดที่	ผ่าน	13	5
	ไม่ผ่าน	1	22

จากการตรวจสอบข้อมูล 40 ชุดข้อมูล พบว่าข้อมูลมีความถูกต้องจำนวน 35 ชุดข้อมูล โดยแบ่งออกเป็นการพยากรณ์ชุดข้อมูลผ่านเกณฑ์ถูกต้องจำนวน 13 ข้อมูลและการพยากรณ์ชุดข้อมูลไม่ผ่านเกณฑ์ถูกต้องจำนวน 22 ข้อมูล คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำสำหรับการพยากรณ์การเสีรูปร่างงอของแผ่นเหล็กกล้าเกรด SS400 เท่ากับ 87.5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาการเสียรูปที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนของแผ่นเหล็กกล้าเกรด S5400 ขนาด 600 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และความหนา 4.5 และ 6 มิลลิเมตร โดยใช้เหล็กแท่งสำหรับเสริมความแข็งแรง 2 ชั้นที่ขนาด กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 1200 มิลลิเมตร และหนา 6.8 และ 10 มิลลิเมตร มาเชื่อมไว้บริเวณด้านหลังแผ่นเหล็กกล้าที่ระยะห่างต่างกัน ระหว่าง 320 มิลลิเมตร ถึง 450 มิลลิเมตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสมการจำแนกประเภทที่สามารถพยากรณ์ได้ว่าควรจัดตั้งแท่งเหล็กเสริมความแข็งแรงทั้งสองแผ่นที่ระยะความห่างเท่าใดสำหรับแผ่นเหล็กกล้าที่ระดับความหนาต่างกันเพื่อให้การเสียรูปของแผ่นเหล็กหลังจากผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ที่ระดับการเสียรูปไม่เกิน 5.25 มิลลิเมตร ซึ่งสมการจำแนกประเภทมีประสิทธิภาพพยากรณ์สูงถึง 87.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพียงพอต่อการนำไปใช้งานของโรงงานกรณีศึกษา อย่างไรก็ตาม สมการจำแนกประเภทแบบเชิงเส้นที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ ในโรงงานกรณีศึกษาได้ ซึ่งถ้าต้องการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้นนี้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ จำเป็นต้องเก็บข้อมูลทั้งตัวแปรอิสระและตัวแปรตามซึ่งมีข้อมูลจำนวนมากที่ต้องทำการจัดเก็บ ดังนั้นการจะนำเทคนิคการวิเคราะห์จำแนกประเภทมาประยุกต์ใช้ควรคำนึงถึงมูลค่าของผลิตภัณฑ์ก่อนเป็นอันดับแรกก่อนที่จะนำวิธีนี้ไปใช้งานกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] หน่วยวิเคราะห์เศรษฐกิจภาคการผลิต ส่วนเศรษฐกิจรายสาขา ศูนย์วิจัยเศรษฐกิจ ธุรกิจ และเศรษฐกิจฐานราก (2560) . "อุตสาหกรรมเหล็ก ปี 2560".
- [2] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, "ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็กชุบเคลือบสังกะสี." [Online]. Available: <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/70->.
- [3] Industrial Galvanizers Corporation (AUSTRALIA) , "How to minimise Distortion when hot - dip galvanizing," *East*, 2013, no. 10, pp. 1-4.
- [4] V. Kuklik, "Post on the issue of safety of steel structures of hot dip galvanized structural components," *Procedia Eng.*, 2012, vol. 40, pp. 241-246.
- [5] Z. Jing, G. Wang, S. Zhang, and C. Qiu, "Building Tianjin driving cycle based on linear discriminant analysis," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 2017, vol. 53, pp. 78-87.
- [6] M. Lee, M. Roan, B. Smith, and T. E. Lockhart, "Gait analysis to classify external load conditions using linear discriminant analysis," *Hum. Mov. Sci.*, 2009, vol. 28, no. 2, pp. 226-235.
- [7] M. E. Close, P. Abraham, B. Humphries, L. Lilburne, T. Cuthill, and S. Wilson, "Predicting groundwater redox status on a regional scale using linear discriminant analysis," *J. Contam. Hydrol.*, vol. 191, 2016, pp. 19-32 .

- [8] รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2552) , การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร หน้า 375-405.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้อื่นๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	วีรวัฒน์ แซ่เหี้ย
วัน เดือน ปี เกิด	5 ธันวาคม พ.ศ. 2535 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	497 / 61 หมู่ 13 ต.คลองด่าน อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ 10550
ประวัติการศึกษา	2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ปีที่สำเร็จการศึกษา 2556
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2557-2560 ตำแหน่ง วิศวกรมออกแบบ Panasonic Automotive Systems Asia Pacific
ผลงานทางวิชาการ	1. “การลดปัญหาการเสีรूपของแผ่นเหล็กกล้าในกระบวนการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนโดยทฤษฎีการวิเคราะห์จำแนกประเภทแบบเชิงเส้น กรณีศึกษา โรงงานชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน”. การประชุมวิชาการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้