

การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กใน
สายการผลิตโรงปั๊มตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์
ประเทศไทย จำกัด (โรงงานลำโพง)

DESIGN OF THE STEEL SHEET QUALITY INSPECTING
PROCESS IN PRESS SHOP: A CASE STUDY OF TOYOTA
MOTOR THAILAND CO.,LTD. (SAMRONG FACTORY)

นางสาวพรชนก แก่นจันทร์แดง

MS. PORNCHANOK KANJANDAENG

นางสาวนมณ สมสิริสกุล

MS. NAMON SOMSIRISAKUL

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

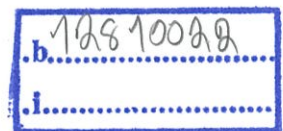
การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กใน
สายการผลิตโรงปั๊มตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์
ประเทศไทย จำกัด (โรงงานลำโรง)

DESIGN OF THE STEEL SHEET QUALITY INSPECTING
PROCESS IN PRESS SHOP: A CASE STUDY OF TOYOTA
MOTOR THAILAND CO., LTD. (SAMRONG FACTORY)



นางสาวพรชนก แก่นจันทร์แดง
MS. PORNCHANOK KANJANDAENG
นางสาวนมน สมสิริสกุล
MS. NAMON SOMSIRISAKUL

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **143848**
วันเดือนปี **04 ต.ค. 2559**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

DESIGN OF THE STEEL SHEET QUALITY INSPECTING
PROCESS IN PRESS SHOP: A CASE STUDY OF TOYOTA
MOTOR THAILAND CO., LTD. (SAMRONG FACTORY)

MS. PORNCHANOK KANJANDAENG
MS. NAMON SOMSIRISAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กใน
สายการผลิตโรงปั๊มตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์
ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง)

DESIGN OF THE STEEL SHEET QUALITY INSPECTING
PROCESS IN PRESS SHOP: A CASE STUDY OF TOYOTA
MOTOR THAILAND CO., LTD. (SAMRONG FACTORY)

นักศึกษา

นางสาวพรชนก แก่นจันทร์แดง รหัสประจำตัว 55010817

นางสาวนภณ สมสิริสกุล รหัสประจำตัว 55010818

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กในสายการผลิตโรงปิ้งตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง)
นักศึกษา	นางสาวพรชนก แก่นจันทร์แดง นางสาวนมณ สมสิริสกุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพของแผ่นเหล็ก และเพื่อลดปัญหาด้านคุณภาพของชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) จากการศึกษาปัญหาด้านคุณภาพของสายการผลิตในปัจจุบันของทางบริษัท พบว่าเกิดปัญหาเม็ดเงินมากที่สุด เนื่องจากวัตถุดิบ (แผ่นเหล็ก) ไม่ได้คุณภาพ ทางผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์หาแนวทางและดำเนินการแก้ไข โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1. กำหนดจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม 2. ออกแบบกระบวนการตรวจสอบ 3. กำหนดพื้นที่และออกแบบห้องสำหรับกระบวนการตรวจสอบ โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การศึกษาเวลา กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ และการวางแผนโรงงานอย่างมีระบบ ตามลำดับ ผลที่ได้จากการวิจัยคือ 1. จำนวนสุ่มตรวจของกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพของแผ่นเหล็ก เท่ากับ 1 แผ่นเหล็กต่อ 1 ม้วนเหล็ก 2. ปัญหาเม็ดเงินที่เกิดจากการหลุดลอกของสารเคลือบสังกะสีบนแผ่นเหล็กลดลง จาก 40% เหลือ 22.22%

Thesis Title	Design of the Steel Sheet Quality Inspecting Process in Press Shop: A Case Study of Toyota Motor Thailand Co., Ltd. (Samrong Factory)
Student	Ms. Pornchanok Kanjandaeng Ms. Namon Somsirisakul
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sittiporn Pimsakul

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to design a process for inspecting the quality of the steel sheet and to reduce defects of the automotive bodies in a case study of Toyota Motor Thailand Co., Ltd. (Samrong factory). In accordance with the study of the current quality problems in press shop, the biggest problem is seed problem due to low quality of the steel sheet. In this study, there are three steps, including: 1. Define a number of checked samples. 2. Design the inspecting process 3. Define a location and design a space for inspecting process. From the above steps, researchers choose four Industrial Engineering techniques, consisting of: Analysis of Variance (ANOVA), Time study, Analytic Hierarchy Process (AHP), and Systematic Layout Planning (SLP). From these three steps, the results are 1. A number of checked samples for inspecting process are one piece per coil. 2. The seed problem due to Zn coating on the steel sheet reduces from 40.00 to 22.22 percent

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กในสายการผลิตโรง
ปิ้งตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) สามารถสำเร็จลุล่วงไป
ได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จ
สมบูรณ์

นายสมคิด ประดิษฐ์กำจรชัย รองกรรมการผู้จัดการฝ่ายการผลิต บริษัท โตโยต้า มอเตอร์
ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) นายกานต์ คุณวิศาล รองผู้อำนวยการฝ่ายการผลิต และนายเฉลิมวิทย์
เกียรติชัยพิพัฒน์ ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่ายการผลิต แผนกโรงปิ้งตัวถัง กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าง
สูงสำหรับการให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษากระบวนการทำงาน และสนับสนุนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นายวรเชษฐ์ สันติวรานนท์ หัวหน้าวิศวกรแผนกโรงปิ้งตัวถัง นายอรรถวิทย์ คงคาศุภโชค หัวหน้า
วิศวกรแผนกโรงปิ้งตัวถัง และนายกลวัชร เหลืองรัตน์ วิศวกรแผนกโรงปิ้งตัวถัง กลุ่มผู้วิจัยขอกราบ
ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับความรู้ ความช่วยเหลือและคอยให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับ
นี้ อีกทั้งยังช่วยสอนในเรื่องอื่นๆอีกมากมาย

นายภัทรพล ประสงค์เกื้อ ช่างเทคนิคแผนกโรงปิ้งตัวถัง กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่าง
สูงสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และความเอาใจใส่ในทุกๆ ด้าน

นายมนตรีไชย ชูผล หัวหน้าทีมแผนกโรงปิ้งตัวถัง และ นายเทิดศักดิ์ วงศ์เหมย สมาชิกทีมแผนก
โรงปิ้งตัวถัง กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้ข้อมูล ความร่วมมือต่างๆ และการ
เอาใจใส่ในทุกๆ ด้าน

รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็น
อย่างสูงสำหรับความรู้ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ คอยให้กำลังใจและแรงผลักดันในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้
อีกทั้งยังช่วยให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้การอบรมสั่งสอนและให้ความช่วยเหลือ
ต่างๆ อย่างดีมาโดยตลอดพร้อมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจเสมอมา จนทำให้ผู้จัดทำโครงการนี้ได้
สำเร็จมาจนถึงจุดนี้

นางสาวพรชนก แก่นจันทร์แดง

นางสาวนมน สมศิริสกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภาพกระบวนการ.....	3
2.2 การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม.....	5
2.3 แผนผังแสดงสาเหตุและผล.....	6
2.4 ความสูญเสีย 7 ประการ.....	8
2.4.1 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตเกินจำเป็น.....	8
2.4.2 ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง.....	8
2.4.3 ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง.....	9
2.4.4 ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว.....	10
2.4.5 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากขึ้นตอน.....	10
2.4.6 ความสูญเสียเนื่องจากการการรอคอย.....	11
2.4.7 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย.....	11

สารบัญ

	หน้า
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	12
2.5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว.....	13
2.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง.....	14
2.6 การศึกษาเวลา.....	16
2.7 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.....	18
2.8 การวางแผนโรงงานอย่างมีระบบ.....	23
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน.....	26
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติก่อนการปรับปรุง.....	30
3.3 การวิเคราะห์ปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา.....	32
3.3.1 การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาเม็ด.....	32
3.3.2 การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาแตก.....	40
3.4 การดำเนินการแก้ไขปัญหา.....	42
3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นเหล็ก.....	42
3.4.2 การคัดเลือกเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบ.....	44
3.4.3 การคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม.....	46
3.4.4 การจัดวางกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็ก.....	60
3.4.5 การศึกษาเวลาของกระบวนการเพื่อหาจำนวนพนักงานและจำนวน รถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสม.....	63
3.4.6 การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ.....	72
3.4.7 การออกแบบห้องทำงาน.....	83

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 จำนวนผู้ตรวจที่เหมาะสม.....	88
4.2 การศึกษาเวลาของกระบวนการเพื่อหาจำนวนพนักงานและจำนวนรถโพลีคลิฟท์ที่เหมาะสม.....	95
4.3 การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ.....	98
4.4 การออกแบบห้องทำงาน.....	99
4.5 การเปรียบเทียบผลปัญหาเมื่เกิดจากสารเคลือบผิวหลุดลอกก่อนและหลังการปรับปรุง.....	100
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	
5.1 การศึกษาสภาพปัจจุบัน.....	101
5.2 แนวทางในการแก้ไขปัญหา.....	101
5.3 ผลการดำเนินงาน.....	102
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	103
เอกสารอ้างอิง.....	104
ภาคผนวก ก.....	ผก 1
ภาคผนวก ข.....	ผข 1
ภาคผนวก ค.....	ผค 1
ภาคผนวก ง.....	ผง 1
ภาคผนวก จ.....	ผจ 1
ภาคผนวก ฉ.....	ผฉ 1
ภาคผนวก ช.....	ผช 1
ภาคผนวก ซ.....	ผซ 1

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณ One-way ANOVA.....	14
ตารางที่ 2.2 สูตรการคำนวณ Two-way ANOVA	16
ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุร่วมกับความสัมพันธ์ของกิจกรรมเชิงคุณภาพ	23
ตารางที่ 2.4 การกำหนดค่าความสัมพันธ์ตามความสัมพันธ์ของกิจกรรมเชิงคุณภาพ.....	24
ตารางที่ 3.1 ปัญหาและรูปลักษณะของจุดบกพร่องบนชิ้นงาน.....	28
ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความยืดติดของสารเคลือบผิว	44
ตารางที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์แต่ละชนิด	45
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลสำหรับ One-way ANOVA	55
ตารางที่ 3.5 สูตรการคำนวณ One-way ANOVA	56
ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลสำหรับ Two-way ANOVA	58
ตารางที่ 3.7 สูตรการคำนวณ Two-way ANOVA	60
ตารางที่ 3.8 ชื่อชิ้นงานและจำนวนม้วนเหล็กที่ใช้ในการตรวจสอบ	69
ตารางที่ 3.9 ชื่อชิ้นงานและจำนวนสุ่มตรวจสอบตามรูปแบบการผลิต โดยแบ่งตามรอบเวลาการรับ วัตถุดิบ.....	70
ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างการคำนวณจำนวนสุ่มตรวจสอบตามรูปแบบการผลิต (09:00 : 20:00)	70
ตารางที่ 3.11 จำนวนการสุ่มตรวจสอบทั้งหมดตามรูปแบบการผลิตต่อรอบเวลาการรับวัตถุดิบ	71
ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัย	76
ตารางที่ 3.13 ตัวอย่างการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากผู้ประเมินคนที่ 1	77
ตารางที่ 3.14 ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยจากผู้ประเมินคนที่ 1	78
ตารางที่ 3.15 เปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละทางเลือก	79
ตารางที่ 3.16 ตัวอย่างการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละทางเลือกจากผู้ประเมินคนที่ 1 (ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่)	80
ตารางที่ 3.17 ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละทางเลือกจากผู้ประเมินคนที่ 1 (ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่)	81
ตารางที่ 3.18 ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ทุกชั้นที่จะนำมาจัดวางภายในห้อง	84
ตารางที่ 3.19 คะแนนความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ทุกชั้นที่จะนำมาจัดวางภายในห้อง	85
ตารางที่ 3.20 อุปกรณ์ทุกชั้นที่นำมาจัดเรียงตามลำดับความสัมพันธ์แบบต่างๆ	85

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ ANOVA.....	94
ตารางที่ 4.2 สรุปเวลาในการตรวจสอบและเวลาเพื่อกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางวัน....	96
ตารางที่ 4.3 สรุปเวลาในการตรวจสอบและเวลาเพื่อกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางคืน....	97
ตารางที่ 4.4 ผลสรุปค่าน้ำหนักรวมของผู้ประเมินแต่ละคน	98

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแผนภูมิการไหล.....	4
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังแสดงสาเหตุและผล.....	7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภูมิลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.....	19
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานภายในโรงปั๊มตัวถังตั้งแต่รับวัตถุดิบจนถึงการตรวจสอบชิ้นงานสำเร็จ.....	27
รูปที่ 3.2 กราฟแท่งแสดงจำนวนการผลิตชิ้นส่วนโดยแบ่งแยกเป็นชิ้นส่วนดีและชิ้นส่วนที่พบข้อบกพร่องของสายการผลิต A0.....	30
รูปที่ 3.3 กราฟแท่งแสดงจำนวนการผลิตชิ้นส่วนโดยแบ่งแยกเป็นชิ้นส่วนดีและชิ้นส่วนที่พบข้อบกพร่องของสายการผลิต A.....	30
รูปที่ 3.4 กราฟแท่งแสดงจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องโดยแบ่งแยกตามลักษณะของปัญหาของสายการผลิต A0.....	31
รูปที่ 3.5 กราฟแท่งแสดงจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องโดยแบ่งแยกตามลักษณะของปัญหาของสายการผลิต A.....	31
รูปที่ 3.6 กราฟแท่งแสดงจำนวนสัดส่วนร้อยละของชิ้นงานที่เกิดปัญหาเม็ดของสายการผลิต A0.....	33
รูปที่ 3.7 กราฟแท่งแสดงจำนวนสัดส่วนร้อยละของชิ้นงานที่เกิดปัญหาเม็ดของสายการผลิต A.....	33
รูปที่ 3.8 (a) ตัวอย่างรูปลักษณะเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิเกิดจากการเคลือบผิววัตถุดิบไม่ได้มาตรฐานโดยส่องจากกล้องจุลทรรศน์.....	34
(b) ตัวอย่างรูปโครงสร้างภายในเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิเกิดจากการเคลือบผิววัตถุดิบไม่ได้มาตรฐาน.....	34
รูปที่ 3.9 กราฟและจำนวนสัดส่วนร้อยละของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเศษเม็ดกรณิเกิดจากการเคลือบผิววัตถุดิบไม่ได้มาตรฐาน.....	35
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรทั้ง 4 เครื่อง.....	35
รูปที่ 3.11 (a) ตัวอย่างรูปลักษณะเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอโดยส่องจากกล้องจุลทรรศน์.....	36
(b) ตัวอย่างรูปโครงสร้างภายในเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอโดยส่องจากกล้องจุลทรรศน์.....	36

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.12 กราฟและจำนวนสัดส่วนร้อยละของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ของเศษเม็ดกรณีแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ.....	36
รูปที่ 3.13 (a) ตัวอย่างรูปลักษณะเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมากรณีเกิดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ โดยส่องจากกล้องจุลทรรศน์.....	37
(b) ตัวอย่างรูปโครงสร้างภายในเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมากรณีเกิดจาก สภาพแวดล้อมอื่นๆ.....	37
รูปที่ 3.14 กราฟและจำนวนสัดส่วนร้อยละของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี ของเศษเม็ดกรณีเกิดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ.....	37
รูปที่ 3.15 กราฟแท่งแสดงจำนวนชิ้นงานที่สุ่มตรวจโดยแบ่งตามธาตุที่ตรวจพบ.....	38
รูปที่ 3.16 กราฟแผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงการวิเคราะห์ถึงสาเหตุอันก่อให้เกิดปัญหาเม็ด บนชิ้นงานที่ผลิตหลังจากป้อนชิ้นรูปที่เกิดจาก Zn.....	39
รูปที่ 3.17 กราฟแผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงการวิเคราะห์ถึงสาเหตุอันก่อให้เกิดปัญหาชิ้นงานที่ผลิต แตกขณะป้อนชิ้นรูปที่เกิดจาก Zn.....	41
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการการคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม.....	47
รูปที่ 3.19 หลักการทำงานของเครื่อง V-bending.....	47
รูปที่ 3.20 หลักการทำงานของเครื่อง Pin on Disc.....	51
รูปที่ 3.21 แผนผังขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพรวมทั้งมาตรฐานในการแก้ไขหากตรวจพบปัญหา.....	62
รูปที่ 3.22 แผนผังแสดงตำแหน่งจุดคัดเลือกภายในโรงปั๊มตัวถัง.....	72
รูปที่ 3.23 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ A บริเวณจุดติดตั้งกระดานตรวจเช็คคุณภาพ.....	73
รูปที่ 3.24 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ B บริเวณจุดตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนส่งขายต่างประเทศ.....	73
รูปที่ 3.25 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ C บริเวณห้องเก็บอุปกรณ์.....	74
รูปที่ 3.26 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ D บริเวณจุดที่ใช้สำหรับฝึกอบรมพนักงานใหม่.....	74
รูปที่ 3.27 โครงสร้างลำดับขั้นของการคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็ก.....	76
รูปที่ 4.1 ตารางเวลาการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางวัน.....	96
รูปที่ 4.2 ตารางเวลาการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางคืน.....	97

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.3 รูปแบบการจัดห้องโดยออกแบบจากขนาดพื้นที่จริง.....	99
รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบปัญหาเม็ดที่เกิดจากสารเคลือบผิวหลุดลอกก่อนและหลังการปรับปรุง....	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาปริญญานิพนธ์

รถยนต์ถือเป็นสิ่งประดิษฐ์หนึ่งที่มีความซับซ้อนในกระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่มีการนำแผ่นเหล็กมาเข้าเครื่องปั๊มขึ้นรูปและประกอบที่ละชิ้นด้วยมือคนและมือหุ่นยนต์จนเห็นเป็นโครงสร้างของรถที่ชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นเหล็กถือเป็นวัตถุดิบหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในกระบวนการผลิต จากการศึกษา งานบริษัทโตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด ในสายการผลิตโรงปั๊มตัวถังพบว่าปัจจุบันโรงงานมีการสั่งซื้อแผ่นเหล็กเพื่อทำการปั๊มขึ้นรูปในส่วนของโครงสร้างภายนอกรถกระบะทั้งหมดจำนวนมากต่อวัน

โดยสายการผลิตโรงปั๊มตัวถังมีกระบวนการขนส่งวัตถุดิบหลักๆ แบ่งออกเป็น การรับวัตถุดิบจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยแล้วนำไปเก็บไว้ยังสต็อกเพื่อรอการเบิกจ่ายไปใช้ตามแผนการผลิต โดยก่อนที่วัตถุดิบจะถูกขนส่งไปยังเครื่องปั๊มขึ้นรูป จะต้องทำการตรวจสอบขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาของแผ่นเหล็กให้ได้ตรงตามค่าที่มาตรฐานกำหนด

จากการศึกษาปัญหาเบื้องต้นพบว่า ปัญหาคุณภาพที่เกิดมากที่สุดในการกระบวนการผลิต คือ แผ่นเหล็กเกิดปัญหาเม็ดบนชิ้นงานหลังจากกระบวนการปั๊มขึ้นรูปอันเนื่องมาจากปัญหาด้านคุณภาพของแผ่นเหล็ก และปัญหาที่ร้ายแรงที่สุดคือชิ้นงานเกิดการฉีกขาด (แตก) ซึ่งปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมากต่อบริษัท ทางผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาเหล่านี้ จึงเห็นว่าควรมีการจัดตั้งจุดงานเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กก่อนเข้ากระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหาด้านคุณภาพ และป้องกันปัญหาอื่นๆที่อาจเกิดขึ้นบนชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ อันเนื่องมาจากวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพของแผ่นเหล็ก
2. ลดปัญหาด้านคุณภาพของชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาเฉพาะแผ่นเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) เนื่องจากเป็นแผ่นเหล็กที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ ภายในโรงปั๊มตัวถังของบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง)

2. ศึกษาและเก็บข้อมูลก่อนและหลังจัดตั้งจุดงานเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพตลอดช่วงเดือนสิงหาคม ถึง ธันวาคม 2558 และตลอดช่วงเดือนมกราคม ถึง กุมภาพันธ์ 2559 ตามลำดับ

3. ศึกษาและออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพภายใต้ข้อจำกัดด้านพื้นที่ภายในโรงปั๊มตัวถังของบริษัทโตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง)

4. ศึกษาและกำหนดแนวทางเพื่อลดปัญหาเฉพาะปัญหาเม็ด เนื่องจากเป็นปัญหาหลักของสายการผลิตในปัจจุบันของบริษัท ภายในโรงปั๊มตัวถัง

5. ศึกษาและกำหนดแนวทางเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาแตก เนื่องจากเป็นแผ่นเหล็กที่ผ่านกระบวนการอบชุบ ภายในโรงปั๊มตัวถัง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โรงปั๊มตัวถัง มีกระบวนการเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กก่อนเข้ากระบวนการผลิต

2. โรงปั๊มตัวถัง สามารถลดของเสียที่เกิดจากวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพ โดยเฉพาะปัญหาเม็ด และปัญหาแตก ซึ่งเป็นปัญหาหลักของสายการผลิตและปัญหาร้ายแรงของบริษัท ตามลำดับ

3. โรงปั๊มตัวถัง สามารถลดค่าใช้จ่ายอื่น ๆ อันเนื่องมาจากการผลิตของเสีย อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบใหม่ ค่าแรงพนักงาน และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่างๆ เป็นต้น

4. โรงปั๊มตัวถัง สามารถส่งมอบชิ้นงานที่มีคุณภาพให้กับกระบวนการถัดไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานศึกษาได้ทำการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งด้านหลักการ ด้านการบริหารการผลิตและวิธีการวิเคราะห์กระบวนการ ปัญหาและสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ รวมถึงการควบคุมคุณภาพและกระบวนการในการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องนี้ได้นำเสนอเฉพาะที่นำมาใช้กับปริญญานิพนธ์เท่านั้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. แผนภาพกระบวนการ (Process Chart)
2. การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม (Engineering Quality Control)
3. แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)
4. ความสูญเสีย 7 ประการ (7 wastes)
5. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)
6. การศึกษาเวลา (Time Study)
7. กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP)
8. หลักการและทฤษฎีการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning, SLP)
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภาพกระบวนการ

แผนภาพกระบวนการ (Process Chart) คือการสร้างแผนภาพกระบวนการผลิตทั้งกระบวนการเป็นส่วนสำคัญในการที่จะหาสาเหตุของปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้น จึงต้องทำการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตโดยละเอียดทุกขั้นตอน เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยการระดมสมอง (Brainstorm) ในส่วนของผู้ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งหมด เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนทั้งกระบวนการผลิต ทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นในทุกๆขั้นตอนของกระบวนการหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่อง

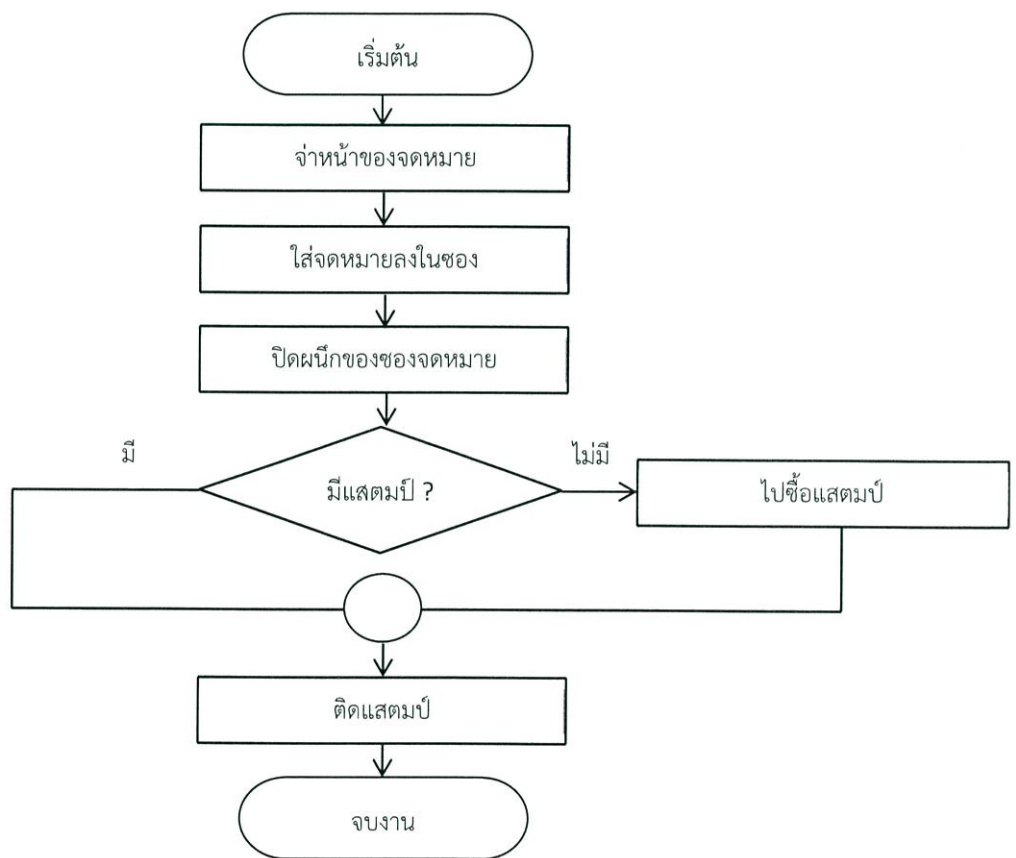
ในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ การสร้างแผนภาพการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ถูกซ่อนอยู่ภายในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) โดยแผนภาพกระบวนการที่ใช้ที่นำมาใช้กับปริญญานิพนธ์ คือแผนภาพกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) จะง่ายต่อการเข้าใจ แผนภาพจะแสดงให้เห็นว่า ขั้นตอนในกระบวนการสอดคล้องกัน ทำให้แผนภูมิการไหลเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการสื่อสารระหว่างกระบวนการทำงานและการจัดเก็บเอกสารอย่างชัดเจนสำหรับงานที่จะทำ นอกจากนี้การทำแผนที่กระบวนการในรูปแบบกราฟการไหลจะช่วยให้สามารถชี้แจงความเข้าใจของกระบวนการและช่วยปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น (บริษัทอิเล็กทรอนิกส์ คอมเมอร์ซ, 2559)

แผนภูมิการไหลถูกสร้างขึ้นจากสามประเภทหลักของสัญลักษณ์

1. วงรีซึ่งมีความหมายเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของกระบวนการ
2. สี่เหลี่ยมซึ่งแสดงคำแนะนำหรือการดำเนินการ
3. สี่เหลี่ยมข้าวหลามตัดซึ่งแสดงการตัดสินใจ

ภายในแต่ละสัญลักษณ์ที่เขียนลงสิ่งที่แสดงให้เห็นนี้อาจเป็นจุดเริ่มต้นหรือจบของกระบวนการ ดำเนินการหรือการตัดสินใจที่จะทำ โดยใช้ลูกศรแสดงการไหลของกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแผนภูมิการไหล (ศรายุทธ ไชยวงศ์, 2555)

2.2 การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม

การควบคุมคุณภาพ คือการบริหารงานในด้านการควบคุมวัตถุดิบ และการควบคุมการผลิต เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จออกมามีข้อบกพร่องและเสียหายได้ ซึ่งคำว่าคุณภาพ คือ ความถูกต้องตรงตามความต้องการของผู้ใช้ทั้งข้อกำหนดและมาตรฐาน หลักใหญ่ของเทคนิคการ สร้างคุณภาพ จำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติไว้อย่างชัดเจน ด้วยการ รวบรวมข้อมูลมาเป็นแนวทางในการวิเคราะห์การตัดสินใจ ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้กับปรัชญา 7 อย่างเป็นอยู่ 7 อย่างได้แก่

1. ใบตรวจสอบ (Check Sheet) ใบตรวจสอบมีลักษณะส่วนใหญ่เป็นกระดาษเพื่อใช้กรอกรายละเอียดเพื่อทราบถึงสภาพของข้อมูล ซึ่งมีระบุถึงรายละเอียดการตรวจสอบ เช่น ลักษณะหรือหมายเลขของผลิตภัณฑ์ลักษณะ ของการวัดตรวจสอบ จำนวนที่ตรวจสอบ แนวทางการจัดทำใบตรวจสอบได้แก่

- ช่วยให้สามารถเก็บข้อมูลได้ครบถ้วน ตรงตามวัตถุประสงค์การนำไปใช้งาน
- ช่วยให้เก็บรวบรวมข้อมูลที่สะดวกง่าย และถูกต้องแม่นยำ
- ช่วยให้อ่านข้อมูลแล้วเข้าใจทันที สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้โดยสะดวก

2. ฮิสโตแกรม (Histogram) ฮิสโตแกรมเป็นแผนภูมิที่แสดงความถี่ของสิ่งที่เกิดขึ้น ในลักษณะกราฟแท่งสี่เหลี่ยม เพื่อแจกแจงข้อมูล (Data Stratification) อันเป็นแนวทางสู่การแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง ซึ่งจากการแจกแจงข้อมูลทำให้ทราบถึงคุณสมบัติใดๆ ของข้อมูลที่ต้องการขั้นตอนในการจัดทำฮิสโตแกรม ได้แก่การเก็บรวบรวมข้อมูลและกำหนดช่วงที่ต้องการของข้อมูลโดยกำหนดค่าแต่ละช่วงเพื่อให้ครอบคลุมค่าของข้อมูลที่เก็บได้จากนั้นแจกแจงข้อมูลตามช่วงที่กำหนด เพื่อดูความถี่ของข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงต่างๆ การรวบรวมข้อมูลอย่างถูกต้องเหมาะสม เป็นกิจกรรมที่จำเป็นในขั้นตอน เพื่อที่จะช่วยให้ทราบถึงปัญหา ในการที่จะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานั้นได้อย่างถูกต้องต่อไป

3. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) แผนภูมิพาเรโตเป็นแผนภูมิที่แสดงว่า มูลเหตุใดสำคัญที่สุด ซึ่งเริ่มจากการใช้ใบตรวจสอบ เก็บข้อมูลแล้วจำแนกข้อมูลเป็นหมวดหมู่ตามสาเหตุต่าง ๆ และทำการจัดอันดับข้อมูลที่มีความถี่สูงสุด จนถึงต่ำสุดเพื่อพิจารณาเลือกการแก้ปัญหา การจัดทำแผนภูมิพาเรโตทำได้โดยการนำ ปรัชญาการแก้ปัญหา (หรือสาเหตุ) ทั้งหลาย มาแยกประเภทหรือแจกแจงให้เป็นกลุ่ม แล้วเรียงลำดับตามค่าของข้อมูลจากมากไปหาน้อยในแนวนอน และแสดงค่าความมากน้อยด้วยความสูง ของกราฟแท่งและแสดงค่าสะสมด้วยกราฟเส้นประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโต ได้แก่

- เพื่อบ่งชี้ว่าปัญหา หรือสาเหตุประเภทใดมีความสำคัญ
- เพื่อใช้แสดงขนาดและลำดับความสำคัญของปัญหาหรือสาเหตุแต่ละประเภท
- เพื่อใช้แสดงว่าปัญหาหรือสาเหตุแต่ละประเภทมีขนาดคิดเป็นอัตราส่วนเท่าใดจากทั้งหมด

4. แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยจะชอกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป (นवल สวัสดิ์, 2556)

2.3 แผนผังแสดงสาเหตุและผล

แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) หรืออาจเรียกในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรืออาจรู้จักในชื่อของแผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอริุ อิชิกาวา แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว

เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล

1. เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา
2. เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่น ๆ เพราะว่าโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการ ทำผังก้างปลาแล้ว จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น
3. เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางใน การระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

วิธีการสร้างแผนผังแสดงสาเหตุและผล

1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

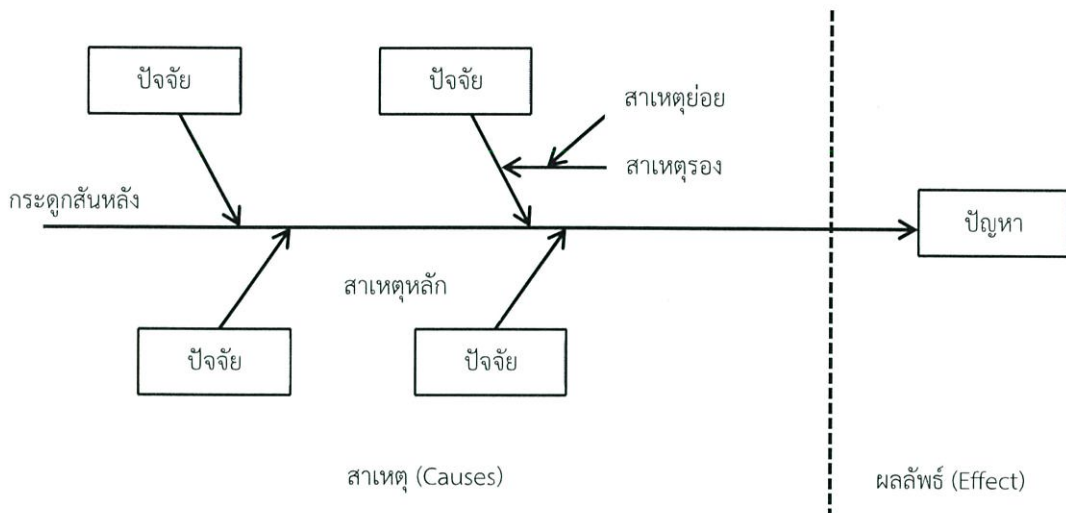
การกำหนดปัจจัยบนก้างปลา

เราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก

M - Man	คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร
M - Machine	เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
M - Material	วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
M - Method	กระบวนการทำงาน
E - Environment	อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

การกำหนดหัวข้อปัญหา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ ซึ่งหากกำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกแล้ว จะทำให้ใช้เวลามากในการค้นหา สาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำแผนผังแสดงสาเหตุและผล ซึ่งการกำหนดปัญหาจะกำหนดที่หัวข้อปลา เช่น อัตราของเสีย อัตราชั่วโมงการทำงานของคนที่ไม่มีประสิทธิภาพ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ หรืออัตราต้นทุนต่อสินค้าหนึ่งชิ้น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบเทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงาม คือ การถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างย่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ข้อดี

1. ไม่ต้องเสียเวลาแยกความคิดต่าง ๆ ที่กระจัดกระจายของแต่ละสมาชิก แผนภูมิก้างปลาจะช่วยรวบรวมความคิดของสมาชิกในทีม
2. ทำให้ทราบสาเหตุหลัก ๆ และสาเหตุย่อย ๆ ของปัญหา ทำให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ถูกวิธี

ข้อเสีย

1. ความคิดไม่อิสระเนื่องจากมีแผนภูมิก้างปลาเป็นตัวกำหนดซึ่งความคิดของสมาชิกในทีมจะมารวมอยู่ที่แผนภูมิก้างปลา
2. ต้องอาศัยผู้ที่มีความสามารถสูง จึงจะสามารถใช้แผนภูมิก้างปลาในการระดมความคิด

(เอกชัย ทายิดา และวนัส พลราช, 2555)

2.4 ความสูญเสีย 7 ประการ

ความสูญเสีย (7 Wastes) คือ สิ่งที่สูญเปล่าไปในกระบวนการผลิตโดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆ แต่กลับทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง ความสูญเปล่าสังเกตได้จากสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ด้วยคุณภาพ ต้นทุนการผลิตสูง ใช้เวลาผลิตนาน มีของเสียมาก วัสดุอุปกรณ์สูญหายบ่อยหรือใช้พนักงานมากเกินไปจนจำเป็น ความสูญเปล่ามี 7 ประการ ดังนี้ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2546)

2.4.1 ความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตเกินจำเป็น

ความสูญเปล่าเนื่องจากการผลิตเกินจำเป็น (Overproduction) คือ การผลิตสินค้าในปริมาณมากเกินไปจนจำเป็นหรือผลิตไวล่วงหน้าเป็นเวลานาน มาจากแนวความคิดดั้งเดิมที่ต้องการให้แต่ละกระบวนการผลิตจะต้องผลิตชิ้นงานออกมาให้มากที่สุด เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำสุดโดยไม่ได้คำนึงว่าจะทำให้มีงานระหว่างทำ (Work in Process, WIP) จึงทำให้กระบวนการผลิตขาดความยืดหยุ่น หรือเมื่อแต่ละสถานงานที่อยู่ในสายงานการผลิตเดียวกันจำเป็นต้องทำงานต่อเนื่องกันไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างสมดุลก็จะเกิดงานระหว่างทำการผลิต ยิ่งมีมากก็จะทำให้งานระหว่างทำในกระบวนการผลิตมากขึ้นไปด้วย

ปัญหาจากการผลิตมากเกินไป

1. เสียเวลาและแรงงานไปในการผลิตที่ยังไม่จำเป็น
2. เสียพื้นที่ในการจัดเก็บ WIP
3. เกิดการขนย้าย
4. ของเสียไม่ได้รับการแก้ไขทันที
5. ต้นทุนจม
6. ปิดบังปัญหาการผลิต

การปรับปรุง

1. บำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีสภาพพร้อมผลิตตลอดเวลา
2. ลดเวลาการตั้งเครื่องจักร โดยศึกษาเวลาในการตั้งเครื่องจักร จากนั้นทำการปรับปรุง
3. ปรับปรุงขั้นตอนที่เป็นคอขวด (Bottle Neck) ในกระบวนการ เพื่อลดรอบเวลาการผลิต
4. ผลิตในปริมาณและเวลาที่ต้องการเท่านั้น
5. ฝึกให้พนักงานมีทักษะหลายอย่าง

2.4.2 ความสูญเปล่าเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง

ความสูญเปล่าเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory) คือ การซื้อวัสดุครั้งละจำนวนมากเพื่อรับประกันว่าจะมีวัสดุสำหรับการผลิตเพียงพอตลอดเวลาหรือสั่งซื้อวัสดุตามปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดในกรณีมีส่วนลดด้านราคา ส่งผลให้มีปริมาณวัสดุอยู่ในคลังมากเกินไปจนความต้องการใช้งานอยู่เสมอ

จึงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อการควบคุมดูแลรักษา ค่าพื้นที่จัดเก็บ และค่าแรงต่างๆ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

ปัญหาจากการเก็บวัสดุคงคลัง

1. ใช้พื้นที่จัดเก็บมาก
2. ต้นทุนจม
3. วัสดุเสื่อมคุณภาพ (หากระบบการควบคุมวัสดุคงคลังไม่ดีพอ)
4. สั่งซื้อซ้ำซ้อน (หากระบบการควบคุมวัสดุคงคลังไม่เพียงพอ)
5. ต้องการแรงงานและการจัดการมาก

การปรับปรุง

1. กำหนดระดับในการจัดเก็บ มีจุดสั่งซื้อที่ชัดเจน
2. ควบคุมปริมาณวัสดุโดยใช้เทคนิคการควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control)
3. ใช้ระบบเข้าก่อนออกก่อน (First in First out) เพื่อป้องกันไม่ให้มีวัสดุค้างเป็นเวลานาน
4. วิเคราะห์หาวัสดุทดแทน (Value Engineering) ที่สามารถสั่งซื้อได้ง่ายมาใช้งานเพื่อลดปริมาณวัสดุที่ต้องทำการจัดเก็บ

2.4.3 ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง

ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation) คือ การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการกับกระบวนการ โรงงานหนึ่งไปอีกโรงงานหนึ่ง หรือการขนส่งขนย้ายชั่วคราว ณ ที่ใดที่หนึ่ง ถ้าการบริหารจัดการและควบคุมการขนส่งไม่เหมาะสม จะทำให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้น เช่น การขนถ่ายวัสดุซ้ำซ้อน เลือกเส้นทางการขนส่งไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องควบคุมและลดระยะทางการขนส่งวัสดุให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น เพราะการขนส่งเป็นกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม ส่งผลให้เสียเวลา และเสียแรงงาน

ปัญหาจากการขนส่ง

1. ต้นทุนในการขนส่ง ได้แก่ เชื้อเพลิง แรงงาน
2. เสียเวลาในการผลิต
3. วัสดุเสียหายหากวิธีการขนส่งไม่เหมาะสม
4. เกิดอุบัติเหตุหากขาดความระมัดระวังในการขนส่ง

การปรับปรุง

1. วางผังเครื่องจักรใหม่ จัดลำดับเครื่องจักรให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน เพื่อลดระยะทางขนส่ง
2. ลดการขนส่งซ้ำซ้อน
3. ใช้อุปกรณ์ขนถ่ายที่เหมาะสม

4. ลดปริมาณชิ้นงานในการขนส่งแต่ละครั้ง เพื่อให้สามารถส่งงานไปให้ขั้นตอนต่อไปได้เร็วขึ้น
ไม่ต้องเสียเวลารอนาน

2.4.4 ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว

ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion) คือ การเคลื่อนไหวด้วยท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม เช่น ต้องเอื้อมหยิบของที่อยู่อีกไกลตัว ก้มตัวยกของหนักที่วางอยู่บนพื้น หรือการทำงานกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่มีขนาด น้ำหนักและสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมกับร่างกายของผู้ปฏิบัติงานเป็นระยะเวลานาน จะทำให้เกิดความเมื่อยล้าต่อร่างกาย และยิ่งก่อให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

ปัญหาจากการเคลื่อนไหว

1. เกิดระยะทางในการเคลื่อนที่ทำให้สูญเสียเวลาในการผลิต
2. เกิดความล้าและความเครียด
3. เกิดอุบัติเหตุ
4. เสียเวลาและแรงงานในการทำงานที่ไม่จำเป็น

การปรับปรุง

1. ศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion Study) เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานให้เกิดการเคลื่อนไหวน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุดตามหลักกายศาสตร์ (Ergonomics) เท่าที่จะทำได้
2. จัดสภาพการทำงาน (Working Condition) ให้เหมาะสม
3. ปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานให้เหมาะสมกับสภาพร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน
4. ทำอุปกรณ์ช่วยในการจับยึดชิ้นงาน (Jig, Fixtures) เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวก รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2.4.5 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป

ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตมากเกินไป (Excess Processing) คือ การมีขั้นตอนการผลิตที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็นหรือกระบวนการผลิตที่มีการทำงานซ้ำกันหลายขั้นตอนเกินความจำเป็นจะทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิต เพราะงานเหล่านั้นไม่ทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มกับผลิตภัณฑ์ รวมทั้งกระบวนการผลิตที่ไม่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น

ปัญหาจากกระบวนการผลิต

1. เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็นของการทำงาน
2. สูญเสียพื้นที่การทำงานสำหรับกระบวนการนั้นๆ
3. ใช้เครื่องจักรและแรงงานโดยไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์

การปรับปรุง

1. วิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยใช้ Operation Process Chart
2. ใช้หลักการ 5W1H เพื่อวิเคราะห์ความจำเป็นของแต่ละกระบวนการ
3. หากกระบวนการทดแทนที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ของงานอย่างเดียวกัน

2.4.6 ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย

ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Waiting) คือ การที่เครื่องจักรหรือพนักงานหยุดทำงานเนื่องจากต้องรอคอยปัจจัยการผลิต เช่น วัตถุดิบ ชิ้นส่วน เครื่องจักรขัดข้อง จัดสายงานการผลิตไม่สมดุล การเปลี่ยนรุ่นผลิต เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การผลิตเป็นไปด้วยความล่าช้าไม่เต็มกำลังการผลิตและการส่งมอบสินค้าอาจไม่ทันกำหนด

ปัญหาจากการรอคอย

1. ต้นทุนที่สูญเสียของแรงงาน เครื่องจักร และค่าเสียหาย ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม
2. เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส
3. เกิดปัญหาเรื่องขวัญและกำลังใจ

การปรับปรุง

1. จัดวางแผนการผลิต วัตถุดิบและลำดับการผลิตให้ดี
2. บำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา
3. จัดสรรงานให้มีความสมดุล
4. วางแผนขั้นตอนการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตและจัดสรรกำลังคนให้เหมาะสม
5. เตรียมเครื่องมือที่จะใช้ในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้พร้อมก่อนหยุดเครื่อง
6. ใช้อุปกรณ์เพื่อช่วยให้เกิดความสะดวกในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต

2.4.7 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย

ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (Defects) คือ การทำงานที่ไม่มีคุณภาพจะทำให้มีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการ ต้นตอหลักๆของความไม่มีคุณภาพได้แก่ คนที่ไม่มีความชำนาญ และไม่มีจิตสำนึกด้านคุณภาพ เครื่องจักรขาดการดูแลมีการเสื่อมสภาพ และวัตถุดิบที่ไม่มีคุณภาพ ไม่มีการควบคุมผู้จัดส่งวัตถุดิบที่ตีพ้อ ไม่มีการตรวจรับเข้า หรือตรวจเป็นพิธี ปัจจัยเหล่านี้ย่อมทำให้เกิดของเสียในกระบวนการมากมายที่จะต้องนำกลับไปทำใหม่ หรือ ซ่อม หรือลดเกรดขายถูกๆ หรือไม่ก็ทิ้ง เป็นความสูญเสียทั้งสิ้น ทำให้ภาพลักษณ์ขององค์กรเสียหาย ขาดความน่าเชื่อถือในคุณภาพของสินค้า (Top of Quality, 1996)

ปัญหาจากการผลิตของเสีย

1. ต้นทุนวัตถุดิบ เครื่องจักร แรงงาน สูญเปล่าไปโดยเปล่าประโยชน์
2. สิ้นเปลืองสถานที่ในการจัดเก็บและกำจัดของเสีย
3. เกิดการทำงานซ้ำเพื่อแก้ไขงาน
4. เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส

การปรับปรุง

1. มีมาตรฐานของงานและมาตรฐานของวัตถุดิบที่ถูกต้อง
2. พนักงานต้องปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามมาตรฐานตั้งแต่แรก
3. พยายามปรับปรุงอุปกรณ์ที่สามารถป้องกันการดำเนินงานที่ผิดพลาด (Poka -Yoke)
4. ฝึกให้พนักงานมีจิตสำนึกทางด้านคุณภาพ
5. ให้มีการตอบสนองข้อมูลทางด้านคุณภาพอย่างรวดเร็วในทุกขั้นตอนการผลิต (Quick Response System)

2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) คือ เทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระเป็นแบบจัดกลุ่ม ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (ผ่องอำไพ เสนแสง, 2559)

ข้อเด่นของ ANOVA

1. สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของประชากรได้พร้อมกันมากกว่า 2 ประชากร ซึ่งถ้าเราใช้ t-test จะทำได้มากที่สุดแค่ 2 ประชากรเท่านั้น
2. สามารถวิเคราะห์ได้มากกว่า 1 ปัจจัย (Factor) ซึ่ง t-test จะทำได้เพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความเร็ว (Speed) ความกด (Pressure)
3. สามารถใช้วิเคราะห์เพื่อให้เห็นผลกระทบซึ่งกันและกันของปัจจัยต่างๆ (Interaction) ได้ด้วย

ข้อกำหนดของ ANOVA

1. ข้อมูลของทุกๆประชากร จะต้องมีการกระจายของข้อมูลแบบปกติ (Normal Distribution) เท่านั้น
2. ค่าความผันแปร (Variation) ของข้อมูล แต่ละประชากรจะต้องไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เท่านั้น

2.5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One - way ANOVA) ใช้สำหรับทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่มขึ้นไป เพื่อตรวจสอบตัวแปรอิสระ 1 ตัว แบ่งออกเป็น k ประเภท จะส่งผลแตกต่างกันหรือไม่ โดยแต่ละกลุ่มควรมีสมาชิกที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน โดยมีขั้นตอนการคำนวณแบ่งออกได้ดังนี้

1. กำหนดตัวแปรอิสระ 1 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว ซึ่งตัวแปรตามจะเป็นผลที่ผู้ทดลองสังเกตได้

2. ตั้งสมมติฐาน $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ

3. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

4. คำนวณผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The Sum of Square)

- Total Sum of Squares (SS_T) หาได้จาก

$$SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (2.1)$$

- Between-Groups Sum of Squares (SS_B)

$$SS_B = \sum_{j=1}^K \left(\frac{X_{ij}^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_B = \sum_{j=1}^K n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad (2.2)$$

- Within - Groups Sum of Squares (SS_W)

$$SS_W = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^K \left(\frac{X_{ij}^2}{n_j} \right) \quad \text{หรือ} \quad SS_W = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (2.3)$$

กำหนดให้

T = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n_j = จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

K = จำนวนกลุ่ม

X_{ij} = ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

\bar{X}_j = ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม j

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยรวม

$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกค่าในทุกกลุ่ม

ค่า SS_T หรือ SS_B และ SS_W เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึงความแปรปรวน (Mean of Square : MS) โดยมี $df_T = N - 1$, $df_B = K - 1$ และ $df_W = N - K$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด และ K คือจำนวนกลุ่ม

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 ค่าขึ้นไปนั้นจะใช้ $F - test$ สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวนี้ ค่า F หาได้จากอัตราส่วนความแปรปรวนโดยหาจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (SS_B) หารด้วยความแปรปรวนภายในกลุ่ม (SS_W) ซึ่งมีค่า $df = K - 1$ (Degree of Freedom for the Numerator) และ $df_L = N - K$ (Degree of Freedom for the Denominator) การหาค่า $F - test$ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สูตรการคำนวณ One-way ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F
Between groups	SS_B	$K - 1$	$SS_B / K - 1$	MS_B / MS_W
Within groups	SS_W	$N - K$	$SS_W / N - K$	
Total	$SS_B + SS_W$	$N - 1$		

- นำค่า F ที่ได้จากการคำนวณไปเทียบกับค่าวิกฤตซึ่งดูจากตารางค่าวิกฤตของ F_{α,df,df_L} จะเห็นว่าถ้า $F_{คำนวณ} > F_{วิกฤต}$ จึงจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_a นั้นหมายความว่าปัจจัยที่ทำการทดสอบนั้นๆ ส่งผลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α กล่าวได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างปัจจัยอย่างน้อย 1 คู่ที่ทำให้ค่าตัวแปรตามแตกต่างกัน (รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, 2552)

2.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two - way ANOVA) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนมี 2 ตัวประกอบจะใช้กับตัวแปรอิสระ 2 ตัวพร้อมกัน โดยต้องการศึกษาผลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่มีต่อตัวแปรตาม และศึกษาปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างตัวแปรอิสระสองตัวนั้น โดยมีขั้นตอนการคำนวณแบ่งออกได้ดังนี้

1. กำหนดตัวแปรอิสระ 2 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว ซึ่งตัวแปรตามจะเป็นผลที่ผู้ทดลองสังเกตได้หรือวัดได้

2. ตั้งสมมติฐานสำหรับสองตัวแปรอิสระ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_A : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

3. กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

4. คำนวณผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The Sum of Square)

- Total Sum of Squares (SS_T) หาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (2.4)$$

- Treatments-Groups Sum of Squares (SS_A)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \left(\frac{X_{i.}^2}{b} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (2.5)$$

- Blocks- Groups Sum of Squares (SS_B)

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \left(\frac{X_{.j}^2}{a} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (2.6)$$

- Error- Groups Sum of Squares (SS_E)

$$SS_E = SS_T - SS_{Treatments} - SS_{Blocks} \quad (2.7)$$

กำหนดให้

T = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด ($a \times b$)

a = จำนวนระดับของวิธีปฏิบัติการ

b = จำนวนระดับของกลุ่ม

X_{ij} = ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่ม

ค่า SS_A หรือ SS_B และ SS_E เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึงความแปรปรวน (Mean of square : MS) โดยมี $df_A = a - 1$, $df_B = b - 1$ และ $df_E = df_T - df_{\text{Treatments}} - df_{\text{Blocks}}$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 ค่าขึ้นไปนั้นจะใช้ F - test สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางนี้ การหาค่า F - test สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สูตรการคำนวณ Two-way ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F
Factor A	SS_A	$a - 1$	$SS_A / a - 1$	MS_A / MS_E
Factor B	SS_B	$b - 1$	$SS_B / b - 1$	MS_B / MS_E
Error	SS_E	df_E	SS_E / df_E	
Total	SS_T	$N - 1$		

- นำค่า F ที่ได้จากการคำนวณไปเทียบกับค่าวิกฤตซึ่งดูจากตารางค่าวิกฤตของ F_{a-1, df_E} (F_{b-1, df_E}) จะเห็นว่าถ้า $F_{\text{คำนวณ}} > F_{\text{วิกฤต}}$ จึงจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_a นั้นหมายความว่าปัจจัยที่ทำการทดสอบนั้นส่งผลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α กล่าวได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างปัจจัยอย่างน้อย 1 คู่ที่ทำให้ค่าตัวแปรตามแตกต่างกัน (รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, 2552)

2.6 การศึกษาเวลา

การศึกษาเวลา (Time Study) คือเทคนิคการวัดผลงาน ซึ่งมีกระบวนการเพื่อกำหนดหาเวลาในการทำงานโดยคนงานที่เหมาะสมซึ่งทำงานในอัตราที่ปกติ ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานในการวัดผลงาน โดยมีผลลัพธ์ของการวัดผลงานเรียกว่า “เวลามาตรฐาน” (วันชัย ริจิรวนิช, 2548)

ประโยชน์ของการศึกษาเวลา

1. ใช้ข้อมูลเวลาที่ได้ในการจัดตารางการทำงาน และวางแผนการทำงาน
2. ใช้ในการคำนวณต้นทุนมาตรฐาน และใช้ในการจัดเตรียมงบประมาณ
3. ใช้ประมาณต้นทุนของผลิตภัณฑ์ล่วงหน้าก่อนการผลิตจริง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจด้านราคา

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4. ใช้คำนวณประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรจำนวนเครื่องจักรที่คนงานหนึ่งคน สามารถควบคุมได้และใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ

5. ใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดค่าแรงจูงใจ (Wage Incentive) สำหรับแรงงานทางตรง และทางอ้อม

ขั้นตอนการศึกษาเวลา

1. การเลือกงานที่จะศึกษา และเลือกคนงานที่เหมาะสม

2. แบ่งงานที่จะศึกษาออกเป็นงานย่อย (Elements) พร้อมกับบันทึกรายละเอียดการทำงานอย่างสมบูรณ์ โดยงานย่อยทุกงานควรมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่แน่นอน

3. ทำการสังเกตและจับเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของงานย่อย

4. นำข้อมูลเบื้องต้นที่ได้มาคำนวณจำนวนครั้งที่ต้องจับเวลา

5. ทำการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของคนงานหรือค่าประเมินอัตราความเร็ว ซึ่งสามารถหาได้จากหลายวิธี แต่ละวิธีได้รับความนิยมมากน้อยแตกต่างกันไป วิธีการประเมินต่างๆมีดังนี้

- Skill & Effort Rating
- Westinghouse System of Rating
- Synthetic Rating
- Objective Rating
- Physiological Evaluation of Performance Level
- Performance Rating

1. คำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time)

$$\text{เวลาปกติ (NT)} = \text{เวลาเฉลี่ย} \times \text{ค่าประเมินอัตราความเร็ว} \quad (2.8)$$

2. คำนวณหาเวลาลดหย่อนหรือค่าเผื่อ (Allowable Time) แบ่งออกได้เป็นสามส่วนดังนี้

- ค่าเผื่อส่วนบุคคล = 5% ของเวลาการทำงานสำหรับผู้ชาย และ 7% ของเวลาการทำงานสำหรับผู้หญิง

- ค่าเผื่อจากความเครียดตามลักษณะ ได้แก่ ค่าเผื่อความเครียดพื้นฐาน (Basic Fatigue Allowance) เป็นค่าคงที่สำหรับงานทั่วไป องค์การแรงงานระหว่างประเทศหรือ ILO ได้กำหนดไว้ที่ 4% และค่าเผื่อความเครียดแปรผัน (Variable Fatigue Allowance) จะแปรผันตามลักษณะของงาน ได้แก่ การยืน ท่าทางการทำงานที่ผิดปกติ น้ำหนักที่กระทำ สภาพแวดล้อมการทำงาน ความซ้ำซากของงาน

- ค่าเผื่อของความล่าช้าสำหรับงานนั้น

3. คำนวณหาเวลามาตรฐาน (Standard Time)

$$\text{เวลามาตรฐาน (ST)} = \text{เวลาปกติ} + \text{ค่าเผื่อ}$$

$$\text{หรือ } \text{เวลามาตรฐาน (ST)} = \text{เวลาปกติ} + \left(\frac{\%AF}{100} \times \text{เวลาปกติ} \right) \quad (2.9)$$

2.7 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดย ศาสตราจารย์ โทมัส ซาตตี้ (Thomas Saaty) เมื่อ ค.ศ. 1970 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจของผู้บริหาร

ซึ่งมีหลักการด้วยการแบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็น 4 ชั้น คือ การกำหนดเป้าหมาย กำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจหลัก กำหนดเกณฑ์ในการตัดสินใจรอง และกำหนดทางเลือกตามลำดับ แล้วจึงวิเคราะห์หาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบเกณฑ์ในการคัดเลือกทางเลือกทีละคู่ เพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจว่าเกณฑ์ไหนสำคัญกว่ากัน ด้วยการให้คะแนนตามความสำคัญหรือตามความชอบ หลังจากให้คะแนนเพื่อจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์แล้ว จึงพิจารณาวิเคราะห์ทางเลือกทีละคู่ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ทีละเกณฑ์จนครบทุกเกณฑ์ ถ้าการกำหนดความสำคัญหรือความชอบนั้นสมเหตุสมผล (Consistency) จะสามารถจัดลำดับทางเลือกเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดได้

เทคนิค AHP นำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่าง ๆ มากมาย เช่น การตัดสินใจเกี่ยวกับการดำเนินงานทางธุรกิจ ได้แก่ การสั่งซื้อวัตถุดิบ การเลือกทำเลที่ตั้งสถานประกอบการ การกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด การเลือกพื้นที่จัดตั้งนิคมอุตสาหกรรม การจัดลำดับความสามารถของพนักงาน การประเมินทางเลือกของสายอาชีพ การสำรวจทัศนคติของพนักงาน เป็นต้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

1. กำหนดประเด็นปัญหา

ผู้ตัดสินใจต้องให้คำจำกัดความของปัญหาและกำหนดประเด็นหลักอย่างถ่องแท้และสร้างสรรค์ รวมทั้งต้องหาคำประกอบที่เกี่ยวข้องกับปัญหาให้มากที่สุดทั้งส่วนที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม สิ่งที่สำคัญที่สุดจะต้องกล่าวยอมรับว่าปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริงมีความสลับซับซ้อน ต้องพยายามหลีกเลี่ยงสมมติฐานที่ไม่เป็นจริงหรือไม่ถูกต้อง และระมัดระวังไม่ให้เกิดความลำเอียงหรืออคติกับทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งจนเกินไป

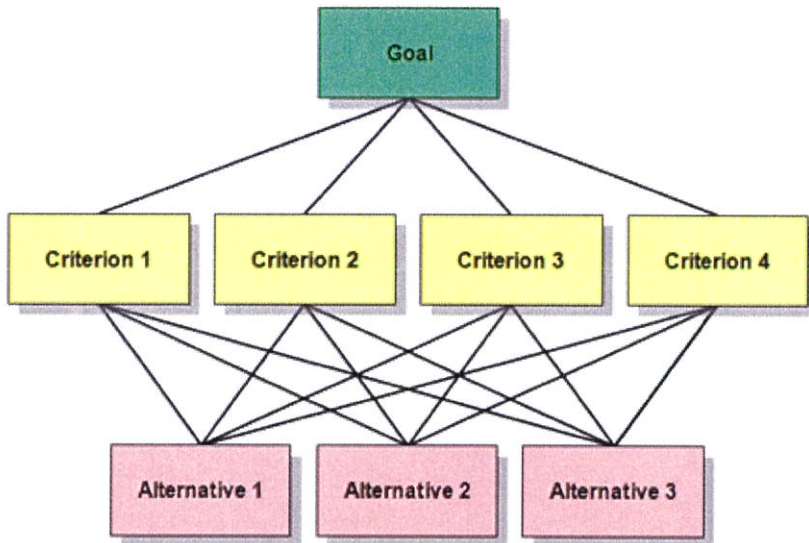
2. สร้างแผนภูมิลำดับชั้น

แผนภูมิลำดับชั้นของการวิเคราะห์ตามลำดับชั้นเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ช่วยในการตัดสินใจ โดยมีโครงสร้างของแผนภูมิลำดับชั้น ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจที่มีลักษณะเป็นระดับชั้น แต่จำนวนระดับชั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของการตัดสินใจ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ระดับชั้นที่ 1 แสดงเป้าหมายในการตัดสินใจ
- ระดับชั้นที่ 2 แสดงเกณฑ์ในการตัดสินใจหลัก ซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่ต้องการ
- ระดับชั้นที่ 3 แสดงเกณฑ์ในการตัดสินใจรอง ซึ่งมีไว้อธิบายเกณฑ์ในการตัดสินใจหลักให้ชัดเจน

มากยิ่งขึ้น แต่จะมีจำนวนเท่าไรขึ้นอยู่กับความชัดเจนของเกณฑ์ในการตัดสินใจหลัก ในบางกรณีไม่จำเป็นต้องมีก็ได้ถ้าเกณฑ์ในการตัดสินใจหลักมีความชัดเจนเพียงพอแล้ว

- ระดับชั้นที่ 4 แสดงทางเลือกสำหรับการตัดสินใจเพื่อเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เป้าหมายที่กำหนด



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภูมิลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Sander, 2007)

3. คำนวณลำดับความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ

การจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจจะทำได้โดยการเปรียบเทียบแบบคู่ (Pair Wise Comparison) และวิธีการที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบแบบคู่คือ เมตริกซ์ ซึ่งจะช่วยอธิบายเกี่ยวกับการเปรียบเทียบแล้ว ยังสามารถใช้ทดสอบความสอดคล้องกันของเกณฑ์ในการตัดสินใจได้อีกด้วย โดยจะเริ่มวิเคราะห์จากลำดับชั้นบนสุดของแผนภูมิลำดับชั้นซึ่งเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจหลัก และพิจารณาเปรียบเทียบลำดับชั้นถัดลงมาจนกระทั่งถึงลำดับชั้นล่างสุดตามลำดับ

การเขียนเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบคู่ (เมตริกซ์ A) จะมีรูปแบบดังนี้

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

กำหนดให้ a_{ij} = ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบคู่
 เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, n$
 n = จำนวนเกณฑ์ในการตัดสินใจ

และหาผลรวมของระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์ในการตัดสินใจของแถวตั้งที่ j สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$a_j = \sum a_{ij} \quad (2.11)$$

4. ปรับระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์ในการตัดสินใจ (Normalization)
 โดยการเอาตัวเลขในแต่ละช่องของแถวตั้งหารด้วยผลรวมของแต่ละแถวตั้งจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Normalize} = \frac{a_{ij}}{a_j} \quad (2.12)$$

กำหนดให้ a_{ij} = ระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ i กับเกณฑ์ที่ j
 a_j = ผลรวมของระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์ในการ
 ตัดสินใจของแถวตั้งที่ j

เมื่อคำนวณระดับความสำคัญที่ปรับค่าแล้วในการเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ i กับเกณฑ์ที่ j ครบทุกช่อง
 แล้วก็นำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ปรับค่าระดับความสำคัญแบบคู่ของเกณฑ์ในการตัดสินใจ

5. คำนวณลำดับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวนอนของ
 เมตริกซ์ปรับค่าระดับความสำคัญแบบคู่ของเกณฑ์ในการตัดสินใจ เมื่อคำนวณครบทุกแถวนอนแล้วก็นำมา
 เขียนเป็นเมตริกซ์ลำดับความสำคัญ (เมตริกซ์ V) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{pmatrix} \quad (2.13)$$

6. คำนวณลำดับความสำคัญของทางเลือกโดยการเปรียบเทียบแบบคู่ผ่านเกณฑ์ในการตัดสินใจที่
 ละเกณฑ์ หลังจากได้พิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ในการตัดสินใจแล้ว โดยมีขั้นตอนเริ่มจาก
 เปรียบเทียบระดับความสำคัญของทางเลือกทีละคู่ผ่านเกณฑ์ในการตัดสินใจทีละเกณฑ์ แล้วนำมาเขียน
 เป็นเมตริกซ์เปรียบเทียบทางเลือกแบบคู่ (เมตริกซ์ B) ซึ่งจะได้เมตริกซ์ B ทั้งหมดจำนวน n ชุด หรือ
 เท่ากับจำนวนเกณฑ์ในการตัดสินใจ

$$B = \begin{pmatrix} 1 & b_{12} & \dots & b_{1j} \\ b_{21} & 1 & \dots & b_{2j} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

กำหนดให้ b_{ij} = ผลการเปรียบเทียบทางเลือกในการตัดสินใจแบบคู่
 เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, n$
 n = จำนวนทางเลือกในการตัดสินใจ

7. ปรับระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละทางเลือก (Normalization) โดยการเอาตัวเลขในแต่ละช่องของแถวตั้งหารด้วยผลรวมของแต่ละแถวตั้งจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Normalize} = \frac{b_{ij}}{b_j} \quad (2.15)$$

กำหนดให้ b_{ij} = ระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบทางเลือกที่ i กับทางเลือกที่ j
 เมื่อ $i = 1, 2, \dots, m$ และ $j = 1, 2, \dots, m$
 b_j = ผลรวมของระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบแต่ละทางเลือกของแถวตั้งที่ j

8. คำนวณลำดับความสำคัญของทางเลือกผ่านเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ละเกณฑ์ โดยการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวของเมตริกซ์ปรับระดับความสำคัญแบบคู่ของทางเลือก เมื่อคำนวณครบทุกแถวของเมตริกซ์แล้วก็นำมาเขียนเป็นเมตริกซ์ลำดับความสำคัญของทางเลือก (เมตริกซ์ W) ซึ่งจะได้เมตริกซ์ W ทั้งหมดจำนวน n ชุด หรือเท่ากับจำนวนเกณฑ์ในการตัดสินใจ

$$W = \begin{pmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ \dots \\ W_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

โดยที่ m = เกณฑ์ในการพิจารณา หรือ ปัจจัย
 n = ทางเลือก

9. ทดสอบว่าผลการเปรียบเทียบแบบคู่ของเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ได้ดำเนินการมาแล้วมีความสอดคล้องกัน โดยเริ่มจากคำนวณหาผลคูณระหว่างเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบแบบคู่ (เมตริกซ์ A) และเมตริกซ์ลำดับความสำคัญ (เมตริกซ์ W) โดยผลคูณของเมตริกซ์ A และ W เรียกว่า เมตริกซ์ $A.W$

$$A.W = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ \dots \\ W_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.17)$$

10. คำนวณหาค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลทุกตารางเพื่อทำการวัดความสอดคล้องด้วยการเปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจเป็นรายคู่ในรูปของเมตริกซ์ และโทมัส สาดตี้ ได้กำหนดค่า CR ทางทฤษฎีตามขนาดเมตริกซ์ที่แตกต่างกันเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่า CR จากการคำนวณ ถ้า CR มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ หรือปัจจัยมีความสอดคล้องกัน แต่ถ้า CR มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าข้อมูลไม่มีความสอดคล้องกันต้องทำการประเมินใหม่ สามารถคำนวณหาค่า CR ได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.18)$$

โดยที่

CI = Consistency Index of A

$$= \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

RI = Random Consistency of A

$$= \frac{1.98(n - 2)}{n}$$

กำหนดให้

n_{max} คือค่าที่หาได้จากผลรวมของสมาชิกเมตริกซ์ A.W

n คือจำนวนเกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับการพิจารณาเปรียบเทียบกัน

(ยิ่ง n_{max} เข้าใกล้ n มากขึ้น Matrix A จะมี Consistency มากขึ้น)

11. เมื่อได้ทำการวิเคราะห์และประเมินทางเลือกต่าง ๆ แล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่งเพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเพียงทางเลือกเดียว ซึ่งค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือกจะคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ค่าน้ำหนักรวมของทางเลือก } B_1 = V_1 W_{11} + V_2 W_{12} + \dots + V_n W_{1n}$$

$$\text{ค่าน้ำหนักรวมของทางเลือก } B_2 = V_1 W_{21} + V_2 W_{22} + \dots + V_n W_{2n}$$

...

$$\text{ค่าน้ำหนักรวมของทางเลือก } B_i = V_1 W_{m1} + V_2 W_{m2} + \dots + V_n W_{mn} \quad (2.19)$$

เลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการพิจารณาจากค่าน้ำหนักรวมของทางเลือกที่สูงสุดเป็นลำดับแรก (วนิดา ผลากุล, 2553)

2.8 การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ

การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) เป็นกระบวนการวางผังโรงงานที่มุ่งเน้นไปที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างสถานีหรือกิจกรรมต่างๆ ว่าควรมีการจัดวางใกล้กันหรือไม่ แล้วพิจารณาระดับความใกล้ชิดของแต่ละสถานีที่ละคู่จนครบทุกคู่ โดยพยายามให้สถานีต่างๆ มีภาระงานที่สมดุลกัน ซึ่งเป็นแนวทางในการลดระยะทางและลดเวลาในการขนย้ายวัสดุให้น้อยลงช่วยให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น ขณะเดียวกันก็ยังสามารถผลิตสินค้าได้ตรงกับความต้องการ หลักการ SLP ถูกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการวางผังโรงงานในหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่พบ

ขั้นตอนการ SLP สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลต่างๆจาก PQRSST เช่น มีการผลิตอะไร ปริมาณเท่าใด รูปแบบวิธีการ สิ่งอำนวยความสะดวกใช้เวลาเท่าใด เป็นต้น

2. วิเคราะห์การไหลของวัสดุร่วมกับความสัมพันธ์ของกิจกรรม เช่นการใช้บุคลากรหรือเครื่องมือร่วมกัน ทำให้แผนกจะต้องอยู่ใกล้กัน หรือเรื่องเหตุผลด้านความปลอดภัย ค่าที่ใช้วัดการไหลอาจเป็นค่าความสัมพันธ์ใกล้ชิด (Closeness Relationship) ในเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณ ซึ่งพัฒนาโดย Muther กำหนดให้มีค่าความสัมพันธ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์การไหลของวัสดุร่วมกับความสัมพันธ์ของกิจกรรมเชิงคุณภาพ

ค่า	ความใกล้ชิด (ระดับความสัมพันธ์)
A	จำเป็นที่สุดที่ต้องอยู่ใกล้กัน (มีระดับความสัมพันธ์มากที่สุด)
E	จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอยู่ใกล้กัน (มีระดับความสัมพันธ์มาก)
I	มีความสำคัญจึงต้องอยู่ใกล้กัน (มีระดับความสัมพันธ์)
O	ใกล้ชิดกันธรรมดา (มีระดับความสัมพันธ์น้อย)
U	ไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้กัน (มีระดับความสัมพันธ์น้อยที่สุด)
X	ไม่ต้องการให้อยู่ใกล้กัน (ไม่มีระดับความสัมพันธ์)

3. สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ มีขั้นตอนประกอบด้วย เขียนหน่วยงานทั้งหมดบนผังความสัมพันธ์สำรวจหรือสัมภาษณ์ความคิดเห็นของบุคคลฝ่ายต่างๆ ในแผนกที่เกี่ยวข้อง กำหนดเกณฑ์ที่ใช้สำหรับการกำหนดค่าอัตราความใกล้ชิดหรือในรูปของเหตุผลของค่าความสัมพันธ์บนผังความสัมพันธ์ และกำหนดค่าความสัมพันธ์และเหตุผลสำหรับทุกคู่ของแผนกต่างๆ

ตารางที่ 2.4 การกำหนดค่าความสัมพันธ์ตามความสัมพันธ์ของกิจกรรมเชิงคุณภาพ

ค่า	ระดับความสัมพันธ์	ค่าความสัมพันธ์
A	มีระดับความสัมพันธ์มากที่สุด	4
E	มีระดับความสัมพันธ์มาก	3
I	มีระดับความสัมพันธ์	2
O	มีระดับความสัมพันธ์น้อย	1
U	มีระดับความสัมพันธ์น้อยที่สุด	0
X	ไม่มีระดับความสัมพันธ์	-1

4. สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ของเนื้อที่ (Space Relationship Diagram)
5. พิจารณาปรับปรุงแก้ไขตามข้อจำกัดจะได้แบบแผนผังที่เป็นไปได้ และเลือกแผนที่ดีที่สุด (บุญประภา ชาญอุตม และรัตนา สิทธิบัลลังก์, 2550)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พนกฤษณ คลังบุญครองและณัฐพจน์ ฝ่ายบุญ (2558) การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการก่อสร้างสถานีขนส่งผู้โดยสารต่อเนื่องหลายรูปแบบ จังหวัดหนองคาย โดยใช้วิธี Fuzzy Multiattribute Decision Making Method (FMADM) ได้ศึกษาความเหมาะสมในการก่อสร้างสถานีขนส่งผู้โดยสารต่อเนื่องหลายรูปแบบเบื้องต้นขึ้น เพื่อเตรียมความพร้อมและการเข้าสู่เป็นสมาชิกประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ภายในจังหวัดหนองคาย หนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการศึกษา คือ กระบวนการคัดเลือกพื้นที่ที่จะก่อสร้างเป็นสถานีขนส่งผู้โดยสาร ต่อเนื่องหลายรูปแบบโดยได้ประยุกต์ใช้วิธี “กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์” (Analytic Hierarchy Process, AHP) และวิธี Fuzzy Multiattribute Decision Making Method (FMADM) ในการพิจารณา การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม โดยจะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ปัจจัยด้านวิศวกรรม ปัจจัยด้านเศรษฐกิจและการลงทุน และปัจจัยด้าน สิ่งแวดล้อมและสังคม และยังมีปัจจัยย่อยอีกหลายปัจจัย พื้นที่ที่มีศักยภาพ และความเหมาะสมในการก่อสร้างเป็นสถานีขนส่งผู้โดยสารต่อเนื่องหลายรูปแบบ ได้แก่สถานีรถไฟหนองคาย ซึ่งมีค่าคะแนนเท่ากับ 0.790

จุฑามาศ อินทร์แก้ว (2556) การวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งสาขา กรณีศึกษา หจก. เอส เอส ค้าไม้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการขยายตัวของอุตสาหกรรมค้าไม้และวัสดุ ก่อสร้างของจังหวัดสุราษฎร์ธานี ผู้บริหารของธุรกิจจึงต้องการขยายสาขาเพิ่มขึ้น และต้องการวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งแห่งใหม่ที่เหมาะสม เพื่อให้ธุรกิจมียอดขายที่เพิ่มขึ้น โดยเป็นการรักษากลุ่มลูกค้าเดิมและเพิ่มลูกค้าใหม่ด้วย ผู้วิจัยจึงได้นำเอากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy

Process, AHP) มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานหรือการตัดสินใจในด้านต่างๆที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ยังเป็นกระบวนการที่ไม่สลับซับซ้อน สามารถแสดงถึงลำดับความสำคัญของเกณฑ์และทางเลือกซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ และยังสามารถวัดความสอดคล้องของการตัดสินใจได้ โดยทำการรวบรวมข้อมูลการตัดสินใจของผู้ตอบแบบสอบถามในฝ่ายบริหาร ทั้ง 5 ท่าน เมื่อพิจารณาน้ำหนักความสำคัญที่ผู้ตัดสินใจให้แก่ทางเลือกแล้ว พบว่า อันดับที่ 1 คือ อำเภอพุนพิน อันดับที่ 2 คือ อำเภอกาญจนดิษฐ์ อันดับที่ 3 คือ อำเภอบ้านตาขุน อันดับที่ 4 คือ อำเภอเกาะสมุย อันดับที่ 5 คือ อำเภอไชยา

จุฬพล วิเชียรศิลป์ และคณะ (2557) การใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการฝัง กลบขยะมูลฝอย กรณีศึกษาอำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการฝังกลบขยะมูลฝอยของอำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์และเพื่อศึกษาความคิดเห็นของชุมชนในท้องถิ่นต่อพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแห่งใหม่ วิจัยดำเนินการวิจัย โดยการวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านกายภาพ และคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งมี 10 ปัจจัย โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ หรือ AHP ในการเปรียบเทียบน้ำหนักของปัจจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ 4 คน เนื่องจากปัจจัยแต่ละประเภทมีอิทธิพลต่อพื้นที่ที่เหมาะสมไม่เท่ากัน แบ่งพื้นที่ที่เหมาะสมได้เป็น 5 ระดับ คือ เหมาะสมมากที่สุด เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และไม่เหมาะสม ผลการวิจัยพบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมมากที่สุดในการฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอลำปลายมาศ จังหวัด บุรีรัมย์ มีเนื้อที่ 54.302 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 33,938.868 ไร่ และประชากรที่ตอบ แบบสอบถามเห็นด้วย ให้มีการสร้างพื้นที่ฝังกลบขยะมากที่สุดจำนวน 1 แห่งจากทั้งหมด 4 แห่งได้แก่ บริเวณตำบลหนองบัวโคก พิกัด 271254E 1658041N ซึ่งมีพื้นที่ 4.25 ตารางกิโลเมตร ห่างจากเทศบาลตำบลปลายมาศประมาณ 7 กิโลเมตร

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เลือกจะทำการวิจัยโดยใช้วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ หรือ AHP มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายนอกจากนี้ยังเป็นกระบวนการที่ไม่สลับซับซ้อนและสามารถแสดงถึงลำดับความสำคัญของเกณฑ์และทางเลือกได้อย่างชัดเจน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการดังกล่าวเข้ามาใช้ในการเลือกทำเลที่ตั้งสถานที่จัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กกรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) เพื่อให้ได้พื้นที่ที่ดีที่สุดในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กเพื่อลดปัญหาด้านคุณภาพของชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในการจัดทำปฏิญานพันธเรื่อง การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กในสายการผลิตโรงปิ้งตัวถัง ภาณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) ฉบับนี้มีวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. การศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน
2. การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง
3. การวิเคราะห์ปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา
4. การดำเนินการแก้ไขปัญหา

3.1 การศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันของระบบการรับ การจัดเก็บ การตรวจสอบและการส่งมอบวัตถุดิบไปยังสายการผลิตของบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) และสามารถสรุปการศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

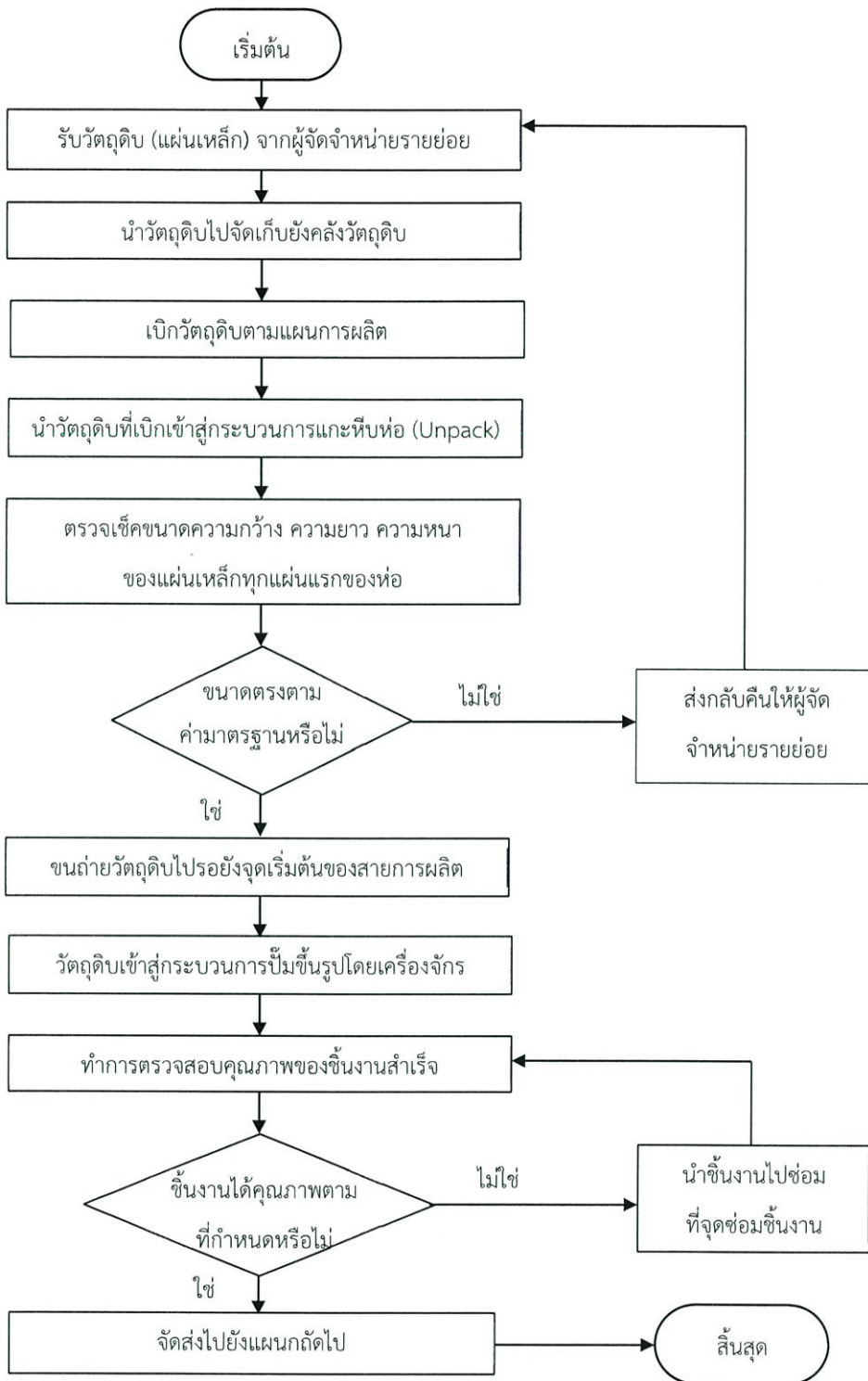
ก. การศึกษาสายการผลิตภายในโรงปิ้งตัวถัง

โรงปิ้งตัวถังจะแบ่งการทำงานออกเป็น 6 หน่วยงานใหญ่ๆ ได้แก่ หน่วยงานด้านการผลิต หน่วยงานด้านการควบคุมคุณภาพ หน่วยงานด้านการบำรุงรักษาแม่พิมพ์ หน่วยงานด้านการบำรุงรักษาเครื่องจักร หน่วยงานด้านการขนส่ง และทีมวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ

โดยหน่วยงานด้านการผลิต หมายถึง พนักงานทั้งหมดที่อยู่ตามสายการผลิตทั้งหมดที่คอยควบคุมเครื่องจักรให้ทำการผลิตชิ้นงานให้ได้จำนวนตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้และตามเวลาที่ต้องการ ซึ่งสายการผลิตในโรงปิ้งตัวถังจะแบ่งออกได้เป็น 6 สายการผลิต ได้แก่

1. สายการผลิต A0 ทำหน้าที่ปิ้งขึ้นรูปชิ้นส่วนที่เป็นโครงสร้างภายนอกของรถ (Shell Body)
2. สายการผลิต A ทำหน้าที่ปิ้งขึ้นรูปชิ้นส่วน 2 ประเภทคือชิ้นส่วนที่เป็นทั้งโครงสร้างภายนอกและโครงสร้างภายในของรถ (Shell Body and Main Body)
3. สายการผลิต B ทำหน้าที่ปิ้งขึ้นรูปชิ้นส่วนที่เป็นโครงสร้างภายในของรถ (Main Body)
4. สายการผลิต H ทำหน้าที่ปิ้งขึ้นรูปชิ้นส่วนบริเวณช่วงล่างของรถกระบะ (Chassis)
5. สายการผลิต 2000 Tons ทำหน้าที่ปิ้งขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงสร้างด้านล่างรถ (Frame)
6. สายการผลิต Small Machine ทำหน้าที่ปิ้งขึ้นรูปชิ้นส่วนขนาดเล็กทั้งหมด

ข. การศึกษากระบวนการทำงานภายในโรงบ่มตัวถังทั้งหมด



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานภายในโรงบ่มตัวถังตั้งแต่รับวัตถุดิบจนถึงการตรวจสอบชิ้นงานสำเร็จ

จากรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานภายในโรงบีบตัวถังทั้งหมดโดยเริ่มจากการรับวัตถุดิบจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยซึ่งเป็นแผ่นเหล็กที่ถูกตัดมาเรียบร้อยแล้วและห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นมาเก็บไว้ยังคลังวัตถุดิบ หลังจากนั้นจะมีการเบิกวัตถุดิบตามแผนการผลิตมายังจุดที่ทำการแกะห่อพลาสติก (Unpack) แล้วทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาของแผ่นเหล็กเฉพาะแผ่นแรกของห่อนั้นๆ ว่าได้ค่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ หากไม่ได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด จะมีการส่งวัตถุดิบคืนไปให้ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยและรอการจัดส่งวัตถุดิบใหม่ แต่หากได้ค่าตรงตามมาตรฐานก็จะถูกขนส่งไปยังจุดเริ่มต้นของสายการผลิตเพื่อเตรียมรอเข้าสู่กระบวนการบีบขึ้นรูปโดยเครื่องจักร หลังจากที่แผ่นเหล็กเข้าสู่กระบวนการบีบขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วก็จะได้ชิ้นงานที่เป็นโครงสร้างของรถกระบะ โดยจะมีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพที่จุดสุดท้ายของสายการผลิตทำการตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อค้นหาข้อบกพร่องของชิ้นงานทุกชิ้น และจะมีการสุ่มเช็คอย่างละเอียดตามจำนวนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของบริษัท หากชิ้นงานพบข้อบกพร่องก็จะนำไปยังจุดซ่อมชิ้นงานเพื่อทำการแก้ไขก่อนส่งให้แผนกถัดไป





ค. การศึกษาประเภทและลักษณะจุดบกพร่อง (Defect) บนชิ้นงาน

จากการศึกษากระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานสำเร็จพบว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายลักษณะ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสรุปปัญหาหลักๆ ออกมาดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปัญหาและรูปลักษณะของจุดบกพร่องบนชิ้นงาน

ปัญหา	ลักษณะที่พบ	รูปตัวอย่าง
1. ปัญหาเม็ด (Seed)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็ก เกิดขึ้นบริเวณผิว สามารถสังเกตเห็นได้ โดยการใช้น้ำมันก๊าซลูบบนผิวชิ้นงานแล้วทำการส่องไฟที่มีความสว่าง 2000 LUX ขึ้นไป	
2. ปัญหาขีด, แตก (Stretch, Crack)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นรอยฉีกขาด มักเกิดขึ้นบริเวณโครงสร้างชิ้นงานที่มีการขึ้นรูปเป็นลักษณะมุมหรือโค้ง ในบางกรณีจะพบเป็นลักษณะมีการยืดออกของแผ่นเหล็กซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาแตกตามมาได้	

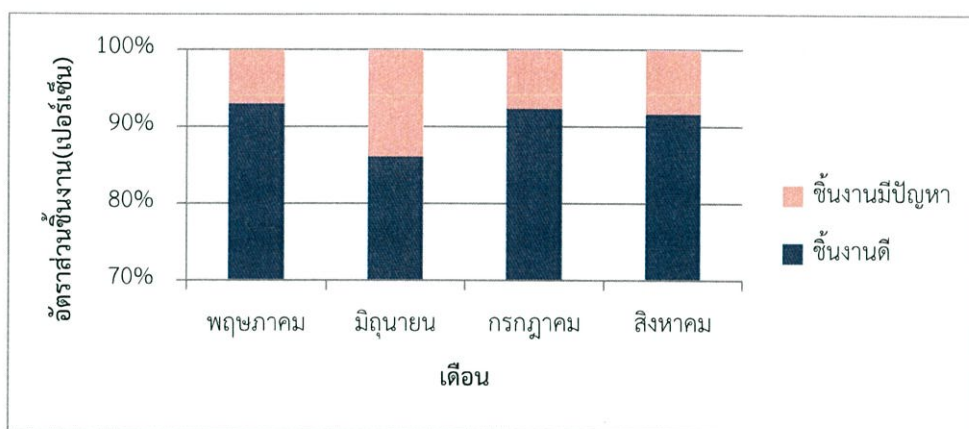
ตารางที่ 3.1 ปัญหาและรูปลักษณะของจุดบกพร่องบนชิ้นงาน (ต่อ)

ปัญหา	ลักษณะที่พบ	รูปตัวอย่าง
3. ปัญหานูน (Covex)	ชิ้นงานมีลักษณะไม่เรียบ เป็นรายนูน สามารถสังเกตได้ง่ายด้วยตาเปล่า	
4. ปัญหาบุบ (Dent)	ชิ้นงานมีลักษณะไม่เรียบ เป็นรอยบุบ สามารถสังเกตได้ง่ายด้วยตาเปล่า	
5. ปัญหาครีบ (Burr)	ชิ้นงานมีลักษณะเป็นครีบยื่นออกมาตามบริเวณขอบ มักเกิดจากสาเหตุ คมตัดของแม่พิมพ์สึกหรือระยะห่างระหว่างก้อนคมตัดมีมากเกินไป	
6. ปัญหาหย่น (Wrinkle)	ชิ้นงานมีลักษณะไม่เรียบ เป็นรอยหย่น มักเกิดตามบริเวณมุมหรือส่วนที่มีการโค้ง เว้าในการขึ้นรูป	

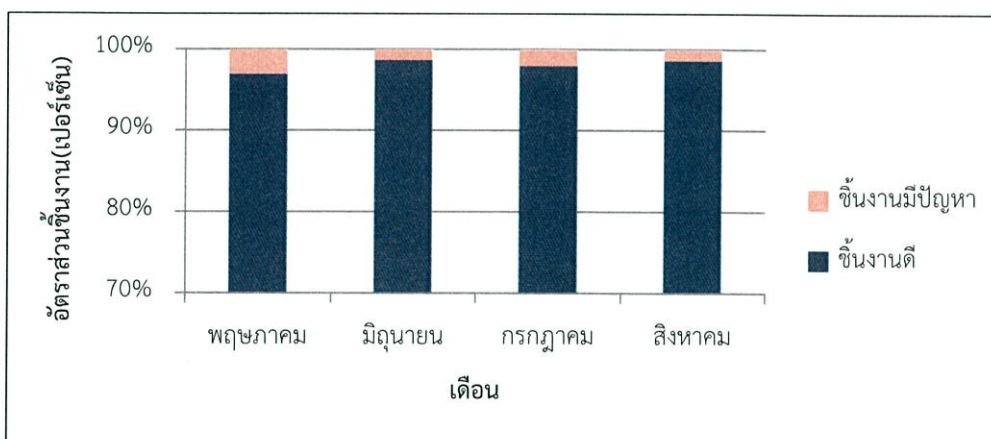
3.2 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลทางสถิติภายในโรงป้อนตัวถัง ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558 – เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 รวมเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยศึกษาเฉพาะข้อมูลของสายการผลิต A0 และ A เนื่องจากเป็นสายการผลิตที่ผลิตชิ้นงานที่ประกอบอยู่ภายนอกตัวรถทั้งหมดซึ่งจัดเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญค่อนข้างมากเนื่องจากเน้นรูปลักษณ์ความสวยงามและคุณภาพของผิวชิ้นงานเป็นหลัก โดยผู้วิจัยจำแนกข้อมูลที่จัดเก็บเป็นดังนี้

1. ข้อมูลแสดงจำนวนชิ้นงานดีและชิ้นงานที่มีปัญหาโดยรวมทุกปัญหาที่ตรวจพบของสายการผลิต A0 และ A ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 กราฟแท่งแสดงจำนวนการผลิตชิ้นส่วนโดยแบ่งแยกเป็นชิ้นส่วนดีและชิ้นส่วนที่พบข้อบกพร่องของสายการผลิต A0

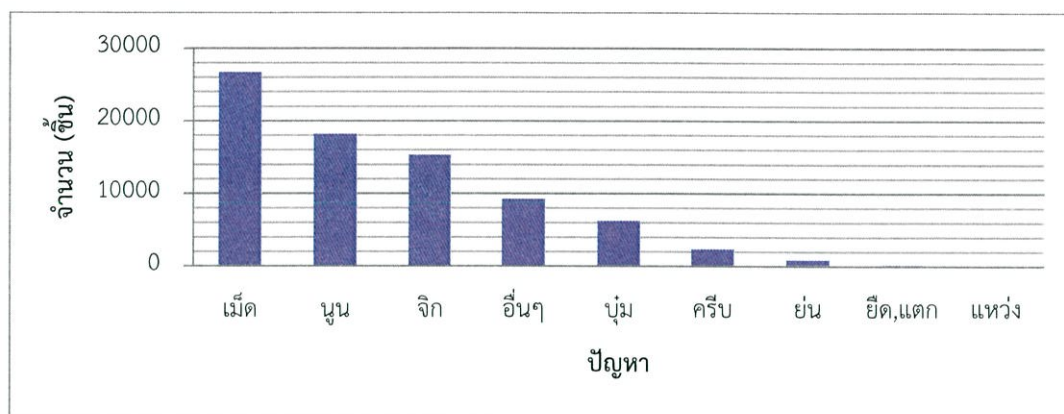


รูปที่ 3.3 กราฟแท่งแสดงจำนวนการผลิตชิ้นส่วนโดยแบ่งแยกเป็นชิ้นส่วนดีและชิ้นส่วนที่พบข้อบกพร่องของสายการผลิต A

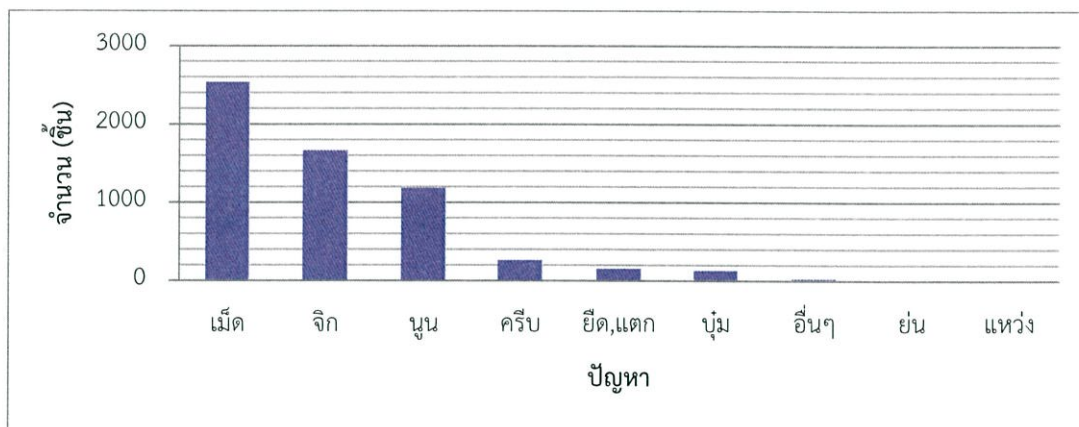
จากรูปที่ 3.2 พบว่าสายการผลิต A0 ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม มีชิ้นส่วนที่พบข้อบกพร่องทั้งหมด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 36.86 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด

จากรูปที่ 3.3 พบว่าสายการผลิต A ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม มีชิ้นส่วนที่พบข้อบกพร่องทั้งหมด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 7.82 ของจำนวนการผลิต

2. ข้อมูลแสดงจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องโดยแบ่งแยกตามลักษณะของปัญหาที่พบของสายการผลิต A0 และ A ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 กราฟแท่งแสดงจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องโดยแบ่งแยกตามลักษณะของปัญหาของสายการผลิต A0



รูปที่ 3.5 กราฟแท่งแสดงจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องโดยแบ่งแยกตามลักษณะของปัญหาของสายการผลิต A

จากรูปที่ 3.4 พบว่าจากจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องทั้งหมดในสายการผลิต A0 พบปัญหาเมล็ดมากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 33.55 ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องทั้งหมด รองลงมาคือปัญหาขนและปัญหาจิก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 22.98 และ 19.35 ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.5 พบว่าจากจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องทั้งหมดในสายการผลิต A พบปัญหาเมล็ดมากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 42.47 ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องทั้งหมด รองลงมาคือปัญหาจิกและปัญหาขน คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 27.9 และ 19.82 ตามลำดับ

จากการเก็บข้อมูลทางสถิติทั้งสายการผลิต A0 และ A ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่าในจำนวนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องทั้งหมดพบปัญหาเมล็ด (Seed) มากที่สุด และจะพบได้ว่าแม้ปัญหาแตก (Crack) จะเกิดขึ้นในสัดส่วนที่น้อยแต่ก็ถือได้ว่าเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากทำให้เกิดความสูญเสียค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบซึ่งชิ้นงานที่เสียต้องทำการทิ้งไม่สามารถซ่อมแซมแก้ไขได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายอื่นๆ อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ค่าแรงพนักงาน ฯลฯ รวมถึงชื่อเสียงของทางบริษัทที่ต้องสูญเสียไปหากมีการปล่อยให้ชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพส่งไปถึงมือลูกค้า จึงทำให้ปัญหาแตกเป็นอีกหนึ่งปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดความร้ายแรงและความสูญเสียมากที่สุด ผู้วิจัยจึงจะนำทั้ง 2 ปัญหานี้มาเพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงต่อไป

3.3 การวิเคราะห์ปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหา จะแบ่งออกเป็น 2 ปัญหา ดังนี้

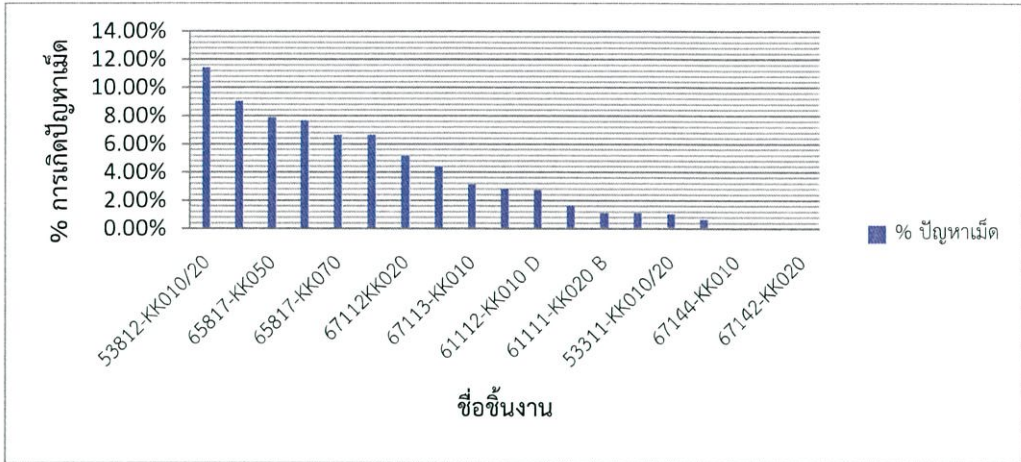
1. การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาเมล็ด
2. การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาแตก

3.3.1 การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาเมล็ด

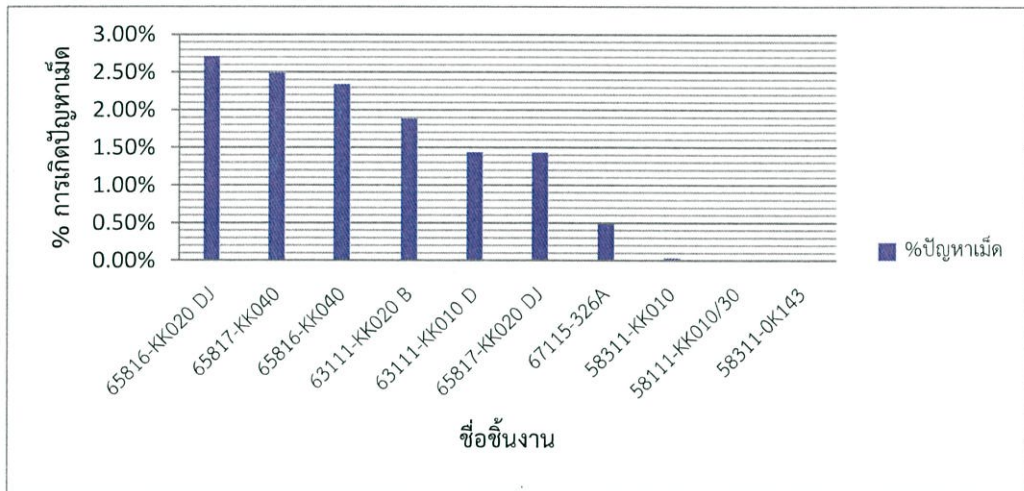
จากการเก็บข้อมูลภายในโรงงานบ่มตัวถังพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือปัญหาเมล็ด (Seed) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการสุ่มจำนวนชิ้นงานตัวอย่างมาจำนวนหนึ่งเพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเมล็ดที่เกิดจากสาเหตุใด โดยแบ่งขั้นตอนการทำการออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การคัดเลือกชิ้นงานที่จะทำการสุ่มตัวอย่าง

เนื่องจากโรงงานบ่มตัวถังมีการผลิตชิ้นงานหลายรุ่น ผู้วิจัยจึงเริ่มจากการกำหนดขอบเขตตัวอย่างชิ้นงานที่จะทำการสุ่มมาเพื่อการตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 กราฟแท่งแสดงจำนวนสัดส่วนร้อยละของชิ้นงานที่เกิดปัญหาเมล็ดของสายการผลิต A0



รูปที่ 3.7 กราฟแท่งแสดงจำนวนสัดส่วนร้อยละของชิ้นงานที่เกิดปัญหาเมล็ดของสายการผลิต A

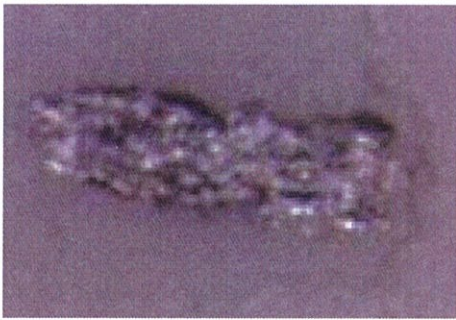
จากรูปที่ 3.6 และ 3.7 พบว่าชิ้นงานที่พบปัญหาเมล็ด (Seed) เกิดมากที่สุด ในสายการผลิต คือ ชิ้นงาน 53812-KK010/20 ซึ่งก็คือชิ้นงานในส่วนของซุ้มล้อหน้า (Front Fender) โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 11.44 ของจำนวนการผลิตชิ้นงานนั้นทั้งหมดในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ช่วงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 ผู้วิจัยจึงเลือกสุ่มจำนวนตัวอย่างจากชิ้นงานนี้ โดยทำการลงไปเก็บตัวอย่างจากชิ้นงานซุ้มล้อหน้าที่เกิดปัญหาเมล็ดภายใน 2 สัปดาห์ มาจำนวนทั้งสิ้น 45 ชิ้น เพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเมล็ดเพื่อหาสาเหตุต่อไป

2. การจัดทำตัวแบบข้อบกพร่องของปัญหา (Master Defect)

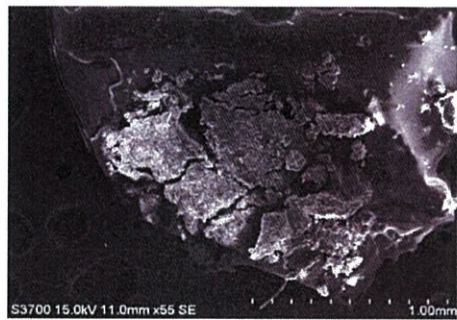
ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างของชิ้นงานที่พบปัญหาเม็ดจำนวนหนึ่ง โดยการนำแผ่นเทปใสไปติดยังบริเวณที่เกิดปัญหาเม็ดบนชิ้นงานนั้นๆ เพื่อเก็บเศษเม็ดที่หลุดลอกมาเพื่อส่งให้กับทางบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ เอเชีย แปซิฟิก เอ็นจิเนียริง แอนด์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ทำการตรวจสอบวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีมาเพื่อสร้างตัวแบบที่จะใช้ในการเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่จะทำการเก็บตัวอย่าง โดยสามารถจำแนกสาเหตุการเกิดปัญหาเม็ดออกเป็น 3 สาเหตุหลัก คือ

- เกิดจากสารเคลือบวัสดุดิบ (Material Coating)

แผ่นเหล็กทุกแผ่นก่อนเข้ากระบวนการจะมีการเคลือบด้วยสังกะสี (Zn) เพื่อเพิ่มค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศทั่วไป โดยสังกะสีที่เคลือบเหล็กจะช่วยปกป้องเหล็กจากการสัมผัสกับบรรยากาศภายนอกและยังปกป้องเหล็กไม่ให้เกิดการผุกร่อน ดังนั้นจากการตรวจสอบโครงสร้างของเม็ดหากพบว่าเม็ดที่หลุดลอกออกมานั้นประกอบด้วยธาตุสังกะสี (Zn) เป็นส่วนใหญ่ นั่นแสดงว่าปัญหาเม็ดเกิดจากกระบวนการเคลือบผิววัสดุดิบที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้สังกะสีที่เคลือบไว้เกิดการหลุดลอกส่งผลให้เกิดปัญหาเม็ดตามมาในภายหลัง โดยเปรียบเทียบลักษณะได้จากรูปที่ 3.8 (a) และ (b) และรูปที่ 3.9



(a)

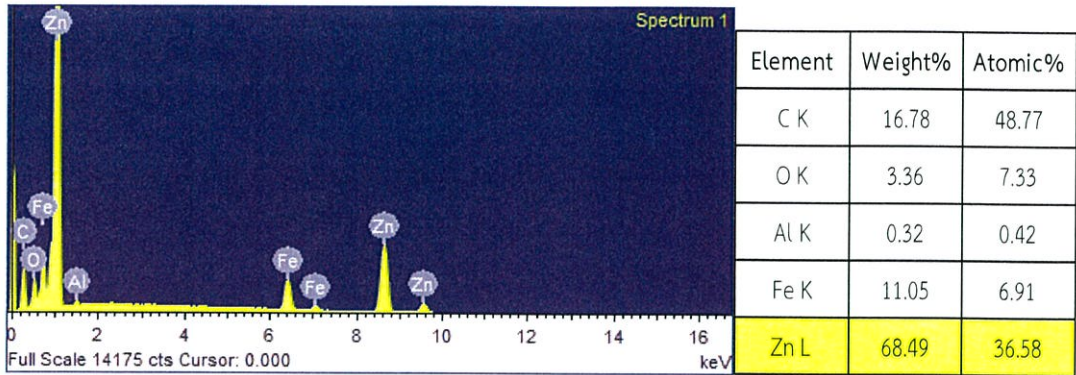


(b)

รูปที่ 3.8 (a) ตัวอย่างรูปลักษณะเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิเกิดจากการเคลือบผิววัสดุดิบไม่ได้

มาตรฐานโดยส่งจากกล้องจุลทรรศน์ และ

(b) ตัวอย่างรูปโครงสร้างภายในเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิเกิดจากการเคลือบผิววัสดุดิบไม่ได้มาตรฐาน

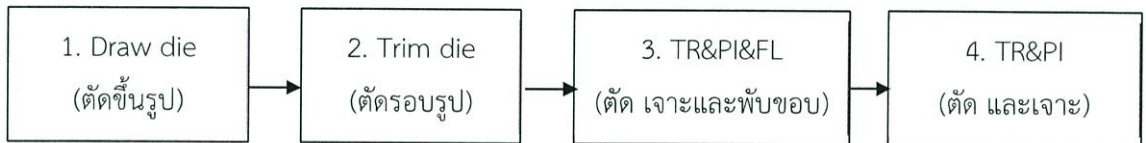


รูปที่ 3.9 กราฟและจำนวนสัดส่วนร้อยละของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเศษเม็ดกรรมิที่เกิดจากการเคลือบผิววัตถุบิไม่ได้มาตรฐาน

จากรูปที่ 3.9 พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างภายในเศษเม็ดที่เก็บมา จะพบธาตุสังกะสี (Zn) มากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 68.49 ของน้ำหนักอะตอมทั้งหมด นั้นหมายความว่าเศษเม็ดนี้หลุดออกมาจากผิวเคลือบวัตถุบิ

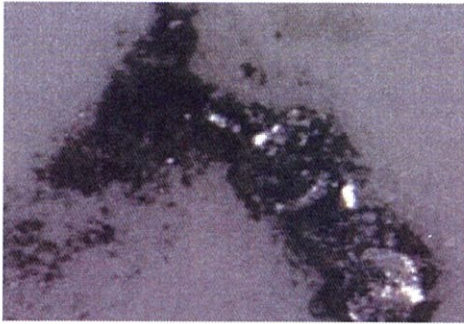
- เกิดจากแม่พิมพ์ (Die Cutting)

ในกระบวนการบิขึ้นรูปชิ้นงาน 1 ชิ้น จะต้องผ่านกระบวนการที่ประกอบด้วยเครื่องจักรจำนวน 4 เครื่อง ทำหน้าที่ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3.10

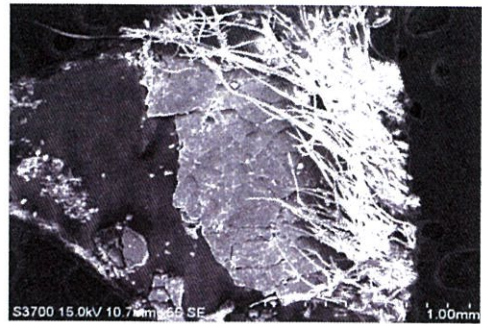


รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรทั้ง 4 เครื่อง

ซึ่งในระหว่างที่วัตถุบิสู่กระบวนการบิขึ้นรูป ตัวแม่พิมพ์อาจเกิดการสึกหรอ มีเศษเหล็กหลุดลอกออกมาติดกับวัตถุบิขณะบิทำให้เกิดปัญหาเม็ดได้ ดังนั้นจากการตรวจสอบโครงสร้างของเม็ด หากพบว่าเม็ดที่หลุดลอกออกมานั้นประกอบด้วยธาตุเหล็ก (Fe) เป็นส่วนใหญ่ นั่นแสดงว่าปัญหาเม็ดเกิดจากการหลุดลอกของแม่พิมพ์เนื่องจากการสึกหรอทำให้เหล็กของแม่พิมพ์หลุดลอกติดออกมาที่วัตถุบิส่งผลให้เกิดปัญหาเม็ดตามมาในภายหลัง โดยเปรียบเทียบลักษณะได้จากรูปที่ 3.11 (a) และ (b) และรูปที่ 3.12



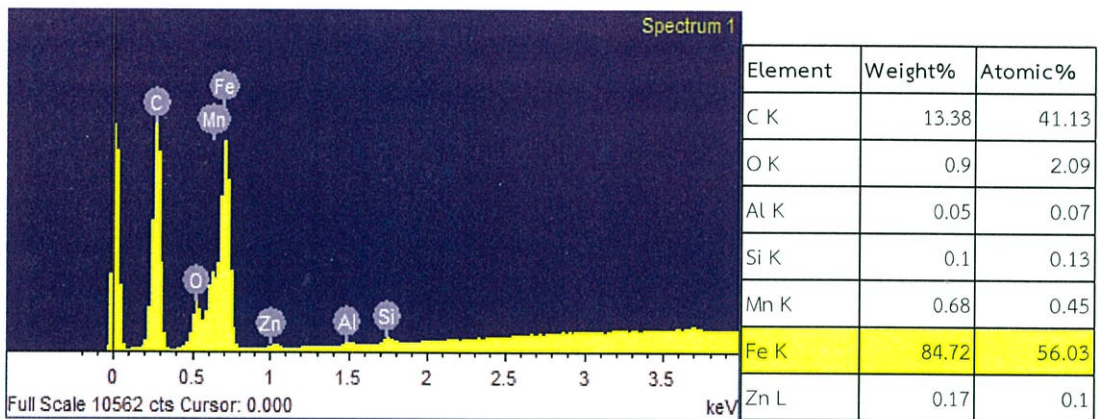
(a)



(b)

รูปที่ 3.11 (a) ตัวอย่างรูปลักษณะเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมากรณีแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ โดยส่องจากกล้องจุลทรรศน์ และ

(b) ตัวอย่างรูปโครงสร้างภายในเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมากรณีแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ



รูปที่ 3.12 กราฟและจำนวนสัดส่วนร้อยละของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเศษเม็ดกรณีแม่พิมพ์เกิดการสึกหรอ

จากรูปที่ 3.12 พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างภายในเศษเม็ดที่เก็บมา จะพบธาตุเหล็ก (Fe) มากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 84.72 ของน้ำหนักอะตอมทั้งหมด นั่นหมายความว่าเศษเม็ดนี้หลุดออกมาจากแม่พิมพ์

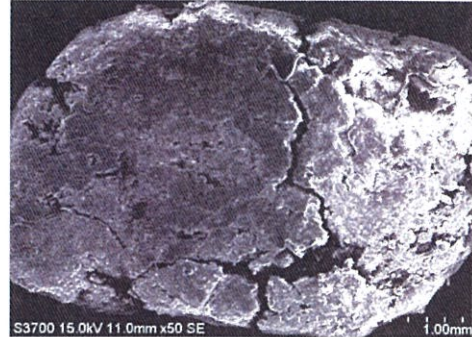
- เกิดจากปัจจัยอื่นๆ (Environment)

เนื่องจากโรงงานเป็นโรงงานค่อนข้างเปิด จึงอาจทำให้เกิดเม็ดได้จากปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆ อาทิเช่น ฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายในอากาศ เศษดินทรายที่ติดมากับล้อของรถโฟล์คลิฟท์ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ของรถโฟล์คลิฟท์ขณะขนย้ายวัตถุดิบจากจุดงานหนึ่งไปยังอีกจุดงานหนึ่งทำให้สิ่งแปลกปลอมเกิดการฟุ้งกระจายมาเกาะติดบนวัตถุดิบหรือแม่พิมพ์นำไปสู่ปัญหาการเกิดเม็ด ซึ่งปัจจัย

เหล่านี้ถือเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยากเนื่องจากข้อจำกัดของสถานที่และข้อจำกัดด้านอื่นๆ โดยสามารถเปรียบเทียบลักษณะได้จากรูปที่ 3.13 (a) และ (b) และรูปที่ 3.14

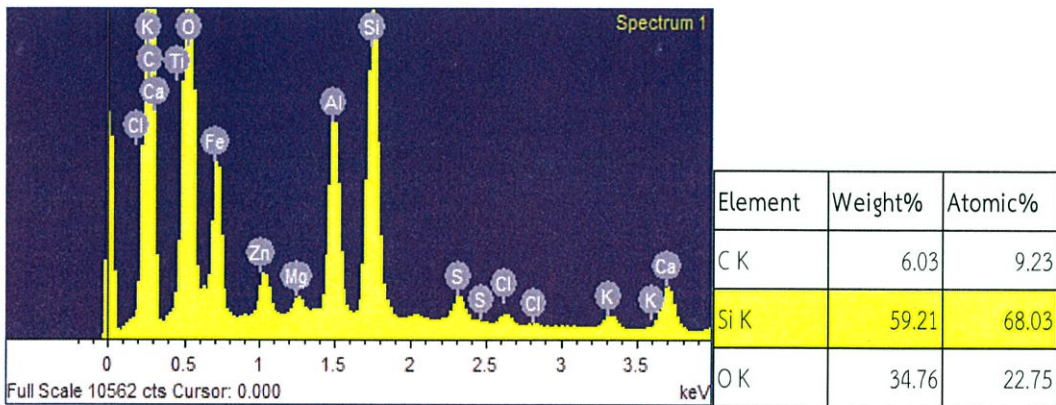


(a)



(b)

รูปที่ 3.13 (a) ตัวอย่างรูปลักษณะเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิเกิดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ อาทิเช่น ฝุ่นจากรถโฟล์คคลิพท์ เป็นต้น โดยส่องจากกล้องจุลทรรศน์ และ (b) ตัวอย่างรูปโครงสร้างภายในเศษเม็ดที่หลุดลอกออกมารณิเกิดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ

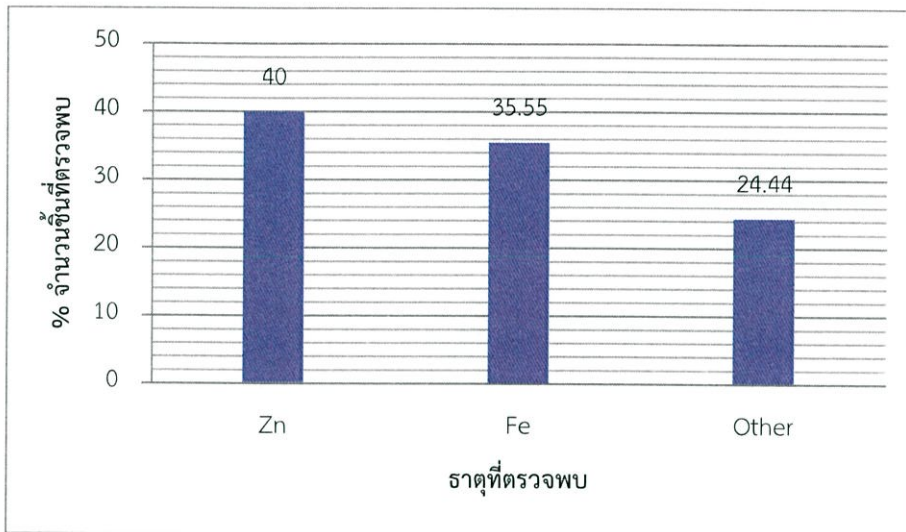


รูปที่ 3.14 กราฟและจำนวนสัดส่วนร้อยละของธาตุที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเศษเม็ดกรณิเกิดจากสภาพแวดล้อมอื่นๆ

จากรูปที่ 3.14 พบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างภายในเศษเม็ดที่เก็บมา จะพบธาตุซิลิคอน (Si) มากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 59.21 ของน้ำหนักอะตอมทั้งหมด นั้นหมายความว่าเศษเม็ดนี้หลุดออกมาจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

3. การเก็บสถิติและวิเคราะห์ปัญหา

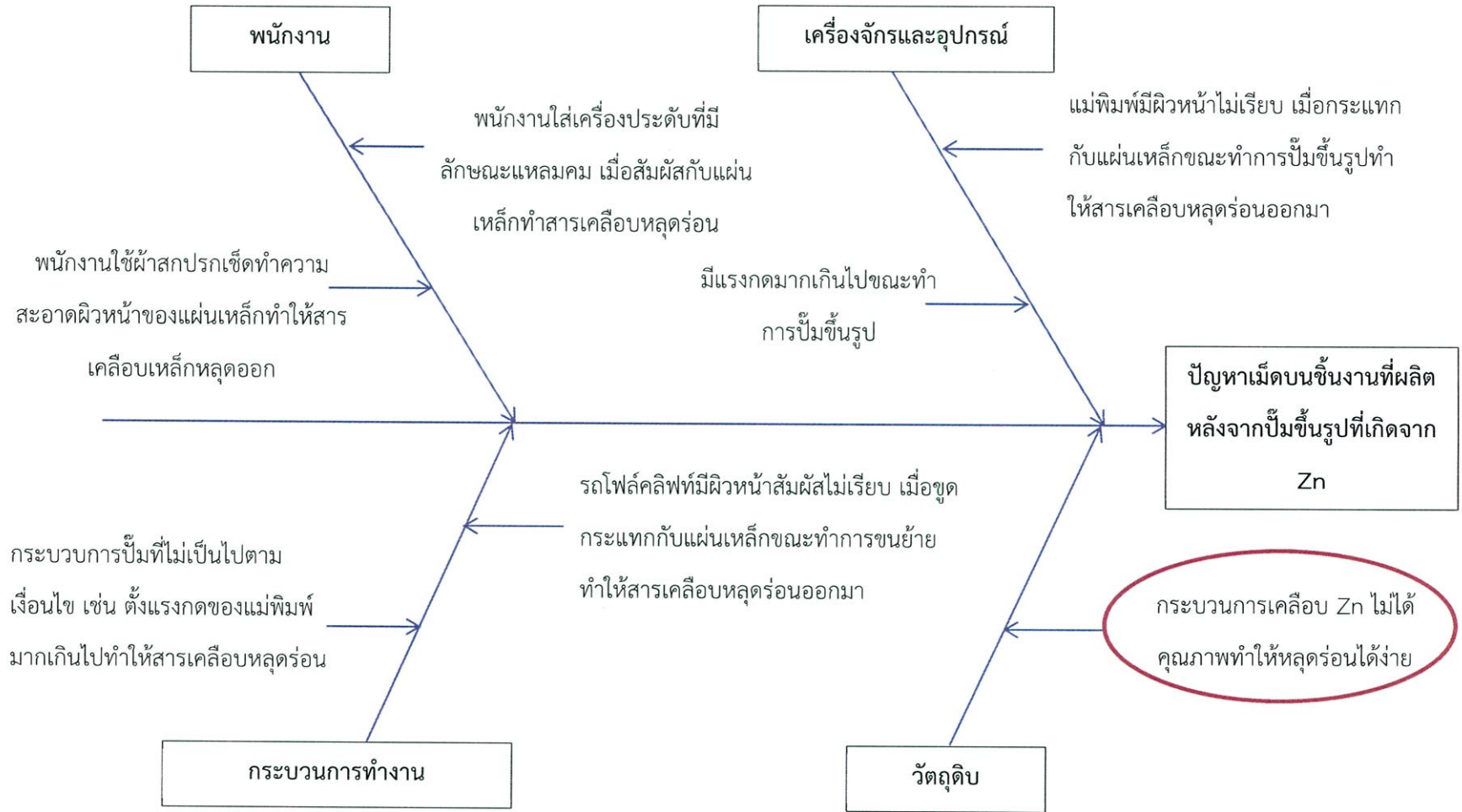
หลังจากผู้วิจัยได้ทำการลงไปเก็บข้อมูลชิ้นงานที่พบปัญหาเม็ดตามจำนวนที่คำนวณไว้ข้างต้น โดยการนำเทปกาวใสไปติดด้านหลังชิ้นงานบริเวณที่เกิดเม็ด เพื่อเก็บตัวอย่างเศษเม็ดและวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ และเปรียบเทียบกับตัวแบบข้อบกพร่องของปัญหา โดยทำการแยกตามสาเหตุที่เกิดขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 กราฟแท่งแสดงจำนวนชิ้นงานที่สุ่มตรวจโดยแบ่งตามธาตุที่ตรวจพบ

จากรูปที่ 3.15 พบว่าจากการสุ่มชิ้นงานตัวอย่างที่เกิดปัญหาเม็ดมาจำนวน 45 ชิ้นงาน เพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเม็ด พบจำนวนเม็ดที่มีสัดส่วนร้อยละของธาตุสังกะสี (Zn) มากที่สุดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 40 จากจำนวนชิ้นงานที่ตรวจทั้งหมด (18 ชิ้นใน 45 ชิ้น) รองลงมาคือธาตุเหล็ก (Fe) เป็นอัตราส่วนร้อยละ 35.55 (16 ชิ้นใน 45 ชิ้น) และธาตุอื่นๆเป็นอัตราส่วนร้อยละ 24.44 (11 ชิ้นใน 45 ชิ้น) โดยจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าปัญหาเม็ดที่เกิดขึ้นเกิดจากธาตุสังกะสีมากที่สุดอันเนื่องมาจากสารเคลือบผิวไม่ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐาน

โดยผู้วิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุหลักและสาเหตุรองอื่นๆ ที่มีส่วนทำให้เกิดปัญหาเม็ด (สาเหตุที่ทำให้ธาตุสังกะสีหลุดลอก) โดยการนำแผนผังแสดงสาเหตุและผลที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้มาใช้เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหา ดังมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กราฟแผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงการวิเคราะห์ถึงสาเหตุอันก่อให้เกิดปัญหาเม็ดบนชิ้นงานที่ผลิตหลังจากบ่มขึ้นรูปที่เกิดจาก Zn

สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดปัญหาเม็ดบนชิ้นงานที่ผลิตหลังจากบ่มขึ้นรูปในสายการผลิต A0 และ A

พนักงาน

- พนักงานทำงานใช้ผ้าสกปรกเช็ดทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นเหล็กซึ่งส่งผลให้คุณภาพแผ่นเหล็กเสีย
- พนักงานสวมใส่เครื่องประดับที่มีลักษณะแหลมคม อาทิ แหวน นาฬิกา สายรัดหรือกำไลข้อมือ รวมทั้งหัวเข็มขัดลวดลายต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเครื่องประดับเหล่านี้อาจเป็นหนึ่งสาเหตุที่ทำให้สารเคลือบผิวแผ่นเหล็กหลุดออก

เครื่องจักรและอุปกรณ์

- มีแรงกดของแม่พิมพ์มากเกินไปขณะทำการบ่มขึ้นรูป อันเนื่องมาจากการที่ไม่มีมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักร ส่งผลให้มีสารเคลือบสังกะสี (Zn) หลุดร่อนหลังจากได้รับแรงกระแทกของแม่พิมพ์
- ความไม่เรียบของผิวหน้าแม่พิมพ์ที่อาจเกิดจากการกระแทกทำให้ผิวหน้าแม่พิมพ์เป็นรอยขีดข่วน หรือมีเศษฝุ่น/สิ่งสกปรกติดอยู่บนแม่พิมพ์ เนื่องด้วยลักษณะตัวครอบแม่พิมพ์มีลักษณะเป็นรูตามมุมของตัวแม่พิมพ์ ซึ่งก่อนทำการบ่มขึ้นรูปแม่พิมพ์จะถูกจัดวางเพื่อรอลำดับชิ้นงานที่จะผลิต เป็นเหตุให้เศษฝุ่นตกลงไปติดตามผิวหน้าของแม่พิมพ์ ซึ่งความไม่เรียบของผิวหน้าแม่พิมพ์ ส่งผลทำให้สารเคลือบสังกะสี (Zn) หลุดออกระหว่างทำการบ่มขึ้นรูป

วัตถุดิบ

- กระบวนการเคลือบทางเคมีของสารเคลือบสังกะสี (Zn) ไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้สารเคลือบสังกะสี (Zn) บนผิวแผ่นเหล็กหลุดร่อนได้ง่าย

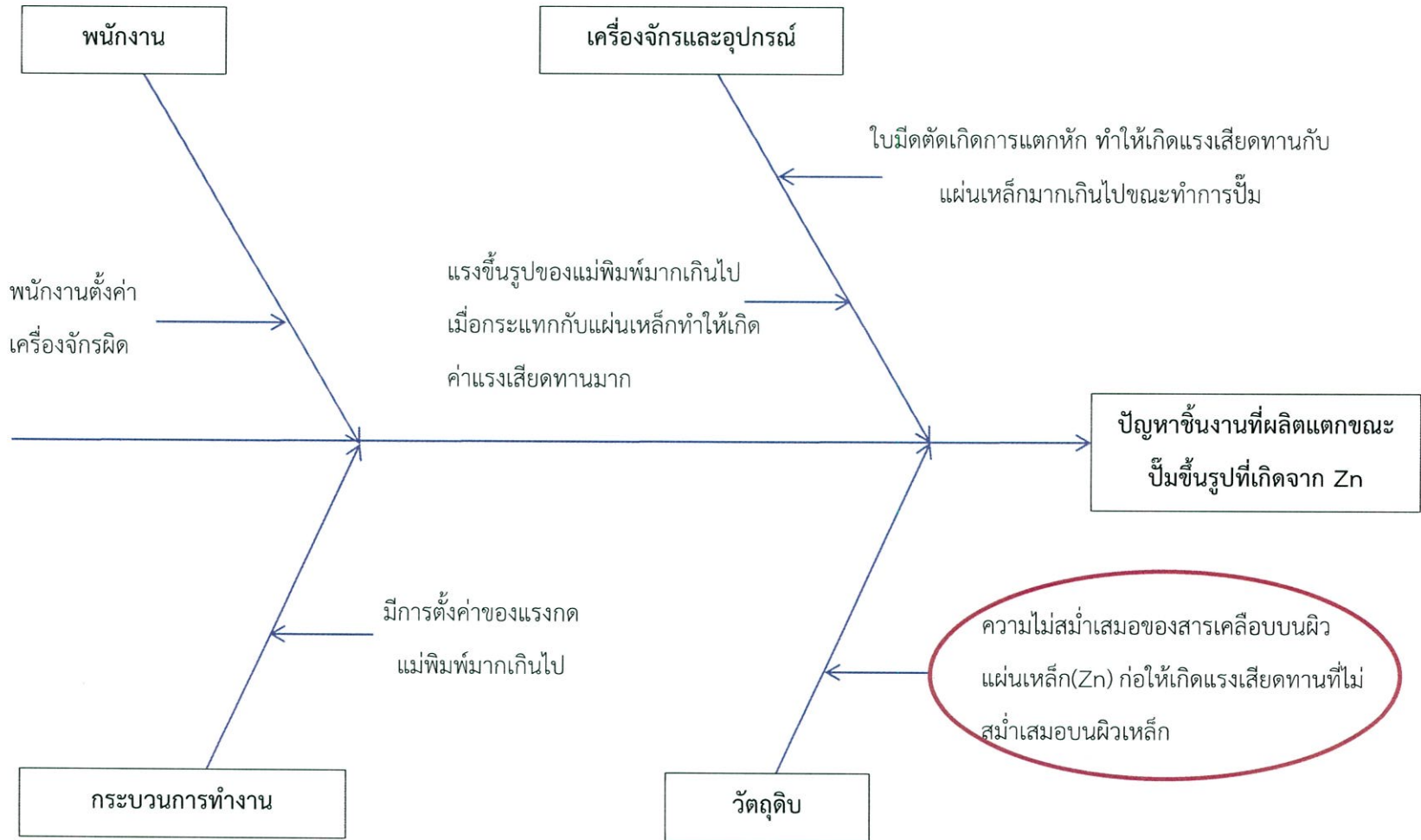
กระบวนการทำงาน

- กระบวนการบ่มไม่เป็นไปตามเงื่อนไข เช่น มีการตั้งค่าแรงกดของแม่พิมพ์ที่มากเกินไป
- ความไม่สม่ำเสมอ มีความขรุขระของผิวหน้าของรโพลีคลิฟท์ อาจทำให้สารเคลือบสังกะสี (Zn) หลุดออกขณะทำการขนย้าย เนื่องจากแผ่นเหล็กได้ทำการแกะแผ่นพลาสติกห่อหุ้มออกแล้ว

หมายเหตุ : สาเหตุอันเนื่องมาจากพนักงานและเครื่องจักร ทางบริษัทได้มีการกำหนดขั้นตอนและแนวทางในการแก้ไขเพื่อให้ปฏิบัติตามตามมาตรฐานของบริษัท

3.3.2 วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาแตก

จากการเก็บข้อมูลภายในโรงงานบ่มตัวถึงพบว่า ปัญหาที่ร้ายแรงและก่อให้เกิดความสูญเสียมากที่สุดคือปัญหาแตก (Crack) ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผลเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหา ดังมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 กราฟแผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงการวิเคราะห์ถึงสาเหตุอันก่อให้เกิดปัญหาชิ้นงานที่ผลิตแตกขณะปั๊มขึ้นรูปที่เกิดจาก Zn

สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดปัญหาชิ้นงานที่ผลิตแตกขณะบ่มขึ้นรูปในสายการผลิต A0 และ A

พนักงาน

- พนักงานตั้งค่าเครื่องจักรผิด อาจเกิดเนื่องจากความไม่ชำนาญ หรือผู้ปฏิบัติงานคนละกะ

เครื่องจักรและอุปกรณ์

- ใบมีดตัดเกิดการแตกหักขณะทำการบ่มขึ้นรูป เนื่องจากแรงกระแทกระหว่างแม่พิมพ์กับแผ่นเหล็กที่มากเกินไป ทำให้มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นมาก

- มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นมากขณะทำการบ่ม เนื่องจากแรงขึ้นรูปของแม่พิมพ์ที่มากเกินไป

วัตถุดิบ

- ความไม่สม่ำเสมอของสารเคลือบสังกะสีบนผิวแผ่นเหล็ก (Zn) ก่อให้เกิดแรงเสียดทานที่ไม่สม่ำเสมอบนผิวเหล็ก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการแตกหักของแผ่นเหล็กได้ง่าย

กระบวนการทำงาน

- กระบวนการบ่มไม่เป็นไปตามเงื่อนไข เช่น มีการตั้งค่าแรงกดของแม่พิมพ์ที่มากเกินไป

หมายเหตุ : สาเหตุอันเนื่องมาจากพนักงานและเครื่องจักร ทางบริษัทได้มีการกำหนดขั้นตอนและแนวทางในการแก้ไขเพื่อให้ปฏิบัติตามตามมาตรฐานของบริษัท

3.4 การดำเนินการแก้ไขปัญหา

การดำเนินการแก้ไขปัญหา แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นเหล็ก
2. การคัดเลือกเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบ
3. การคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม
4. การจัดวางกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กการศึกษาเวลาของกระบวนการ
5. การกำหนดจำนวนพนักงานและจำนวนรถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสม
6. การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ
7. การออกแบบห้องทำงาน

3.4.1 การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นเหล็กที่ต้องทำการตรวจสอบ

เหล็กและเหล็กกล้าเกิดสนิมได้ง่ายหากเราวางทิ้งไว้ในอากาศปกติทั่วไป เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนและไอน้ำกับเนื้อเหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลอไรด์ (Chloride) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนเหล็กได้ดี โดยจะเกิดเป็นสนิมออกไซด์ของเหล็ก ดังนั้นการเคลือบผิวเหล็กจึงเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการป้องกันการเกิดสนิม สังกะสีเป็นที่นิยมมากในการนำมาใช้เป็นสารเคลือบ เพราะในอนุกรมกัลวานิก สังกะสีเป็นโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเหล็กจึงเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายกว่า ถ้าทำการชุบเคลือบสังกะสีปิด

ผิวเหล็กก็จะเป็นการป้องกันไม่ให้ออกซิเจน ioni และคลอไรด์สามารถสัมผัสและทำปฏิกิริยากับเหล็กได้ จึงถือว่าเป็นการป้องกันได้ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ในกรณีที่ผิวเคลือบสังกะสีถูกแรงกระทำ จนเกิดรอยลึกถึงเนื้อเหล็ก สังกะสีก็ยังคงสามารถป้องกันเหล็กจากการกัดกร่อนได้ เนื่องจากสังกะสีเป็นโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าเหล็กจึงเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายกว่าเหล็ก ลักษณะการใช้โลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำ ร่วมกับโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า เพื่อให้โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่า เกิดปฏิกิริยากัดกร่อนก่อนโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงเรียกว่า การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic Protection)

เหล็กที่ได้จากการชุบเคลือบสังกะสีเรียกว่า เหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) โดยปัจจุบันกระบวนการเคลือบสังกะสีได้ถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมเช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง หรืออุตสาหกรรมชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้า การชุบเคลือบสังกะสีมีด้วยกันหลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dipped Galvanizing) (Neutron.rmutphysics, 2012)

โดยเหล็กที่ผ่านการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนนี้ จะมีชั้นเคลือบสังกะสี หนาตั้งแต่ 65 - 300 ไมครอน ทำให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อม มากกว่าเหล็กที่เคลือบสังกะสีด้วยวิธีทางไฟฟ้าธรรมดา จึงเหมาะกับการใช้งานภายนอกอาคารมากกว่า โดยขั้นตอนวิธีการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนมีดังนี้

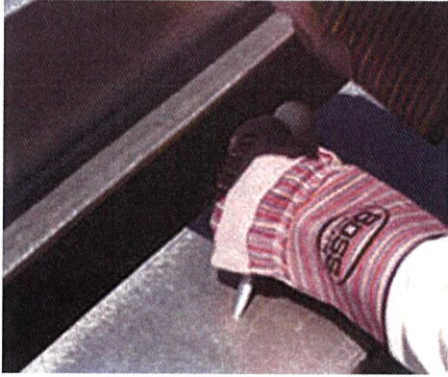

1. การกำจัดสิ่งสกปรก (Soil and Grease Removal – Caustic Cleaning) โดยใช้สารละลายต่าง
2. การล้างด้วยน้ำ (Rinsing) ใช้น้ำสะอาดล้างชิ้นงานที่ผ่านการแช่สารละลายต่าง และสารละลายกรดเพื่อกำจัดสภาพต่างและกรดออกจากผิวชิ้นงาน
3. การกัดด้วยกรด (Pickling) ใช้สารละลายกรด เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก ทำความสะอาดผิวโลหะ เพื่อกำจัดฟิล์มออกไซด์และสิ่งปนเปื้อนผิวโลหะออกไป
4. การแช่น้ำยาประสาน (Fluxing) นำชิ้นงานเหล็กมาแช่ในน้ำยาประสาน (สารละลายซิงค์แอมโมเนียมคลอไรด์ – Zinc Ammonium Chloride Solution) เพื่อปรับความตึงผิวของเหล็กให้มีความเหมาะสมกับการเคลือบด้วยสังกะสีหลอมเหลว
5. การชุบเคลือบสังกะสี (Galvanizing) นำชิ้นงานที่จะชุบเคลือบไปแช่ในอ่างสังกะสีหลอมเหลว (อุณหภูมิประมาณ 435 – 455 องศา) เป็นระยะเวลาประมาณ 3-6 นาที (ความหนาของชั้นสังกะสีจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการจุ่มแช่ ส่วนผสมทางเคมีของอ่างโลหะสังกะสี และสิ่งเจือปนที่อยู่ในเนื้อเหล็ก) (บริษัท ผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน), 2555)
6. การตกแต่งสำเร็จ (Finishing) เหล็กที่ชุบเคลือบสังกะสีเสร็จแล้ว จะถูกนำมากำจัดเอาสังกะสีส่วนเกินออกโดยใช้วิธีการเขย่า (Vibrating) หรือการล้าง (Draining) หรือการหมุนเหวี่ยง (Centrifuging) จากนั้นลดอุณหภูมิชิ้นงานโดยนำไปเป่าลมเย็น หรือนำไปชุบของเหลว (Quenching)
7. การตรวจสอบ (Inspection) ชิ้นงานที่เคลือบสังกะสีแล้วจะถูกส่งมาตรวจสอบความหนาของชั้นเคลือบ (Thaitechno, 2012)

3.4.2 การคัดเลือกเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบ

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การศึกษาวิธีการและทางเลือกในการตรวจสอบเพื่อแก้ไขปัญหาเมล็ด ปัญหาเมล็ด (Seed) เกิดขึ้นจากการที่สังกะสีที่เคลือบบนผิวของแผ่นเหล็กมีการยึดเกาะที่ไม่ดีพอเนื่องจากการเคลือบที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งเมื่อนำแผ่นเหล็กเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการบ่มขึ้นรูป เจอแรงกดกระแทกของเครื่องจักรอาจทำให้สังกะสีหลุดลอกออกมาในลักษณะของเม็ดผงขนาดเล็ก เมื่อแผ่นเหล็กถูกส่งผ่านไปยังเครื่องบ่มตัวถัดไปทำให้เกิดปัญหาเมล็ดตามมาในที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาวิธีทดสอบการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องด้วยเหล็กที่นำมาทำการบ่มขึ้นรูปเป็นเหล็กที่ผ่านกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dipped Galvanized) ซึ่งเหล็กที่ผ่านการชุบด้วยวิธีการนี้จะมีความติดแน่น ทนทานมากกว่าเหล็กที่ชุบด้วยสังกะสีแบบธรรมดา ดังนั้นวิธีการตรวจสอบการยึดติดของสารเคลือบจึงต้องเป็นวิธีเฉพาะ โดยผู้วิจัยทำการอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM A123 ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับกรรมวิธีที่กำหนดให้ใช้ในการตรวจสอบสำหรับเหล็กที่ผ่านกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน จากการศึกษาพบว่ามีวิธีในการตรวจสอบ 2 วิธีหลักๆ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าความยึดติดของสารเคลือบผิว


ชื่อเครื่องมือตรวจสอบ	แสดงรูปตัวอย่างของเครื่องมือตรวจสอบ
<p>วิธี Stout Knife Test</p> <p>หลักการทำงาน : ใช้ปลายมีดกรีดลงบริเวณผิวตรงกลางของชิ้นงาน ถ้าชิ้นงานมีการเคลือบผิวที่ได้มาตรฐานเมื่อทำการกรีดแล้วจะไม่มีชิ้นผิวเคลือบที่หลุดลอกออกมา แต่ถ้าชิ้นงานมีการเคลือบผิวที่ไม่ได้มาตรฐาน ชิ้นผิวเคลือบจะมีการหลุดลอกจนเห็นถึงชั้นโลหะซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า การตรวจสอบด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือ เป็นการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ชิ้นงานจะเสียก็ต่อเมื่อมีการเคลือบผิวที่ไม่ดีเท่านั้น</p>	
<p>วิธี V-bending Test หรือ การทดสอบการดัดโค้ง</p> <p>หลักการทำงาน : เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการแปรรูปของวัสดุหลังจากทำการดัดโค้ง โดยพิจารณาว่าที่ผิวด้านนอกหรือชั้นสารเคลือบของชิ้นทดสอบตรงบริเวณที่ทำการดัดโค้งเกิดรอยแตกขึ้นหรือไม่ หลังจากทำการดัดโค้งชิ้นทดสอบด้วยรัศมีความโค้งที่กำหนด จนได้มุมตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการทดสอบ</p>	

จากวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยเลือกทำการตรวจสอบวัดค่าความยืดติดของสารเคลือบผิว ด้วยวิธีการทดสอบการดัดโค้ง (V-bending Test) เนื่องจากวิธีการ Stout Knife Test ถึงแม้จะมีข้อดีคือ เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย แต่เป็นการทดสอบที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการกระแทกเลย เพียงแต่เป็นการทดสอบความยืดติดของสารเคลือบต่อการแรงขูดขีดเท่านั้น แต่วิธีการทดสอบการดัดโค้ง (V-bending Test) เป็นการตรวจสอบที่เหมาะสมกับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานมากกว่า เนื่องจากเป็นกระบวนการที่อาศัยแรงกดหรือแรงกระแทกของเครื่องจักร

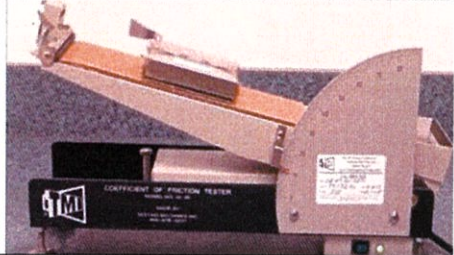

2. การศึกษาวิธีการและทางเลือกในการตรวจสอบเพื่อไขแก้ปัญหาแตก เนื่องจากแผ่นเหล็กที่รับมาเพื่อทำการผลิต เป็นแผ่นเหล็กที่ผ่านกระบวนการรีดเย็นที่มีลักษณะที่ต้องการคุณภาพผิวสูงกว่าและความหนาต่ำกว่าแผ่นเหล็กที่รีดร้อน เหมาะสมในการใช้งานด้านยานยนต์ แต่มีโอกาสเสี่ยงสูงที่ทำให้แผ่นเหล็กเกิดการแตกหักได้ง่าย เนื่องจากแผ่นเหล็กที่ผ่านการรีดมายังมีความเครียดภายในเนื้อเหล็กเหลือค้าง ทำให้มีความแข็งแรง ความสามารถในการยืดตัว (Elongation) ต่ำ ตลอดจนมีความไม่สม่ำเสมอของคุณสมบัติเชิงกลจึงไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องมีการขึ้นรูป โดยการตัดเฉือนหรือดัดโค้ง จึงจำเป็นต้องมีการอบชุบเหล็กกล้าเพื่อให้คลายความเครียดในเนื้อเหล็กลง เนื่องจากการอบชุบเหล็กกล้าเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าโดยเฉพาะคุณสมบัติเชิงกล โดยอาศัยกรรมวิธีทางความร้อน เพื่อให้เหล็กกล้านั้นมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ และมีคุณสมบัติเฉพาะที่ดีกว่าเหล็กกล้าที่ผลิตด้วยกรรมวิธีปกติ เหล็กกล้าที่ผ่านการอบแล้วจะผ่านการรีดเย็นอีกครั้งเล็กน้อยด้วยความหนาแทบไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งการอบชุบเหล็กกล้านั้นเป็นการช่วยให้เหล็กมีการทนการเสียดสีหรือสึกหรอได้ดีขึ้น ดังนั้นหากมีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสารเคลือบบนผิวเหล็กก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตก็จะเป็นการป้องกันปัญหาแตกที่อาจจะเกิดขึ้นได้

เนื่องจากข้อจำกัดหลายๆ อย่าง อาทิเช่น ค่าใช้จ่าย ระยะเวลา เป็นสาเหตุทำให้ต้องมีกรจำลองการสึกหรอบนเครื่องทดสอบ โดยเครื่องมือทดสอบมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยมีมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ เช่น ASTM, ASME, ISO (IOS 8295, GB 10006) เป็นต้น ปัจจุบันมีเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหลายแบบด้วยกัน ทางผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการตรวจสอบเพื่อแก้ไขปัญหาแตก โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์แต่ละชนิด

ชื่อเครื่องมือตรวจสอบ	รูปตัวอย่างของเครื่องมือตรวจสอบ
<p>วิธี ASTM D1894 Coefficient of Friction Test</p> <p>หลักการทำงาน : ทำการทดสอบโดยการให้แผ่นเหล็กไถลไปกับผิวสัมผัสเรียบของเครื่องทดสอบ อาศัยแรงดึงของเส้นเอ็นในการเคลื่อนที่</p>	

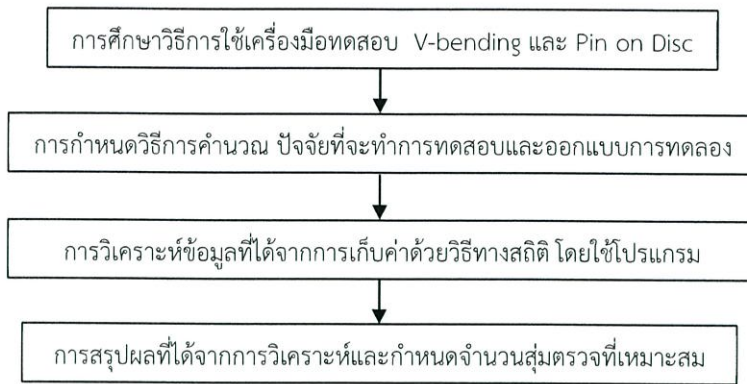
ตารางที่ 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์แต่ละชนิด (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือตรวจสอบ	รูปตัวอย่างของเครื่องมือตรวจสอบ
<p>วิธี 32-25 Coefficient of Friction Test</p> <p>หลักการทำงาน : ทำการทดสอบโดยการให้แผ่นเหล็กไถไปกับผิวสัมผัสเรียบของเครื่องทดสอบ อาศัยแรงดึงของเส้นเอ็นในการเคลื่อนที่</p>	
<p>วิธี Pin on Disc Test</p> <p>หลักการทำงาน : เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิสก์ เป็นการจำลองกลไกการสึกหรอ ซึ่งนิยมใช้ในห้องทดสอบมากที่สุด โดยหลักการของเครื่องทดสอบนี้คือการใช้หมุด (Pin) กด(กระแทก)ลงบนแผ่นจาน (Disc) โดยวัสดุจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน แต่จะมีข้อกำหนดคือชิ้นงานต้องมีขนาดที่แน่นอน และสามารถทนความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการโก่งงอ</p>	

จากเครื่องมือและอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้วิจัยเลือกทำการตรวจสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์โดยวิธีการแบบพินออนดิสก์ (Pin on Disc) เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นการตรวจสอบที่เหมาะสมกับการทำงาน ซึ่งกระบวนการป้อนชิ้นงานเป็นกระบวนการที่อาศัยแรงกดหรือแรงกระแทกของเครื่องจักร

3.4.3 การคำนวณหาจำนวนสัปดาห์ที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งขั้นตอนการคำนวณหาจำนวนสัปดาห์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กออกเป็นขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม

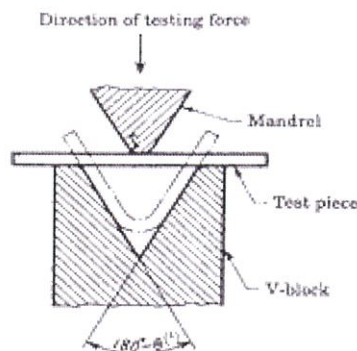
1. การศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบและเก็บข้อมูล

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

ก. การทดสอบด้วยวิธี V-bending

การทดสอบการดัดโค้ง เป็นการทดสอบเพื่อดูพฤติกรรมการแปรรูปของวัสดุหลังจากทำการดัดโค้ง โดยพิจารณาว่าผิวด้านนอกของชิ้นทดสอบตรงบริเวณที่ทำการดัดโค้งเกิดรอยแตกขึ้นหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้คือพิจารณาแค่ชิ้นทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์การทดสอบหรือไม่ คือสามารถผ่านการดัดโค้งตามที่กำหนดไว้ใน การทดสอบ โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิวด้านนอกเนื่องจากความเค้นแรงดึง การตรวจสอบอาจทำได้โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า หรืออาจใช้กล้องที่มีกำลังขยายไม่เกิน 20 เท่า (ปกติจะกำหนดให้ใช้ตาเปล่า)

การทดสอบการดัดโค้งสามารถเลือกวิธีการทดสอบได้หลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะแตกต่างกันในรายละเอียดแต่จะมีหลักการในการทดสอบที่เหมือนกัน ซึ่งในการทดสอบการดัดโค้ง เครื่องทดสอบของทางบริษัทจะเป็นวิธีทดสอบการดัดโค้งแบบ V-block Bend คือ การทดสอบทำโดย นำชิ้นทดสอบมาวางอยู่บนฐานรูปตัววีดังรูปที่ 3.19 แล้วค่อยๆ เพิ่มแรงกดผ่าน Mandrel ลงตรงกลางของชิ้นงานทดสอบ เพื่อทำการดัดโค้งชิ้นงานให้ได้ตามที่กำหนดไว้



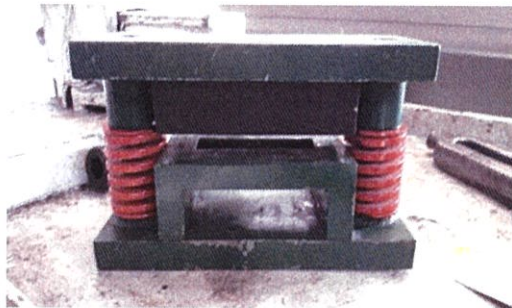
รูปที่ 3.19 หลักการทำงานของเครื่อง V-bending (สถาบันเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

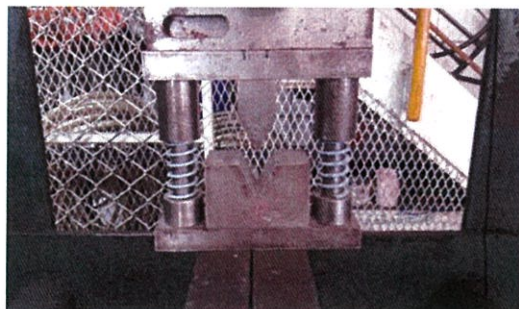
1. เครื่อง V-bending



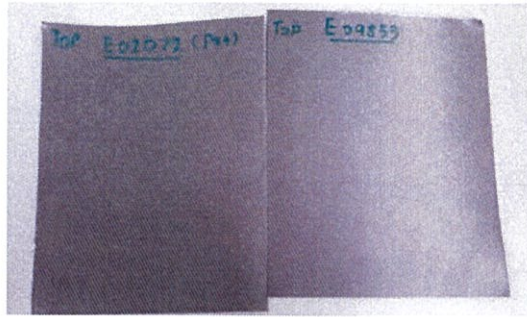
2. เครื่องตัดแผ่นเหล็กเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า



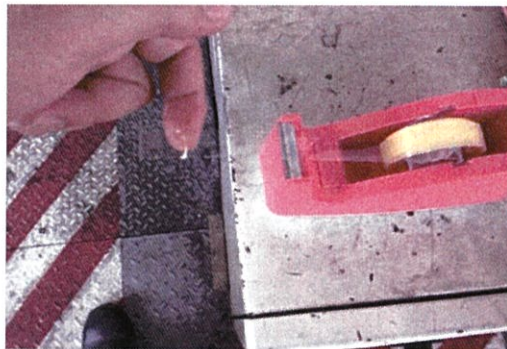
3. เครื่องตัดเหล็กโค้งตัววี



4. แผ่นเหล็กขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า



5. สก๊อตเทปใสและกระดาษขันที่กผล



ขั้นตอนการทำงาน

1. ตั้งค่าแรงดันเครื่อง V-bending อยู่ที่ระดับ 15-20 ปาสคาล
2. วางแผ่นเหล็กที่ตัดมาตอนแรกลงบนแท่นตัดเหล็ก จากนั้นทำการตัดแผ่นเหล็กให้ได้แผ่นเหล็กขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ต้องการ จำนวน 2 แผ่น เขียน Top และ Bottom ระบุผิวหน้าที่จะทำการทดสอบ



3. นำแผ่นเหล็กขนาดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาวางลงบนแท่นตัดโค้งตัววี จากนั้นทำการเพิ่มแรงกดเรื่อยๆลงบนแผ่นเหล็ก เพื่อทำการตัดโค้งแผ่นเหล็กให้ตามที่กำหนดไว้หรือสามารถสังเกตเห็นสารเคลือบหลุดร่อนออกมา



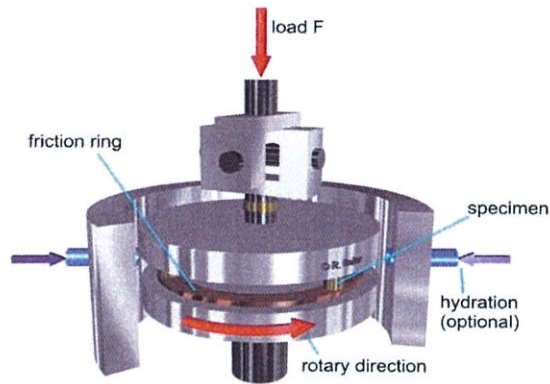
4. ใช้สก็อตเทปใสแปะบริเวณร่องตัววีเพื่อทำการเก็บสารเคลือบที่หลุดร่อนออกมา จากนั้นทำการวัดค่าระดับตามมาตรฐาน 1-5 ด้วยสายตา โดยไม่ควรเกินระดับ 2 (ดูแบบฟอร์มมาตรฐานได้ในภาคผนวก ก.1) และบันทึกผล



ข. การทดสอบด้วยวิธี Pin on Disc

เครื่องทดสอบการสึกหรอแบบพินออนดิสก์ (Pin on Disc Wear Tester) เป็นการจำลองกลไกการสึกหรอ ซึ่งนิยมใช้ในห้องทดสอบมากที่สุด โดยหลักการของเครื่องทดสอบนี้คือการใช้หมุด (Pin) กดลงบนแผ่นจาน (Disc) โดยวัสดุจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน แต่จะมีข้อกำหนดคือชิ้นงานต้องมีขนาดที่แน่นอน และสามารถทนความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้น โดยไม่เกิดการโก่งงอ โดยทั่วไปชิ้นงานที่เป็นหมุดจะมีรูปทรงเป็นทรงกระบอก หรือทรงกลม ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2-10 มิลลิเมตร และชิ้นงานที่เป็นแผ่นจานมีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 30-100 มิลลิเมตร และมีความหนาอยู่ในช่วง 2-10 มิลลิเมตร ชิ้นงานต้องมีความหยาบผิวประมาณ 0.8 ไมครอน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่แบบสลิ้นไถล โดยสามารถปรับแรงกด ความเร็วรอบของแผ่นจาน และเวลาในการทดสอบให้เหมาะสม

หมายเหตุ : การทดสอบในการวิจัยเลือกใช้หมุดทรงกลม เนื่องจากทางบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด มีอุปกรณ์อยู่แล้ว



รูปที่ 3.20 หลักการทำงานของเครื่อง Pin on Disc

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

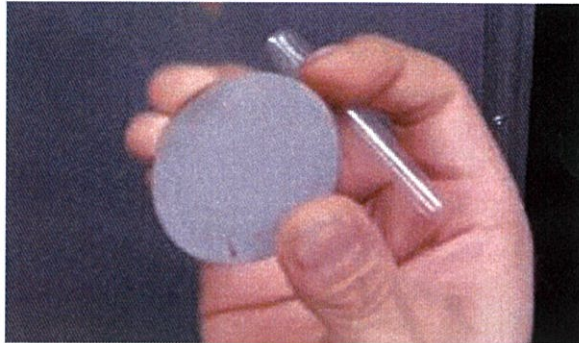
1. เครื่องพินออนดิสก์ (Pin on Disc)



2. น้ำมันล้างเหล็ก ฟูกัน และหมุดทรงกลม



3. แผ่นเหล็กวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30-100 มิลลิเมตร

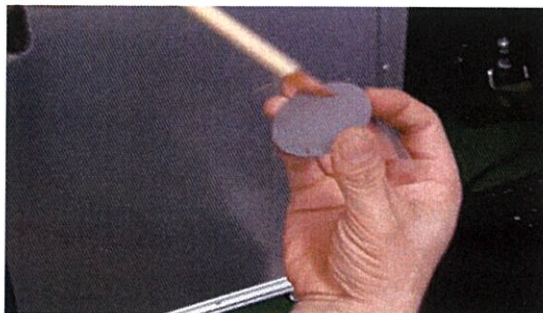


ขั้นตอนการใช้งาน

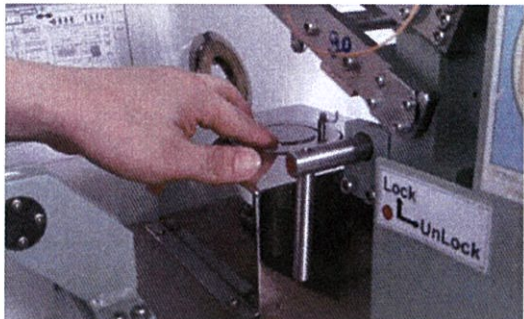
1. เปิดเครื่องและปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องให้มีอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นรอนจนกว่าเครื่องจะได้อุณหภูมิตามที่ตั้งค่าไว้



2. ทาน้ำมันล้างเหล็กบนแผ่นเหล็กวงกลมที่ตัดมาด้วยฟูก้น (เพื่อจำลองเสมือนกระบวนการปั๊มจริง)



3. นำแผ่นเหล็กดังกล่าวใส่เครื่องพินออนดิสก์แล้วทำการปิดล็อกเครื่องก่อนจะกดปุ่มเริ่มทำงานในคอมพิวเตอร์ (ควรระวังอย่าให้หัวหมุนกระแทกกับแผ่นเหล็ก)



4. ทำการตรวจสอบทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นเหล็ก ใช้เวลาในการตรวจสอบด้านละ 10 นาที เมื่อเครื่องทำการตรวจสอบเสร็จ คอมพิวเตอร์จะแสดงกราฟแรงเสียดทานเฉลี่ย และค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่ทางบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัดกำหนดคือแผ่นเหล็กที่ได้มาตรฐานควรมีแรงเสียดทานไม่เกิน 0.2 (ดูแบบฟอร์มแสดงผลกระบวนการ Pin on Disc ได้ในภาคผนวก ก.2)

2. การกำหนดปัจจัยที่จะทำการทดสอบและออกแบบการทดลอง

หลังจากทางผู้วิจัยได้ทำการตัดสินใจเลือกเฉพาะวัตถุดิบที่เป็นแผ่นเหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) มาเพื่อทำการตรวจสอบเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบภายนอกตัวรถ จำเป็นต้องเน้นในเรื่องของรูปลักษณะความสวยงามและคุณภาพของผิวชิ้นงานเป็นหลัก ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องทั้งหมดที่อาจมีส่วนในการส่งผลให้คุณภาพแผ่นเหล็กมีความแตกต่างกันออกไป โดยสามารถสรุปปัจจัยหลักออกได้เป็น 4 ปัจจัยดังต่อไปนี้

- ผู้จัดจำหน่ายรายย่อย (Maker) โดยทางบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานลำโพง) มีผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่ส่งวัตถุดิบแผ่นเหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) อยู่ 3 รายหลักๆ ได้แก่ บริษัท JSGT บริษัท NSGT และ บริษัท POSCO ซึ่งวัตถุดิบที่มาจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่ต่างกันอาจส่งผลให้คุณภาพของเหล็กที่รับมามีความแตกต่างกันไปด้วย

- ตำแหน่งบนแผ่นเหล็ก (Position) ถึงแม้จะเป็นเหล็กแผ่นเดียวกัน แต่ตำแหน่งต่างๆบนแผ่นเหล็กก็อาจมีคุณภาพที่ต่างกันออกไป

- ม้วนเหล็ก (Coil) เนื่องจากมีการรับวัตถุดิบในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก วัตถุดิบที่มาจากม้วนเหล็กที่ต่างกันอาจส่งผลให้คุณภาพของเหล็กมีความแตกต่างกันไปด้วย

- แพ็คเหล็ก (Pack) เหล็ก 1 ม้วนสามารถตัดออกได้เป็น 3 แพ็ค โดยใน 3 แพ็คนี้จะมาจากส่วน ต้น ส่วนกลาง และส่วนท้ายของม้วนเหล็กตามลำดับซึ่งอาจส่งผลให้เหล็กมีคุณภาพที่แตกต่างกัน

เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยต่างๆ ส่งผลต่อคุณภาพของแผ่นเหล็กจริงหรือไม่ ผู้วิจัยจึงเลือกเทคนิคการ วิเคราะห์ความแปรปรวน หรือที่รู้จักกันในชื่อ ANOVA (Analysis of Variance) เข้ามาช่วยในการคำนวณ โดยเทคนิคดังกล่าวนี้เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้เพื่อทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ มากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไป ในการวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เทคนิค One-way ANOVA ในการ วิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผู้จัดจำหน่ายรายย่อย (Maker) และความแตกต่างระหว่างตำแหน่งบนแผ่น เหล็ก (Position) และ Two-way ANOVA ในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างม้วนเหล็ก (Coil) และแพ็คเหล็ก (Pack) โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตารางการทดลองและเก็บข้อมูลแสดงในภาคผนวก ข.

3. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าด้วยวิธีทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab การวิเคราะห์ความแปรปรวนตัวแปรเดียว (One-way ANOVA)

จะใช้ทำการวิเคราะห์ 2 ปัจจัย ได้แก่ ความแตกต่างระหว่างผู้จัดจำหน่ายรายย่อย (Maker) และ ความแตกต่างระหว่างตำแหน่งบนแผ่นเหล็ก (Position)

1. การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผู้จัดจำหน่ายรายย่อย (Maker) ทำการทดสอบด้วย Pin on Disc และ V-bending โดยกำหนดให้เก็บค่าจากผู้จัดจำหน่ายแต่ละรายมาจำนวน 10 ค่า โดยทำการ ทดสอบทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นเหล็ก (ดูข้อมูลได้ในภาคผนวก ข.) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ข้อมูลดังต่อไปนี้

- กำหนดตัวแปร โดย ตัวแปรอิสระคือ ผู้จัดจำหน่ายรายย่อย (Maker) 3 ราย

ตัวแปรตามคือ - ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ในกรณี Pin on Disc Test

- ค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ ในกรณี V-bending Test

- ตั้งสมมติฐาน กรณี Pin on Disc

H_0 : ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ไม่แตกต่างกัน

H_A : ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
แตกต่างกัน

กรณี V-bending

H_0 : ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบ
ไม่แตกต่างกัน

H_A : ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบ
แตกต่างกัน

สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ทางสถิติดังนี้

$$H_0 : \mu_{JSGT} = \mu_{NSGT} = \mu_{POSCO}$$

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

- กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$
- คำนวณผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The Sum of Square)

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลสำหรับ One-way ANOVA

ปัจจัย	การทดลองครั้งที่				Total	Averages
	1	2	...	K		
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1K}	$X_{1.}$	\bar{x}_1
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2K}	$X_{2.}$	\bar{x}_2
...
n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nK}	$X_{3.}$	\bar{x}_a
					T	\bar{X}

- Total Sum of Squares (SS_T) หาได้จาก

$$SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_T = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (3.1)$$

- Between-Groups Sum of Squares (SS_B)

$$SS_B = \sum_{j=1}^K \left(\frac{X_{j.}^2}{n_j} \right) - \frac{T^2}{N} \quad \text{หรือ} \quad SS_B = \sum_{j=1}^K n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad (3.2)$$

- Within - Groups Sum of Squares (SS_W)

$$SS_W = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 - \sum_{j=1}^K \left(\frac{X_{j.}^2}{n_j} \right) \quad \text{หรือ} \quad SS_W = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (3.3)$$

- กำหนดให้
- T = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
 - n_j = จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่ม
 - K = จำนวนกลุ่ม

X_{ij} = ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

\bar{x}_j = ค่าเฉลี่ยของกลุ่ม j

\bar{X} = ค่าเฉลี่ยรวม

$$\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij}^2 = \text{ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่ม}$$

ค่า SS_T หรือ SS_B และ SS_W เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึงความแปรปรวน (Mean of Square, MS) โดยมี $df_T = N - 1$, $df_B = K - 1$ และ $df_W = N - K$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดและ K คือจำนวนกลุ่ม

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 ค่าขึ้นไปนั้นจะใช้ F - test สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวนี้ ค่า F หาได้จากอัตราส่วนความแปรปรวนโดยหาจากความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (SS_B) หารด้วยความแปรปรวนภายในกลุ่ม (SS_W) ซึ่งมีค่า $df = K - 1$ (Degree of Freedom for The Numerator) และ $df_L = N - K$ (Degree of Freedom for The Denominator) การหาค่า F - test สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรการคำนวณ One-way ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F
Between groups	SS_B	$K - 1$	$SS_B / K - 1$	MS_B / MS_W
Within groups	SS_W	$N - K$	$SS_W / N - K$	
Total	$SS_B + SS_W$	$N - 1$		

- นำค่า F ที่ได้จากการคำนวณไปเทียบกับค่าวิกฤตซึ่งดูจากตารางค่าวิกฤตของ F_{α,df,df_L} จะเห็นว่าถ้า $F_{\text{คำนวณ}} > F_{\text{วิกฤต}}$ จึงจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_a นั้นหมายความว่าปัจจัยที่ทำการทดสอบนั้นส่งผลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α กล่าวได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างปัจจัยอย่างน้อย 1 คู่ที่ทำให้ค่าตัวแปรตามแตกต่างกัน (รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, 2552)

2. การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างตำแหน่งบนแผ่นเหล็ก (Position) ทำการทดสอบด้วย Pin on Disc และ V-bending โดยกำหนดให้เก็บค่าจากตำแหน่งที่แตกต่างกันทั้ง 5 ตำแหน่งของแต่ละเจ้ามา

จำนวน 3 ครั้ง โดยทำการทดสอบทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นเหล็ก (ดูข้อมูลได้ในภาคผนวก ข.) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

- กำหนดตัวแปร โดย ตัวแปรอิสระคือ ตำแหน่งที่แตกต่างกันบนแผ่นเหล็ก (Position)
ตัวแปรตามคือ - ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ในกรณี Pin on Disc Test
- ค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ ในกรณี V-bending Test

- ตั้งสมมติฐาน กรณี Pin on Disc

H_0 : ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
ไม่แตกต่างกัน

H_A : ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน
แตกต่างกัน

กรณี V-bending

H_0 : ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบ
ไม่แตกต่างกัน

H_A : ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบ
แตกต่างกัน

สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ทางสถิติดังนี้

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

$$H_A : \mu_{PS1} \neq \mu_{PS2} \neq \mu_{PS3} \neq \mu_{PS4} \neq \mu_{PS5} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

- กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

- คำนวณผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The Sum of Square)

โดยสามารถทำการคำนวณได้ตามสูตรเช่นเดียวกับกรณีการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างผู้จัด
จำหน่ายรายย่อย (Maker)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองตัวแปร (Two-way ANOVA)

เป็นการสนใจการศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่ระดับต่างกัน โดยจะใช้ทำการวิเคราะห์ 2 ปัจจัย
ได้แก่ ความแตกต่างระหว่างม้วนเหล็ก (Coil) และความแตกต่างระหว่างแพ็คเหล็ก (Pack)

1. การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างม้วนเหล็ก (Coil) และความแตกต่างระหว่างแพ็คเหล็ก
(Pack) ทำการทดสอบด้วย Pin on Disc และ V-bending โดยกำหนดให้เก็บค่าจากม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน
กันมาจำนวน 4 ม้วน โดยแต่ละม้วนเหล็กสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แพ็คด้วยกัน โดยทำการทดสอบทั้ง
ด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นเหล็ก (ดูข้อมูลได้ในภาคผนวก ข.)

- กำหนดตัวแปร โดย วิธีปฏิบัติ (Treatment) คือ แพ็คเหล็ก (Pack) ทั้งหมด 3 แพ็ค
ปัจจัยกลุ่ม (Block) คือ ม้วนเหล็ก ทั้งหมด 4 ม้วน

- ตั้งสมมติฐาน กรณี Pin on Disc

1.1 H_0 : แพ็คเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

H_A : แพ็คเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแตกต่างกัน

1.2 H_0 : ม้วนเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

H_A : ม้วนเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานแตกต่างกัน

กรณี V-bending

1.1 H_0 : แพ็คเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบไม่แตกต่างกัน

H_A : แพ็คเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบแตกต่างกัน

1.2 H_0 : ม้วนเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบไม่แตกต่างกัน

H_A : ม้วนเหล็กที่ต่างกัน มีค่าเฉลี่ยการยึดเกาะของสารเคลือบแตกต่างกัน

สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ทางสถิติดังนี้

1.1 $H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$

$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3}$ อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ

1.2 $H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$

$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$ อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ

- กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

- คำนวณผลบวกของคะแนนเบี่ยงเบนยกกำลังสอง (The Sum of Square)

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลสำหรับ Two-way ANOVA

วิธีปฏิบัติ (Treatment)	กลุ่ม (Block)				Total ($X_{i.}$)
	1	2	...	K	
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1K}	$X_{1.}$
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2K}	$X_{2.}$
...
N	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nK}	$X_{i.}$
Total ($X_{.j.}$)	$X_{.1.}$	$X_{.2.}$...	$X_{.j.}$	T

- Total Sum of Squares (SS_T) หาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (3.4)$$

- Treatments-Groups Sum of Squares (SS_A)

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \left(\frac{X_{i.}^2}{b} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (3.5)$$

- Blocks- Groups Sum of Squares (SS_B)

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \left(\frac{X_{.j.}^2}{a} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (3.6)$$

- Error- Groups Sum of Squares (SS_E)

$$SS_E = SS_T - SS_{Treatments} - SS_{Blocks} \quad (3.7)$$

กำหนดให้

T = ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด ($a \times b$)

a = จำนวนระดับของวิธีปฏิบัติการ

b = จำนวนระดับของกลุ่ม

X_{ij} = ข้อมูลตัวที่ i ในกลุ่ม j

$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ij}^2$ = ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุกๆค่าในทุกกลุ่ม

ค่า SS_A หรือ SS_B และ SS_E เมื่อหารด้วยค่าองศาอิสระ (df) ของแต่ละตัวจะหมายถึงความแปรปรวน (Mean of Square, MS) โดยมี $df_A = a - 1$, $df_B = b - 1$ และ $df_E = df_T - df_{Treatments} - df_{Blocks}$ เมื่อ N คือจำนวนข้อมูลหรือกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 3 ค่าขึ้นไปนั้นจะใช้ F - test สำหรับการทดสอบซึ่งในกรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางนี้ การหาค่า F - test สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สูตรการคำนวณ Two-way ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F
Factor A	SS_A	$a - 1$	$SS_A / a - 1$	MS_A / MS_E
Factor B	SS_B	$b - 1$	$SS_B / b - 1$	MS_B / MS_E
Error	SS_E	df_E	SS_E / df_E	
Total	SS_T	$N - 1$		

- นำค่า F ที่ได้จากการคำนวณไปเทียบกับค่าวิกฤตซึ่งดูจากตารางค่าวิกฤตของ $F_{\alpha-1, df_E}$ (F_{b-1, df_E}) จะเห็นว่าถ้า $F_{\text{คำนวณ}} > F_{\text{วิกฤต}}$ จึงจะปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_a นั้นหมายความว่าปัจจัยที่ทำการทดสอบนั้นๆ ส่งผลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ α กล่าวได้ว่ามีความแตกต่างระหว่างปัจจัยอย่างน้อย 1 คู่ที่ทำให้ค่าตัวแปรตามแตกต่างกัน (รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, 2552)

3.4.4 การจัดวางกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กการศึกษาเวลาของกระบวนการ

ทำการออกแบบขั้นตอนการทำงานโดยศึกษาควบคู่กับสายงานผลิต ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อวัตถุดิบจากผู้ผลิตและจัดจำหน่ายรายย่อยเข้ามาส่งตามรอบเวลาที่กำหนด พนักงานจะต้องทำการเดินตรวจสอบหมายเลขม้วนเหล็ก (Coil Number) ที่จัดเรียงไว้ในคลังวัตถุดิบ โดยทำการบันทึกดังนี้

- วัน/เดือน/ปี ที่รับวัตถุดิบ
- ชื่อของผู้ผลิตและจัดจำหน่ายวัตถุดิบ
- รหัสชิ้นงาน (Part Number)
- หมายเลขม้วนเหล็ก (Coil Number)
- ลงชื่อผู้จัดบันทึกและเวลาที่ทำการตรวจเช็ค

2. พนักงานทำการขนย้ายแพ็คเหล็กจากคลังวัตถุดิบ ไปยังจุดแกะพลาสติก เพื่อทำการแกะพลาสติกห่อหุ้มออก จากนั้นทำการแยกแผ่นเหล็กแผ่นแรกของแพ็คออก เนื่องจากเป็นแผ่นเหล็กที่ทางผู้ผลิตและจัดจำหน่ายใช้ในการป้องกันการกระแทกแผ่นเหล็กที่ลูกค้าต้องการ

3. พนักงานทำการตัดแผ่นเหล็กให้ได้ขนาดเท่ากระดาษ A4 เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการตรวจสอบต่อไป

4. ในการตัดเหล็กเพื่อให้ได้ขนาดตามกระบวนการตรวจสอบ พนักงานจะต้องตัดแผ่นเหล็กให้ได้ตามลักษณะดังนี้

- การทดสอบด้วยพินออนดิกส์ (Pin on Disc) ตัดเป็นวงกลม
- การทดสอบด้วยการดัดโค้ง (V-bending) ตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า

หมายเหตุ : ในการตัดแผ่นเหล็กให้ได้ขนาดและลักษณะตามทั้ง 2 กระบวนการตรวจสอบ ทางผู้วิจัยได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นในหัวข้อของศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือทดสอบ

5. ทำการตรวจสอบเพื่อให้ได้ค่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนด

- การทดสอบด้วยพินออนดิกส์ (Pin on Disc) กำหนดค่ามาตรฐานอยู่ที่สเกล 0-0.2
- การทดสอบด้วยการดัดโค้ง (V-bending) กำหนดค่ามาตรฐานอยู่ที่ระดับ 1-2

6. สามารถแบ่งผลการตรวจสอบได้ดังนี้

- แผ่นเหล็กได้ค่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ให้เตรียมจัดส่งให้กับสายการผลิต เพื่อที่จะได้เข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป

- แผ่นเหล็กไม่ได้ค่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ให้ทำการจัดเรียงล๊อตของแผ่นเหล็กไว้ลำดับสุดท้ายของลำดับกระบวนการผลิต จากนั้นทำการแจ้งเตือนสายการผลิตถึงปัญหาของล๊อต แผ่นเหล็ก หากเกิดข้อบกพร่องหรือปัญหาบนชิ้นงานในปริมาณมากให้ทำการหยุดการผลิต และเตรียมส่งคืนผู้ผลิตและจำหน่ายวัตถุดิบรายย่อย เพื่อที่ผู้ผลิตและจำหน่ายวัตถุดิบรายย่อยจะได้ทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา และทำการส่งคืนล๊อตแผ่นเหล็กใหม่ให้กับทางบริษัท

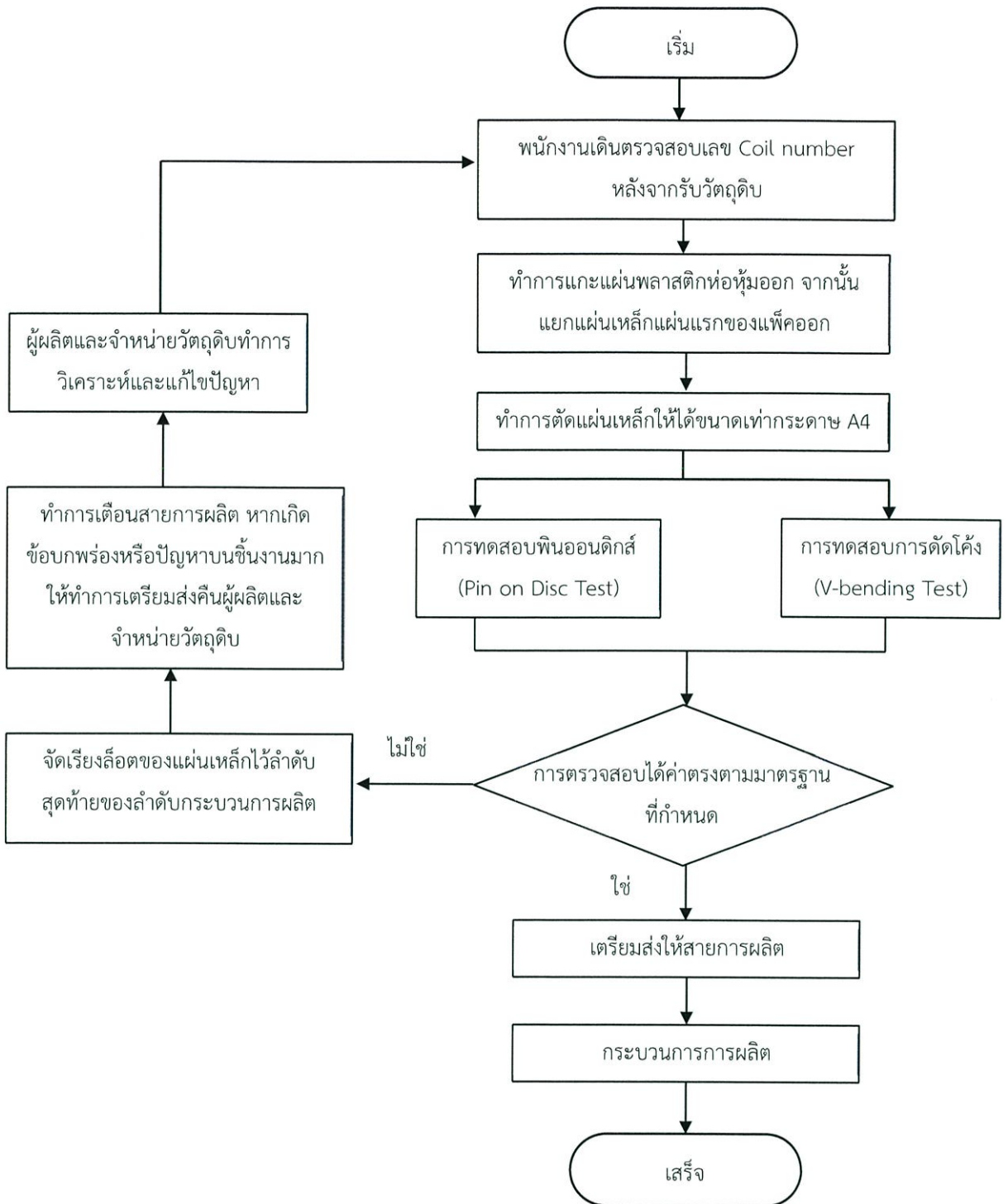
โดยแบบฟอร์มของเอกสารที่ใช้ในเก็บข้อมูลต่างๆสามารถดูได้ในภาคผนวก ข. เมื่อพนักงานประจำกะเก็บข้อมูลการตรวจสอบประจำวันเรียบร้อยแล้ว จะมีเส้นทางการเดินของเอกสาร ดังนี้

1. พนักงานบันทึกผลที่ได้จาก V-bending และพิมพ์ผล Pin on Disc จากคอมพิวเตอร์

2. พนักงานเซ็นชื่อลงในแบบฟอร์มและส่งมอบให้หัวหน้าประจำกะตัวเอง

3. หัวหน้าประจำกะทำการตรวจเช็คค่าและเซ็นชื่อลงเอกสารและส่งมอบเอกสารให้กับหัวหน้ากะถัดไปที่คุมการผลิตเช่นรับทราบ พร้อมนำค่าที่ได้แจ้งกับทางพนักงานตรงจุดแกะหีบห่อเพื่อจัดเรียงลำดับการผลิตก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพรวมทั้งมาตรฐานในการแก้ไขหากตรวจพบปัญหา ได้ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แผนผังขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพรวมทั้งมาตรฐานในการแก้ไขหากตรวจพบปัญหา

3.4.5 การกำหนดจำนวนพนักงานและจำนวนรถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสม

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการออกแบบกระบวนการใหม่ตามหัวข้อ 3.4.1.4 ข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในเรื่องเวลาของกระบวนการเพื่อทำการตรวจสอบว่าหากจัดตั้งกระบวนการใหม่ขึ้นมาจะส่งต่อการทำงานของพนักงานตามปกติหรือไม่ โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือเพื่อหาจำนวนพนักงานและจำนวนโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในกระบวนการใหม่ที่จัดตั้งขึ้นมา ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการคำนวณออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

ก. การคำนวณหาเวลามาตรฐาน โดยมีขั้นตอนการศึกษาเวลาพอสรุปได้ดังนี้

1. เลือกงานและบันทึกรายละเอียดของงานที่จะทำงานศึกษาโดยจะแบ่งแยกงานเป็นสองส่วนหลักๆ คือ กระบวนการ Pin on Disc และกระบวนการของ V-bending สามารถสรุปงานได้ตามกระบวนการใหม่ตามหัวข้อที่ 3.4.4

2. แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นงานย่อย งานย่อยหมายถึงหน่วยย่อยของงานซึ่งเห็นได้ชัดเจนสามารถอธิบายและจับเวลาได้ โดยงานย่อยทุกงานควรมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่แน่นอน

2.1 กระบวนการ Pin on Disc

- กระบวนการรวม หมายถึงกระบวนการเริ่มต้นทั่วไปเพื่อจัดเตรียมการวัตถุดิบที่จะนำมาเข้ากระบวนการตรวจสอบมาตรฐานต่อไป

- | | |
|--------------|--|
| งานย่อยที่ 1 | จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มเดินตรวจเช็คหมายเลขของม้วนเหล็กที่ส่งเข้ามาใหม่
จุดสิ้นสุด : พนักงานตรวจเช็คครบทุกชั้นวาง |
| งานย่อยที่ 2 | จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มเดินไปยังจุดจอตรถโฟล์คลิฟท์
จุดสิ้นสุด : พนักงานขึ้นไปนั่งบนรถโฟล์คลิฟท์เรียบร้อยแล้ว |
| งานย่อยที่ 3 | จุดเริ่มต้น : รถโฟล์คลิฟท์เริ่มขับเคลื่อน
จุดสิ้นสุด : รถโฟล์คลิฟท์ขับเคลื่อนมาถึงชั้นวางแพ็คเหล็ก |
| งานย่อยที่ 4 | จุดเริ่มต้น : รถโฟล์คลิฟท์เริ่มทำการขนย้ายแพ็คเหล็กไปยังจุด Unpack
จุดสิ้นสุด : Pack ถูกวางลงบนโต๊ะในสภาพเรียบร้อยแล้ว |
| งานย่อยที่ 5 | จุดเริ่มต้น : พนักงานขับรถโฟล์คลิฟท์ไปยังจุดจอตรถโฟล์คลิฟท์
จุดสิ้นสุด : พนักงานเดินกลับมายังจุด Unpack |
| งานย่อยที่ 6 | จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มทำการแกะห่อพลาสติกออก
จุดสิ้นสุด : พนักงานแยกแผ่นเหล็กออกมา 1 แผ่น แล้ววางลงบริเวณที่จะทำการตัด |
| งานย่อยที่ 7 | จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มเตรียมเครื่องมือ (กรรไกรลม) ที่จะใช้ในการตัด
จุดสิ้นสุด : พนักงานถือเครื่องมือมายังจุดที่จะทำการตัด |
| งานย่อยที่ 8 | จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มทำการตัดแผ่นเหล็กด้วยกรรไกรลม
จุดสิ้นสุด : พนักงานเขียนข้อมูลลงบนแผ่นเหล็กที่ตัดเสร็จ |

- งานย่อยที่ 9 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มเก็บเครื่องมือ
จุดสิ้นสุด : พนักงานเก็บเครื่องมือเสร็จเรียบร้อย
- งานย่อยที่ 10 จุดเริ่มต้น : พนักงานเดินมาเก็บแผ่นเหล็กที่ตัดเสร็จ
จุดสิ้นสุด : พนักงานขึ้นไปนั่งบนรถโฟล์คลิฟท์เรียบร้อย
- งานย่อยที่ 11 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มขับรถโฟล์คลิฟท์
จุดสิ้นสุด : พนักงานขับรถโฟล์คลิฟท์มาถึงยังจุด Unpack
- งานย่อยที่ 12 จุดเริ่มต้น : รถโฟล์คลิฟท์เริ่มขนแผ่นเหล็กที่ตัดเสร็จไปทิ้ง
จุดสิ้นสุด : รถโฟล์คลิฟท์ทิ้งแผ่นเหล็ก ณ จุดทิ้งเรียบร้อย
- งานย่อยที่ 13 จุดเริ่มต้น : รถโฟล์คลิฟท์เริ่มเคลื่อนออกจากจุดทิ้ง
จุดสิ้นสุด : รถโฟล์คลิฟท์ชนแท็คเหล็กที่เหลือไปเก็บเรียบร้อย
- งานย่อยที่ 14 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มขับรถโฟล์คลิฟท์ออกจากชั้นวาง
จุดสิ้นสุด : พนักงานขับรถโฟล์คลิฟท์ไปยังจุดจอดเรียบร้อย
- งานย่อยที่ 15 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มเดินจากจุดจอดรถโฟล์คลิฟท์
จุดสิ้นสุด : พนักงานเดินมาถึงห้องตรวจสอบคุณภาพ
- กระบวนการตรวจสอบ Pin on Disc หมายถึงกระบวนการทั้งหมดที่ใช้เครื่อง Pin on Disc ในการตรวจสอบจนกระทั่งได้ผลออกมา
- งานย่อยที่ 16 จุดเริ่มต้น : พนักงานเดินไปยังเครื่องตัดแผ่นเหล็กวงกลม
จุดสิ้นสุด : พนักงานเดินกลับมายังเครื่อง Pin on Disc
- งานย่อยที่ 17 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มตั้งค่าเครื่อง Pin on Disc
จุดสิ้นสุด : พนักงานทาน้ำมันลงบนแผ่นเหล็กวงกลมเสร็จ
- งานย่อยที่ 18 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มนำแผ่นเหล็กใส่เครื่อง
จุดสิ้นสุด : พนักงานกดปุ่ม Start
- งานย่อยที่ 19 จุดเริ่มต้น : เครื่อง Pin on Disc เริ่มทำงาน
จุดสิ้นสุด : เครื่อง Pin on Disc ทำงานเสร็จสิ้น
- งานย่อยที่ 20 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มดูค่าที่แสดงทางคอมพิวเตอร์
จุดสิ้นสุด : พนักงานบันทึกผลเสร็จสิ้น
- งานย่อยที่ 21 จุดเริ่มต้น : พนักงานเปิดฝาครอบเครื่อง Pin on Disc
จุดสิ้นสุด : พนักงานนำแผ่นเหล็กที่ทดสอบเสร็จออกจากเครื่องเรียบร้อย

2.2 กระบวนการ V-bending

- กระบวนการรวม หมายถึงกระบวนการเริ่มต้นทั่วไปเพื่อจัดเตรียมการวัตถุดิบที่จะนำมาเข้ากระบวนการตรวจสอบมาตรฐานต่อไป ดังนั้นงานย่อยที่ 1 ถึงงานย่อยที่ 15 ของกระบวนการ V-bending จึงมีขั้นตอนการทำเหมือนกับงานย่อยที่ 1 ถึงงานย่อยที่ 15 ของกระบวนการ Pin on Disc

- กระบวนการตรวจสอบ V-bending หมายถึงกระบวนการทั้งหมดที่ใช้เครื่อง V-bending ในการตรวจสอบจนกระทั่งได้ผลออกมา

- งานย่อยที่ 16 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มทำการเตรียมเครื่องจักร
จุดสิ้นสุด : พนักงานเตรียมเครื่องจักรเสร็จสิ้น
- งานย่อยที่ 17 จุดเริ่มต้น : พนักงานหยิบแผ่นเหล็กที่ตัดเท่าขนาด A4 เข้าเครื่อง
จุดสิ้นสุด : พนักงานตัดแผ่นเหล็กเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมเรียบร้อยจำนวน 2 แผ่น
- งานย่อยที่ 18 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มทำการเตรียมเครื่องจักร
จุดสิ้นสุด : พนักงานเตรียมเครื่องจักรเสร็จสิ้น
- งานย่อยที่ 19 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มทำการทดสอบ V-bending
จุดสิ้นสุด : พนักงานทำการทดสอบเสร็จสิ้น
- งานย่อยที่ 20 จุดเริ่มต้น : พนักงานหยิบเทปใส
จุดสิ้นสุด : พนักงานแปะเทปใสลงในแบบฟอร์มเก็บค่า
- งานย่อยที่ 21 จุดเริ่มต้น : พนักงานเริ่มบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม
จุดสิ้นสุด : พนักงานเปรียบเทียบและบันทึกผลเสร็จเรียบร้อย

3. ทำการออกแบบใบบันทึกการจับเวลา และทำการบันทึกเวลาขั้นต้นโดยจับมาทั้งหมด 10 ค่า หลังจากนั้นทำการตรวจสอบจำนวนครั้งที่จับเวลามาเพียงพอต่อการคำนวณหรือไม่ โดยผู้วิจัยเลือกใช้ตารางของ Maytag มาทำการคำนวณหาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการจับเวลา สามารถสรุปขั้นตอนการคำนวณได้ดังนี้

- จับเวลาเบื้องต้นการทำงานมาทั้งหมด 10 ค่าต่อ 1 งานย่อย
- หาค่า R (Range) หรือพิสัย ซึ่งคือค่าสูงสุด (H) - ค่าต่ำสุดของกลุ่ม (L)
- หาค่า \bar{X} ซึ่งได้จากผลรวมของตัวเลขในกลุ่มหารด้วยจำนวนข้อมูล $= \frac{\bar{x}}{n}$
- คำนวณหา $\frac{R}{\bar{x}}$
- อ่านค่า N จำนวนรอบที่เหมาะสมจากตาราง Maytag (ดูข้อมูลได้ในภาคผนวก 1) ให้ตรงกับค่า

$\frac{R}{\bar{x}}$ ที่คำนวณไว้

- หากค่า N ที่ได้มีค่ามากกว่า 10 ให้ทำการจับเวลาเพิ่มจนครบตามค่า N ที่คำนวณออกมาได้ แล้วทำการคำนวณหา $\frac{R}{x}$ ซ้ำอีกรอบว่าค่าที่เก็บมาเพียงพอต่อการคำนวณหรือไม่ จากการคำนวณพบว่า

- กระบวนการ Pin on Disc งานย่อยที่ 4 และงานย่อยที่ 9 และงานย่อยที่ 17
 - N=12 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 2 ค่า
งานย่อยที่ 10 และงานย่อยที่ 13
 - N=13 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 3 ค่า
งานย่อยที่ 11 และงานย่อยที่ 12
 - N=15 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 5 ค่า

- กระบวนการ V-bending งานย่อยที่ 4 และงานย่อยที่ 9 และงานย่อยที่ 17
 - N=12 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 2 ค่า
งานย่อยที่ 10 และงานย่อยที่ 13
 - N=13 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 3 ค่า
งานย่อยที่ 11 และงานย่อยที่ 12
 - N=15 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 5 ค่า
งานย่อยที่ 20
 - N=16 ดังนั้นต้องเก็บค่าเพิ่มอีก 6 ค่า

4. สังเกตและบันทึกเวลาการทำงานของคนงาน พร้อมทั้งประเมินอัตราความเร็วในการทำงานของพนักงาน โดยผู้วิจัยได้ทำการประเมินอัตราการทำงาน ด้วยวิธี Westinghouse System of Rating (ดูค่ามาตรฐานได้ในภาคผนวกข 2) โดยพิจารณาจากองค์ประกอบ 4 ตัว คือ

- ก. ทักษะหรือความชำนาญ (Skill)
- ข. ความพยายาม (Effort)
- ค. สภาพเงื่อนไขการทำงาน (Conditions)
- ง. ความสม่ำเสมอ (Consistency)

ตัวอย่างการกำหนดค่า

จากงานย่อยที่ 1 พนักงานเริ่มเดินตรวจเช็คหมายเลขของม้วนเหล็กที่ส่งเข้ามาใหม่ตามชั้นวาง
ผู้วิจัยได้ทำการประเมิน

Skill	: Good	= C1	+0.06
Effort	: Good	= C1	+0.05
Conditions	: Fair	= E	-0.03
Consistency	: Average	= D	<u>0.00</u>
รวมคะแนน			<u>+0.08</u>

ค่าปรับความเร็วเป็น + แสดงว่าพนักงานทำงานเร็วกว่าปกติถึง 8% หรือเท่ากับอัตราความเร็ว
1.08 โดยสามารถดูค่าการประเมินอัตราความเร็วของงานย่อยทั้งหมดได้ในภาคผนวก ง. (คอลัมน์ Rating)

5. กำหนดค่าเพื่อต่างๆในการทำงาน (ดูข้อมูลได้ในภาคผนวก 1.) แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

5.1 ค่าเพื่อส่วนบุคคล = 5% ของเวลาการทำงานสำหรับผู้ชาย และ 7% ของเวลาการทำงาน
สำหรับผู้หญิง

5.2 ค่าเพื่อจากความเครียดตามลักษณะ

- ค่าเพื่อความเครียดพื้นฐาน (Basic Fatigue Allowance) เป็นค่าคงที่สำหรับงานทุกๆไป
องค์การแรงงานระหว่างประเทศหรือ ILO ได้กำหนดไว้ที่ 4%

- ค่าเพื่อความเครียดแปรผัน (Variable Fatigue Allowance) ซึ่งจะแปรผันตามลักษณะของ
งาน ได้แก่ การยืน ท่าทางการทำงานที่ผิดปกติ น้ำหนักที่กระทำ สภาพแวดล้อมการทำงาน ความซ้ำซาก
ของงาน

5.3 ค่าเพื่อของความล่าช้าสำหรับงานนั้น (ดูค่ามาตรฐานได้ในภาคผนวกข 3)

ตัวอย่างการกำหนดค่า

จากงานย่อยที่ 1 พนักงานเริ่มเดินตรวจเช็คหมายเลขของม้วนเหล็กที่ส่งเข้ามาใหม่ตามชั้นวาง
ผู้วิจัยได้ทำการประเมิน

เปอร์เซ็นต์เวลาเพื่อส่วนบุคคล (เพศชาย)	= 5%
เปอร์เซ็นต์เวลาเพื่อความเครียดพื้นฐาน	= 4%
เปอร์เซ็นต์เวลาเพื่อการทำงานด้วยท่ายืน	= 2%
เปอร์เซ็นต์เวลาเพื่อความซ้ำซากจำเจ	= <u>1%</u>
รวมเปอร์เซ็นต์เวลาเพื่อ	<u>12%</u>

สามารถดูค่าการประเมินเวลาเพื่อของงานย่อยทั้งหมดได้ในภาคผนวก ง. (คอลัมน์ %AF)

6. ทำการคำนวณหาเวลามาตรฐานดังนี้

6.1 หาค่าเฉลี่ยจากเวลาของงานย่อยที่บันทึกไว้

ตัวอย่างการคำนวณ

จากงานย่อยที่ 1 พนักงานเริ่มเดินตรวจเช็คหมายเลขของม้วนเหล็กที่ส่งเข้ามาใหม่ตามชั้นวาง

$$\text{เวลาเฉลี่ย} = \frac{\bar{x}}{n}$$

$$= \frac{320.45+308.02+357.89+332.89+367.42+360.83+367.91+351.34+299.3+315.83}{10}$$

$$= 338.188 \text{ วินาที}$$

6.2 หาค่าเวลาปกติโดยคำนวณจากสูตร

$$\text{เวลาปกติ (NT)} = \text{เวลาเฉลี่ย} \times \text{ค่าประเมินอัตราความเร็ว} \quad (3.8)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากงานย่อยที่ 1 พนักงานเริ่มเดินตรวจเช็คหมายเลขของม้วนเหล็กที่ส่งเข้ามาใหม่ตามชั้นวาง

$$\text{เวลาปกติ (NT)} = 338.188 \times 1.08$$

$$= 365.243 \text{ วินาที}$$

6.3 คำนวณเวลามาตรฐานจากสูตร

$$\text{เวลามาตรฐาน (ST)} = \text{เวลาปกติ} + \text{ค่าเผื่อ}$$

$$\text{หรือ เวลามาตรฐาน (ST)} = \text{เวลาปกติ} + \left(\frac{\%AF}{100} \times \text{เวลาปกติ} \right) \quad (3.9)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากงานย่อยที่ 1 พนักงานเริ่มเดินตรวจเช็คหมายเลขของม้วนเหล็กที่ส่งเข้ามาใหม่ตามชั้นวาง

$$\text{เวลามาตรฐาน (ST)} = 365.243 + \left(\frac{\%12}{100} \times 365.243 \right)$$

$$= 409.072 \text{ วินาที}$$

7. สรุปผลการศึกษาลงในแบบฟอร์มใบสรุปข้อมูลเวลา (ดูข้อมูลได้ในภาคผนวก ง.) เพื่อใช้งานต่อไป โดยผู้วิจัยได้นำค่าเวลามาตรฐานที่ได้มาทำการคำนวณเปรียบเทียบกับแผนการผลิตต่อไป

ข. การคำนวณหาจำนวนแผ่นเหล็กที่จะทำการตรวจในแต่ละช่วงเวลา โดยมีขั้นตอนการศึกษาเวลาพอสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษารูปแบบการผลิตในโรงป้อนตัวถัง

จากการศึกษารูปแบบการผลิตในโรงป้อนตัวถัง พบว่ามีการผลิตแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ โดยมีชื่อเรียกเป็น รูปแบบ A, B, C และ D ตามลำดับ ซึ่งการทำงานจะเรียงกันไปตามรูปแบบ A-B-C-D แต่ละรูปแบบจะใช้เวลาการทำงานเท่ากับ 1 กะ ดังนั้นลำดับการผลิตหลักๆจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

- กำหนดให้การผลิตตามรูปแบบ A และ C เป็นกะกลางวัน/ กำหนดให้ B และ D เป็นกะกลางคืน
- กำหนดให้การผลิตตามรูปแบบ B และ D เป็นกะกลางวัน/ กำหนดให้ A และ C เป็นกะกลางคืน

2. จำนวนชนิดชิ้นงานที่จะต้องทำการตรวจสอบ

ในการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบเพียงแผ่นเหล็กที่มีการเคลือบผิวด้วยกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot-Dipped Galvanized) เท่านั้น เนื่องจากแผ่นเหล็กที่ผ่านกระบวนการเคลือบดังกล่าวจะสามารถป้องกันการเกิดสนิมในสภาพกลางแจ้ง อีกทั้งยังช่วยทำให้แผ่นเหล็กทนต่อการขีดข่วน ซึ่งในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปที่บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด มีเพียง 11 ชิ้นงานเท่านั้นที่ใช้แผ่นเหล็กชุบกำลัปว่าไนซ์ โดยในแต่ละชิ้นงานจะมีจำนวนม้วนเหล็กที่ใช้ต่อล็อต

จากผลการคำนวณโดยใช้เทคนิควิเคราะห์ความแปรปรวนที่กล่าวไปในข้างต้นพบว่ากำหนดให้มีการตรวจสอบ 1 แผ่นเหล็กต่อ 1 ม้วนเหล็กดังนั้นในช่องจำนวนม้วนเหล็กที่ใช้ต่อจำนวนล็อตจะมีค่าเท่ากับตัวเลขในช่องจำนวนสุ่มตรวจสอบ ตามแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ชื่อชิ้นงานและจำนวนม้วนเหล็กที่ใช้ในการตรวจสอบ

หมายเลขชิ้นงาน	ชื่อชิ้นงาน	การใช้วัตถุดิบ/ ล็อต	จำนวนม้วนเหล็กที่ใช้/ล็อต	จำนวนสุ่มตรวจสอบ
58111-KK010/20/30/40	PNL FR FLOOR	6	2	2
58311-KK010	PNL RR FLOOR	3	2	2
58311-OK143	PNL RR FLOOR	3	2	2
53311-KK010/20	PNL HOOD OUTER	4	2	2
53811-KK010/20	PNL FR FENDER RH	4	2	2
53812-KK010/20	PNL FR FENDER LH	4	2	2
53711/2-KK040	APRON FR FENDER RH/LH	5	2	2
57413/4-KK030	MBR FLOOR SIDE INN RR RH/LH	2	1	1
58311-KK040	PNL RR FLOOR	3	2	2
57611-OK010	MEMBER RR FLOOR SIDE FR RH	3	2	2
57613-OK090	MEMBER RR FLOOR SIDE CTR RH	3	2	2

หมายเหตุ : กำหนดให้จำนวนม้วนเหล็กที่ใช้ต่อจำนวนล็อตเท่ากับ 2 ในกรณีที่การใช้วัตถุดิบตามจำนวนจำนวนล็อตมากกว่า 2 แพ็คขึ้นไป

จากตารางที่ 3.8 สามารถคำนวณหาจำนวนการสุ่มตรวจทั้งหมดตามรูปแบบการผลิตต่างๆ (A, B, C, D) โดยแบ่งตามรอบเวลาการรับวัตถุดิบได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ชื่อชิ้นงานและจำนวนสุ่มตรวจสอบตามรูปแบบการผลิต โดยแบ่งตามรอบเวลาการรับวัตถุดิบ

หมายเลขชิ้นงาน	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนมันเหล็กที่ใช้/ จำนวนลีด	รูปแบบการผลิต				รอบเวลารับวัตถุดิบ	
			A	B	C	D	กลางวัน	กลางคืน
53311-KK010/20	PNL HOOD OUTER	2	2	2	2	2	09:00	20:00
53711/2-KK040	APRON FR FENDER RH/LH	2	2	2	2	2	09:00	20:00
57413/4-KK030	MBR FLOOR SIDE INN RR RH/LH	1	1	-	1	-	09:00	20:00
58111-KK010/20/30/40	PNL FR FLOOR	2	2	2	2	2	11:00	23:00
58311-KK040	PNL RR FLOOR	2	-	2	-	2	11:00	23:00
58311-OK143	PNL RR FLOOR	2	-	2	-	2	15:30	03:00
53811-KK010/20	PNL FR FENDER RH	2	2	-	2	-	15:30	03:00
53812-KK010/20	PNL FR FENDER LH	2	2	-	2	-	15:30	03:00
57613-OK090	MEMBER RR FLOOR SIDE CTR RH	2	2	-	2	-	15:30	03:00

ตัวอย่างวิธีการคำนวณหาจำนวนการสุ่มตรวจเช็คต่อรอบเวลา (09:00 : 20:00)

ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจสอบตามรูปแบบการผลิต (09:00 : 20:00)

หมายเลขชิ้นงาน	ชื่อชิ้นงาน	จำนวนมันเหล็กที่ใช้/ จำนวนลีด	รูปแบบการผลิต				รอบเวลารับวัตถุดิบ	
			A	B	C	D	กลางวัน	กลางคืน
53311-KK010/20	PNL HOOD OUTER	2	2	2	2	2	09:00	20:00
53711/2-KK040	APRON FR FENDER RH/LH	2	2	2	2	2	09:00	20:00
57413/4-KK030	MBR FLOOR SIDE INN RR RH/LH	1	1	-	1	-	09:00	20:00

จากตารางที่ 3.10 สามารถนำมาคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่ได้จากรูปแบบการผลิต A ในช่วงเวลารับของรอบ 09:00 และ 20:00 ได้ดังนี้

- รูปแบบการผลิต A ต้องทำการสุ่มตรวจทั้งหมด 5 มันเหล็กต่อรอบเวลาการรับวัตถุดิบ
- รูปแบบการผลิต B ต้องทำการสุ่มตรวจทั้งหมด 4 มันเหล็กต่อรอบเวลาการรับวัตถุดิบ
- รูปแบบการผลิต C ต้องทำการสุ่มตรวจทั้งหมด 5 มันเหล็กต่อรอบเวลาการรับวัตถุดิบ
- รูปแบบการผลิต D ต้องทำการสุ่มตรวจทั้งหมด 4 มันเหล็กต่อรอบเวลาการรับวัตถุดิบ

โดยสามารถสรุปจำนวนที่ต้องทำการสุ่มตรวจตามรูปแบบการผลิตแบบต่างๆได้ดังแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 จำนวนการสุ่มตรวจสอบทั้งหมดตามรูปแบบการผลิตต่อรอบเวลาการรับวัตถุดิบ

รอบเวลารับวัตถุดิบ	จำนวนการสุ่มตรวจเช็ค/รอบ				เฉลี่ย
	A	B	C	D	
09:00 : 20:00	5	4	5	4	4.5
11:00 : 23:00	6	6	6	6	6
15:00 : 03:00	6	2	6	2	4
สุ่มตรวจสอบทั้งหมด	17	12	17	12	14.5

สามารถสรุปได้ว่าการตรวจเช็คโดยเฉลี่ย = $\frac{4.5+6+4}{3} = 4.833 \approx 5$ แผ่นต่อรอบการรับวัตถุดิบ

ค. การคำนวณหาจำนวนพนักงานและจำนวนรถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสมในกระบวนการ โดยมีขั้นตอนการศึกษาเวลาพอสรุปได้ดังนี้

1. ศึกษารูปแบบการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งหมด ได้แก่

- กำหนดให้การผลิตตามรูปแบบ A และ C เป็นกะกลางวัน/ กำหนดให้ B และ D เป็นกะกลางคืน
- กำหนดให้การผลิตตามรูปแบบ B และ D เป็นกะกลางวัน/ กำหนดให้ A และ C เป็นกะกลางคืน

2. ดูเวลามาตรฐานที่ใช้ในกระบวนการใหม่ทั้งหมด แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

- เวลามาตรฐานงานรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมวัตถุดิบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ ได้แก่งานย่อยที่ 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 14 และ 15 โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำเพียงครั้งเดียวต่อรอบการรับของเท่านั้น

- เวลามาตรฐานงานเดี่ยว หมายถึง เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมวัตถุดิบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ ได้แก่งานย่อยที่ 4, 6, 8, 12 และ 13 โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำแล้วได้ชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นต่อครั้งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการคูณด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องทำการตรวจสอบ

- เวลามาตรฐานงาน Pin on Disc หมายถึงเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยกระบวนการดังกล่าวด้วยเครื่อง Pin on Disc จริงๆ ได้แก่งานย่อยที่ 16 ถึง 21 ของใบบันทึกเวลากระบวนการ Pin on Disc โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำแล้วได้ชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นต่อครั้งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการคูณด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องทำการตรวจสอบ

- เวลามาตรฐานงาน V-bending หมายถึงเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยกระบวนการดังกล่าวด้วยเครื่อง V-bending จริงๆ ได้แก่งานย่อยที่ 16 ถึง 21 ของใบบันทึกเวลากระบวนการ V-bending โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำแล้วได้ชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นต่อครั้งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการคูณด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องทำการตรวจสอบ

3. นำเวลาที่ได้มาทำการหาเวลาทั้งหมดของกระบวนการ โดยใช้แผนภูมิแกนต์ในการจำลองตารางเวลาการทำงานตามรูปแบบการผลิตที่เป็นไปได้ทั้ง 2 แบบ

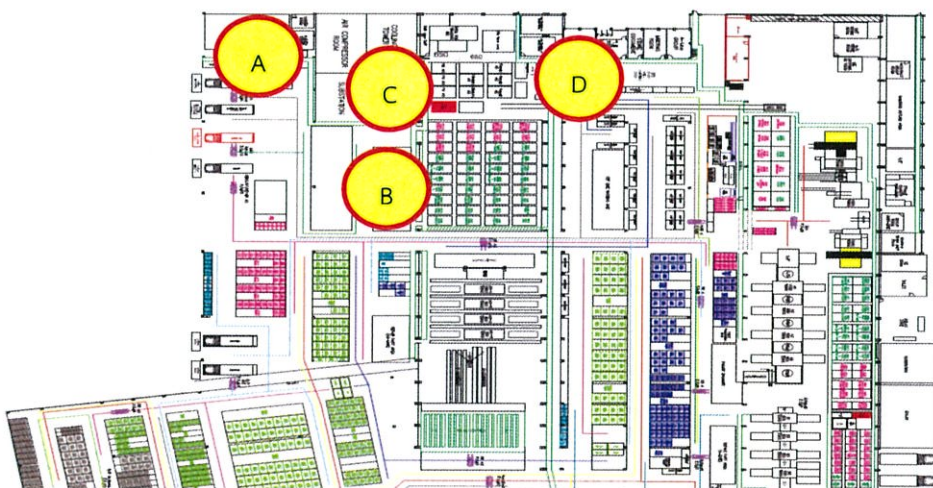
3.4.6 การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

เนื่องจากโรงบ่มตัวถังภายในบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด มีพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง ผู้วิจัยได้ทำการวางแผนการดำเนินงานคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอนโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) โดยสามารถแบ่งแยกขั้นตอนออกได้เป็นดังต่อไปนี้

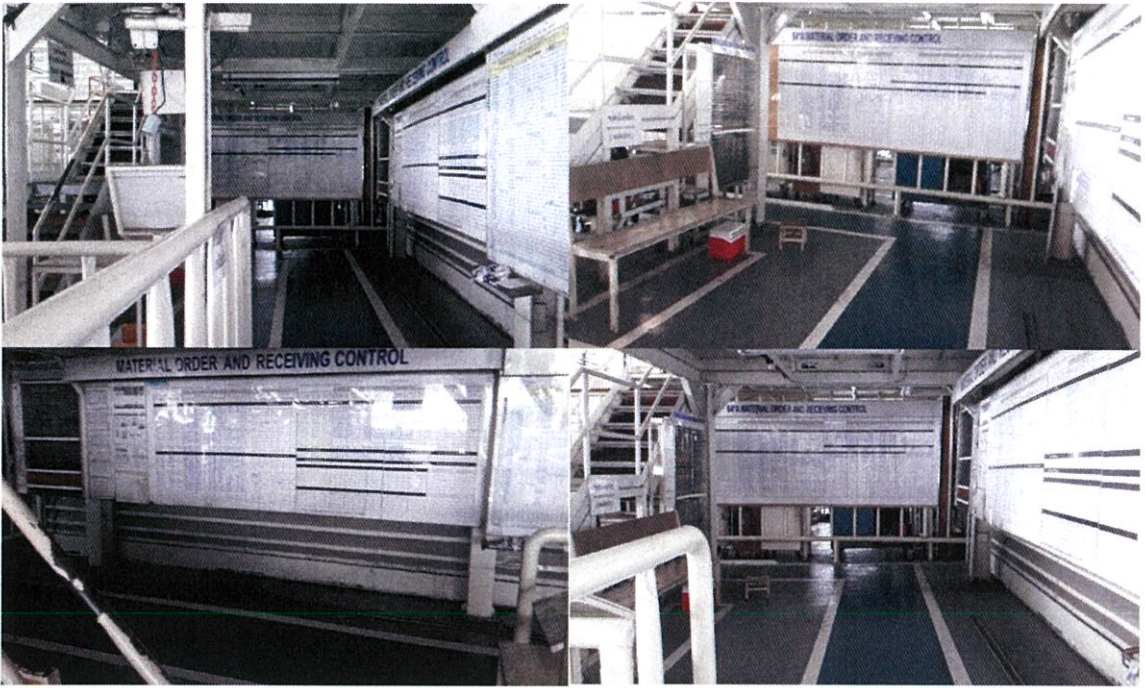
1. การกำหนดทางเลือกของพื้นที่ของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

จากการสำรวจพื้นที่ภายในโรงบ่มตัวถัง บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด โดยพิจารณาความเหมาะสมจากเงื่อนไขเบื้องต้น ได้แก่ ขนาดพื้นที่ ความเป็นไปได้และข้อจำกัดต่างๆในการจัดตั้งพบว่ามียุทธศาสตร์พื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กทั้งหมด 4 กลุ่มพื้นที่ดังต่อไปนี้

- กลุ่มพื้นที่ A คือ พื้นที่บริเวณจุดติดตั้งกระดานตรวจเช็คคุณภาพ ใกล้กับบริเวณจุดรับ-ส่งวัตถุดิบจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อย
- กลุ่มพื้นที่ B คือ พื้นที่บริเวณจุดตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนส่งขายต่างประเทศ ซึ่งประกอบด้วยจุดงานย่อยๆ 4 จุด
- กลุ่มพื้นที่ C คือ พื้นที่บริเวณห้องเก็บอุปกรณ์ ใกล้กับจุดตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนส่งขายต่างประเทศ ใช้สำหรับเก็บอุปกรณ์
- กลุ่มพื้นที่ D คือ พื้นที่บริเวณจุดที่ใช้สำหรับฝึกอบรมพนักงานใหม่ ตั้งอยู่บริเวณด้านหลังของจุดแกะหีบห่อวัตถุดิบ



รูปที่ 3.22 แผนผังแสดงตำแหน่งจุดคัดเลือกภายในโรงบ่มตัวถัง



รูปที่ 3.23 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ A บริเวณจุดติดตั้งกระดานตรวจเช็คคุณภาพ



รูปที่ 3.24 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ B บริเวณจุดตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนส่งขายต่างประเทศ



รูปที่ 3.25 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ C บริเวณห้องเก็บอุปกรณ์



รูปที่ 3.26 รูปตัวอย่างกลุ่มพื้นที่ D บริเวณจุดที่ใช้สำหรับฝึกอบรมพนักงานใหม่

2. การกำหนดหลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการพิจารณาหาทางเลือกที่ดีที่สุด

2.1 ขนาดของพื้นที่ จะพิจารณาขนาดพื้นที่ที่มีอยู่ในปัจจุบันว่าเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ โดยพื้นที่จะต้องมีขนาดที่เหมาะสมสำหรับการตั้งเครื่องมือเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพ เครื่องคอมพิวเตอร์ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำงาน โดยจะให้ค่าคะแนนมากในกรณีที่พื้นที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมาก

2.2 ระบบน้ำ-ไฟฟ้า จะพิจารณาถึงความง่ายต่อการติดตั้งระบบน้ำและระบบไฟฟ้า หรืออยู่ใกล้บริเวณแหล่งจ่ายน้ำและไฟ เนื่องจากเครื่องมือตรวจสอบและเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการเก็บข้อมูล จำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการดำเนินงาน โดยจะให้ค่าคะแนนมากในกรณีที่อยู่ใกล้หรือง่ายต่อการเข้าถึงระบบน้ำ-ไฟฟ้า

2.3 ความสิ้นสະเทือนของพื้นที่ เนื่องจากเครื่องมือตรวจสอบ Pin on Disc จำเป็นต้องตรวจในสถานที่ที่ไม่มีการสิ้นสະเทือน จึงต้องนำหลักเกณฑ์นี้มาพิจารณาด้วย โดยจะให้คะแนนมากในกรณีที่พื้นที่ไม่มีความสิ้นสະเทือน

2.4 ความหนาแน่นของการจราจร พื้นที่ที่เหมาะสมในการทำการจัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพ ควรมีความหนาแน่นของการจราจรที่ไม่มากนัก เพราะอาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ อาทิ เช่น รถโพล์คลิฟท์ชนกัน หรือรถโพล์คลิฟท์ชนกับพนักงานที่กำลังปฏิบัติงาน เป็นต้น โดยจะให้ค่าคะแนนมากในกรณีความหนาแน่นของการจราจรไม่มากนัก

2.5 การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน จะพิจารณาถึงความคุ้มค่าในการใช้งานของสถานที่ในปัจจุบัน หากพื้นที่ที่มีอยู่ไม่ได้มีการใช้ให้เกิดประโยชน์มากเท่าที่ควร จะมีการให้ค่าคะแนนมากเนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมที่ทำในบริเวณนั้นในปัจจุบัน แต่หากพื้นที่มีการใช้ประโยชน์ในปัจจุบันมากจะให้ค่าคะแนนน้อย

2.6 สภาพของพื้นที่ในปัจจุบัน จะพิจารณาถึงสภาพพื้นที่ในปัจจุบันว่ามีสภาพยังใช้การได้ดีหรือไม่ ต้องมีการปรับปรุงมากน้อยเพียงใด

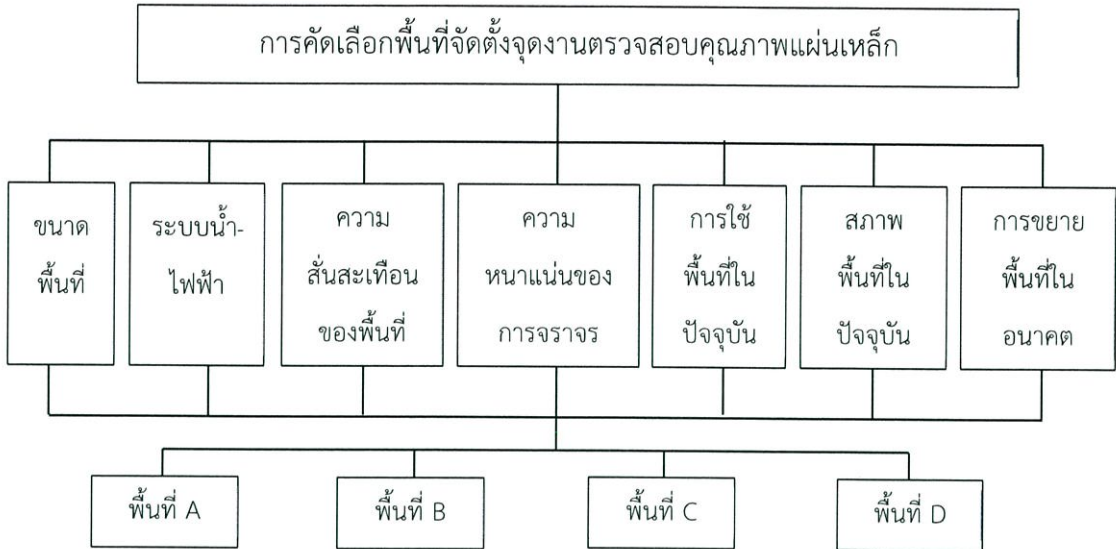
2.7 การขยายพื้นที่ในอนาคต จะพิจารณาถึงพื้นที่ข้างเคียงว่ามีโอกาสในการพัฒนาขยายเพื่อทำกิจกรรมอื่นหรือไม่ หากมีโอกาสในการขยายทำกิจกรรมอื่น จะให้ค่าคะแนนน้อยเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อทำให้เกณฑ์ด้านอื่นมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิม อาทิเช่น ทำให้ความหนาแน่นของการจราจรเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม หรืออาจทำให้เกิดความสิ้นสະเทือนของพื้นที่มากขึ้น เป็นต้น

2.8 ระยะทาง จะพิจารณาถึงระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อล่องหนระบวนกรทั้งหมด ซึ่งหากพื้นที่แต่ละจุดการทำงานอยู่ใกล้กันก็จะส่งผลให้พนักงานเกิดความเหนื่อยล้าหรือเสียเวลามากยิ่งขึ้น โดยจะทำการให้คะแนนมากในกรณีที่ระยะห่างระหว่างจุดงานแต่ละจุดน้อยที่สุด

3. การออกแบบแบบประเมิน

เมื่อได้พื้นที่ที่จะใช้ในการคัดเลือกและหลักเกณฑ์ต่างๆในการประเมินแล้ว ขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ทำการประเมินวิเคราะห์หาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการจัดตั้งจุดงานเพื่อตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กมากที่สุด สามารถดูตัวอย่างแบบสอบถามได้ใน

ภาคผนวก ง.1 โดยมีผู้ทำการประเมินทั้งหมด 4 คน ซึ่งผู้ประเมิน ได้แก่ วิศวกรและบุคคลผู้ทำงาน เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพภายในโรงปั๊มตัวถัง โดยสามารถสรุปโครงสร้างลำดับชั้นของการคัดเลือก พื้นที่จัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กได้ในรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 โครงสร้างลำดับชั้นของการคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็ก

4. คำนวณผลที่ได้จากผู้ประเมิน แบ่งขั้นตอนการคำนวณออกได้เป็นดังต่อไปนี้

4.1 เริ่มจากวิเคราะห์ความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยการเปรียบเทียบความสำคัญแต่ละคู่ แล้วนำมาสร้างตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจแบบคู่ (Matrix A) และหาผลรวมของระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์ในการตัดสินใจของแถวตั้งที่ j สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$a_j = \sum a_{ij} \quad (3.10)$$

ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัย

เกณฑ์การตัดสินใจ		ปัจจัย			
		A_1	A_2	...	A_j
ปัจจัย	A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}
	A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}

	A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}
ผลรวม ($a_{j.}$)		$a_{1.}$	$a_{1.}$...	$a_{j.}$

โดยสมาชิก a_{ij} แทนจำนวนเท่าของปัจจัย A_i ที่มีความสำคัญมากกว่าหรือน้อยกว่าปัจจัย A_j

สามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

ตารางที่ 3.13 ตัวอย่างการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากผู้ประเมินคนที่ 1

ปัจจัย	ขนาดพื้นที่	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	ความ สั่นสะเทือนของพื้นที่	ความ หนาแน่น ของ การจราจร	การใช้ พื้นที่ใน ปัจจุบัน	สภาพ พื้นที่ใน ปัจจุบัน	การขยาย พื้นที่ใน อนาคต	ระยะทาง
ขนาดพื้นที่	1	5	1	7	3	9	5	3
ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	1/5	1	5	3	1/3	3	1	1/3
ความ สั่นสะเทือนของ พื้นที่	1	5	1	7	3	9	5	3
ความหนาแน่น ของการจราจร	1/7	1/3	1/7	1	1/5	3	1/3	1/5
การใช้พื้นที่ใน ปัจจุบัน	1/3	3	1/3	5	1	7	3	1
สภาพพื้นที่ใน ปัจจุบัน	1/9	1/3	1/9	1/3	1/7	1	1/3	1/5
การขยายพื้นที่ ในอนาคต	1/5	1	1/5	3	1/3	3	1	1/3
ระยะทาง	1/3	3	1/3	5	1	5	3	1
รวม	3.320	18.67	3.320	31.333	9.009	40	18.666	9.066

4.2 ปรับระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละเกณฑ์ในการตัดสินใจ (Normalization)

โดยการเอาตัวเลขในแต่ละช่องของแถวตั้งหารด้วยผลรวมของแต่ละแถวตั้งจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Normalize} = \frac{a_{ij}}{a_j} \quad (3.12)$$

หลังจากนั้นทำการคำนวณลำดับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวของเมตริกซ์ปรับค่าระดับความสำคัญแบบคู่ของเกณฑ์ในการตัดสินใจ จะได้เป็นความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละปัจจัยออกมา สามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ลำดับความสำคัญ (เมตริกซ์ V) ได้ดังนี้

$$V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

ตารางที่ 3.14 ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยจากผู้ประเมินคนที่ 1

เป้าหมายการตัดสินใจ	ขนาดพื้นที่	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	ความสันสะเทือนของพื้นที่	ความหนาแน่นของการจราจร	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	การขยายพื้นที่ในอนาคต	ระยะทาง	ค่าน้ำหนัก
ขนาดพื้นที่	0.301	0.27	0.301	0.223	0.332	0.225	0.267	0.330	0.281
ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	0.060	0.053	0.060	0.095	0.036	0.075	0.053	0.036	0.059
ความสันสะเทือนของพื้นที่	0.30	0.27	0.301	0.223	0.332	0.225	0.267	0.330	0.28
ความหนาแน่นของการจราจร	0.04	0.02	0.043	0.031	0.022	0.075	0.02	0.022	0.03
การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	0.10	0.16	0.10	0.159	0.110	0.175	0.16	0.110	0.13
สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.025	0.02	0.022	0.02
การขยายพื้นที่ในอนาคต	0.06	0.05	0.06	0.10	0.036	0.075	0.053	0.036	0.06
ระยะทาง	0.10	0.16	0.10	0.16	0.11	0.13	0.16	0.110	0.13

ตัวอย่างการอ่านค่าที่ได้จากตาราง อาทิเช่น ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่ที่มีความสำคัญมากที่สุดโดยคำนวณค่าน้ำหนักได้เท่ากับ 0.281 หรือ 28.1% และปัจจัยด้านสภาพพื้นที่ในปัจจุบันมีความสำคัญน้อยที่สุดโดยคำนวณค่าน้ำหนักได้เท่ากับ 0.02 หรือ 2%

$$V = \begin{pmatrix} 0.281 \\ 0.059 \\ 0.280 \\ 0.030 \\ 0.130 \\ 0.020 \\ 0.060 \\ 0.130 \end{pmatrix}$$

4.3 เมื่อได้พิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ในการตัดสินใจแล้ว จากนั้นก็จะมาคำนวณลำดับความสำคัญของทางเลือกด้วยการเปรียบเทียบแบบคู่ผ่านเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ละเกณฑ์ โดยเปรียบเทียบระดับความสำคัญของทางเลือกทีละคู่ผ่านเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ละเกณฑ์ แล้วนำมาเขียนเป็นเมตริกซ์เปรียบเทียบทางเลือกแบบคู่ (Matrix B) ซึ่งจะได้เมตริกซ์ทั้งหมดจำนวน n ชุด หรือเท่ากับจำนวนเกณฑ์ในการตัดสินใจ และหาผลรวมของระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละทางเลือกในการตัดสินใจของแถวตั้งที่ j สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$b_j = \sum b_{ij} \tag{3.14}$$

ตารางที่ 3.15 เปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละทางเลือก

ทางเลือกการตัดสินใจ		ทางเลือก			
		B_1	B_2	...	B_j
ทางเลือก	B_1	b_{11}	b_{12}	...	b_{1j}
	B_2	b_{21}	b_{22}	...	b_{2j}

	B_i	b_{i1}	b_{i2}	...	b_{ij}
ผลรวม ($b_{j.}$)		$b_{1.}$	$b_{2.}$...	$b_{j.}$

โดยสมาชิก b_{ij} แทนจำนวนเท่าของทางเลือก B_i ที่มีความเหมาะสมมากกว่าหรือน้อยกว่าทางเลือก B_j

ตารางที่ 3.16 ตัวอย่างการให้คะแนนความสำคัญของแต่ละทางเลือกจากผู้ประเมินคนที่ 1
(ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่)

ทางเลือกของที่ตั้ง	A	B	C	D
A	1	1/7	1/5	1
B	7	1	3	7
C	5	1/3	1	5
D	1	1/7	1/5	1
รวม	14	1.619	4.4	14

4.4 ปรับระดับความสำคัญในการเปรียบเทียบของแต่ละทางเลือก (Normalization) โดยการเอาตัวเลขในแต่ละช่องของแถวตั้งหารด้วยผลรวมของแต่ละแถวตั้งจากสูตรต่อไปนี้

$$\text{Normalize} = \frac{b_{ij}}{b_j} \quad (3.15)$$

หลังจากนั้นทำการคำนวณลำดับความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละทางเลือก โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละแถวของเมตริกซ์ปรับค่าระดับความสำคัญแบบคู่ของทางเลือกผ่านเกณฑ์ในการตัดสินใจ จะได้เป็นความเหมาะสมของแต่ละทางเลือกตามปัจจัยต่างๆออกมา สามารถเขียนในรูปของเมตริกซ์ลำดับความสำคัญ (เมตริกซ์ W) ได้ดังนี้

$$W = \begin{pmatrix} W_{11} \\ W_{12} \\ \dots \\ W_{mn} \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

โดยที่ m = เกณฑ์ในการพิจารณา หรือ ปัจจัย
 n = ทางเลือก

ตารางที่ 3.17 ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละทางเลือกจากผู้ประเมินคนที่ 1
(ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่)

ทางเลือกของที่ตั้ง	A	B	C	D	ค่าน้ำหนัก
A	0.071	0.088	0.045	0.071	0.069
B	0.5	0.617	0.681	0.5	0.574
C	0.357	0.205	0.227	0.357	0.286
D	0.071	0.088	0.045	0.071	0.069

4.5 คำนวณตามขั้นตอนที่ 3 และ 4 เพื่อให้ได้ค่าระดับความสำคัญของทางเลือกสำหรับแต่ละปัจจัยออกมา

4.6 ทดสอบว่าผลการเปรียบเทียบแบบคู่ของเกณฑ์ในการตัดสินใจที่ได้ดำเนินการมาแล้วมีความสอดคล้องกัน โดยเริ่มจากคำนวณหาผลคูณระหว่างเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบแบบคู่ (เมตริกซ์ A) ที่ได้จากสูตร ที่ 3.11 และเมตริกซ์ลำดับความสำคัญ (เมตริกซ์ W) ที่ได้จากสูตรที่ 3.16 โดยผลคูณของเมตริกซ์ A และ W เรียกว่า เมตริกซ์ A.W

ตัวอย่างการคำนวณจากผู้ประเมินคนที่ 1 (ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่)

$$\begin{aligned}
 A.W &= \begin{pmatrix} 1 & 1/7 & 1/5 & 1 \\ 7 & 1 & 3 & 7 \\ 5 & 1/3 & 1 & 5 \\ 1 & 1/7 & 1/5 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.069 \\ 0.594 \\ 0.286 \\ 0.069 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 0.277 \\ 2.403 \\ 1.169 \\ 0.277 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ค่า $n_{max} = 0.277 + 2.403 + 1.169 + 0.277 = 4.128$

4.7 คำนวณหาค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลทุกตารางเพื่อทำการวัดความสอดคล้องด้วยการเปรียบเทียบเกณฑ์ในการตัดสินใจเป็นรายคู่ในรูปของเมตริกซ์ และโทมัส สาดต์ ได้กำหนดค่า CR ทางทฤษฎีตามขนาดเมตริกซ์ที่แตกต่างกันเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่า CR จากการคำนวณ สามารถคำนวณหาค่า CR ได้ตามสูตรต่อไปนี้

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{3.17}$$

โดยที่

CI = Consistency Index of A

$$= \frac{n_{max} - n}{n - 1}$$

RI = Random Consistency of A

$$= \frac{1.98(n-2)}{n} \text{ หรือสามารถดูได้จากตารางมาตรฐานภาคผนวก 4}$$

ถ้า CR มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่าข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ หรือปัจจัยมีความสอดคล้องกัน แต่ถ้า CR มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่าข้อมูลไม่มีความสอดคล้องกันต้องทำการประเมินใหม่

หมายเหตุ

n_{max} คือค่าที่หาได้จากผลรวมของสมาชิกเมตริกซ์ A.W

n คือจำนวนเกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับการพิจารณาเปรียบเทียบกัน

(ยิ่ง n_{max} เข้าใกล้ n มากขึ้น Matrix A จะมี Consistency มากขึ้น)

ตัวอย่างการคำนวณจากผู้ประเมินคนที่ 1 (ปัจจัยด้านขนาดพื้นที่)

$$CI = \frac{4.128 - 4}{4 - 1} = 0.04291$$

$$RI = 0.9 \quad (\text{เปิดจากตารางมาตรฐาน})$$

$$CR = 0.04769$$

ถ้าค่า $CR \leq 0.1$ ข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ หรือปัจจัยมีความสอดคล้องกัน

4.8 เมื่อได้ทำการวิเคราะห์และประเมินทางเลือกต่าง ๆ แล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละทางเลือกอีกครั้งหนึ่งเพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเพียงทางเลือกเดียว

ซึ่งค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือกจะคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ค่าน้ำหนักรวมของทางเลือก } B_1 = V_1W_{11} + V_2W_{12} + \dots + V_nW_{1n}$$

$$\text{ค่าน้ำหนักรวมของทางเลือก } B_2 = V_1W_{21} + V_2W_{22} + \dots + V_nW_{2n}$$

...

$$\text{ค่าน้ำหนักรวมของทางเลือก } B_i = V_1W_{i1} + V_2W_{i2} + \dots + V_nW_{in} \quad (3.18)$$

เลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการพิจารณาจากค่าน้ำหนักรวมของทางเลือกที่สูงสุดเป็นลำดับแรก

3.4.7 การออกแบบห้องทำงาน

หลังจากได้ทำเลที่ตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการออกแบบห้องทำงาน โดยผู้วิจัยเลือกใช้การวางแผนผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) ซึ่งเป็นกระบวนการวางแผนผังโรงงานที่มุ่งเน้นไปที่ระดับความสัมพันธ์ระหว่างสถานีหรือกิจกรรมต่างๆ ว่าควรมีการจัดวางใกล้กันหรือไม่ แล้วพิจารณาระดับความใกล้ชิดของแต่ละสถานีที่ละจุดจนครบทุกคู่ สามารถสรุปวิธีการคำนวณได้ดังนี้

1. กำหนดกิจกรรมหรืออุปกรณ์ต่างๆที่จะวางภายในห้อง กำหนดตารางความสัมพันธ์ (Relationship Chart, REL) ของแต่ละอุปกรณ์ โดยใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษและคะแนนแทนความหมายของความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

A แทนความหมาย จำเป็นที่สุดที่ต้องอยู่ใกล้กัน (Absolutely Necessary)	ให้คะแนนเท่ากับ 4
E แทนความหมาย จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอยู่ใกล้กัน (Especially Important)	ให้คะแนนเท่ากับ 3
I แทนความหมาย มีความสำคัญจึงต้องอยู่ใกล้กัน (Important)	ให้คะแนนเท่ากับ 2
O แทนความหมาย ใกล้ชิดกันธรรมดา (Ordinary Closeness)	ให้คะแนนเท่ากับ 1
U แทนความหมาย ไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้กัน (Unimportant)	ให้คะแนนเท่ากับ 0
X แทนความหมาย ไม่ต้องการให้อยู่ใกล้กัน (Undesirable)	ให้คะแนนเท่ากับ -1

โดยกำหนดให้

- หมายเลข 1 คือ เครื่อง Pin on Disc Test
- หมายเลข 2 คือ เครื่อง V-bending Test
- หมายเลข 3 คือ เครื่องตัดเหล็กเป็นแผ่นวงกลม
- หมายเลข 4 คือ เครื่องคอมพิวเตอร์
- หมายเลข 5 คือ โต๊ะคอมพิวเตอร์
- หมายเลข 6 คือ ตู้เก็บเอกสาร
- หมายเลข 7 คือ ประตู
- หมายเลข 8 คือ ชั้นวางรองเท้า
- หมายเลข 9 คือ เครื่องปรับอากาศ
- หมายเลข 10 คือ โต๊ะวางชิ้นงาน

ตารางที่ 3.18 ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ทุกชิ้นที่จะนำมาจัดวางภายในห้อง

REL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	X	X	A	A	A	X	U	X	O
2		-	E	X	U	O	U	U	X	U
3			-	X	U	U	U	U	X	U
4				-	A	E	U	U	U	O
5					-	E	X	U	U	O
6						-	X	U	U	I
7							-	I	U	X
8								-	U	U
9									-	U
10										-

โดยจากตารางที่ 3.18 สามารถอธิบายได้ดังนี้

- เครื่อง Pin on Disc Test จะต้องไม่อยู่ใกล้กับเครื่อง V-bending Test เครื่องเครื่องตัดเหล็ก เป็นแผ่นวงกลม ประตุ และเครื่องปรับอากาศเนื่องจากการทดสอบ Pin on Disc จำเป็นจะต้องป้องกัน ไม่ให้การสั่นสะเทือนจากสภาพแวดล้อมภายนอกมารบกวนการทำงานของเครื่องเพราะอาจจะทำให้ค่าที่ วัดผิดเพี้ยนได้ โดยการเก็บผลการทดสอบที่ได้จาก Pin on Disc จำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึง ต้องจัดเรียงให้อยู่ใกล้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ โต๊ะคอมพิวเตอร์ และตู้เก็บเอกสาร โดยอาจอยู่ใกล้หรือไม่อยู่ ใกล้กับโต๊ะวางชิ้นงานก็ได้ และไม่จำเป็นต้องวางใกล้กันกับชั้นวางรองเท้า

- เครื่อง V-bending Test มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะจัดเรียงใกล้กับเครื่องตัดเหล็กเป็นแผ่น วงกลมเพื่อความสะดวกในการใช้งานอีกทั้งเครื่องทั้งสองมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกัน โดยห้ามวางใกล้ กับเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องปรับอากาศ อาจจัดวางอยู่ใกล้หรือไม่ใกล้กับตู้เก็บเอกสารก็ได้ และไม่ จำเป็นต้องวางใกล้กันกับโต๊ะคอมพิวเตอร์ ประตุ ชั้นวางรองเท้า และโต๊ะวางชิ้นงาน

- เครื่องตัดเหล็กเป็นแผ่นวงกลม ห้ามวางใกล้กับเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องปรับอากาศ และไม่ จำเป็นต้องวางใกล้กันกับตู้เก็บเอกสาร โต๊ะคอมพิวเตอร์ ประตุ ชั้นวางรองเท้า และโต๊ะวางชิ้นงาน

- เครื่องคอมพิวเตอร์ จำเป็นต้องอยู่ใกล้กับโต๊ะคอมพิวเตอร์และตู้เอกสาร โดยอาจอยู่ใกล้หรือไม่ อยู่ใกล้กับโต๊ะวางชิ้นงานก็ได้ และไม่จำเป็นต้องวางใกล้กันกับประตุ ชั้นวางรองเท้า และเครื่องปรับอากาศ

- ตู้เก็บเอกสารไม่ควรวางใกล้กับประตุ โดยควรที่จะอยู่ใกล้กับโต๊ะวางชิ้นงาน และไม่จำเป็นต้อง วางใกล้กันกับชั้นวางรองเท้าและเครื่องปรับอากาศ

- ประตูไม่ควรวางใกล้กับโต๊ะวางชิ้นงาน ควรอยู่ใกล้กับชั้นวางรองเท้า และไม่จำเป็นต้องวางใกล้กันกับเครื่องปรับอากาศ

- ชั้นวางรองเท้าไม่จำเป็นต้องวางใกล้กันกับโต๊ะวางชิ้นงานและเครื่องปรับอากาศ

สามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาแปลงเป็นตารางคะแนนโดยสามารถเปรียบเทียบคะแนนได้ดังที่กล่าวไว้ในข้อที่ 1 ข้างต้น อาทิเช่น A ให้คะแนนเท่ากับ 4 เป็นต้น สามารถสรุปคะแนนของแต่ละความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 คะแนนความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ทุกชิ้นที่จะนำมาจัดวางภายในห้อง

REL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-	-1	-1	4	4	4	-1	0	-1	1
2		-	3	-1	0	1	0	0	-1	0
3			-	-1	0	0	0	0	-1	0
4				-	4	3	0	0	0	1
5					-	3	-1	0	0	1
6						-	-1	0	0	2
7							-	2	0	-1
8								-	0	0
9									-	0
10										-

2. นำความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ต่างๆมาเขียนลงในตารางเพื่อแสดงความสัมพันธ์ในแบบต่างๆ

ตารางที่ 3.20 อุปกรณ์ทุกชิ้นที่จะนำมาจัดเรียงตามลำดับความสัมพันธ์แบบต่างๆ

REL	อุปกรณ์									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	4,5,6			1,5	1,4	1				
E		3	2	6	6	4,5				
I						10	8	7		6
O	10	6	5,6,7,8,10	10	3,10	2,3	3	3		1,3,4,5
U	8	5,7,8,10		7,8,9	2,8,9	8,9	2,4,9	1,2,4,5,6,9,10	4,5,6,7,8,10	2,8,9
X	2,3,7,9	1,4,9	1,4,9	2,3	7	7	1,5,6,10		1,2,3	7

ตัวอย่างการอ่านตาราง

- อุปกรณ์ที่ 1 มีความสัมพันธ์แบบ A กับอุปกรณ์ที่ 4, 5, 6

- อุปกรณ์ที่ 1 มีความสัมพันธ์แบบ X กับอุปกรณ์ที่ 2, 3, 7, 9

3. จัดลำดับความสำคัญของการจัดเรียงอุปกรณ์ต่างๆ (Department Entry Order, DEO) จากตารางความสัมพันธ์ข้างต้นโดยมีกฎการทำคือ

- ไม่สนใจความสัมพันธ์ O และ U

- จัดเรียงลำดับความสำคัญดังนี้

อุปกรณ์ที่มี A มากที่สุด > มี E มากที่สุด > มี I มากที่สุด > มี X น้อยที่สุด

จะได้ตาราง DEO ดังนี้

DEO
1
5
4
6
3
2
8
10
7
9

การพิจารณาจัดเรียง DEO

- จัดเรียงอุปกรณ์ชิ้นที่ 1 ขึ้นก่อนเนื่องจากจากตารางที่ 3.20 พบว่าอุปกรณ์ชิ้นที่ 1 มีความสัมพันธ์แบบ A กับอุปกรณ์อื่นมากที่สุดถึง 3 ชิ้นด้วยกัน (อุปกรณ์ชิ้นที่ 4, 5 และ 6)

- ถัดมาพบว่าอุปกรณ์ชิ้นที่ 4 และ ชิ้นที่ 5 มีความสัมพันธ์แบบ A กับอุปกรณ์อื่น 2 ชิ้นเท่ากัน จึงดูสัมพันธ์ลำดับถัดไปคือ E มีความสัมพันธ์กับอุปกรณ์อื่น 1 ชิ้นเท่ากัน พิจารณาลำดับถัดมา X เนื่องจากไม่มีความสัมพันธ์แบบ I และไม่สนใจความสัมพันธ์แบบ O และ U เมื่อพิจารณา X พบว่าอุปกรณ์ชิ้นที่ 5 มีความสัมพันธ์แบบ X กับอุปกรณ์ชิ้นอื่นน้อยที่สุด ดังนั้นจึงทำการจัดเรียงอุปกรณ์ชิ้นที่ 5 ไว้ลำดับที่ 2 และจัดเรียงอุปกรณ์ชิ้นที่ 4 ไว้ลำดับที่ 3

- จัดเรียงอุปกรณ์ชิ้นที่ 6 ไว้ลำดับที่ 4 เนื่องจากมีความสัมพันธ์แบบ A กับอุปกรณ์อื่น 1 ชิ้น

- จัดเรียงอุปกรณ์ชิ้นที่ 3 ไว้ลำดับที่ 5 และอุปกรณ์ชิ้นที่ 2 ไว้ลำดับที่ 6 โดยอุปกรณ์สองตัวนี้จะจัดเรียงสลับลำดับกันได้เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับอุปกรณ์อื่นเท่ากัน

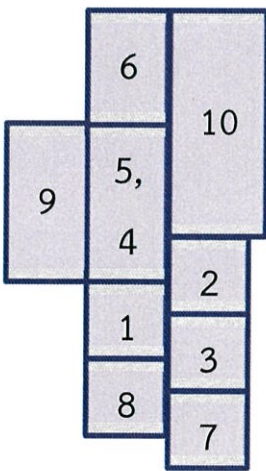
- จัดเรียงอุปกรณ์ชั้นที่ 8 ไว้ลำดับที่ 7 เนื่องจากมีความสัมพันธ์แบบ X กับอุปกรณ์ชั้นอื่นน้อยที่สุด
- จัดเรียงอุปกรณ์ชั้นที่ 10 ไว้ลำดับที่ 8 เนื่องจากมีความสัมพันธ์แบบ X กับอุปกรณ์ชั้นอื่นน้อยที่สุด
- จัดเรียงอุปกรณ์ชั้นที่ 7 ไว้ลำดับที่ 9 เนื่องจากมีความสัมพันธ์แบบ I กับอุปกรณ์ชั้นอื่นและมีความสัมพันธ์แบบ X กับอุปกรณ์ชั้นอื่นน้อยที่สุด
- จัดเรียงอุปกรณ์ชั้นที่ 9 ไว้ลำดับที่ 10 เป็นลำดับสุดท้าย

4. นำค่าที่ได้จากตาราง DEO มาออกแบบห้องทำงานแบบต่างๆ แล้วคำนวณคะแนน Adjacency-Based score เพื่อหาแบบห้องที่ดีที่สุดที่เป็นไปตามความสัมพันธ์ที่กำหนด สามารถหาได้จากสูตร

$$A.B.S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij} \quad (3.19)$$

โดย r_{ij} คือคะแนนของความสัมพันธ์แต่ละแบบ
 x_{ij} กำหนดให้ค่าเป็น 1 กรณีที่อุปกรณ์นั้นติดกัน
กำหนดให้ค่าเป็น 0 กรณีที่อุปกรณ์นั้นไม่ติดกัน

ตัวอย่างการคำนวณ (ทดลองจัด Layout แบบที่ 1)



$$\begin{aligned}
 A.B.S &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij} \\
 &= (-1)+(-1)+(4)+(4)+(0) && [1 \text{ ติดกับ } 2, 3, 4, 5, 8] \\
 &\quad + (3)+(-1)+(0)+(0) && [2 \text{ ติดกับ } 3, 4, 5, 10] \\
 &\quad + (0)+(0) && [3 \text{ ติดกับ } 7, 8] \\
 &\quad + (4)+(3)+(0)+(1) && [4 \text{ ติดกับ } 5, 6, 9, 10] \\
 &\quad + (3)+(0)+(1) && [5 \text{ ติดกับ } 6, 9, 10] \\
 &\quad + (2) && [6 \text{ ติดกับ } 10] \\
 &\quad + (2) && [7 \text{ ติดกับ } 8] \\
 &= 24
 \end{aligned}$$

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

วัตถุประสงค์ของโครงการปริญญานิพนธ์เล่มนี้ เพื่อออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพของแผ่นเหล็กและเพื่อลดปัญหาด้านคุณภาพของชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) โดยผู้วิจัยได้ทำการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็ก และการคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน โดยในส่วนของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็ก ผู้วิจัยได้เริ่มจากศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นเหล็กที่จำเป็นต้องทำการตรวจสอบ โดยสามารถสรุปได้ว่าการตรวจสอบจะทำการตรวจสอบเฉพาะเหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) เท่านั้นเนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบภายนอกตัวรถ จำเป็นต้องเน้นในเรื่องของรูปลักษณะความสวยงามและคุณภาพของผิวชิ้นงานเป็นหลัก หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยปัญหาแตก (Crack) ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากการที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของแผ่นเหล็กไม่ได้ตรงตามมาตรฐาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกวิธีการพินออนดิสก์ (Pin on Disc) มาเพื่อทำการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นการตรวจสอบที่เหมาะสมมากที่สุด ส่วนปัญหาเม็ด (Seed) เป็นปัญหาที่เกิดจากสังกะสีที่ใช้เคลือบวัตถุเกิดการหลุดลอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกวิธีการตรวจสอบการดัดโค้ง (V-bending) มาเพื่อทำการตรวจสอบค่าการยึดเกาะของสารเคลือบเนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นการตรวจสอบที่เหมาะสมกับกระบวนการบ่มชิ้นงานมากกว่า โดยอาศัยแรงกดหรือแรงกระแทกของเครื่องจักรในการทำการตรวจสอบ โดยในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการเสนอผลที่ได้จากคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล สามารถแบ่งแยกรายละเอียดหัวข้อย่อยออกได้เป็น 5 หัวข้อ อันได้แก่

1. การคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม
2. การศึกษาเวลาของกระบวนการเพื่อหาจำนวนพนักงานและจำนวนรถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสม
3. การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ
4. การออกแบบห้องทำงาน
5. การเปรียบเทียบผลปัญหาเม็ดที่เกิดสารเคลือบผิวหลุดลอกก่อนและหลังปรับปรุง

4.1 จำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม

หลังจากได้เครื่องมือที่จะทำการใช้ในการตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงนำวิธีการตรวจสอบตามที่กล่าวมาข้างต้นมาทำการทดสอบวัดค่าต่างๆตามที่ได้ออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าความ

แปรปรวน (ANOVA) โดยนำโปรแกรม Minitab มาช่วยในการคำนวณเพื่อหาจำนวนผู้ตรวจที่เหมาะสม (ดูข้อมูลจากโปรแกรมได้ในภาคผนวก ค.) ซึ่งสามารถสรุปผลของปัจจัยหลักทั้ง 4 ปัจจัยได้ดังนี้

1. ผู้จัดจำหน่ายรายย่อย (Maker) จากการทดสอบด้วยเทคนิค One-way ANOVA พบว่า
- ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานหรือไม่

ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=35.89) > F_{critical} (=3.35)$ หรือ $P < 0.05$ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO}$$

ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=12.00) > F_{critical} (=3.35)$ หรือ $P < 0.05$ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO}$$

- ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบหรือไม่

ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า $F (=3.92) > F_{critical} (=3.35)$ หรือ $P < 0.05$ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO}$$

ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า $F (=3.72) > F_{critical} (=3.35)$ หรือ $P < 0.05$ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO}$$

2. ตำแหน่งบนแผ่นเหล็ก (Position) จากการทดสอบด้วยเทคนิค One-way ANOVA พบว่า

- ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานหรือไม่

บริษัท JSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=0.08) < F_{critical} (=3.48)$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

บริษัท JSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=1.22) < F_{critical} (=3.48)$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

บริษัท NSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=1.25) < F_{critical} (=3.48)$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

บริษัท NSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=0.59) < F_{critical} (=3.48)$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

บริษัท POSCO ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=2.01) < F_{critical} (=3.48)$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

บริษัท POSCO ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ตำแหน่งบนแผ่นเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=0.92) < F_{critical} (=3.48)$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{PS1} = \mu_{PS2} = \mu_{PS3} = \mu_{PS4} = \mu_{PS5}$$

3. ม้วนเหล็ก (Coil) จากการทดสอบด้วยเทคนิค Two-way ANOVA พบว่า

- ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานหรือไม่

บริษัท JSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=35.29) > F_{critical} 2.87$ หรือ $P \leq 0.05$ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท JSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=74.61) > F_{critical} 2.87$ หรือ $P \leq 0.05$ ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท NSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=8.50) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท NSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=12.81) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท POSCO ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=25.62) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท POSCO ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=119.71) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

- ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบหรือไม่

บริษัท JSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=3.40) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท JSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=1.33) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

บริษัท NSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=3.50) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท NSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=3.60) > F critical 2.87 หรือ P<=0.05 ปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรองที่ว่า

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4}$$

บริษัท POSCO ด้านบนของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=1.00) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

บริษัท POSCO ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

ม้วนเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=1.33) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

4. แพ็คเหล็ก (Pack) จากการทดสอบด้วยเทคนิค Two-way ANOVA พบว่า

- แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานหรือไม่

บริษัท JSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=1.75) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท JSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า F (=3.25) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท NSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=0.57) < F \text{ critical } 3.26$
หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท NSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=0.46) < F \text{ critical } 3.26$
หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท POSCO ด้านบนของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=0.26) < F \text{ critical } 3.26$
หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท POSCO ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน เนื่องจาก ค่า $F (=1.72) < F \text{ critical } 3.26$
หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

- แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบหรือไม่

บริษัท JSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า $F (=0.20) < F \text{ critical } 3.26$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท JSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า $F (=1.50) < F \text{ critical } 3.26$ หรือ $P > 0.05$ ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท NSGT ด้านบนของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า F (=0.00) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท NSGT ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า F (=2.10) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท POSCO ด้านบนของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า F (=1.00) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

บริษัท POSCO ด้านล่างของแผ่นเหล็ก

แพ็คเหล็กที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ เนื่องจาก ค่า F (=0.00) < F critical 3.26 หรือ P>0.05 ยอมรับสมมติฐานหลักที่ว่า

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

ตารางที่ 4.1 สรุปผลที่ได้จากการทดสอบ ANOVA

	ผู้จัดจำหน่าย รายย่อย	ตำแหน่งบน แผ่นเหล็ก	แพ็คเหล็ก	ม้วนเหล็ก
Pin on Disc Test (ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน)	✓	✗	✗	✓
V-bending Test (ค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ)	✓	✗	✗	✓

จากผลการทดสอบที่กล่าวมาในข้างต้นทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าจะทำการตรวจวัดคุณภาพจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยทุกราย เนื่องจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทานและค่าการยึดเกาะของสารเคลือบ และจะทำการตรวจแค่ 1 ตำแหน่งต่อ 1 แผ่นเหล็กเท่านั้น เนื่องจากตำแหน่งที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน โดยพบว่าเหล็กแต่ละแพ็คที่ตัดมาจากเหล็กม้วนเดียวกันไม่มีความ

แตกต่างกัน แต่แต่ละม้วนเหล็กมีความแตกต่างกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าจะทำการสุ่มตรวจ 1 แผ่นเหล็ก ต่อ 1 ม้วนเหล็กเท่านั้น

4.2 การศึกษาเวลาของกระบวนการเพื่อหาจำนวนพนักงานและจำนวนรถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสม

หลังจากได้จำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสมและออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในเรื่องของเวลา โดยทำการจับเวลาตามงานย่อยต่างๆเพื่อนำมาหาเวลามาตรฐานของแต่ละขั้นตอน ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 4 ส่วนหลักๆได้แก่

1. เวลามาตรฐานงานรวม หมายถึง เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมวัสดุดิบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ ได้แก่งานย่อยที่ 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 14 และ 15 โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำเพียงครั้งเดียวต่อรอบการรับของเท่านั้น สรุปเวลามาตรฐานงานรวมเท่ากับ 23.51 นาทีต่อครั้งการรับของ

2. เวลามาตรฐานงานเดี่ยว หมายถึง เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมวัสดุดิบก่อนนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ ได้แก่งานย่อยที่ 4, 6, 8, 12 และ 13 โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำแล้วได้ชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นต่อครั้งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการคูณด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องทำการตรวจสอบ สรุปเวลามาตรฐานงานเดี่ยวเท่ากับ 4.53 นาทีต่อชิ้น

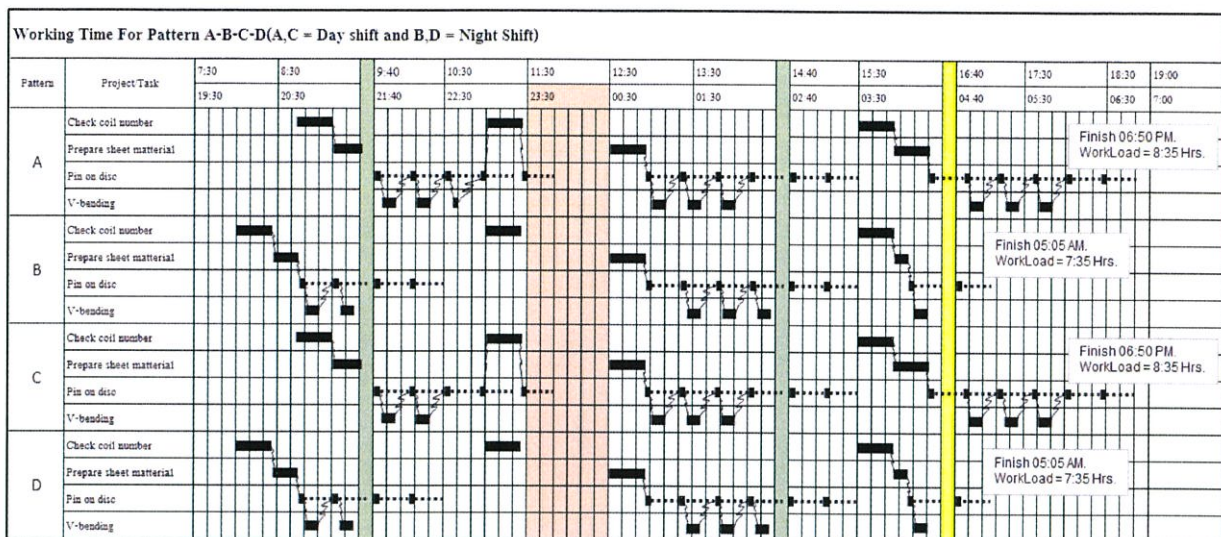
3. เวลามาตรฐานงาน Pin on Disc หมายถึงเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยกระบวนการดังกล่าวด้วยเครื่อง Pin on Disc จริงๆ ได้แก่งานย่อยที่ 16 ถึง 21 ของไบบันทีกเวลากระบวนการ Pin on Disc โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำแล้วได้ชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นต่อครั้งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการคูณด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องทำการตรวจสอบ สรุปเวลามาตรฐานงาน Pin on Disc เท่ากับ 23.43 นาทีต่อชิ้น

4. เวลามาตรฐานงาน V-bending หมายถึงเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบด้วยกระบวนการดังกล่าวด้วยเครื่อง V-bending จริงๆ ได้แก่งานย่อยที่ 16 ถึง 21 ของไบบันทีกเวลากระบวนการ V-bending โดยงานย่อยดังกล่าวเป็นงานที่ทำแล้วได้ชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นต่อครั้งเท่านั้น ดังนั้นต้องมีการคูณด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ต้องทำการตรวจสอบ สรุปเวลามาตรฐานงาน V-bending เท่ากับ 5.29 นาทีต่อชิ้น

เมื่อได้เวลามาตรฐานของงานแต่ละส่วนแล้วนำมาสร้างตารางเวลาการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็ก โดยการคำนวณจะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งหมด ได้แก่

- กำหนดให้การผลิตตามรูปแบบ A และ C เป็นกะกลางวัน/ กำหนดให้ B และ D เป็นกะกลางคืน สามารถสรุปเวลาเพื่อที่เหลือทั้งหมดได้ในตารางที่ 4.2

(หมายเหตุ กำหนดให้มีพนักงาน 1 คนต่อกะ ในการทำงาน และเวลาเพื่อที่เพียงพอต้องมีประมาณ 7-8 ชั่วโมงขึ้นไป)



รูปที่ 4.1 ตารางเวลาการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางวัน

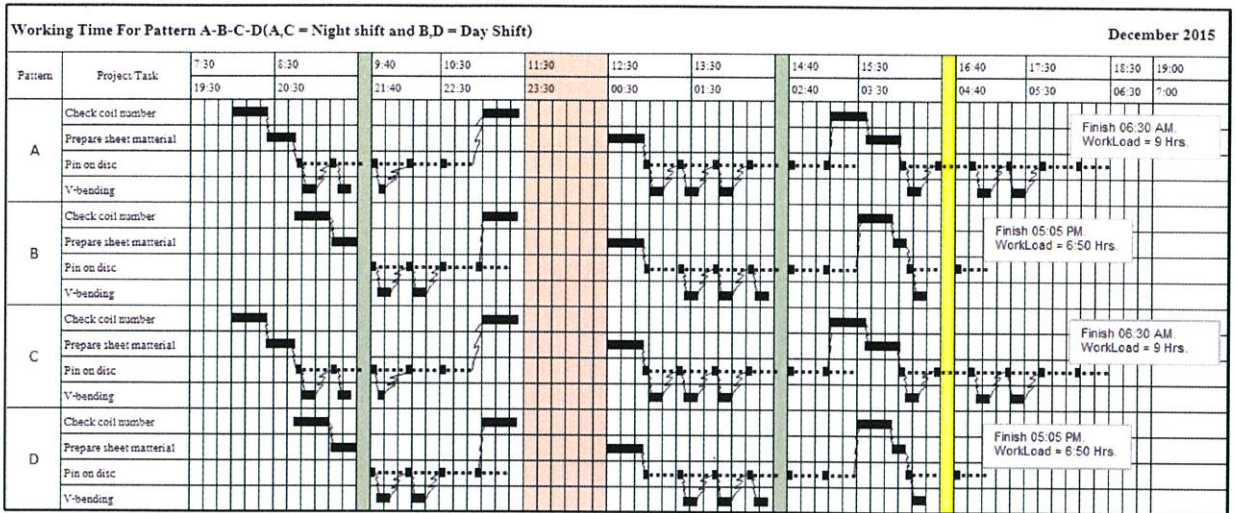
ตารางที่ 4.2 สรุปเวลาในการตรวจสอบและเวลาเผื่อกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางวัน

รูปแบบการผลิต	เวลารับของ	เวลาตรวจเสร็จ	เวลาผลิต	เวลาเผื่อ (เวลาผลิต-เวลาตรวจเสร็จ)
A, C (กะกลางวัน)	9:00 นาฬิกา	11:50 นาฬิกา	19:30 นาฬิกา	7 ชม. 40 นาที
	11:00 นาฬิกา	15:30 นาฬิกา	00:35 นาฬิกา	9 ชม. 05 นาที
	15:00 นาฬิกา	18:50 นาฬิกา	05:05 นาฬิกา	10 ชม. 15 นาที
B, D (กะกลางคืน)	20:00 นาฬิกา	22:30 นาฬิกา	07:30 นาฬิกา	9 ชม. 00 นาที
	23:00 นาฬิกา	03:30 นาฬิกา	12:35 นาฬิกา	9 ชม. 05 นาที
	03:00 นาฬิกา	05:05 นาฬิกา	17:05 นาฬิกา	12 ชม. 00 นาที

เมื่อสร้างเวลาการทำงานออกมาเรียบร้อยแล้วพบว่า หากใช้พนักงานในการตรวจ 1 คนต่อกะการทำงาน กระบวนการตรวจจะเสร็จสิ้นก่อนการผลิต เป็นเวลามากกว่า 7 ชั่วโมง 40 นาทีขึ้นไป

- กำหนดให้การผลิตตามรูปแบบ B และ D เป็นกะกลางวัน/ กำหนดให้ A และ C เป็นกะกลางคืน สามารถสรุปเวลาเผื่อที่เหลือทั้งหมดได้ในตารางที่ 4.3

(หมายเหตุ กำหนดให้มีพนักงาน 1 คนต่อกะ ในการทำงานและเวลาเผื่อที่เพียงพอต้องมีประมาณ 7-8 ชั่วโมงขึ้นไป)



รูปที่ 4.2 ตารางเวลาการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางคืน

ตารางที่ 4.3 สรุปเวลาในการตรวจสอบและเวลาเผื่อกรณีรูปแบบการผลิต A และ C เป็นกะกลางคืน

รูปแบบการผลิต	เวลารับของ	เวลาตรวจเสร็จ	เวลาผลิต	เวลาเผื่อ (เวลาผลิต-เวลาตรวจเสร็จ)
A, C (กะกลางคืน)	20:00 นาฬิกา	22:55 นาฬิกา	07:30 นาฬิกา	8 ชม. 35 นาที
	23:00 นาฬิกา	03:30 นาฬิกา	12:35 นาฬิกา	9 ชม. 05 นาที
	03:00 นาฬิกา	06:30 นาฬิกา	17:05 นาฬิกา	10 ชม. 35 นาที
B, D (กะกลางวัน)	9:00 นาฬิกา	11:20 นาฬิกา	19:30 นาฬิกา	8 ชม. 10 นาที
	11:00 นาฬิกา	15:30 นาฬิกา	00:35 นาฬิกา	9 ชม. 05 นาที
	15:00 นาฬิกา	17:05 นาฬิกา	05:05 นาฬิกา	12 ชม. 00 นาที

เมื่อสร้างเวลาการทำงานออกมาเรียบร้อยแล้วพบว่า หากใช้พนักงานในการตรวจ 1 คนต่อกะการทำงาน กระบวนการตรวจจะเสร็จสิ้นก่อนการผลิต เป็นเวลามากกว่า 8 ชั่วโมง 10 นาทีขึ้นไป

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กที่จัดตั้งขึ้นมาใหม่ ใช้พนักงาน 1 คนต่อกะการทำงาน และใช้รถโพล์คลิฟท์เพียง 1 คันในการขนย้ายวัตถุดิบเนื่องจากเพียงพอต่อการใช้งาน

4.3 การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ

ผู้วิจัยได้เลือกใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) มาทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่ดีที่สุดในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพ โดยมีขั้นตอนเริ่มจากทำแบบประเมินเพื่อให้ผู้ทำงานเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดและมีความรู้ในด้านพื้นที่หรือข้อจำกัดต่างๆในโรงงานเป็นผู้ทำการประเมิน หลังจากนั้นทำการคำนวณหาความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ และความสำคัญของแต่ละทางเลือกเพื่อนำมาหาค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือกของแต่ละคน สามารถดูค่าการคำนวณทั้งหมดได้จากภาคผนวก จ. 2

โดยกำหนดให้

กลุ่มพื้นที่ A คือ พื้นที่บริเวณจุดติดตั้งกระดานตรวจเช็คคุณภาพ

กลุ่มพื้นที่ B คือ พื้นที่บริเวณจุดตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนส่งขายต่างประเทศ

กลุ่มพื้นที่ C คือ พื้นที่บริเวณห้องเก็บอุปกรณ์

กลุ่มพื้นที่ D คือ พื้นที่บริเวณจุดที่ใช้สำหรับฝึกพนักงานใหม่

ค่าน้ำหนักรวมของผู้ประเมินแต่ละคน สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลสรุปค่าน้ำหนักรวมของผู้ประเมินแต่ละคน

		ผู้ประเมิน			
		1	2	3	4
ทางเลือก (พื้นที่)	A	0.235649	0.148472	0.133311	0.092563
	B	0.389098	0.174361	0.299885	0.291819
	C	0.201343	0.282079	0.163992	0.108302
	D	0.17391	0.395089	0.402812	0.507316

ค่าน้ำหนักรวมของผู้ประเมินทั้ง 4 คน (กำหนด $W=0.25$ เนื่องจากผู้ประเมินมีทั้งหมด 4 คน) สามารถคำนวณได้จาก

$$A = (0.25 \times 0.235649) + (0.25 \times 0.148472) + (0.25 \times 0.133311) + (0.25 \times 0.092563) = 0.152499$$

$$B = (0.25 \times 0.389098) + (0.25 \times 0.174361) + (0.25 \times 0.299885) + (0.25 \times 0.291819) = 0.288791$$

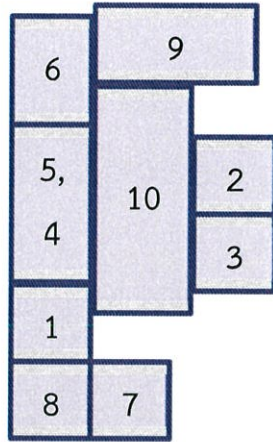
$$C = (0.25 \times 0.201343) + (0.25 \times 0.282079) + (0.25 \times 0.163992) + (0.25 \times 0.108302) = 0.188929$$

$$D = (0.25 \times 0.17391) + (0.25 \times 0.395089) + (0.25 \times 0.402812) + (0.25 \times 0.507316) = 0.369782$$

ดังนั้นผู้วิจัยตัดสินใจเลือกพื้นที่ D หรือพื้นที่บริเวณจุดที่ใช้สำหรับฝึกพนักงานใหม่ ในการจัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กเนื่องจากเมื่อวิเคราะห์ค่าที่คำนวณได้จากผู้ประเมินทั้ง 4 คนแล้วพื้นที่ D ได้ค่าน้ำหนักรวมมากที่สุด

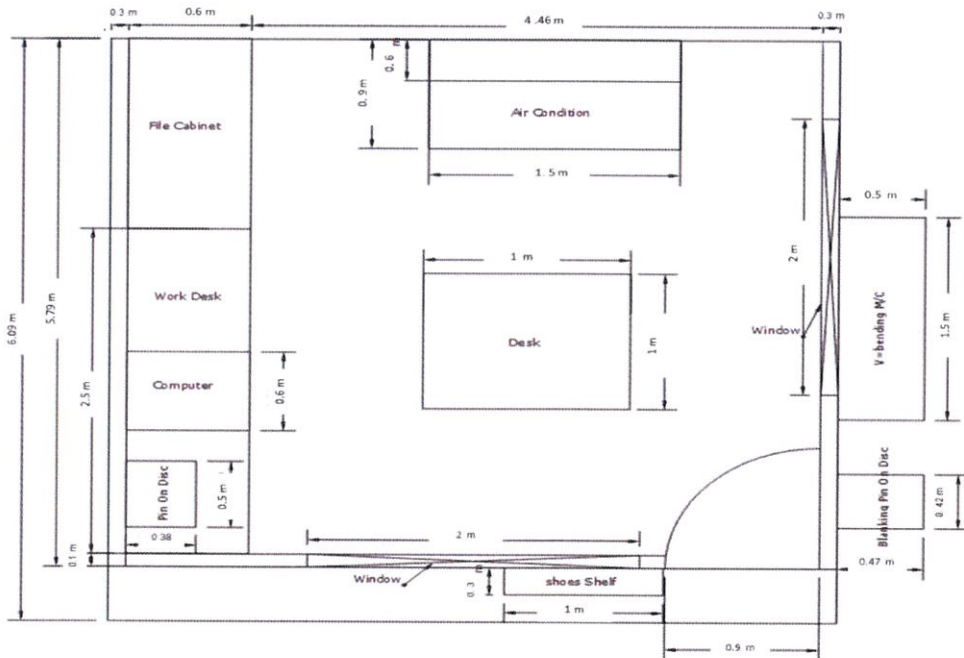
4.4 การออกแบบห้องทำงาน

จากการออกแบบห้องโดยใช้การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) โดยมีการจัดลำดับความสำคัญเพื่อสร้างตาราง DEO หลังจากนั้นนำมาออกแบบห้องแบบต่างๆแล้วคำนวณคะแนน Adjacency-Based score (สามารถแบบห้องทั้งหมดได้ในภาคผนวก ฉ) สามารถสรุปแบบที่ได้คะแนนความสัมพันธ์มากที่สุดได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{A.B.S} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m r_{ij} x_{ij} \\
 &= (4)+(4)+(0)+(1)+(3)+(0)+(4)+(3)+(1)+(3)+(1)+(2)+(2) \\
 &= 28
 \end{aligned}$$

ดังนั้นคะแนน Adjacency-Based score เท่ากับ 28 คะแนน

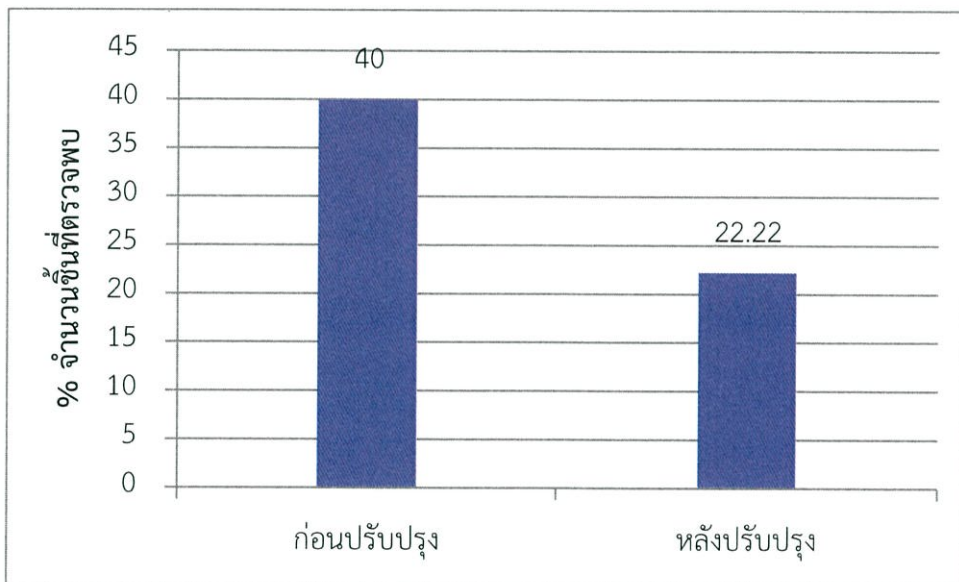


รูปที่ 4.3 รูปแบบการจัดห้องโดยออกแบบจากขนาดพื้นที่จริง

4.5 การเปรียบเทียบผลปัญหาเม็ดที่เกิดจากสารเคลือบผิวหลุดลอกก่อนและหลังการปรับปรุง

หลังจากที่ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพเพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบ (แผ่นเหล็ก) ก่อนเข้ากระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหาการเกิดของเสียและป้องกันปัญหาอื่นๆ ที่ตามมาอันเนื่องมาจากวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพ โดยมีกระบวนการเริ่มตั้งแต่คัดเลือกเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบ วิเคราะห์หาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสมซึ่งเท่ากับ 1 แผ่นเหล็กต่อม้วนเหล็ก หลังจากนั้นได้มีการจัดวางกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กทั้งหมดตั้งแต่รับวัตถุดิบจนนำเข้าสู่กระบวนการป้อนขึ้นรูปรวมทั้งมีการวางมาตรฐานแก้ไขหากตรวจพบว่าวัตถุดิบที่รับไม่ได้คุณภาพตรงตามที่มาตรฐานที่บริษัทต้องการ ถัดมาผู้วิจัยได้คำนวณหาจำนวนคนงานและรถโฟล์คลิฟท์ที่ต้องใช้ในกระบวนการที่จัดตั้งขึ้นมาใหม่ ทำการคัดเลือกพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการจัดตั้งภายในข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดภายในโรงป้อนตัวถังและออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ต่างๆภายในห้องตามความเหมาะสม

ซึ่งหลังจากได้มีกระบวนการนี้เกิดขึ้นมา ผู้วิจัยได้ทำการลงไปเก็บข้อมูลปัญหาเม็ดใหม่ในช่วงเดือนมกราคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าปัญหาเม็ดที่เกิดขึ้นมาจากสาเหตุการหลุดลอกของสารเคลือบอันเนื่องมาจากวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพเกิดขึ้นลดลง จากเดิมคิดเป็น 40% (18 ชิ้น) เหลือ 22.22% (10 ชิ้น) กล่าวได้ว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากวัตถุดิบไม่ได้มาตรฐานลดลงไป 17.78%



รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบปัญหาเม็ดที่เกิดจากสารเคลือบผิวหลุดลอกก่อนและหลังการปรับปรุง

บทที่ 5

สรุปผลดำเนินการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเรื่อง การออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพของแผ่นเหล็กเหล็กในสายการผลิตโรงปิ้งตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกระบวนการตรวจสอบด้านคุณภาพของแผ่นเหล็ก และเพื่อลดปัญหาด้านคุณภาพของชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 การศึกษาสภาพปัจจุบัน

หลังจากที่ผู้วิจัยได้เข้าไปเก็บข้อมูลของทางบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง) เพื่อศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน ผู้วิจัยได้เริ่มขั้นตอนแรกโดยทำการเก็บข้อมูลสถิติภายในโรงปิ้งตัวถัง ตั้งแต่ช่วงเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2558 – เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 รวมเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยศึกษาเฉพาะข้อมูลของสายการผลิต A0 และ A เนื่องจากเป็นสายการผลิตที่ผลิตชิ้นงานที่ประกอบอยู่ภายนอกตัวรถทั้งหมดซึ่งจัดเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญค่อนข้างมากเนื่องจากเน้นรูปลักษณ์ความสวยงามและคุณภาพของผิวชิ้นงานเป็นหลัก พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือปัญหาเม็ด (Seed) และปัญหาที่ร้ายแรงที่สุดคือปัญหาแตก (Crack) ถึงแม้ปัญหาแตกจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยแต่ก็ถือว่าเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากทำให้เกิดความสูญเสียค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบซึ่งชิ้นงานที่เสียต้องทำการทิ้งไม่สามารถซ่อมแซมแก้ไขได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสูญเสียค่าใช้จ่ายอื่นๆ อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ค่าแรงคนงาน ฯลฯ รวมถึงชื่อเสียงของทางบริษัทที่ต้องสูญเสียไปหากมีการปล่อยให้ชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพหลุดรอดไปถึงมือลูกค้า ผู้วิจัยจึงนำสองปัญหานี้มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงต่อไป

5.2 แนวทางในการแก้ไขปัญหา

หลังจากที่ทราบว่าเป็นปัญหาเม็ดเป็นปัญหาหลักของสายการผลิตและปัญหาแตกเป็นปัญหาที่ร้ายแรงของทางบริษัท ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาสาเหตุโดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนตามลักษณะของปัญหา ดังนี้

1. ทำการเก็บตัวอย่างเศษเม็ดและวิเคราะห์โครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบข้อบกพร่องของปัญหา พบว่าปัญหาเม็ดที่เกิดขึ้นเกิดจากธาตุสังกะสีที่หลุดลอกมาจากสารเคลือบผิววัตถุดิบ (แผ่นเหล็ก) ที่ไม่ได้มาตรฐาน

2. ทำการวิเคราะห์ปัญหาแตกโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผลพบว่าความไม่สม่ำเสมอของสารเคลือบบนผิวแผ่นเหล็ก (Zn) ก่อให้เกิดแรงเสียดทานที่ไม่สม่ำเสมอบนผิวเหล็กเมื่อนำไปผ่านกระบวนการป้อน จึงเกิดปัญหาขึ้นงานแตกขึ้น

เมื่อทราบสาเหตุดังกล่าว ทางผู้วิจัยจึงตัดสินใจออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กขึ้นมา โดยจะทำการตรวจสอบทันทีหลังจากมีการรับวัตถุดิบจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยเข้ามาในโรงงานเพื่อเน้นย้ำในเรื่องคุณภาพของวัตถุดิบก่อนจะมีการนำเข้าสู่กระบวนการป้อนขึ้นรูปต่อไป

ขั้นตอนในการดำเนินงานประกอบด้วย 7 ขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของแผ่นเหล็กที่จะต้องทำการตรวจสอบ
2. การคัดเลือกเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบปัญหาเม็ดและปัญหาแตก
3. การคำนวณหาจำนวนสุ่มตรวจที่เหมาะสม โดยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเหล็กที่รับมามีความแตกต่างกัน
4. การจัดวางกระบวนการในการตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กโดยการศึกษาเวลาของกระบวนการพร้อมกำหนดมาตรการแก้ไขหากตรวจพบว่าวัตถุดิบที่รับมาไม่ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐานที่ต้องการ
5. การกำหนดจำนวนพนักงานและจำนวนรถโฟล์คลิฟท์ที่เหมาะสม โดยใช้เวลามาตรฐานจากกระบวนการที่จัดวางไว้ในการจัดตารางการทำงาน
6. การหาพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณภาพโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์
7. การออกแบบห้องทำงานด้วยเทคนิคการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ

5.3 ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานตามขั้นตอนทั้ง 7 ขั้นตอน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาคุณสมบัติของทั่วไปของแผ่นเหล็ก จะทำการตรวจสอบแผ่นเหล็กเฉพาะเหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized Steel) เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการป้อนขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์ (ภายนอกรถยนต์)
2. เครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการตรวจสอบ กำหนดให้ใช้เครื่องทดสอบการดัดโค้ง (V-bending Test) ในการตรวจสอบค่าความยืดติดของสารเคลือบผิวของวัตถุดิบ และใช้เครื่องพินออนดิสก์ (Pin on Disc Test) ในการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของวัตถุดิบ
3. จากการเก็บข้อมูลผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ANOVA กำหนดให้ตรวจสอบวัตถุดิบจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยทุกเจ้า เนื่องจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าการยึดเกาะของสารเคลือบและค่าแรงเสียดทาน และจะทำการตรวจแค่ 1 ตำแหน่งต่อ 1 แผ่นเหล็กเท่านั้น เนื่องจากตำแหน่งที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน อีกทั้งแผ่นเหล็กแต่ละแพ็คที่ตัดมาจากเหล็กม้วนเดียวกันไม่มีความ

แตกต่างกัน แต่แผ่นเหล็กที่มาจากแต่ละม้วนเหล็กมีความแตกต่างกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าจะทำการสุ่มตรวจ 1 แผ่นเหล็กต่อ 1 ม้วนเหล็กเท่านั้น

4. ได้กระบวนการตรวจสอบคุณภาพโดยเริ่มจากพนักงานทำการตรวจสอบหมายเลขม้วนเหล็ก จากนั้นนำแผ่นเหล็กไปตัดขนาดเท่ากระดาษ A4 เพื่อเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ ถ้าแผ่นเหล็กได้คุณภาพจะทำการส่งต่อไปให้กับกระบวนการผลิตต่อไป แต่ถ้าไม่ทำการเตี้นสายการผลิตและเรียงลีดแผ่นเหล็กไว้ลำดับสุดท้ายของแผนการผลิต หากเกิดของเสียในปริมาณมากจะทำการส่งคืนผู้จัดจำหน่ายรายย่อย เพื่อให้ทางผู้จัดจำหน่ายรายย่อยส่งลีดแผ่นเหล็กลีดใหม่กลับคืนบริษัท

5. จากการคำนวณหาเวลามาตรฐานเพื่อจำลองตารางการทำงานพบว่า จะใช้พนักงาน 1 คนต่อะการทำงาน และใช้รถโฟล์คลิฟท์เพียง 1 คันในการขนย้ายวัตถุดิบ

6. จากการใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ที่ดีที่สุด ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกพื้นที่ D หรือพื้นที่บริเวณจุดที่ใช้สำหรับฝึกพนักงานใหม่ ในการจัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กเนื่องจากเมื่อวิเคราะห์ค่าที่คำนวณได้จากผู้ประเมินทั้ง 4 คนแล้ว พื้นที่ D ได้ค่าน้ำหนักรวมมากที่สุด

7. จากการออกแบบห้องทำงานด้วยเทคนิคการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ ได้กำหนดตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ทั้งหมดดังแสดงในหัวข้อที่ 4.4

ซึ่งหลังจากได้มีกระบวนการนี้เกิดขึ้นมาพบว่าปัญหาเม็ดในช่วงเดือนมกราคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ลดลงจากเดิมคิดเป็น 40% เหลือ 22.22% กล่าวได้ว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากวัตถุดิบไม่ได้มาตรฐานลดลงไป 17.78%

5.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะต่อผู้ที่ต้องการนำวิธีการจากปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ไปศึกษาต่อควรคำนึงถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ดังนี้

1. จำนวนข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และจำนวนข้อมูลเวลาที่นำมาหาเวลามาตรฐานควรมีมากเพียงพอต่อการคำนวณ เพื่อให้การวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลมีความถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2. เทคนิคการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นควรกำหนดให้ผู้ทำการประเมินเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ดีและสอดคล้องกับความต้องการมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- มอนทโกเมอรี และรันเจอร์, 2552. สถิติวิศวกรรม. แปลโดย ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยาและพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.
- รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, Industrial work study (การศึกษางานอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท้อป.
- กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข , 2557. การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- อนุรักษ์ สว่างวงศ์, 2552. การประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์แบบฟัชซีในการคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งและระบบเชื่อมต่อของสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดเชียงใหม่แห่งที่ 3. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ธวัชรัตน์ มณีขัติย์, 2550. การปรับปรุงคุณภาพการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรบรรจุของอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- อุดม จันทร์จรัสสุข, 2557. การวิจัยการดำเนินงาน. เอกสารประกอบการสอน สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พนกฤษณ คลังบุญครองและณัฐพจน์ ฝ่ายบุญ, 2558. การคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการก่อสร้างสถานีขนส่งผู้โดยสารต่อเนื่องหลายรูปแบบ จังหวัดหนองคาย.
- จุฑามาศ อินทร์แก้ว, 2556. การวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งสาขา กรณีศึกษา หจก. เอสเอส ค้าไม้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี.
- จุมพล วิเชียรศิลป์ และคณะ, 2557. การใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อศึกษาหาพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการฝัง กลบขยะมูลฝอย กรณีศึกษาอำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์.
- รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, 2552. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง.
- บริษัทอิเล็กทรอนิกส์ คอมเมอร์ซ, 2559. แผนภูมิการไหล.
- ศรายุทธ ไชยวงศ์, 2555. ตัวอย่างแผนภูมิการไหล.
- นवल สวัสดิ์, 2556. การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม.
- เอกชัย ทายิดา และวนัส พลราช, 2555. แผนผังแสดงสาเหตุและผล.
- สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2546. ความสูญเสีย 7 ประการ.
- Top of Quality, 1996. ความหมายความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย.
- ผ่องอำไพ เสนแสง, 2559. การวิเคราะห์ความแปรปรวน.

- วันชัย ริจิรวนิช, 2548. การศึกษาเวลา.
- Sander, 2007. ตัวอย่างแผนภูมิลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.
- วนิดา ผลากุล, 2553. กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์.
- บุญประภา ัญญะอุดม และรัตนา สิทธิบัลลังก์, 2550. การวางแผนโรงงานอย่างมีระบบ.
- Neutron.rmutphysics, 2012. ความหมายเหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี.
- Thaitechno, 2012. ขั้นตอนวิธีการชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน.
- บริษัท ฝาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน), 2555. ขั้นตอนการชุบเคลือบสังกะสี.
- สถาบันเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557. หลักการทำงานของเครื่อง V-bending.

ภาคผนวก ก

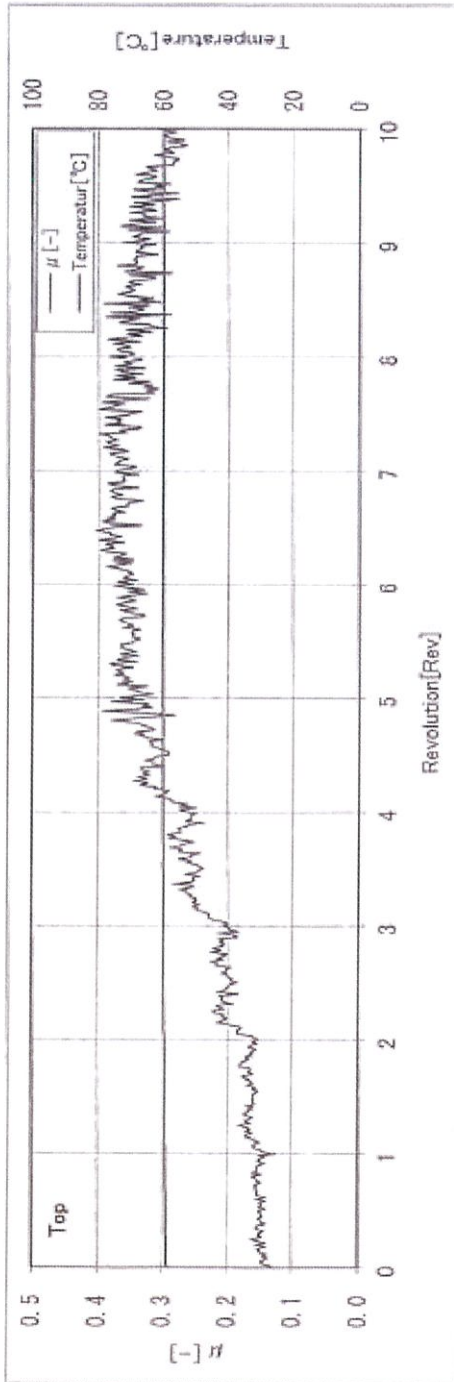
ผก. 1 ตัวอย่างผลที่จากการทดสอบ Pin on Disc Test

ผก. 2 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ V-bending Test

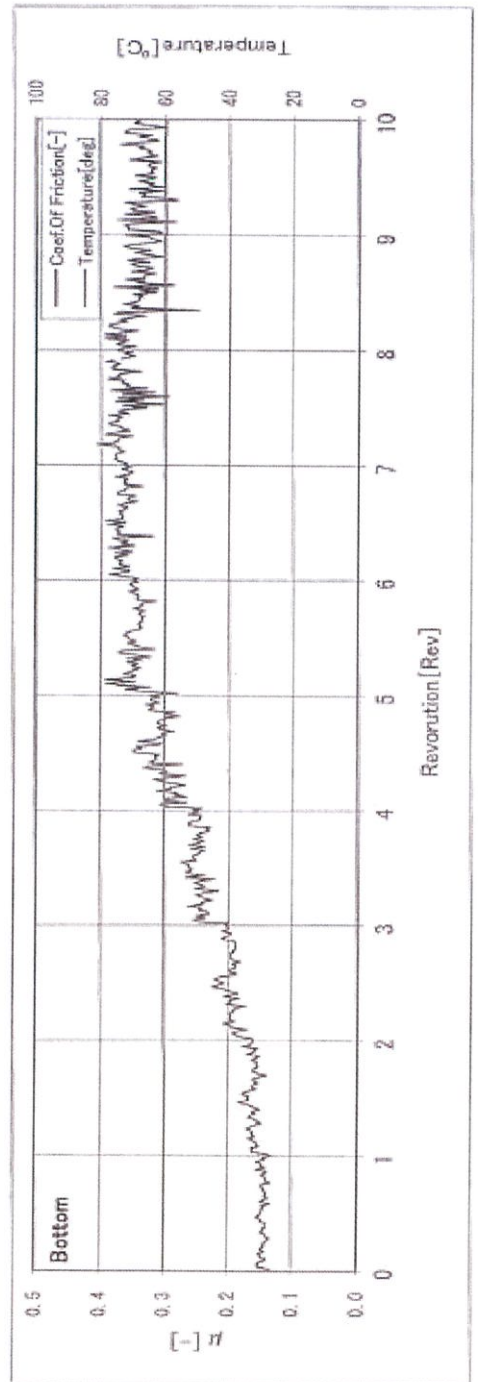
รูปที่ ผก. 1 ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดสอบ Pin on Disc Test

[Material] SCGA270D [Mill] Z50366A [Coil Type] For manu [Y-No] 01980-01174 [Coil Inception Date] 10/02/2015
 [Supplier] POSCO [Distinguish] 0 [Part Number] 58311KK010 [Part Rr Floor (D) Name] [Stamping Date] 10/06/2015
 [Coil ID] CPTB467B [Vehicle Code] 0 [Plant] SR [Note] P001-F






STD < 0.2	
Maximum μ -Ave	0.365
1Rev	0.149
2Rev	0.165
3Rev	0.202
4Rev	0.255
5Rev	0.320
6Rev	0.350
7Rev	0.365
8Rev	0.355
9Rev	0.341
10Rev	0.313



STD < 0.2	
Maximum μ -Ave	0.363
1Rev	0.144
2Rev	0.160
3Rev	0.194
4Rev	0.245
5Rev	0.302
6Rev	0.342
7Rev	0.360
8Rev	0.363
9Rev	0.344
10Rev	0.331



รูปที่ ผก. 2 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ V-bending Test

評点	▽曲げ試験
1	
2	
3	
4	
5	

ภาคผนวก ข

ผข. 1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าแรงเสียดทานจากการทดลอง Pin on Disc Test

ผข. 2 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการยืดเกาะของสารเคลือบจากการทดลอง V-bending Test

ตารางที่ ผข. 1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าแรงเสียดทานจากการทดลอง Pin on Disc Test (ด้านบนแผ่น)

Maker	การทดลองครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
JSGT	0.122	0.12	0.115	0.137	0.12	0.129	0.117	0.129	0.136	0.14
NSGT	0.116	0.097	0.124	0.104	0.116	0.124	0.117	0.122	0.116	0.12
POSCO	0.138	0.152	0.145	0.145	0.141	0.148	0.14	0.145	0.142	0.145

Maker : JSGT

	COIL 1		COIL 2		COIL 3		COIL 4	
Pack 1	0.12	0.131	0.12	0.125	0.115	0.12	0.14	0.145
	0.126	0.125	0.121	0.13	0.122	0.118	0.139	0.141
Pack 2	0.12	0.123	0.129	0.13	0.129	0.13	0.136	0.14
	0.133	0.114	0.127	0.128	0.128	0.116	0.133	0.139
Pack 3	0.122	0.13	0.123	0.126	0.117	0.118	0.137	0.132
	0.131	0.125	0.121	0.12	0.121	0.119	0.137	0.132

Maker : NSGT

	COIL 1		COIL 2		COIL 3		COIL 4	
Pack 1	0.116	0.12	0.107	0.097	0.124	0.125	0.098	0.132
	0.123	0.121	0.101	0.106	0.102	0.12	0.12	0.104
Pack 2	0.123	0.125	0.097	0.104	0.119	0.108	0.115	0.104
	0.119	0.129	0.121	0.113	0.112	0.115	0.121	0.119
Pack 3	0.122	0.13	0.114	0.116	0.12	0.119	0.102	0.115
	0.128	0.125	0.099	0.113	0.109	0.123	0.109	0.12

Maker : POSCO

	COIL 1		COIL 2		COIL 3		COIL 4	
Pack 1	0.138	0.141	0.152	0.149	0.145	0.147	0.145	0.146
	0.122	0.135	0.155	0.152	0.15	0.149	0.142	0.15
Pack 2	0.141	0.136	0.148	0.153	0.146	0.145	0.142	0.148
	0.142	0.138	0.15	0.146	0.147	0.151	0.146	0.139
Pack 3	0.138	0.139	0.149	0.15	0.14	0.145	0.145	0.139
	0.142	0.14	0.152	0.151	0.139	0.147	0.146	0.143

ตารางที่ ผข. 1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าแรงเสียดทานจากการทดลอง Pin on Disc Test (ด้านหลังแผ่น)

Maker	การทดลองครั้งที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
JSGT	0.184	0.251	0.281	0.141	0.18	0.199	0.138	0.137	0.14	0.142
NSGT	0.123	0.107	0.114	0.102	0.111	0.114	0.123	0.113	0.115	0.114
POSCO	0.132	0.15	0.142	0.14	0.125	0.146	0.142	0.14	0.141	0.142

Maker : JSGT

	COIL 1		COIL 2		COIL 3		COIL 4	
Pack 1	0.181	0.19	0.251	0.201	0.241	0.202	0.142	0.121
	0.185	0.188	0.195	0.223	0.243	0.217	0.146	0.13
Pack 2	0.18	0.182	0.199	0.195	0.197	0.193	0.14	0.146
	0.179	0.186	0.207	0.2	0.198	0.201	0.152	0.123
Pack 3	0.184	0.191	0.252	0.231	0.221	0.203	0.142	0.139
	0.179	0.182	0.198	0.211	0.232	0.199	0.128	0.158

Maker : NSGT

	COIL 1		COIL 2		COIL 3		COIL 4	
Pack 1	0.123	0.134	0.113	0.123	0.114	0.113	0.098	0.103
	0.11	0.12	0.115	0.121	0.115	0.121	0.101	0.099
Pack 2	0.106	0.114	0.107	0.114	0.109	0.115	0.115	0.117
	0.12	0.116	0.112	0.105	0.12	0.119	0.098	0.115
Pack 3	0.125	0.119	0.112	0.108	0.109	0.114	0.102	0.113
	0.123	0.12	0.114	0.11	0.11	0.109	0.1	0.107

Maker : POSCO

	COIL 1		COIL 2		COIL 3		COIL 4	
Pack 1	0.12	0.132	0.15	0.154	0.142	0.145	0.142	0.145
	0.125	0.128	0.148	0.15	0.139	0.142	0.143	0.143
Pack 2	0.125	0.121	0.146	0.151	0.14	0.145	0.141	0.139
	0.127	0.123	0.148	0.145	0.143	0.139	0.145	0.143
Pack 3	0.132	0.129	0.148	0.153	0.142	0.145	0.14	0.139
	0.123	0.133	0.147	0.15	0.139	0.14	0.145	0.144

ตารางที่ ผข. 1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าแรงเสียดทานจากการทดลอง Pin on Disc Test
(ด้านบนแผ่นเหล็ก ๓ ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นเหล็ก 1 แผ่น)

Maker : JSGT

การทดลองครั้งที่	ตำแหน่ง				
	บนขวา	ล่างขวา	บนซ้าย	ล่างซ้าย	ตรงกลาง
1	0.12	0.124	0.131	0.123	0.122
2	0.121	0.123	0.12	0.125	0.13
3	0.128	0.125	0.122	0.121	0.121

Maker : NSGT

การทดลองครั้งที่	ตำแหน่ง				
	บนขวา	ล่างขวา	บนซ้าย	ล่างซ้าย	ตรงกลาง
1	0.116	0.123	0.122	0.126	0.118
2	0.12	0.121	0.122	0.123	0.126
3	0.124	0.125	0.125	0.127	0.123

Maker : POSCO

การทดลองครั้งที่	ตำแหน่ง				
	บนขวา	ล่างขวา	บนซ้าย	ล่างซ้าย	ตรงกลาง
1	0.138	0.135	0.131	0.134	0.131
2	0.134	0.135	0.135	0.133	0.137
3	0.142	0.137	0.122	0.137	0.135

ตารางที่ ผข. 1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าแรงเสียดทานจากการทดลอง Pin on Disc Test
(ด้านหลังแผ่นเหล็ก ณ ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นเหล็ก 1 แผ่น)

Maker : JSGT

การทดลองครั้งที่	ตำแหน่ง				
	บนขวา	ล่างขวา	บนซ้าย	ล่างซ้าย	ตรงกลาง
1	0.181	0.188	0.183	0.184	0.181
2	0.183	0.19	0.183	0.186	0.184
3	0.185	0.182	0.185	0.185	0.185

Maker : NSGT

การทดลองครั้งที่	ตำแหน่ง				
	บนขวา	ล่างขวา	บนซ้าย	ล่างซ้าย	ตรงกลาง
1	0.12	0.122	0.131	0.123	0.124
2	0.128	0.123	0.128	0.127	0.13
3	0.127	0.125	0.123	0.121	0.122

Maker : POSCO

การทดลองครั้งที่	ตำแหน่ง				
	บนขวา	ล่างขวา	บนซ้าย	ล่างซ้าย	ตรงกลาง
1	0.142	0.138	0.143	0.139	0.146
2	0.141	0.145	0.141	0.14	0.143
3	0.145	0.144	0.146	0.144	0.146

ภาคผนวก ค

ผค. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานที่วัดได้จาก Pin on Disc Test โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณ

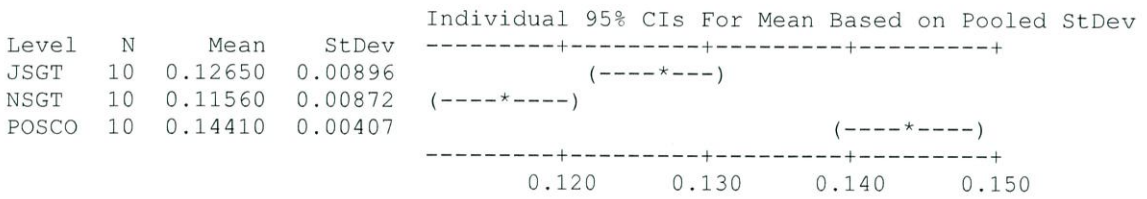
ผค. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยึดเกาะที่วัดได้จาก V-bending Test โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณ

ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน
(ด้านบนแผ่นเหล็ก)

One-way ANOVA: JSGT, NSGT, POSCO

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0.0041361	0.0020680	35.89	0.000
Error	27	0.0015558	0.0000576		
Total	29	0.0056919			

S = 0.007591 R-Sq = 72.67% R-Sq(adj) = 70.64%

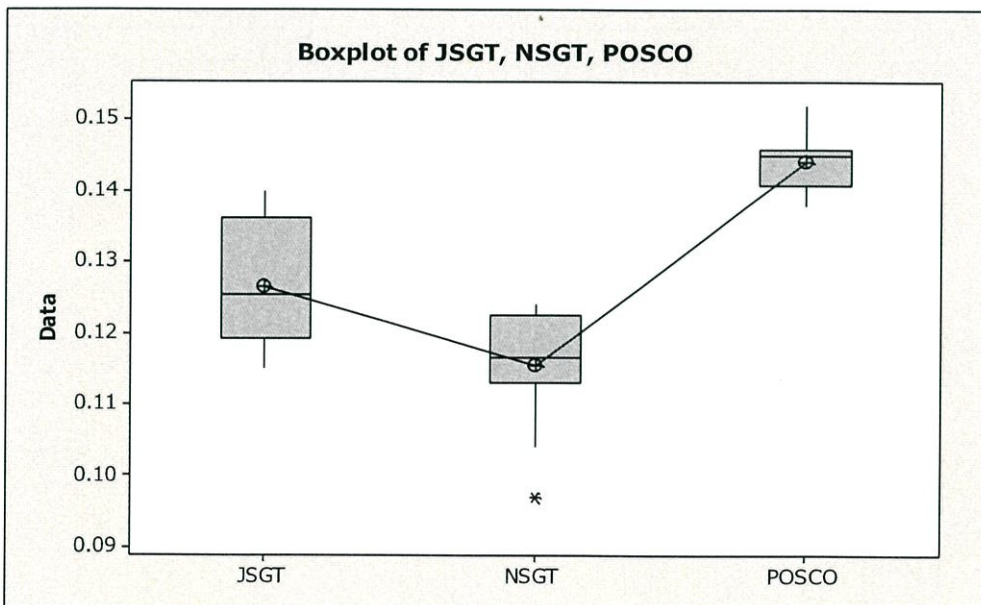


Pooled StDev = 0.00759

$$H_0 : \mu_{JSGT} = \mu_{NSGT} = \mu_{POSCO}$$

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO} \text{ อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

เนื่องจาก ค่า $F > F_{critical} 3.35$ ($P \leq 0.05$) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



สามารถสรุปได้ว่าแผ่นเหล็กจาก NSGT มีค่าแรงเสียดทานดีสุด รองลงมาคือ JSGT และ POSCO ตามลำดับ

ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน
(ด้านล่างแผนเหล็ก)

One-way ANOVA: JSGT, NSGT, POSCO

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	0.021860	0.010930	12.00	0.000
Error	27	0.024595	0.000911		
Total	29	0.046454			

S = 0.03018 R-Sq = 47.06% R-Sq(adj) = 43.13%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev	
JSGT	10	0.17930	0.05142	(-----+-----+-----+-----+)	(-----*-----)
NSGT	10	0.11360	0.00636	(-----+-----+-----+-----+)	(-----*-----)
POSCO	10	0.14000	0.00698	(-----+-----+-----+-----+)	(-----*-----)

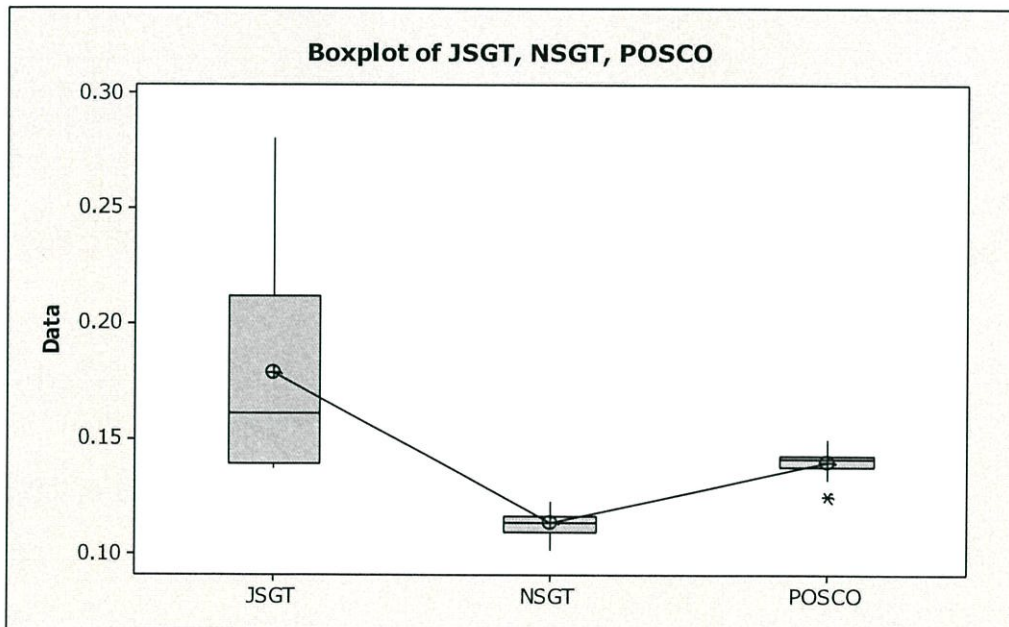
0.120 0.150 0.180 0.210

Pooled StDev = 0.03018

$$H_0 : \mu_{JSGT} = \mu_{NSGT} = \mu_{POSCO}$$

$$H_A : \mu_{JSGT} \neq \mu_{NSGT} \neq \mu_{POSCO} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

เนื่องจาก ค่า $F > F_{critical} 3.35$ ($P \leq 0.05$) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



สามารถสรุปได้ว่าแผนเหล็กจาก NSGT มีค่าแรงเสียดทานดีสุด รองลงมาคือ POSCO และ JSGT ตามลำดับ

ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของผู้จัด
 จำหน่ายรายย่อยบริษัท JSCT (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.0000615	0.0000308	1.75	0.188
Coil	3	0.0018588	0.0006196	35.29	0.000
Interaction	6	0.0002823	0.0000470	2.68	0.030
Error	36	0.0006320	0.0000176		
Total	47	0.0028347			

S = 0.004190 R-Sq = 77.70% R-Sq(adj) = 70.89%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

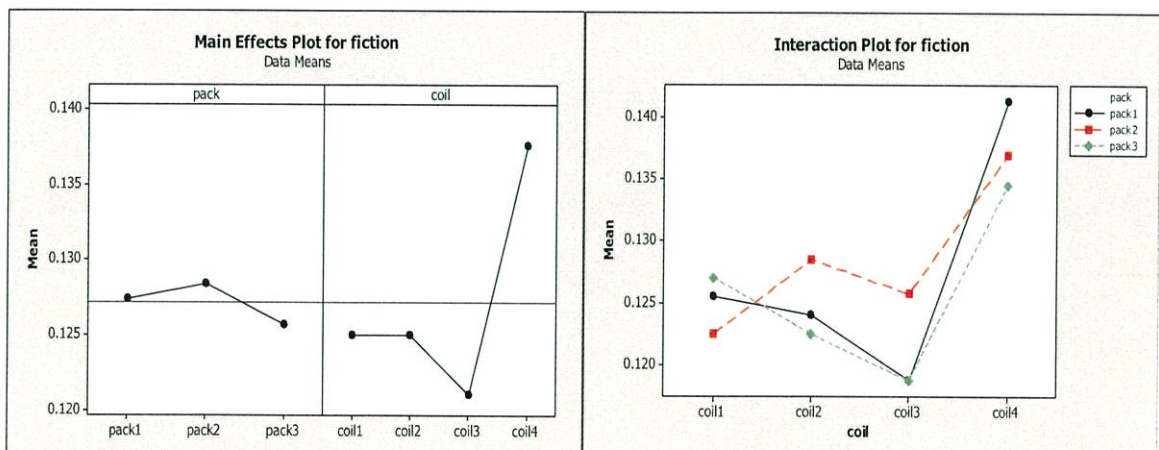
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 2.87 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของผู้จัด
 จำหน่ายรายย่อยบริษัท JSGT (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.0012772	0.0006386	3.25	0.050
Coil	3	0.0439877	0.0146626	74.61	0.000
Interaction	6	0.0016328	0.0002721	1.38	0.247
Error	36	0.0070750	0.0001965		
Total	47	0.0539727			

S = 0.01402 R-Sq = 86.89% R-Sq(adj) = 82.89%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

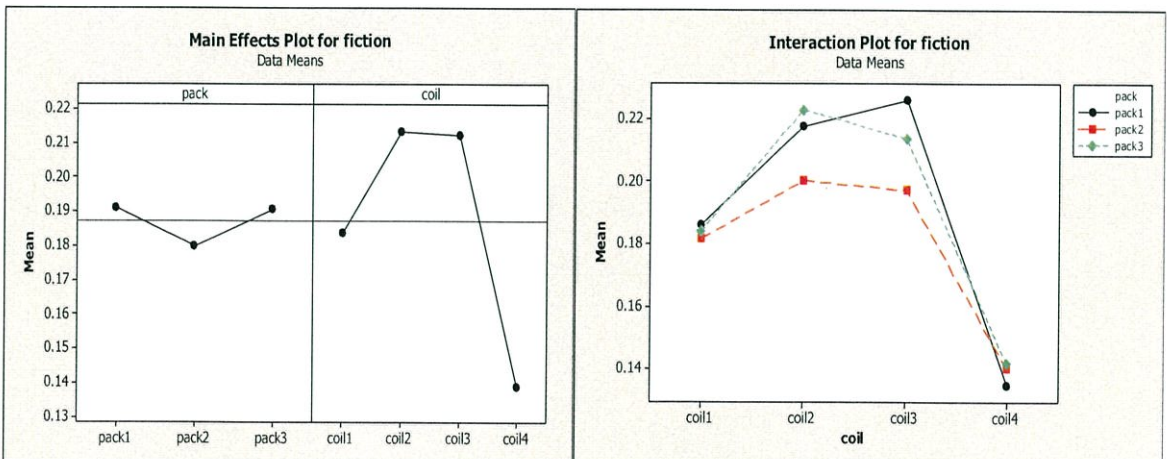
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 2.87 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของผู้จัด
 จำหน่ายรายย่อยบริษัท NSGT (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.0000727	0.0000363	0.57	0.568
Coil	3	0.0016132	0.0005377	8.50	0.000
Interaction	6	0.0002093	0.0000349	0.55	0.766
Error	36	0.0022785	0.0000633		
Total	47	0.0041737			

S = 0.007956 R-Sq = 45.41% R-Sq(adj) = 28.73%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

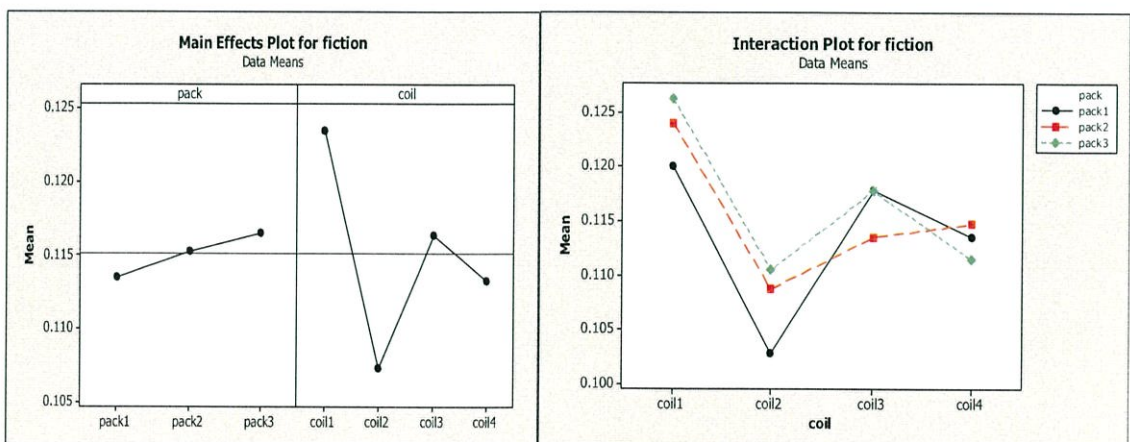
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 2.87 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของผู้จัด
 จำหน่ายรายย่อยบริษัท JSGT (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.0000265	0.0000133	0.46	0.636
Coil	3	0.0011137	0.0003712	12.81	0.000
Interaction	6	0.0006140	0.0001023	3.53	0.008
Error	36	0.0010435	0.0000290		
Total	47	0.0027977			

S = 0.005384 R-Sq = 62.70% R-Sq(adj) = 51.30%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

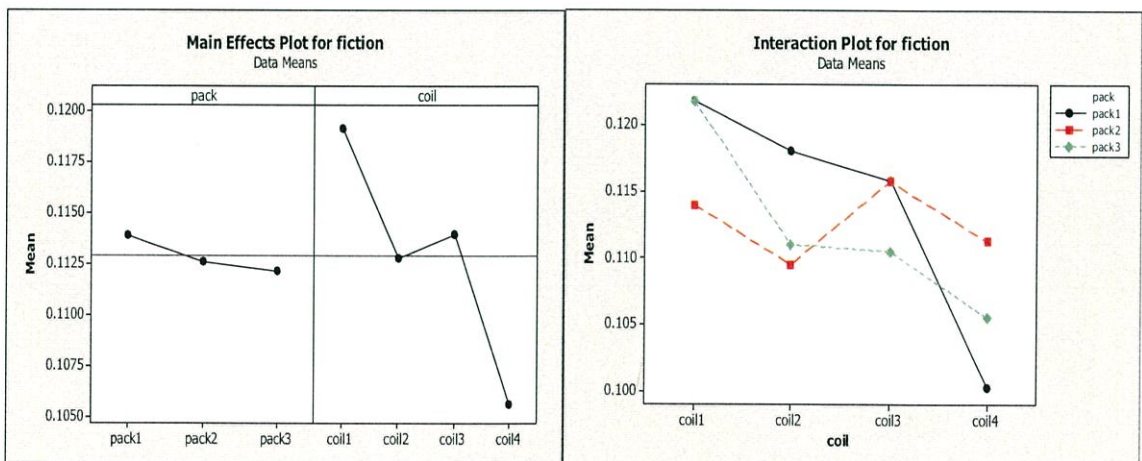
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 2.87 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของผู้จัด
 จำหน่ายรายย่อยบริษัท POSCO (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.0000070	0.0000035	0.26	0.770
Coil	3	0.0010287	0.0003429	25.62	0.000
Interaction	6	0.0001640	0.0000273	2.04	0.085
Error	36	0.0004817	0.0000134		
Total	47	0.0016815			

S = 0.003658 R-Sq = 71.35% R-Sq(adj) = 62.60%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

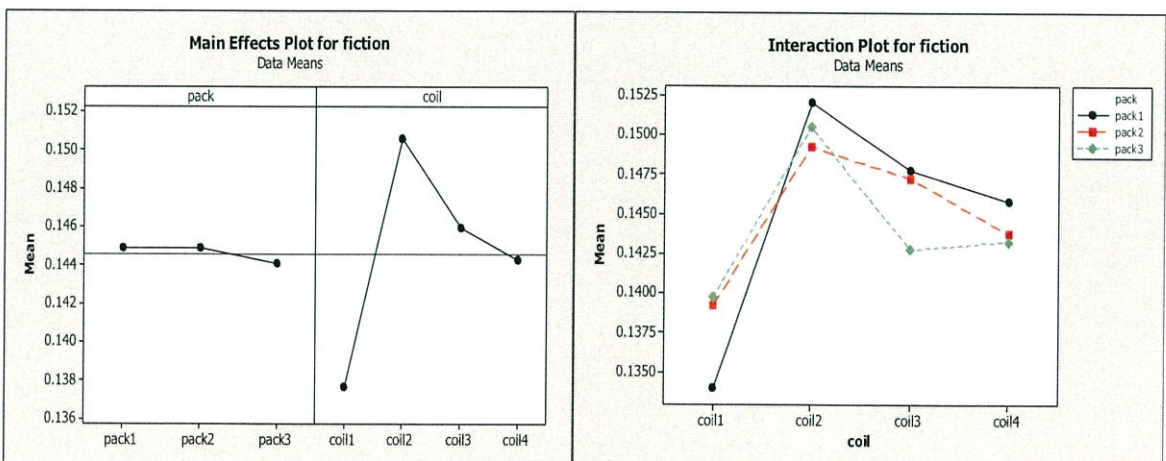
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 2.87 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน



ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของผู้จัด
 จำหน่ายรายย่อยบริษัท POSCO (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.0000315	0.0000158	1.72	0.194
Coil	3	0.0033021	0.0011007	119.71	0.000
Interaction	6	0.0000473	0.0000079	0.86	0.535
Error	36	0.0003310	0.0000092		
Total	47	0.0037119			

S = 0.003032 R-Sq = 91.08% R-Sq(adj) = 88.36%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

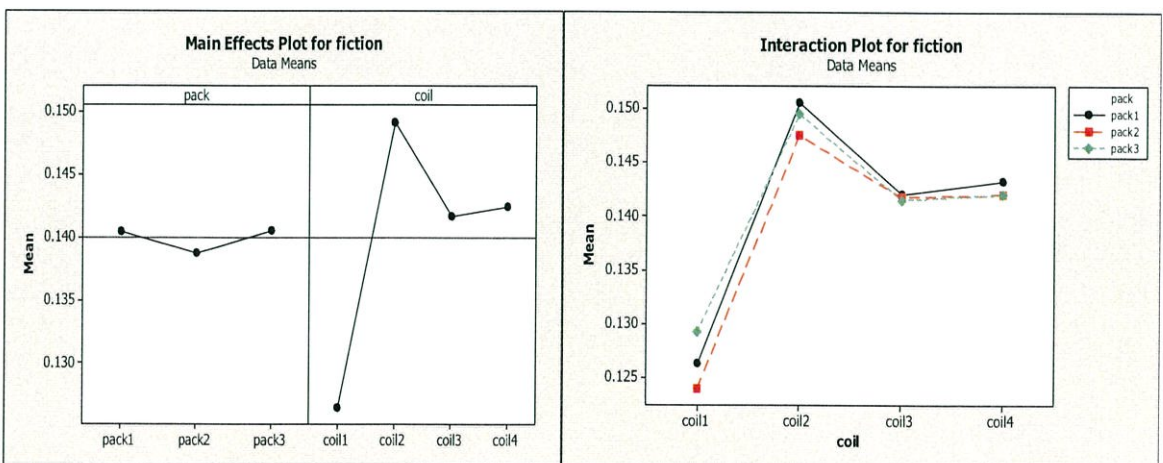
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 2.87 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าแรงเสียดทาน

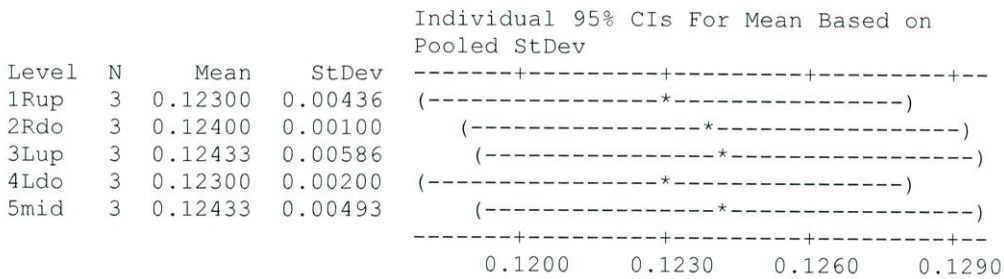


ผศ. 1 ผลการทดสอบค่าแรงเสียดทานระหว่างแต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กบริษัท JSJT (ด้านบนแผ่น)

One-way ANOVA: 1Rup, 2Rdo, 3Lup, 4Ldo, 5mid

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	0.0000056	0.0000014	0.08	0.985
Error	10	0.0001653	0.0000165		
Total	14	0.0001709			

S = 0.004066 R-Sq = 3.28% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 0.00407

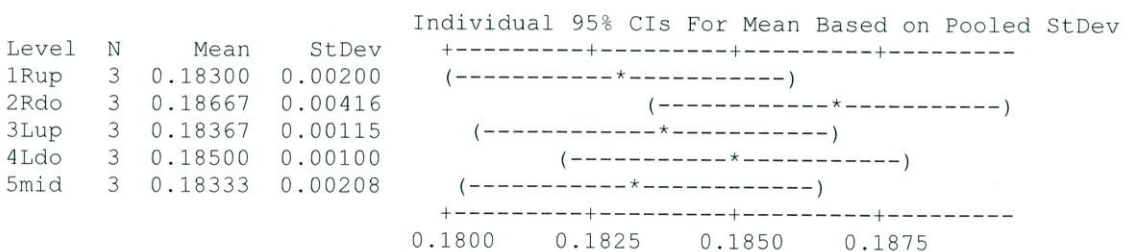
เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.48 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบค่าแรงเสียดทานระหว่างแต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กบริษัท JSJT (ด้านล่างแผ่น)

One-way ANOVA: 1Rup, 2Rdo, 3Lup, 4Ldo, 5mid

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	0.0000273	0.0000068	1.22	0.362
Error	10	0.0000560	0.0000056		
Total	14	0.0000833			

S = 0.002366 R-Sq = 32.80% R-Sq(adj) = 5.92%



Pooled StDev = 0.00237

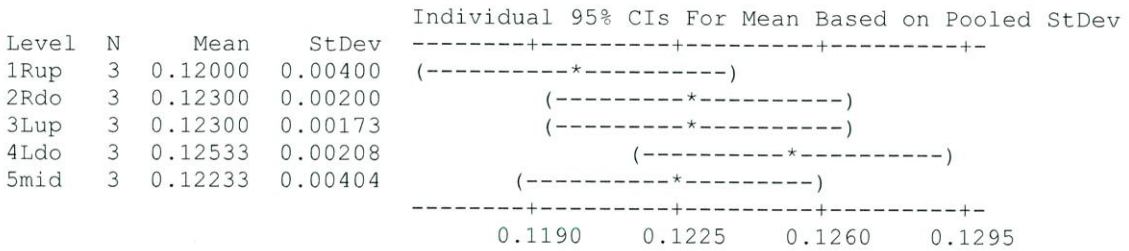
เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.48 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

ผค. 1 ผลการทดสอบค่าแรงเสียดทานระหว่างแต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กบริษัท NSGT (ด้านบนแผ่น)

One-way ANOVA: 1Rup, 2Rdo, 3Lup, 4Ldo, 5mid

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	0.0000436	0.0000109	1.25	0.352
Error	10	0.0000873	0.0000087		
Total	14	0.0001309			

S = 0.002955 R-Sq = 33.30% R-Sq(adj) = 6.62%



Pooled StDev = 0.00296

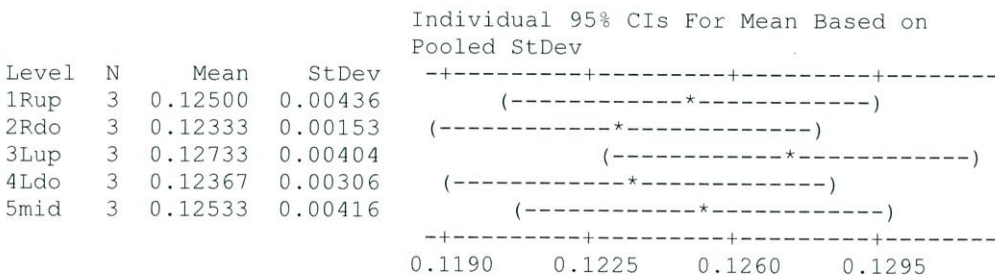
เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.48 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

ผลการทดสอบค่าแรงเสียดทานระหว่างแต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กบริษัท NSGT (ด้านล่างแผ่น)

One-way ANOVA: 1Rup, 2Rdo, 3Lup, 4Ldo, 5mid

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	0.0000303	0.0000076	0.59	0.679
Error	10	0.0001287	0.0000129		
Total	14	0.0001589			

S = 0.003587 R-Sq = 19.04% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 0.00359

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.48 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

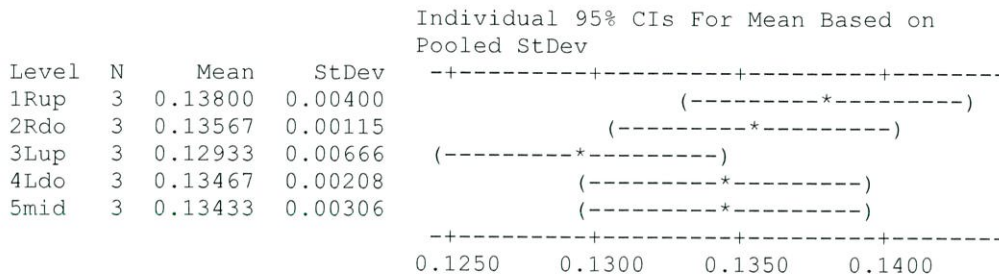
ผศ. 1 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็ก

บริษัท POSCO (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

One-way ANOVA: 1Rup, 2Rdo, 3Lup, 4Ldo, 5mid

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	0.0001209	0.0000302	2.01	0.169
Error	10	0.0001507	0.0000151		
Total	14	0.0002716			

S = 0.003882 R-Sq = 44.53% R-Sq(adj) = 22.34%



Pooled StDev = 0.00388

เนื่องจาก ค่า $F < F_{critical} 3.48$ ($P > 0.05$) ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

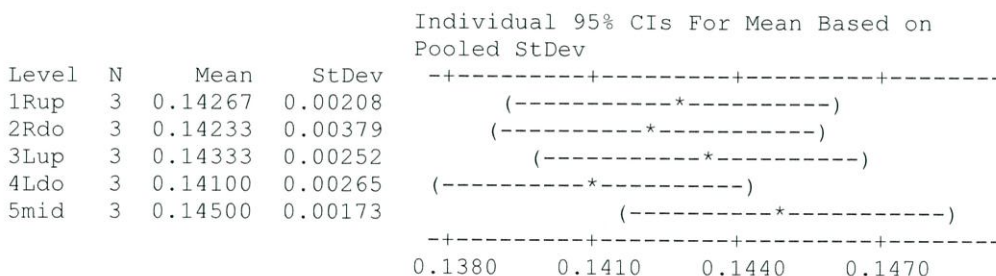
ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าแรงเสียดทานระหว่างแต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็ก

บริษัท POSCO (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

One-way ANOVA: 1Rup, 2Rdo, 3Lup, 4Ldo, 5mid

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	0.0000257	0.0000064	0.92	0.490
Error	10	0.0000700	0.0000070		
Total	14	0.0000957			

S = 0.002646 R-Sq = 26.88% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 0.00265

เนื่องจาก ค่า $F < F_{critical} 3.48$ ($P > 0.05$) ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ละตำแหน่งบนแผ่นเหล็กมีค่าแรงเสียดทานไม่แตกต่างกัน

ผศ. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยึดเกาะของสารเคลือบจากผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่
แตกต่างกัน (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

One-way ANOVA: JSGT, NSGT, POSCO

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1.267	0.633	3.72	0.037
Error	27	4.600	0.170		
Total	29	5.867			

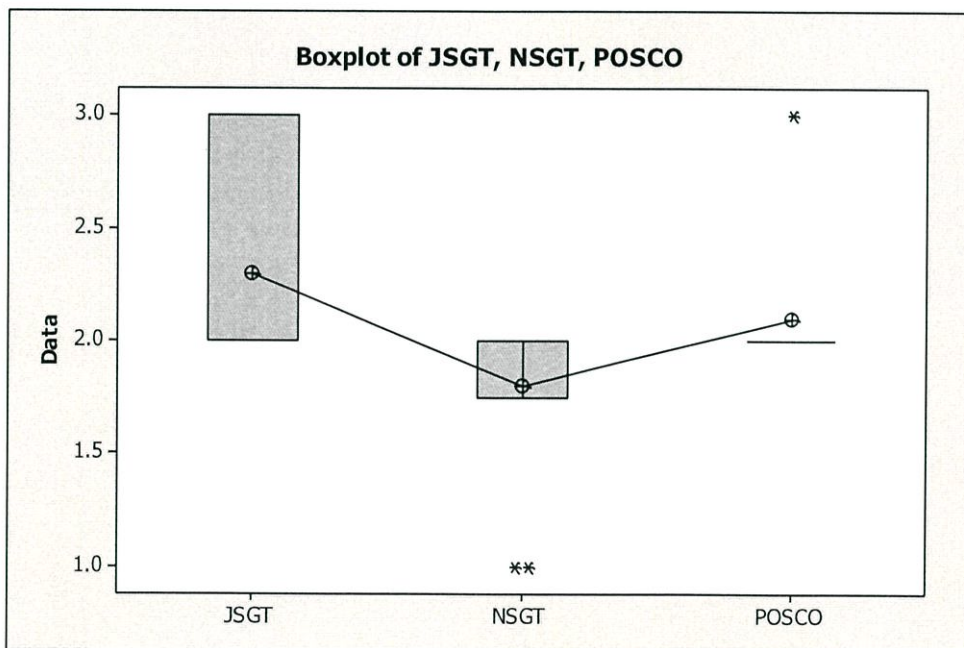
S = 0.4128 R-Sq = 21.59% R-Sq(adj) = 15.78%

Level	N	Mean	StDev
JSGT	10	2.3000	0.4830
NSGT	10	1.8000	0.4216
POSCO	10	2.1000	0.3162

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Pooled StDev = 0.4128

เนื่องจาก ค่า $F > F_{critical}$ 3.35 ($P < 0.05$) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ผู้จัดจำหน่ายรายย่อยที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าการยึดติดของสารเคลือบ



ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าแผ่นเหล็กจาก JSGT และ POSCO ผิวเคลือบมีการยึดติดดีที่สุด

ผศ. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยืดเกาะของสารเคลือบระหว่างแพ็คและม้วนเหล็ก
 ของผู้จัดจำหน่ายรายย่อยบริษัท JSGT (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.04167	0.020833	0.20	0.820
Coil	3	1.06250	0.354167	3.40	0.028
Interaction	6	0.12500	0.020833	0.20	0.975
Error	36	3.75000	0.104167		
Total	47	4.97917			

S = 0.3227 R-Sq = 24.69% R-Sq(adj) = 1.67%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ

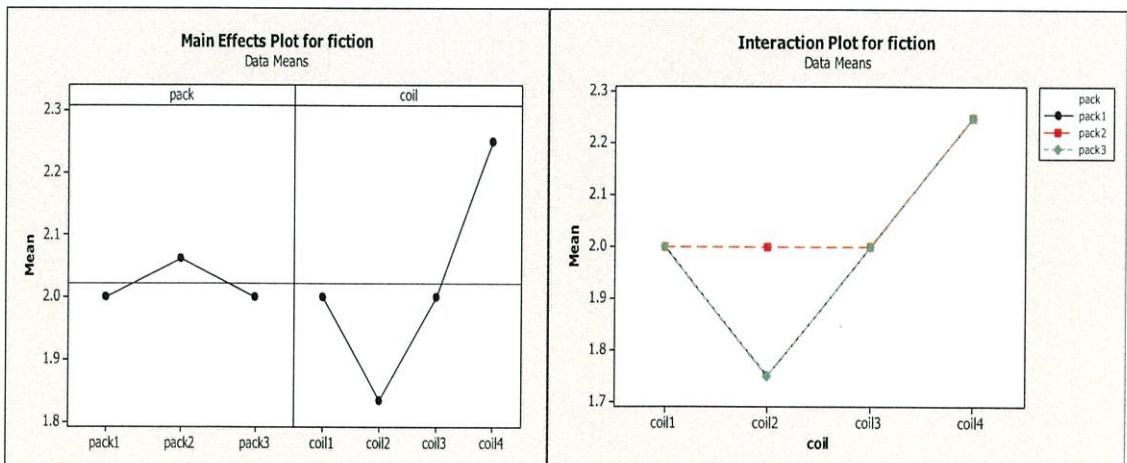
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 3.26 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ



ผศ. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยืดเกาะของสารเคลือบระหว่างแพ็คและม้วนเหล็ก
ของผู้จัดจำหน่ายรายย่อยบริษัท JSGT (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.12500	0.0625000	1.50	0.237
Coil	3	0.16667	0.0555556	1.33	0.279
Interaction	6	0.20833	0.0347222	0.83	0.552
Error	36	1.50000	0.0416667		
Total	47	2.00000			

S = 0.2041 R-Sq = 25.00% R-Sq(adj) = 2.08%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ

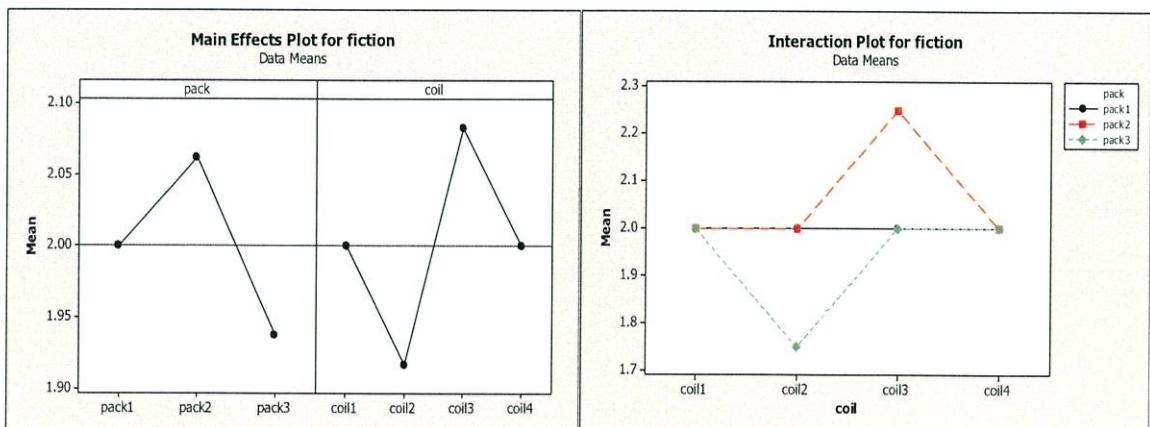
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ



ผศ. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยืดเกาะของสารเคลือบระหว่างแพ็คและม้วนเหล็ก
ของผู้จัดจำหน่ายรายย่อยบริษัท NSGT (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.00000	0.000000	0.00	1.000
Coil	3	1.16667	0.388889	3.50	0.025
Interaction	6	0.83333	0.138889	1.25	0.305
Error	36	4.00000	0.111111		
Total	47	6.00000			

S = 0.3333 R-Sq = 33.33% R-Sq(adj) = 12.96%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ

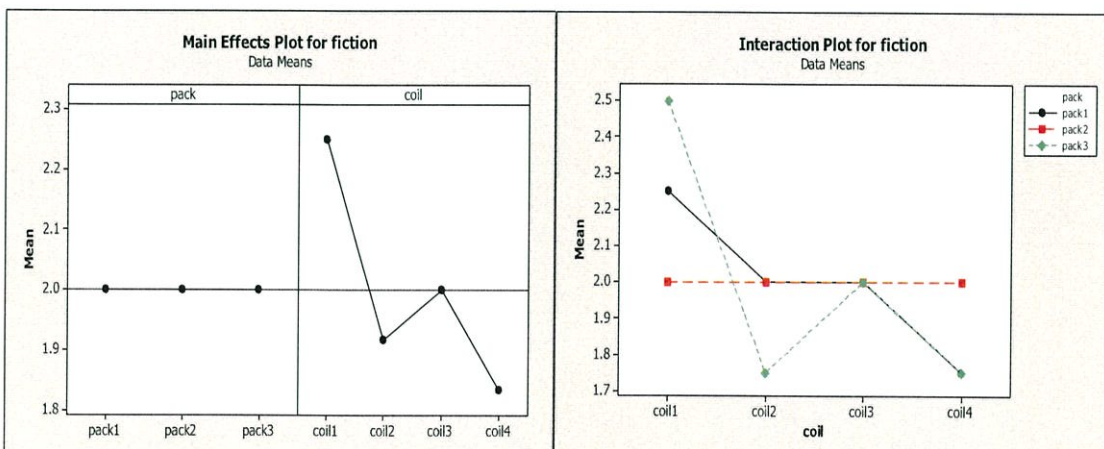
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 3.26 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ



ผค. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยึดเกาะของสารเคลือบระหว่างแพ็คและม้วนเหล็ก
ของผู้จัดจำหน่ายรายย่อยบริษัท NSGT (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.29167	0.145833	2.10	0.137
Coil	3	0.75000	0.250000	3.60	0.023
Interaction	6	0.37500	0.062500	0.90	0.506
Error	36	2.50000	0.069444		
Total	47	3.91667			

S = 0.2635 R-Sq = 36.17% R-Sq (adj) = 16.67%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \text{ อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยึดติดของสารเคลือบ

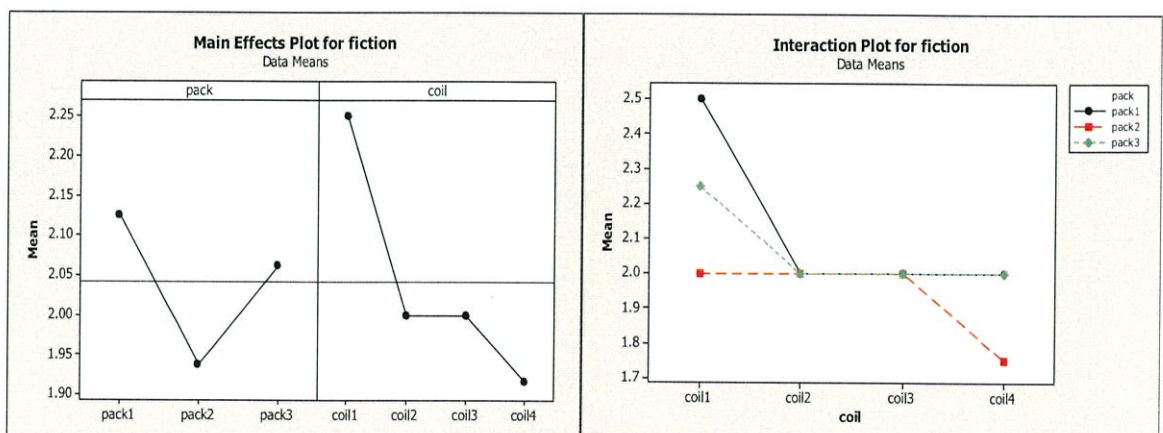
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \text{ อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F > F critical 3.26 (P<=0.05) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าการยึดติดของสารเคลือบ



ผศ. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยืดเกาะของสารเคลือบระหว่างแพ็คและม้วนเหล็กของ
ผู้จัดทำหน้ารายย่อยบริษัท POSCO (ด้านบนแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.041667	0.0208333	1.00	0.378
Coil	3	0.062500	0.0208333	1.00	0.404
Interaction	6	0.125000	0.0208333	1.00	0.440
Error	36	0.750000	0.0208333		
Total	47	0.979167			

S = 0.1443 R-Sq = 23.40% R-Sq(adj) = 0.00%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ

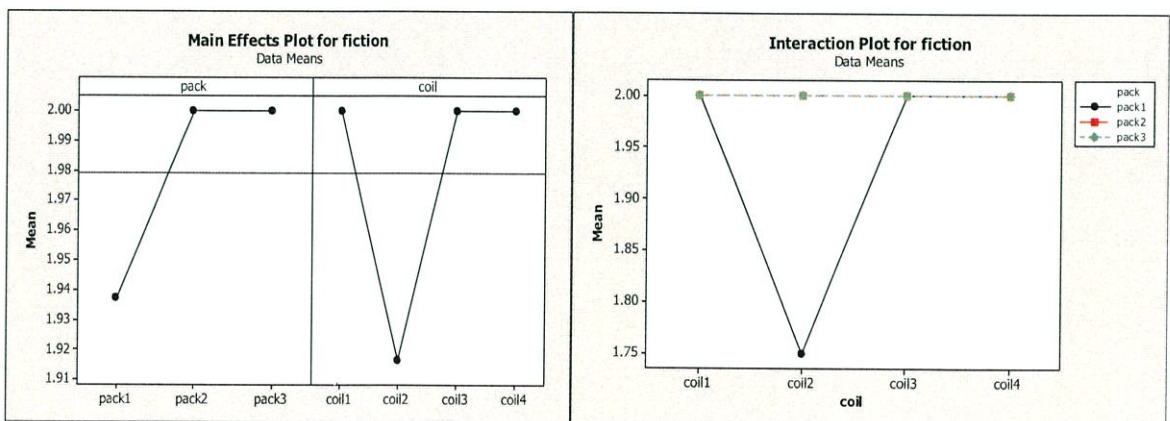
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ



ผศ. 2 ผลการทดสอบความแปรปรวนค่าการยืดเกาะของสารเคลือบระหว่างแพ็คและม้วนเหล็ก
ของผู้จัดจำหน่ายรายย่อยบริษัท POSCO (ด้านล่างแผ่นเหล็ก)

Two-way ANOVA: Fiction Versus Pack, Coil

Source	DF	SS	MS	F	P
Pack	2	0.00000	0.0000000	0.00	1.000
Coil	3	0.16667	0.0555556	1.33	0.279
Interaction	6	0.33333	0.0555556	1.33	0.268
Error	36	1.50000	0.0416667		
Total	47	2.00000			

S = 0.2041 R-Sq = 25.00% R-Sq(adj) = 2.08%

$$H_0 : \mu_{pack1} = \mu_{pack2} = \mu_{pack3}$$

$$H_A : \mu_{pack1} \neq \mu_{pack2} \neq \mu_{pack3} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Pack

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Pack ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ

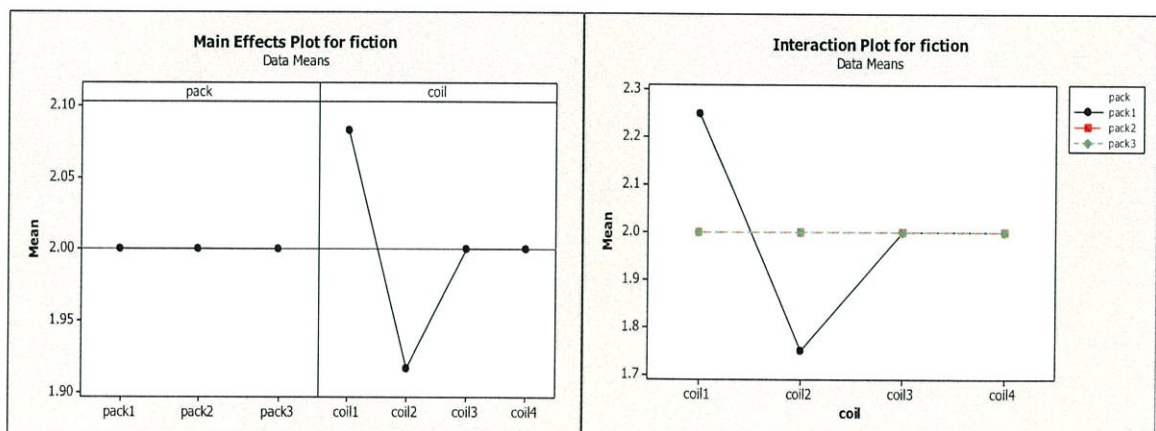
$$H_0 : \mu_{coil1} = \mu_{coil2} = \mu_{coil3} = \mu_{coil4}$$

$$H_A : \mu_{coil1} \neq \mu_{coil2} \neq \mu_{coil3} \neq \mu_{coil4} \quad \text{อย่างน้อยที่สุดที่หนึ่งระดับใดๆ}$$

Coil

เนื่องจาก ค่า F < F critical 3.26 (P>0.05) ยอมรับสมมติฐานหลัก

Coil ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการยืดติดของสารเคลือบ



ภาคผนวก ง

ผง. 1 ใบบันทึกเวลากระบวนการ Pin on Disc Test

ผง. 2 ใบบันทึกเวลากระบวนการ V-bending Test

ตารางที่ ผง. 1 ใบบันทึกเวลากระบวนการ Pin on Disc Test

ข้อมูลการจับเวลากระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็ก

ใบบันทึกการจับเวลา TIME STUDY OBSERVATION SHEET											แผ่นที่ 1 ใน 1 แผ่น								
ชื่อกระบวนการ : ตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กด้วยเครื่อง Pin on disc											วันที่บันทึก : 06/11/2558								
แผนก : บีมตัวตั้ง											เวลาเริ่ม 9.00 ถึงสุด 16.30								
กรรมวิธี : <input checked="" type="checkbox"/> คน <input checked="" type="checkbox"/> เครื่องจักร											ผู้ปฏิบัติงาน : <input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง								
วิธีการ : <input type="checkbox"/> บังคับ <input checked="" type="checkbox"/> ปรับปรุง											ผู้จับเวลา : นมช. พรชก								
รายงานสถานที่ทำงาน : อากาศถ่ายเท พื้นที่โล่งสะดวก สถานที่ปลอดภัย มีรั้วกั้นแบ่งเขตการทำงานชัดเจนดี											เครื่องจักร : Pin on disc, กรรไกรกลม, เครื่องอัดไฮดรอลิก								
											อุปกรณ์ : บีมบีม, พู่กัน, ไม้ตัก, เทปใส								
ลำดับ	งานย่อย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVG.	Rating	N.T	%AF	ST			
1	พนักงานเดินไปซึก coil number ที่เข้ามาล่าสุดที่ขั้ววง	320.45	308.02	357.89	332.89	367.42	360.83	367.91	351.34	299.3	315.83	338.188	1.08	365.243	12	409.072			
2	พนักงานเดินไปที่จุดจอบรอกไฟฟ้า	213.3	220.67	228.9	208.34	215.6	206.89	213.24	257.8	248.31	221.01	223.406	0.88	196.597	12	220.189			
3	พนักงานขับรถไฟฟ้าลิฟท์มายังขั้ววง	258.61	271.15	247.96	263.09	236.89	270.04	231.42	251.51	237.9	249.28	251.785	1.08	271.928	11	301.84			
4	รถไฟฟ้าลิฟท์ขน pack เหล็กจากขั้ววงไปยังจุด unpack	62.12	69.63	62.81	72.22	81.89	66.21	73.52	69.08	71.32	79.24	71.1092	1.08	76.7979	11	85.2457			
5	พนักงานขับรถไฟฟ้าลิฟท์ไปจุดพร้อมเดินกลับมายังจุด unpack	16.03	15.53	16.72	15.89	15.92	15.43	15.23	16.98	17.21	15.3	16.024	1.08	17.3059	11	19.2096			
6	แกะห่อพลาสติกออก	65.19	63.09	59.1	61.08	60.82	67.35	53.89	63.09	66.54	65.08	62.523	0.88	55.0202	12	61.6227			
7	เตรียมเครื่องมือ (กรรไกรกลม)	63.21	56.98	58.91	67.12	63.84	59.04	62.56	68.34	63.09	59.11	62.22	0.88	54.7536	12	61.324			
8	คัดแยกเหล็กที่มีขนาดเท่าแผ่น A4 พร้อมเขียนข้อมูล	41.52	40.89	45.98	39.98	40.11	42.38	35.99	42.87	43.12	41.56	41.44	1.02	42.2688	14	48.1864			
9	ทำการเก็บเครื่องมือ	53.86	48.55	59.81	49.57	52.34	45.56	56.73	54.24	58.23	50.42	51.901	0.88	45.6727	12	51.1535			
10	พนักงานเดินมาเก็บแผ่นเหล็กที่คัดแล้วเดินไปยังรถไฟฟ้าลิฟท์	5.67	4.85	4.93	6.35	6.01	5.03	5.89	5.61	5.23	4.81	5.39308	0.69	3.72122	12	4.16777			
11	พนักงานขับรถไฟฟ้าลิฟท์มายังจุด unpack	8.08	7.82	8.81	7.42	6.89	7.34	6.77	7.89	6.52	7.32	7.60533	1.08	8.21376	11	9.11727			
12	รถไฟฟ้าลิฟท์ขนแผ่นเหล็กที่คัดเสร็จไปที่	30.13	35.82	38.31	31.73	29.34	36.39	31.4	34.13	28.66	30.51	31.994	1.08	34.5535	11	38.3544			
13	รถไฟฟ้าลิฟท์เคลื่อนจากจุดทิ้งกลับมาขน Pack ที่เหลือไปที่	33.99	34.21	29.45	30.13	32.45	33.05	38.61	29.69	29.98	31.9	32.3769	1.08	34.9671	11	38.8135			
14	ขับรถไฟฟ้าลิฟท์ไปเก็บ	203.11	222.09	249.04	210.9	212.3	209.08	253.07	241.8	211.12	257.98	227.049	1.08	245.213	11	272.186			
15	พนักงานเดินกลับมายังห้องตรวจสอบ	83.21	74.48	87.7	79.53	82.86	74.69	81.63	85.43	83.24	75.72	80.849	0.69	55.7858	12	62.4801			
16	คัดแยกเหล็กเป็นลักษณะ วงกลม	55.27	53.78	60.89	51.36	51.89	55.36	59.64	51.28	55.89	61.48	55.684	1.06	59.025	12	66.108			
17	ทำการตั้งค่าเครื่องและทาน้ำมันบนแผ่นเหล็ก	45.13	48.25	42.79	40.19	51.64	44.83	52.65	45.33	41.58	45.61	45.9633	1.06	48.7211	12	54.5677			
18	นำแผ่นเหล็กใส่เครื่อง แล้วกดปุ่ม start	51.13	60.89	55.36	51.24	51.86	59.78	61.78	52.95	56.24	55.49	55.672	1.08	60.1258	12	67.3409			
19	เครื่อง Pin on disc ทำงาน	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	-	-	-	1200			
20	ทำการขีดและบันทึกผลที่ได้	5.63	4.52	4.38	5.79	4.65	5.13	5.22	5.64	4.98	5.68	5.162	1.06	5.47172	10	6.01889			
21	นำแผ่นเหล็กที่ผ่านการทดสอบออกจากเครื่อง	10.32	9.85	9.63	10.45	10.01	9.08	8.89	9.48	9.36	9.64	9.671	1.06	10.2513	12	11.4814			
												หน่วยวินาที		หน่วยนาที		เฉลี่ย/ชิ้น (นาที)			
												เวลามาตรฐาน(จนวนรวม*)		1410.739573		23.51232621		4.702465243	
												เวลามาตรฐาน(จนวนเดี่ยว**)		272.2226324		4.537043873		4.537043873	
												เวลามาตรฐาน Pin on disc***		1405.516869		23.42528114		23.42528114	

หมายเหตุ *จนวนรวม หมายถึงจนถึงลำดับที่ 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 15 **จนวนเดี่ยว หมายถึงจนถึงลำดับที่ 4, 6, 8, 12, 13 ***jnv-bending หมายถึงจนถึงลำดับที่ 16-21

ตารางที่ ผง. 2 ใบบันทึกเวลากระบวนการ V-bending Test

ข้อมูลการจับเวลากระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็ก

ใบบันทึกการจับเวลา TIME STUDY OBSERVATION SHEET										แผ่นที่ 1 ใน 1 แผ่น						
ชื่อกระบวนการ : ตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็กด้วยเครื่อง V-bending										วันที่บันทึก : 06/11/2558						
แผนก : บัณฑิต										เวลาเริ่ม 9.00 สิ้นสุด 16.30						
กรรมวิธี : <input checked="" type="checkbox"/> คน <input type="checkbox"/> เครื่องจักร										ผู้ปฏิบัติงาน : <input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง						
วิธีการ : <input type="checkbox"/> บังคับ <input checked="" type="checkbox"/> ปรับปรุง										ผู้จับเวลา : นมม. พรชนก						
รายงานสถานที่ทำงาน : อาคารฝ่ายท พื้นที่โล่งสะดวก สถานที่ปลอดภัย มีรั้วกันแบ่งเขตการทำงาน										เครื่องจักร : V-Bending, กรรไกรสน, เครื่องอัดไฮดรอลิก						
ชั้นงานดี										อุปกรณ์ : น้ำมัน, พู่กัน, โม่ตบูก, เทปใส						
ลำดับ	งานย่อย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	AVG.	Rating	N.T	%AF	ST
1	พนักงานเดินไปไข้ coil number ที่เข้ามาล่าสุดที่ชั้นวาง	320.45	308.02	357.89	332.89	367.42	360.83	367.91	351.34	299.3	315.83	338.188	1.08	365.243	12	409.072
2	พนักงานเดินไปที่จุดจอร์จไฟล็คลิฟท์	213.3	220.67	228.9	208.34	215.6	206.89	213.24	257.8	248.31	221.01	223.406	0.88	196.597	12	220.189
3	พนักงานขับรถไฟล็คลิฟท์มายังชั้นวาง	258.61	271.15	247.96	263.09	236.89	270.04	231.42	251.51	237.9	249.28	251.785	1.08	271.928	11	301.84
4	รถไฟล็คลิฟท์ชน pack เหล็กจากชั้นวางไปยังจุด unpack	62.12	69.63	62.81	72.22	81.89	66.21	73.52	69.08	71.32	79.24	71.1092	1.08	76.7979	11	85.2457
5	พนักงานขับรถไฟล็คลิฟท์ไปจอดพร้อมเดินกลับมายังจุด unpack	16.03	15.53	16.72	15.89	15.92	15.43	15.23	16.98	17.21	15.3	16.024	1.08	17.3059	11	19.2096
6	แกะห่อพลาสติกออก	65.19	63.09	59.1	61.08	60.82	67.35	53.89	63.09	66.54	65.08	62.523	0.88	55.0202	12	61.6227
7	เตรียมเครื่องมือ (กรรไกรสน)	63.21	56.98	58.91	67.12	63.84	59.04	62.56	68.34	63.09	59.11	62.22	0.88	54.7536	12	61.324
8	คัดแผ่นเหล็กให้มีขนาดเท่าแผ่น A4 พร้อมเขียนข้อมูล	41.52	40.89	45.98	39.98	40.11	42.38	35.99	42.87	43.12	41.56	41.44	1.02	42.2688	14	48.1864
9	ทำการเก็บเครื่องมือ	53.86	48.55	59.81	49.57	52.34	45.56	56.73	54.24	58.23	50.42	51.901	0.88	45.6727	12	51.1535
10	พนักงานเดินมาเก็บแผ่นเหล็กที่คัดแล้วเดินไปยังรถไฟล็คลิฟท์	5.67	4.85	4.93	6.35	6.01	5.03	5.89	5.61	5.23	4.81	5.39308	0.69	3.72122	12	4.16777
11	พนักงานขับรถไฟล็คลิฟท์มายังจุด unpack	8.08	7.82	8.81	7.42	6.89	7.34	6.77	7.89	6.52	7.32	7.60533	1.08	8.21376	11	9.11727
12	รถไฟล็คลิฟท์ชนแผ่นเหล็กที่คัดเสร็จไปทิ้ง	30.13	35.82	38.31	31.73	29.34	36.39	31.4	34.13	28.66	30.51	31.994	1.08	34.5535	11	38.3544
13	รถไฟล็คลิฟท์เคลื่อนจากจุดทิ้งกลับมาชน Pack ที่เหลือไปเก็บ	33.99	34.21	29.45	30.13	32.45	33.05	38.61	29.69	29.98	31.9	32.3769	1.08	34.9671	11	38.8135
14	ขับรถไฟล็คลิฟท์ไปเก็บ	203.11	222.09	249.04	210.9	212.3	209.08	253.07	241.8	211.12	257.98	227.049	1.08	245.213	11	272.186
15	พนักงานเดินกลับมายังห้องตรวจสอบ	83.21	74.48	87.7	79.53	82.86	74.69	81.63	85.43	83.24	75.72	80.849	0.69	55.7858	12	62.4801
16	ทำการเตรียมเครื่องจักร	28.47	29.43	28.34	25.67	31.23	25.98	32.63	28.93	29.53	31.92	29.213	1.05	30.6737	12	34.3545
17	คัดแผ่นเหล็กเป็นลักษณะสี่เหลี่ยม จำนวน 2 แผ่น	65.10	59.08	71.53	73.43	64.35	65.58	61.8	55.78	69.05	64.33	65.39	1.02	66.6961	12	74.6996
18	ทำการเตรียมเครื่องจักร	40.79	43.23	35.67	37.83	41.01	45.16	43.45	38.59	40.58	40.12	40.643	1.05	42.6752	12	47.7962
19	ทำการทดสอบ V-Bending จำนวน 2 แผ่น	71.52	69.15	82.34	79.53	69.71	68.31	71.45	68.01	72.57	70.27	72.286	1.02	73.7317	12	82.5795
20	คิดเทปใส่บนแผ่นเหล็กจำนวน 2 แผ่น พร้อมติดลงบนกระดาษ	49.74	45.62	38.93	53.23	50.57	51.25	42.85	46.16	39.67	41.89	46.163	1.05	48.4693	12	54.2856
21	บันทึกข้อมูลหรือเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน	20.9	19.47	23.46	19.67	18.47	19.54	23.56	20.88	21.67	23.57	21.119	1	21.119	12	23.6533
											หน่วยวินาที		หน่วยนาที		เฉลี่ย/ชิ้น (นาที)	
เวลามาตรฐาน(งานรวม*)											1410.739573		23.51232621		4.702465243	
เวลามาตรฐาน(งานเดี่ยว**)											272.2226324		4.537043873		4.537043873	
เวลามาตรฐานV-bending***											317.3687244		5.28947874		5.28947874	

หมายเหตุ *งานรวม หมายถึงจนถึงลำดับที่ 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 15 **งานเดี่ยว หมายถึงจนถึงลำดับที่ 4, 6, 8, 12, 13 ***งานV-bending หมายถึงจนถึงลำดับที่ 16-21

ภาคผนวก จ

- ผจ. 1 แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน
- ผจ. 2 ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน

ผจ. 1 แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน

แบบสอบถามเพื่อใช้ประกอบการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็ก

ปริญญาานิพนธ์ เรื่อง “ออกแบบกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเหล็กในสายการผลิตโรงปิ้งตัวถัง กรณีศึกษา บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (โรงงานสำโรง)”

วัตถุประสงค์

แบบสอบถามนี้มีเป้าหมายให้ผู้กรอกแบบสอบถาม พิจารณาถึงหลักเกณฑ์ต่างๆที่มีผลต่อการตัดสินใจคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงานตรวจสอบคุณภาพแผ่นเหล็ก

รายละเอียดในการกรอกแบบสอบถาม

แบ่งการเก็บข้อมูลเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นผู้เชี่ยวชาญ

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ต่างๆตามทฤษฎีของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบความเหมาะสมกลุ่มพื้นที่ต่างๆตามหลักเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลเบื้องต้นผู้ผู้เชี่ยวชาญ

1.1 ชื่อ-สกุล _____

1.2 ตำแหน่ง _____

1.3 ฝ่ายที่สังกัด _____

1.4 ประสบการณ์ทำงาน _____

1.5 วันที่ทำการบันทึกข้อมูล _____

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ต่างๆตามทฤษฎีของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

การพิจารณาจะทำการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์เป็นรายคู่ และกำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นระดับความเข้มข้นของสำคัญด้วยตัวเลขต่างๆ โดยความหมายของตัวเลขระดับความเข้มข้นของสำคัญแสดงได้ดังตารางที่ 1

ผจ. 1 (ต่อ) แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน

ตารางที่ 1 ระดับความเข้มข้นของความสำเร็จ

สำคัญน้อยสุด

1/9	มากกว่า 9 เท่า
1/7	มากกว่า 7 เท่า
1/5	มากกว่า 5 เท่า
1/3	มากกว่า 3 เท่า
1	สำคัญเท่าเทียมกัน
3	มากกว่า 3 เท่า
5	มากกว่า 5 เท่า
7	มากกว่า 7 เท่า
9	มากกว่า 9 เท่า

สำคัญมากที่สุด

ตัวอย่างการกรอก

เป้าหมายการตัดสินใจ	ขนาดพื้นที่	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	ความสั้นสะเทือนของพื้นที่	ความหนาแน่นของการจราจร	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	การขยายพื้นที่ในอนาคต	ระยะทาง
ก	ขนาดพื้นที่	1	1/7	3	...			
	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า		1					
	ความสั้นสะเทือนของพื้นที่			1				
	ความหนาแน่นของการจราจร				1			
	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน					1		
	สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน						1	
	การขยายพื้นที่ในอนาคต							1
	ระยะทาง							

ผจ. 1 (ต่อ) แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน

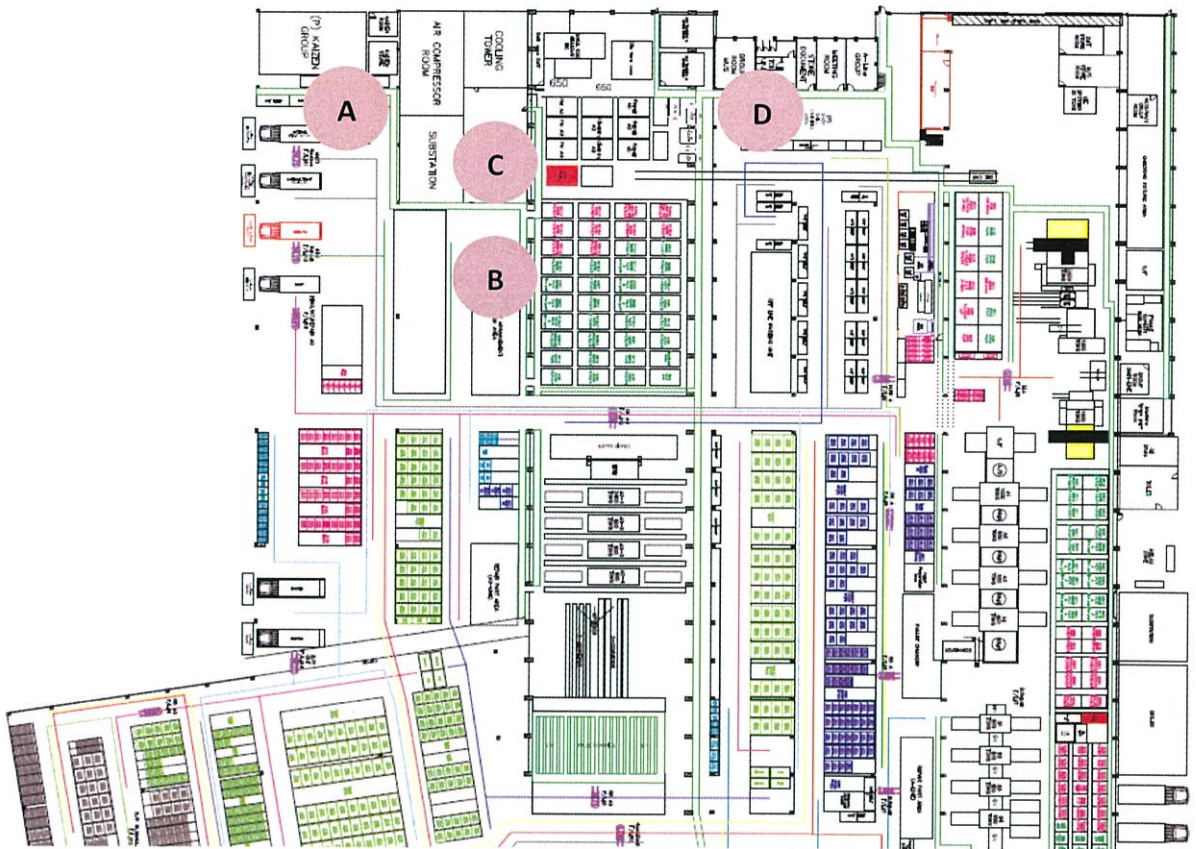
ส่วนที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบความเหมาะสมกลุ่มพื้นที่ต่างๆตามหลักเกณฑ์ที่ตั้งไว้

การพิจารณาจะทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของกลุ่มพื้นที่ต่างๆตามหลักเกณฑ์ที่ตั้งไว้เป็นรายคู่ และกำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นค่าคะแนนของความเหมาะสมด้วยตัวเลขต่างๆ โดยความหมายของตัวเลขระดับความเหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ 2 โดยกลุ่มพื้นที่ต่างๆแบ่งออกได้เป็นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงความหมายของตัวเลขระดับความเหมาะสม

1/9	แยกว่า 9 เท่า
1/7	แยกว่า 7 เท่า
1/5	แยกว่า 5 เท่า
1/3	แยกว่า 3 เท่า
1	เหมาะสมเท่าเทียมกัน
3	ดีกว่า 3 เท่า
5	ดีกว่า 5 เท่า
7	ดีกว่า 7 เท่า
9	ดีกว่า 9 เท่า

ผจ. 1 (ต่อ) แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน



- กลุ่มพื้นที่ A พื้นที่บริเวณจุดติดตั้งบอร์ดตรวจเช็คคุณภาพ
- กลุ่มพื้นที่ B พื้นที่บริเวณจุด Export part
- กลุ่มพื้นที่ C พื้นที่บริเวณห้องเก็บอุปกรณ์
- กลุ่มพื้นที่ D พื้นที่บริเวณจุด Training พนักงาน

ตัวอย่างการกรอก

ด้านขนาดพื้นที่

สถานที่	บอร์ดเช็คคุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บอุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1	3	1/3	...
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ผจ. 1 (ต่อ) แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน

ความหมาย บริเวณบอร์ดเช็คคุณภาพ มีขนาดพื้นที่เหมาะสมดีกว่า จุด Export part 3 เท่า
บริเวณบอร์ดเช็คคุณภาพ มีขนาดพื้นที่แค่งว่าบริเวณห้องเก็บอุปกรณ์ 3 เท่า

คำชี้แจง โปรดกรอกตัวเลขที่แสดงถึงระดับความเข้มข้นต่างๆตามความเป็นจริงในช่องว่างสีขาว โดยข้อมูลต่างๆจะถูกนำไปใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการทำปฏิญานพนธ์เท่านั้น

ด้านขนาดพื้นที่ จะมีความเหมาะสมมากที่สุดใกรณีที่มีขนาดพื้นที่มีความเพียงพอต่อการใช้งาน

สถานที่	บอร์ดเช็คคุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บอุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ด้านระบบน้ำ-ไฟฟ้า จะมีความเหมาะสมมากที่สุดใกรณีมีความง่ายต่อการติดตั้งระบบน้ำและระบบไฟฟ้าหรืออยู่ใใกล้บริเวณแหล่งจ่ายน้ำและไฟ

สถานที่	บอร์ดเช็คคุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บอุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ผจ. 1 (ต่อ) แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน

ความสั่นสะเทือนของพื้นที่ จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในกรณีพื้นที่ที่ไม่มีความสั่นสะเทือน

สถานที่	บอร์ดเช็ค คุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บ อุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ความหนาแน่นของการจราจร จะมีความเหมาะสมที่สุดในกรณีความหนาแน่นของการจราจรน้อย

สถานที่	บอร์ดเช็ค คุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บ อุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน จะมีความเหมาะสมที่สุดในกรณีพื้นที่ที่มีอยู่ไม่ได้มีการใช้ให้เกิดประโยชน์มากเท่าที่ควร เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมที่ทำในบริเวณนั้นในปัจจุบัน

สถานที่	บอร์ดเช็ค คุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บ อุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ผจ. 1 (ต่อ) แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินเพื่อพิจารณาคัดเลือกพื้นที่จัดตั้งจุดงาน

สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในกรณีที่สภาพพื้นที่ในปัจจุบันว่ามีสภาพยังใช้การได้ดี ไม่ต้องมีการลงทุนเพื่อทำการปรับปรุงเพิ่มเติม รวมไปถึงมีสภาพแวดล้อมรอบข้างที่ดี

สถานที่	บอร์ดเช็ค คุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บ อุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

การขยายพื้นที่ในอนาคต จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในกรณีที่พื้นที่ข้างเคียงว่ามีโอกาสในการพัฒนาขยาย เพื่อทำกิจกรรมอื่นน้อย

สถานที่	บอร์ดเช็ค คุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บ อุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ระยะทาง จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในกรณีที่มิระยะทางในการทำงานน้อยที่สุด

สถานที่	บอร์ดเช็ค คุณภาพ	จุด Export part	ห้องเก็บ อุปกรณ์	จุด Training
บอร์ดเช็คคุณภาพ	1			
จุด Export part		1		
ห้องเก็บอุปกรณ์			1	
จุด Training				1

ผจ. 2 ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 1)

ลำดับความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละเกณฑ์

เป้าหมายการตัดสินใจ	ขนาดพื้นที่	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	ความสะอาดของพื้นที่	ความหนาแน่นของการจราจร	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	การขยายพื้นที่ในอนาคต	ระยะทาง	ค่าน้ำหนัก
ขนาดพื้นที่	0.30115	0.26786	0.30115	0.22340	0.33298	0.22500	0.26786	0.33088	0.28128
ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	0.06023	0.05357	0.06023	0.09574	0.03700	0.07500	0.05357	0.03676	0.05901
ความสะอาดของพื้นที่	0.30115	0.26786	0.30115	0.22340	0.33298	0.22500	0.26786	0.33088	0.28128
ความหนาแน่นของการจราจร	0.04302	0.01786	0.04302	0.03191	0.02220	0.07500	0.01786	0.02206	0.03412
การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	0.10038	0.16071	0.10038	0.15957	0.11099	0.17500	0.16071	0.11029	0.13476
สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	0.03346	0.01786	0.03346	0.01064	0.01586	0.02500	0.01786	0.02206	0.02202
การขยายพื้นที่ในอนาคต	0.06023	0.05357	0.06023	0.09574	0.03700	0.07500	0.05357	0.03676	0.05901
ระยะทาง	0.10038	0.16071	0.10038	0.15957	0.11099	0.12500	0.16071	0.11029	0.12851

ลำดับความสำคัญของทางเลือก

ด้านขนาดพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.07142857	0.088235	0.045455	0.071429	0.069137
B	0.5	0.617647	0.681818	0.5	0.574866
C	0.35714286	0.205882	0.227273	0.357143	0.28686
D	0.07142857	0.088235	0.045455	0.071429	0.069137

ผจ. 2 (ต่อ) ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 1)

ด้านระบบน้ำ-ไฟฟ้า

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.05	0.067568	0.035714	0.031915	0.046299
B	0.45	0.608108	0.535714	0.670213	0.566009
C	0.15	0.121622	0.107143	0.074468	0.113308
D	0.35	0.202703	0.321429	0.223404	0.274384

ด้านความสัมพันธ์พื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.63	0.670213	0.617647	0.45	0.591965
B	0.21	0.223404	0.264706	0.35	0.262028
C	0.09	0.074468	0.088235	0.15	0.100676
D	0.07	0.031915	0.029412	0.05	0.045332

ด้านความหนาแน่นของการจราจร

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.075	0.046053	0.09	0.15	0.090263
B	0.375	0.230263	0.21	0.35	0.291316
C	0.525	0.690789	0.63	0.45	0.573947
D	0.025	0.032895	0.07	0.05	0.044474

ด้านการใช้พื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.1	0.12963	0.05	0.083333	0.090741
B	0.5	0.648148	0.75	0.583333	0.62037
C	0.3	0.12963	0.15	0.25	0.207407
D	0.1	0.092593	0.05	0.083333	0.081481

ผจ. 2 (ต่อ) ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 1)

ด้านสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.10869565	0.227273	0.121622	0.074468	0.133015
B	0.02173913	0.045455	0.067568	0.031915	0.041669
C	0.54347826	0.409091	0.608108	0.670213	0.557723
D	0.32608696	0.318182	0.202703	0.223404	0.267594

ด้านการขยายพื้นที่ในอนาคต

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.375	0.3	0.3	0.416667	0.347917
B	0.125	0.1	0.1	0.083333	0.102083
C	0.125	0.1	0.1	0.083333	0.102083
D	0.375	0.5	0.5	0.416667	0.447917

ด้านระยะทาง

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.07142857	0.045455	0.045455	0.092593	0.063733
B	0.21428571	0.136364	0.136364	0.12963	0.154161
C	0.21428571	0.136364	0.136364	0.12963	0.154161
D	0.5	0.681818	0.681818	0.648148	0.627946

ผลการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือก

a	0.2356487
b	0.389098
c	0.2013432
d	0.1739101

ผจ. 2 ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 2)

ลำดับความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละเกณฑ์

เป้าหมายการตัดสินใจ	ขนาดพื้นที่	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	ความสันสะท้อนของพื้นที่	ความหนาแน่นของการจราจร	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	การขยายพื้นที่ในอนาคต	ระยะทาง	ค่าน้ำหนัก
ขนาดพื้นที่	0.07895	0.12500	0.07292	0.07500	0.08824	0.08824	0.21429	0.04167	0.09804
ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	0.02632	0.04167	0.05208	0.02500	0.02941	0.02941	0.07143	0.04167	0.03962
ความสันสะท้อนของพื้นที่	0.39474	0.29167	0.36458	0.37500	0.26471	0.26471	0.21429	0.62500	0.34934
ความหนาแน่นของการจราจร	0.07895	0.12500	0.07292	0.07500	0.08824	0.08824	0.07143	0.04167	0.08018
การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	0.07895	0.12500	0.12153	0.07500	0.08824	0.08824	0.07143	0.04167	0.08626
สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	0.07895	0.12500	0.12153	0.07500	0.08824	0.08824	0.07143	0.04167	0.08626
การขยายพื้นที่ในอนาคต	0.02632	0.04167	0.12153	0.07500	0.08824	0.08824	0.07143	0.04167	0.06926
ระยะทาง	0.23684	0.12500	0.07292	0.22500	0.26471	0.26471	0.21429	0.12500	0.19106

ลำดับความสำคัญของทางเลือก

ด้านขนาดพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.16666667	0.166667	0.166667	0.1666667	0.1666667
B	0.16666667	0.166667	0.166667	0.1666667	0.1666667
C	0.16666667	0.166667	0.166667	0.1666667	0.1666667
D	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ผจ. 2 (ต่อ) ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 2)

ด้านระบบน้ำ-ไฟฟ้า

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.125	0.125	0.071429	0.1666667	0.1220238
B	0.125	0.125	0.071429	0.1666667	0.1220238
C	0.375	0.375	0.214286	0.1666667	0.2827381
D	0.375	0.375	0.642857	0.5	0.4732143

ด้านความสันเสเหือนพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
B	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
C	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
D	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375

ด้านความหนาแน่นของการจราจร

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
C	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
D	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

ด้านการใช้พื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
B	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
C	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
D	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

ผจ. 2 (ต่อ) ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 2)

ด้านสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.25	0.125	0.3	0.3	0.24375
B	0.25	0.125	0.1	0.1	0.14375
C	0.25	0.375	0.3	0.3	0.30625
D	0.25	0.375	0.3	0.3	0.30625

ด้านการขยายพื้นที่ในอนาคต

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
B	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
C	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
D	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

ด้านระยะทาง

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.125	0.166667	0.166667	0.1071429	0.141369
B	0.125	0.166667	0.166667	0.1785714	0.1592262
C	0.125	0.166667	0.166667	0.1785714	0.1592262
D	0.625	0.5	0.5	0.5357143	0.5401786

ผลการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือก

a	0.1484716
b	0.1743607
c	0.2820791
d	0.3950886

ผจ. 2 ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 3)

ลำดับความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละเกณฑ์

เป้าหมายการตัดสินใจ	ขนาดพื้นที่	ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	ความสันสะท้อนของพื้นที่	ความหนาแน่นของการจราจร	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	การขยายพื้นที่ในอนาคต	ระยะทาง	ค่าน้ำหนัก
ขนาดพื้นที่	0.10870	0.25281	0.14706	0.15517	0.10870	0.09777	0.15517	0.09777	0.14039
ระบบน้ำ-ไฟฟ้า	0.03623	0.08427	0.08824	0.05172	0.03623	0.05866	0.05172	0.05866	0.05822
ความสันสะท้อนของพื้นที่	0.02174	0.02809	0.02941	0.01724	0.02174	0.04190	0.01724	0.04190	0.02741
ความหนาแน่นของการจราจร	0.03623	0.08427	0.08824	0.05172	0.03623	0.05866	0.05172	0.05866	0.05822
การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	0.10870	0.02809	0.14706	0.15517	0.10870	0.09777	0.15517	0.09777	0.11230
สภาพพื้นที่ในปัจจุบัน	0.32609	0.01685	0.20588	0.25862	0.32609	0.29330	0.25862	0.29330	0.24734
การขยายพื้นที่ในอนาคต	0.03623	0.08427	0.08824	0.05172	0.03623	0.05866	0.05172	0.05866	0.05822
ระยะทาง	0.32609	0.42135	0.20588	0.25862	0.32609	0.29330	0.25862	0.29330	0.29790

ลำดับความสำคัญของทางเลือก

ด้านขนาดพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.21428571	0.205882	0.25	0.25	0.230042
B	0.64285714	0.617647	0.583333	0.583333	0.606793
C	0.07142857	0.088235	0.083333	0.083333	0.081583
D	0.07142857	0.088235	0.083333	0.083333	0.081583

ผล. 2 (ต่อ) ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 3)

ด้านระบบน้ำ-ไฟฟ้า

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.63	0.670213	0.617647	0.45	0.591965
B	0.21	0.223404	0.264706	0.35	0.262028
C	0.09	0.074468	0.088235	0.15	0.100676
D	0.07	0.031915	0.029412	0.05	0.045332

ด้านความสันสะอาดพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
B	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
C	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375
D	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375

ด้านความหนาแน่นของการจราจร

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.10714286	0.121622	0.166667	0.073529	0.11724
B	0.53571429	0.608108	0.5	0.661765	0.576397
C	0.03571429	0.067568	0.055556	0.044118	0.050739
D	0.32142857	0.202703	0.277778	0.220588	0.255624

ด้านการใช้พื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.05555556	0.057692	0.045455	0.057692	0.054099
B	0.38888889	0.403846	0.409091	0.403846	0.401418
C	0.16666667	0.134615	0.136364	0.134615	0.143065
D	0.38888889	0.403846	0.409091	0.403846	0.401418

ผจ. 2 (ต่อ) ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 3)

ด้านสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.07142857	0.0625	0.0625	0.078947	0.068844
B	0.21428571	0.1875	0.1875	0.184211	0.193374
C	0.21428571	0.1875	0.1875	0.184211	0.193374
D	0.5	0.5625	0.5625	0.552632	0.544408

ด้านการขยายพื้นที่ในอนาคต

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.16666667	0.166667	0.166667	0.166667	0.166667
B	0.16666667	0.166667	0.166667	0.166667	0.166667
C	0.16666667	0.166667	0.166667	0.166667	0.166667
D	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ด้านระยะทาง

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.08333333	0.0625	0.0625	0.107143	0.078869
B	0.25	0.1875	0.1875	0.178571	0.200893
C	0.25	0.1875	0.1875	0.178571	0.200893
D	0.41666667	0.5625	0.5625	0.535714	0.519345

ผลการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือก

a	0.1333115
b	0.2998847
c	0.1639923
d	0.4028115

ผจ. 2 ผลการประเมินจากผู้ประเมิน 4 คน (ผู้ประเมินคนที่ 3)

ลำดับความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละเกณฑ์

เป้าหมายการ ตัดสินใจ	ขนาด พื้นที่	ระบบ น้ำ-ไฟฟ้า	ความ สิ้นสะท้อน ของพื้นที่	ความ หนาแน่น ของ การจราจร	การใช้ พื้นที่ใน ปัจจุบัน	สภาพ พื้นที่ใน ปัจจุบัน	การ ขยาย พื้นที่ใน อนาคต	ระยะทาง	ค่า น้ำหนัก
ขนาดพื้นที่	0.11266	0.15909	0.10214	0.17045	0.11266	0.16791	0.17045	0.10214	0.13719
ระบบน้ำ- ไฟฟ้า	0.01609	0.02273	0.03405	0.01136	0.01609	0.01119	0.01136	0.03405	0.01962
ความ สิ้นสะท้อน ของพื้นที่	0.33798	0.20455	0.30642	0.23864	0.33798	0.27985	0.23864	0.30642	0.28131
ความ หนาแน่นของ การจราจร	0.02253	0.06818	0.04377	0.03409	0.02253	0.01866	0.03409	0.04377	0.03595
การใช้พื้นที่ใน ปัจจุบัน	0.11266	0.15909	0.10214	0.17045	0.11266	0.16791	0.17045	0.10214	0.13719
สภาพพื้นที่ใน ปัจจุบัน	0.03755	0.11364	0.06128	0.10227	0.03755	0.05597	0.10227	0.06128	0.07148
การขยายพื้นที่ ในอนาคต	0.02253	0.06818	0.04377	0.03409	0.02253	0.01866	0.03409	0.04377	0.03595
ระยะทาง	0.33798	0.20455	0.30642	0.23864	0.33798	0.27985	0.23864	0.30642	0.28131

ลำดับความสำคัญของทางเลือก

ด้านขนาดพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.08823529	0.074468	0.15	0.09	0.1006758
B	0.26470588	0.223404	0.35	0.21	0.2620275
C	0.02941176	0.031915	0.05	0.07	0.0453317
D	0.61764706	0.670213	0.45	0.63	0.591965

ด้านระบบน้ำ-ไฟฟ้า

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
B	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
C	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
D	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

ด้านความสันสะท้อนพื้นที่

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.10714286	0.073529	0.166667	0.1193182	0.1166643
B	0.32142857	0.220588	0.277778	0.1988636	0.2546646
C	0.03571429	0.044118	0.055556	0.0852273	0.0551537
D	0.53571429	0.661765	0.5	0.5965909	0.5735175

ด้านความหนาแน่นของการจราจร

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.08823529	0.09	0.15	0.0744681	0.1006758
B	0.61764706	0.63	0.45	0.6702128	0.591965
C	0.02941176	0.07	0.05	0.0319149	0.0453317
D	0.26470588	0.21	0.35	0.2234043	0.2620275

ด้านการใช้พื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.05	0.07	0.029412	0.0319149	0.0453317
B	0.45	0.63	0.617647	0.6702128	0.591965
C	0.15	0.09	0.088235	0.0744681	0.1006758
D	0.35	0.21	0.264706	0.2234043	0.2620275

ด้านสภาพพื้นที่ในปัจจุบัน

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.08333333	0.071429	0.083333	0.0882353	0.0815826
B	0.25	0.214286	0.25	0.2058824	0.230042
C	0.08333333	0.071429	0.083333	0.0882353	0.0815826
D	0.58333333	0.642857	0.583333	0.6176471	0.6067927

ด้านการขยายพื้นที่ในอนาคต

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.16666667	0.166667	0.166667	0.1666667	0.1666667
B	0.16666667	0.166667	0.166667	0.1666667	0.1666667
C	0.16666667	0.166667	0.166667	0.1666667	0.1666667
D	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ด้านระยะทาง

สถานที่	A	B	C	D	avg
A	0.07142857	0.0625	0.0625	0.0789474	0.068844
B	0.21428571	0.1875	0.1875	0.1842105	0.1933741
C	0.21428571	0.1875	0.1875	0.1842105	0.1933741
D	0.5	0.5625	0.5625	0.5526316	0.5444079

ผลการคำนวณค่าน้ำหนักรวมของแต่ละทางเลือก

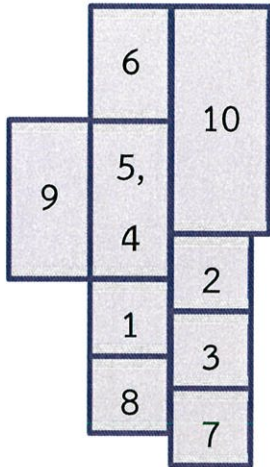
a	0.0925634
b	0.291819
c	0.1083015
d	0.5073161

ภาคผนวก ฉ

ผฉ. 1 การออกแบบ Layout พร้อมคะแนน Adjacency-Based Score ทั้ง 6 แบบ

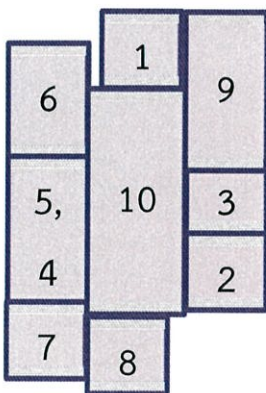
ผจ. 1 การออกแบบ Layout พร้อมคะแนน Adjacency-Based Score ทั้ง 6 แบบ

Layout แบบที่ 1



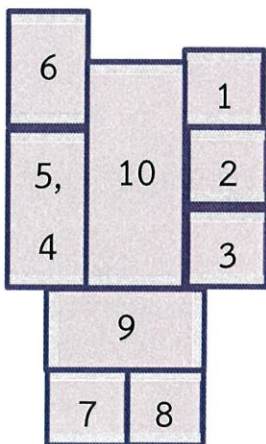
A.B.S = 24

Layout แบบที่ 2



A.B.S = 16

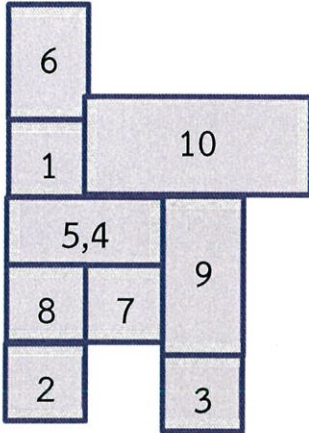
Layout แบบที่ 3



A.B.S = 18

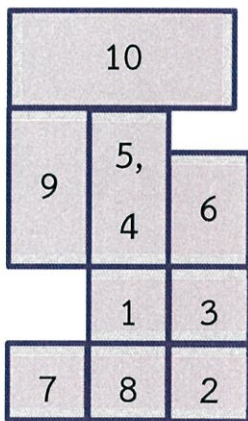
ผจ. 1 (ต่อ) การออกแบบ Layout พร้อมคะแนน Adjacency-Based Score ทั้ง 6 แบบ

Layout แบบที่ 4



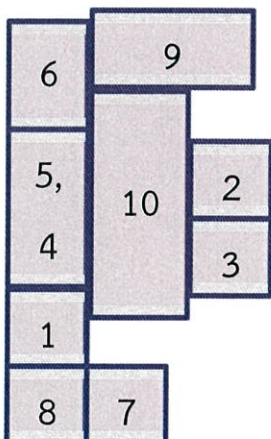
A.B.S = 21

Layout แบบที่ 5



A.B.S = 24

Layout แบบที่ 6



A.B.S = 28

ภาคผนวก ช

ผช. 1 ใบตรวจเช็ครับล็อตแผ่นเหล็ก

ผช. 2 แบบฟอร์มเพื่อเก็บค่าที่ได้จากการทดสอบ V-bending Test

ผช. 1 ใบตรวจเช็ครับล็อตแผ่นเหล็ก

ใบตรวจเช็ครับล็อตแผ่นเหล็ก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

Maker	Part Number	Coil/Lot
<input type="checkbox"/> JSGT
<input type="checkbox"/> NSGT
<input type="checkbox"/> POSCO

ผู้รับผิดชอบ.....

เวลาที่ตรวจเช็ค.....

หัวหน้ากะ.....

หัวหน้ากะถัดไป.....

ผช. 2 แบบฟอร์มเพื่อเก็บค่าที่ได้จากการทดสอบ V-bending Test

V-bending Test

Date	Maker	Part no.	Coil no.	Test	Level	ผู้รับผิดชอบ
				Top		
				Bottom		
				Top		
				Bottom		
				Top		
				Bottom		
				Top		
				Bottom		
				Top		
				Bottom		

ภาคผนวก ซ

ผช. 1 ตาราง Maytag

ผช. 2 ตารางคะแนนขององค์ประกอบต่างๆในการประเมินอัตราความเร็ววิธี Westinghouse

ผช. 3 ตารางแสดงค่าเพื่อ โดยไว้แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์

ผช. 4 ตารางเทียบมาตรฐานค่า RI

ผช. 1 ตาราง Maytag

$\frac{R}{x}$	ข้อมูลจากกลุ่ม		$\frac{R}{x}$	ข้อมูลจากกลุ่ม		$\frac{R}{x}$	ข้อมูลจากกลุ่ม	
	5	10		5	10		5	10
.10	3	2	.42	52	30	.74	162	93
.12	4	2	.44	57	33	.76	171	98
.14	6	3	.46	63	36	.78	180	103
.16	8	4	.48	68	39	.80	190	108
.18	10	6	.50	74	42	.82	199	113
.20	12	7	.52	80	46	.84	209	119
.22	14	8	.54	86	49	.86	218	125
.24	17	10	.56	93	53	.88	229	131
.26	20	11	.58	100	57	.90	239	138
.28	23	13	.60	107	61	.92	250	143
.30	27	15	.62	114	65	.94	261	149
.32	30	17	.64	121	69	.96	273	156
.34	34	20	.66	129	74	.98	284	162
.36	38	22	.68	137	78	1.00	296	169
.38	43	24	.70	145	83			
.40	47	27	.72	153	88			

ผช. 2 ตารางคะแนนขององค์ประกอบต่างๆในการประเมินอัตราความเร็ววิธี Westinghouse

ทักษะ			ความพยายาม		
+0.15	A1	ชำนาญสูงมาก	+0.13	A1	ชำนาญสูงมาก
+0.13	A2		+0.12	A2	
+0.11	B1	ดีมาก	+0.10	B1	ดีมาก
+0.08	B2		+0.08	B2	
+0.06	C1	ดี	+0.06	C1	ดี
+0.03	C2		+0.02	C2	
0.00	D	เฉลี่ย	0.00	D	เฉลี่ย
-0.05	E1	พอใช้	-0.04	E1	พอใช้
-0.10	E2		-0.18	E2	
-0.16	F1	ควรปรับปรุง	-0.12	F1	ควรปรับปรุง
-0.22	F2		-0.17	F2	
สภาพแวดล้อมในการทำงาน			ความสม่ำเสมอ		
+0.06	A	ดีเยี่ยม	+0.04	A	ดีเยี่ยม
+0.04	B	ดีมาก	+0.03	B	ดีมาก
+0.02	C	ดี	+0.01	C	ดี
0.00	D	เฉลี่ย	0.00	D	เฉลี่ย
-0.03	E	พอใช้	-0.02	E	พอใช้
-0.07	F	ควรปรับปรุง	-0.02	F	ควรปรับปรุง

ผช. 3 ตารางแสดงค่าเผื่อ โดยไว้แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์

1. CONSTANT ALLOWANCES :	Men	Women
Personal Needs	5	7
Basic Fatigue	4	4
Total	9	11
2. VARIABLE ADDITIONS TO BASIC FATIGUE ALLOWANCE :		
(i) Standing	2	4
(ii) Abnormal Position only Slightly awkward	0	1
Awkward	2	3
Very awkward (lying, stretching up)	7	7
3. Weightlifting or Application of force weight lifted (in kg)		
2.5 0 1		
5 1 2		
10 3 4		
12.5 4 6		
15 6 9		
20 10 15		
25 14		
30 19		
40 33		
50 58		
4. Light Conditions Slightly below recommended value	0	0
Well below	2	2
Inadequate	5	5
5. Air Conditions (all around)		
Well ventilated, or fresh air	0	0
Badly ventilated, but no toxic fumes or gases.	5	5
Work close to furnaces severe, heat etc.	5-15	
6. Visual Stresses		
Fairly fine work.	0	0
Fine work	2	2
Very fine or very exacting work	5	5
7. Aural Stresses Continuous	0	0
Intermittent, loud Intermittent, very loud	2	2
High-pitched loud	5	5
8. Mental Stresses		
Fairly complex process	1	1
Complex or wide span of attention	4	4
Very complex and complicated	8	8
9. Monotony: (Mental)		
Low	0	0
Medium	1	1
High	4	4
10. Monotony: (Physical)		
Rather tedious	0	0
Tedious	2	1
Very tedious	5	2

ผช. 4 ตารางเทียบมาตรฐานค่า RI

n	RI
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59