การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางรถยนต์แผนกดันยาง
กรณีศึกษา: บริษัทผลิตยางรถยนต์เรเดียล

โดย
นางสาวลัดดาวัลย์ บุญฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางรถยนต์แผนกดันยาง
กรณีศึกษา: บริษัทผลิตยางรถยนต์เรเดียล

โดย
นางสาวลัดดาวัลย์ บุญฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

LOSS REDUCTION PROCESS OF TIRE COMPONENT OF EXTRUDER SECTION A CASE STUDY OF RADIAL TIRE MANUFACTURE

By

Miss. Laddawan Boonyarid

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
Master of Engineering Program in Engineering Management
Department of Industrial Engineering and Management
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2015

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางรถยนต์แผนกดันยาง กรณีศึกษา บริษัทผลิตยางรถยนต์เรเดียล” เสนอโดย นางสาวลัดดาวัลย์ บุญฤทธิ์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม

....
(รองศาสตรจารย์ ดร. ปานใจ ธารทัศนวงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม)
...../...../.....

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทองแท่ง ทองลิ่ม)
...../...../.....

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์)
...../...../.....

57405309: สาขาการจัดการงานวิศวกรรม
คำสำคัญ: กระบวนการดันยาง / การวิเคราะห์กระบวนการ / เทคนิค IE / การออกแบบการทดลอง

ลัดดาวัลย์ บุญฤทธิ์ : การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางรถยนต์แผนกดันยาง กรณีศึกษา บริษัทผลิตยางรถยนต์เรเดียล. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: อ.ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์. 104 หน้า

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยฉบับนี้คือการลดความสูญเสียในกระบวนการดันยาง จากข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่างพบว่าผลิตภัณฑ์ไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A มีปริมาณของเสียรวมมากที่สุด คือ 17.23% จากสาเหตุหลักคือชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนด 12.04% คิดเป็นมูลค่า 312,178 บาทต่อเดือน ซึ่งของเสีย (Rework) จะถูกจัดเก็บเพื่อนำไปทำการผสมใหม่และนำมาใช้งานอีกครั้ง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงและส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพของชิ้นงาน

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาคือ การลดปริมาณของเสียและงานซ่อม (Rework and scrap) ของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) จากสาเหตุน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดโดยใช้การวิเคราะห์จากกระบวนการ การออกแบบการทดลอง และการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยในการวิเคราะห์กระบวนการถูกแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการคือ การป้อนยางคอมปาวน์เข้าหัวดัน การบดยางภายในหัวดัน และการดันยางออกจากหัวดัน เพื่อที่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดและหาสภาวะที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ มีความสัมพันธ์กับความเร็วสายพาน (ค่าความหนืดของคอมปาวน์สูง ต้องใช้ความเร็วสายพานเพิ่มขึ้น) โดยศึกษาในช่วงค่า Mooney 47 – 53 ต้องใช้ความเร็วสายพาน 18.5 ถึง 19.2 m/min หลังจากการศึกษาพบว่ายาง Rework ลดลงจาก 12.04 % เป็น 4.25% คิดเป็นมูลค่าที่ลดได้ 193,282 บาทต่อเดือน

57405309: MAJOR: ENGINEERING MANAGEMENT
KEY WORD: EXTRUSION PROCESS / PROCESS ANALYSIS / IE TECHNIC / DESIGN OF EXPERIMENT

LADDAWAN BOONYARID: LOSS REDUCTION PROCESS OF TIRE COMPONENT OF EXTRUDER SECTION A CASE STUDY OF RADIAL TIRE MANUFACTURE. THESIS ADVISOR: CHOOSAK PORNSING, Ph.D. 104 pp.

The purpose of this research is to reduce the loss at the extrusion process of the sample factory. From the data of the factory, we found that the shoulder product of tire model A had the largest amount of no good products, 17.23%. The major cause was the weight out of specification, 12.04%. It accounted for 312,178 baht per mount of factory's cost. These rejected products were stored for returning to the mixing process. As a result, the higher cost and lower quality products were incurred.

Accordingly, the objective of this study is to decrease the amount rework and scrap of shoulder products in the case of the weight out of specification by using process analysis, design of experiment, and process improvement. In the process analysis, it was divided into 3 sub-processes : rubber compound feeding, mixing and melting process, and extruding process.

Department of Industrial Engineering and Management Graduate School, Silpakorn University
Student's Signature..... Academic Year 2015
Thesis Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตา และการช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณที่ปรึกษางานวิจัย ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์ ที่ได้ให้คำปรึกษา ถ่ายทอดความรู้ และประสบการณ์ในการทำงานและคอยให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบและแนะนำแนวทางที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัท โอตานิ เรเดียล จำกัด ที่อนุญาตให้ทำการศึกษางานวิจัยตลอดระยะเวลาที่ได้ดำเนินการในครั้งนี้ รวมทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาทั้งภายในและภายนอกบริษัทโอตานิเรเดียลที่คอยให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางในการศึกษาวิจัย ขอขอบพระคุณพนักงานปฏิบัติงานทุกคนที่ให้ความร่วมมือ คอยให้คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล

ขอขอบพระคุณอีกหลาย ท่านที่คอยให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมทั้งบุคคลที่ยังไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ฎ
สารบัญภาพ..... ฏ
1. บทนำ..... 1
1.1.ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2
1.3.สมมติฐาน..... 2
1.4.ขอบเขตการศึกษา..... 2
1.5.ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 2
1.6.นิยามศัพท์..... 2
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4
2.1.โครงสร้างและกระบวนการผลิตยางรถบรรทุกเรเดียล..... 4
2.2.การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)..... 9
2.3.เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ..... 9
2.4.ความสูญเสีย 16 ประการ..... 14
2.5.สถิติที่ใช้ในงานวิจัย..... 15
2.6.การออกแบบการทดลอง..... 19
2.7.งานที่วิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 31
3.วิธีการดำเนินงาน..... 33
3.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 33
4.ผลการดำเนินงาน..... 38
4.1. การศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา..... 38
4.2. การเลือกผลิตภัณฑ์และสายการผลิตในแผนกดันยางที่เกิดปัญหา..... 40
4.3. การประเมินความสูญเสียของผลิตภัณฑ์ที่เลือก..... 42
4.4. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์กระบวนการ..... 43
4.5. การระบุปัจจัยที่ควรควบคุมและการเฝ้าระวังปัจจัย..... 54
4.6. การวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาจากการเฝ้าระวังปัจจัย..... 57
4.7. การสร้างมาตรการป้องกัน/ปรับปรุง/แก้ไขความสูญเปล่า..... 74
4.8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย..... 75

บทที่ **หน้า**

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 77
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 77
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 78

รายการอ้างอิง..... 79
ภาคผนวก..... 80
ภาคผนวก ก ข้อมูลของเสียรวมของแต่ละการผลิตชิ้นส่วนของแผนกดันยาง..... 80
ภาคผนวก ข ข้อมูลการผลิตและของเสียก่อนและหลังปรับปรุงของการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A..... 86
ภาคผนวก ค สภาวะจากการเก็บข้อมูลและทดลอง..... 91
ภาคผนวก ง การพัฒนาตนเอง..... 102

ประวัติผู้วิจัย..... 104

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2-1 ตารางประเภทและลักษณะเฉพาะของกราฟ..... 11
2-2 รูปแบบและลักษณะการออกแบบทดลอง..... 24
4-1 ข้อมูลการเลือกผลิตภัณฑ์และสายการผลิตของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder)..... 41
4-2 ผลการวัดน้ำหนักของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder)..... 45
4-3 GR&R ของการวัดน้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องตาชั่งดิจิตอล (Running Scale Weight)..... 46
4-4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงานและการระดมความคิด..... 48
4-5 แบบฟอร์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปัจจัยที่ได้จากการระดมความคิด..... 49
4-6 สรุปปัจจัยที่ได้จากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ปัจจัย..... 52
4-7 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)..... 53
4-8 การเฝ้าระวังปัจจัยอาการน้ำหนักไม่ได้สเปคช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท..... 56
4-9 การเฝ้าระวังปัจจัยอาการน้ำหนักไม่ได้สเปคระหว่างกระบวนการผลิต..... 57
4-10 ผลการวิเคราะห์ F-Test กรณีการต่อยางแบบขาดช่วง (ไม่ต่อเนื่อง)..... 59
4-11 ผลการวิเคราะห์ F-Test กรณีการต่อยางแบบเกยทับกัน..... 60
4-12 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองการต่อยางคอมปาวน์ 61
4-13 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ได้จากการออกแบบการทดลองหาปริมาตรการต่อยาง.....61
4-14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-Test) ของความกว้างยางคอมปาวน์..... 65
4-15 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mooney Viscosity กับ การปรับความเร็วสายพาน.....67
4-16 มาตรการและการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าในการผลิต..... 74
ก-1 ข้อมูลของเสียของแต่ละชิ้นส่วนของแผนกดันยาง ช่วงเดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม 2557.....80
ก-2 ข้อมูลของเสียในแต่ละชิ้นส่วนที่ผลิตภายในแผนกดันยาง (Extruding) ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง ตุลาคม 2557.....81
ก-3 ข้อมูลของเสียในการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เดือนสิงหาคม 2557.... 82
ก-4 ข้อมูลของเสียในการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เดือนกันยายน 2557.... 83
ก-5 ข้อมูลของเสียในการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เดือนกันยายน 2557.... 84
ข-1 สรุปของเสียของการผลิตไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A ก่อนการปรับปรุงในช่วงเดือน สิงหาคม ถึง ตุลาคม 2557.....86
ข-2 สรุปของเสียของการผลิตไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A หลังการปรับปรุงในช่วงเดือน มีนาคม 2557.....87
ค-1 ข้อมูลสภาวะที่ได้จากการตารางการเก็บข้อมูล (Check Sheet) ในขั้นตอนการสัมภาษณ์ พนักงาน เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล..... 91

ตารางที่ **หน้า**

ค-2 ข้อมูลค่าพิสัยของลูกกลิ้งดึงยางของชุด Shrinkage#1 ก่อนการปรับปรุง (ใช้โซ่สายพานแบบข้อต่อ).....96
ค-3 ข้อมูลค่าพิสัยของลูกกลิ้งดึงยางของชุด Shrinkage#1 หลังการปรับปรุง (ใช้โซ่สายพานแบบเส้นเดียว).....97
ค-4 ผลการทดลองการต่อยางแบบขาดช่วง ในช่วงอาการน้ำหนักไม่ได้สเปค ช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท.....98
ค-5 ผลการทดลองการต่อยางแบบเกยทับกัน ในช่วงอาการน้ำหนักไม่ได้สเปค ช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท.....98
ค-6 ข้อมูลสภาวะที่ใช้ในการทดลองในแต่ละช่วงของค่า Mooney Viscosity ในช่วงอาการน้ำหนักไม่ได้สเปคระหว่างกระบวนการผลิต.....99
ค-7 ข้อมูลสรุปสภาวะความเร็วสายพานกับค่า Mooney Viscosity.....101

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่ **หน้า**

2-1 โครงสร้างของยางรถบรรทุกเรเดียล..... 4
2-2 แผนภูมิขั้นตอนการผลิตยางเรเดียล..... 6
2-3 เครื่องดันยางที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของเกลียวหนอน..... 8
2-4 ตัวอย่างใบตรวจสอบ (Check Sheet)..... 10
2-5 ตัวอย่างการใช้แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)..... 10
2-6 ตัวอย่างแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)..... 12
2-7 ตัวอย่างแผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)..... 12
2-8 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม (Control Chart)..... 13
2-9 ตัวอย่างกราฟฮิสโทรแกรม..... 13
2-10 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการหรือระบบ..... 19
2-11 ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม..... 25
2-12 การพล็อทความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายชนิดปกติ..... 28
2-13 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย..... 28
2-14 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าเฉลี่ย..... 29
2-15 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและลำดับที่ของการทดลอง..... 29
2-16 ตัวอย่างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนและตารางค่าเฉลี่ย..... 30
3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 34
4-1 ผลิตภัณฑ์ของแผนกดันยาง (Extruding)..... 38
4-2 กระบวนการผลิตไหล่ยาง (Shoulder)..... 40
4-3 การวิเคราะห์ PQ Analysis เพื่อเลือกรุ่นการผลิตของไหล่ยาง (Shoulder)..... 41
4-4 การประเมินความสูญเสีย (Loss Site Analysis)..... 42
4-5 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของเสียรวมทั้งหมด สำหรับไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A... 43
4-6 อาการปัญหาน้ำหนักไม่ได้สเปคทั้ง 3 อาการ..... 44
4-7 เครื่องตาชั่งดิจิตอล (Running Scale weight)..... 45
4-8 กระบวนการไหลของกระบวนการดันยางไหล่ยาง(Shoulder)..... 47
4-9 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเก็บข้อมูล..... 50
4-10 การป้อนยางขาดช่วงและมียางล้นที่ปาก Hopper 50
4-11 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเมตร เมื่อค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ (Mooney Viscosity) เพิ่มขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลง.....51
4-12 ผลของการวัดค่าพิสัยของลูกกลิ้งที่ใช้ดึงยางทั้ง 4 ช่วง เพื่อตรวจสอบการกระตุกของลูกกลิ้ง 52
4-13 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัจจัยในขั้นตอนของการเฝ้าระวังปัจจัย (Monitoring)..... 55
4-14 การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) อาการน้ำหนักไม่ได้สเปคช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท.....58

ภาพที่ **หน้า**

4-15 การต่อยางระหว่างพาเลทแบบขาดช่วง(ไม่ต่อเนื่อง)และ การต่อยางแบบทับเกย..... 59
4-16 ลูกกลิ้งที่ใช้ในการกดยางช่วงรอยต่อของยางคอมปาวน์ในปัจจุบัน
แรงกดเท่ากับ 96.7 นิวตัน..... 62
4-17 ลูกกลิ้งใหม่ที่ใช้ในการกดยางช่วงรอยต่อของยางคอมปาวน์
แรงกดเท่ากับ 123.77 นิวตัน..... 63
4-18 การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis)
อาการน้ำหนักไม่ได้สเปค ระหว่างกระบวนการผลิต..... 63
4-19 การลดความกว้างยางคอมปาวน์จาก 70 เซนติเมตรเป็น 60 เซนติเมตร..... 65
4-20 ผลของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)
ของความกว้างยางคอมปาวน์ที่ 70 เซนติเมตร..... 66
4-21 ผลของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)
ของความกว้างยางคอมปาวน์ที่ 60 เซนติเมตร..... 66
4-22 ผลของค่าความเร็วสายพานที่เหมาะสมกับค่า Mooney Viscosity ในแต่ละช่วง..... 68
4-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mooney Viscosity กับ ความเร็วสายพาน..... 69
4-24 ลักษณะของโซ่ข้อต่อ (ก่อนปรับปรุง) และ โซ่เส้นเดียว (หลังปรับปรุง)..... 70
4-25 กราฟเปรียบเทียบค่าพิสัยของความเร็วลูกกลิ้งระหว่างการใช้โซ่ข้อต่อ(ก่อนปรับปรุง)
กับโซ่เส้นเดียว(หลังปรับปรุง)..... 71
4-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยางที่ปากสกรูกับน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นงาน
ที่แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน..... 72
4-27 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ของเสียน้ำหนักไม่ได้สเปคช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท
ก่อนและหลังการปรับปรุง..... 75
4-28 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ของเสียน้ำหนักไม่ได้สเปคระหว่างการผลิต
ก่อนและหลังการปรับปรุง..... 76
ก-1 กราฟแสดงจำนวนของเสียในส่วนของการผลิตในแต่ละชิ้นส่วนของแผนกดันยาง
(Extruding) เดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม 2557..... 80
ข-1 กราฟแสดงสาเหตุของเสียก่อนปรับปรุงในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม 2557..... 88
ข-2 กราฟแสดงสาเหตุของเสียหลังปรับปรุงเดือนมีนาคม 2558..... 89

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยางรถยนต์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากมีการเติบโตอย่างรวดเร็วตามภาวะการขยายตัวของตลาดรถยนต์ และวัตถุดิบหลักที่ใช้ คือ ยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบภายในประเทศที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ของไทยประกอบด้วย บริดสโตรน สยามไทร์กรุ๊ป สยามมิชลิน กู๊ดเยียร์ ดีสโตน โอตานิ เป็นต้น ทำให้เกิดการแข่งขันทางการตลาดสูง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์จัดเป็นสินค้าที่มีลักษณะค่อนข้างเหมือนกัน เทคโนโลยีในการผลิตของแต่ละบริษัทก็จะมีความใกล้เคียงกัน โดยสิ่งสำคัญที่ลูกค้าจะนำมาพิจารณาในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์คือ คุณภาพและราคา ถ้าบริษัทสามารถที่จะผลิตสินค้าให้มีคุณภาพสูงและต้นทุนในการผลิตต่ำ ก็จะสามารถอยู่ในอุตสาหกรรมนี้ต่อไปได้ ดังนั้นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องให้ความสำคัญคือการควบคุมผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพตามมาตรฐาน และลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด

บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทผลิตยางรถบรรทุกเรเดียลขนาดใหญ่รายหนึ่งของประเทศไทย จากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่าภายในแผนกดันยาง (Extruding) มีความสูญเสียในกระบวนการผลิตในด้านของเสียมากที่สุดคิดเป็น 12.32% ของการผลิตทั้งหมดภายในแผนกดันยาง (ข้อมูลเดือนเมษายน พ.ศ. 2558) ซึ่งเป็นต้นทุนความสูญเปล่าที่มีมูลค่าสูง เนื่องจากก่อให้เกิดต้นทุนทางด้านพลังงานและต้นทุนแรงงานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานอีกด้วย ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าบริษัทสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาปริมาณของเสียที่แผนกดันยางได้ ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยการผลิตลดต่ำลงเป็นอย่างมาก สามารถที่จะแข่งขันกับบริษัทยางรถยนต์ระดับโลกได้ในภาวะการตลาดที่มีการแข่งขันกันอย่างรุนแรง

1.2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ลดปริมาณของเสียจากการผลิตของแผนกดันยาง ซึ่งมีปริมาณของเสีย เท่ากับ 17.23 % ของการผลิตทั้งหมดภายในแผนก ซึ่งเกินจาก KPI ที่กำหนดไว้ที่ 6 %

1.3. สมมติฐาน

1.3.1. การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพจะสามารถแก้ไขปัญหาและลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในแผนกดันยางได้

1.4.ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ศึกษาเฉพาะการผลิตไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A ของแผนกดันยาง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นภายในแผนกดันยางได้

1.5.2 ลดต้นทุนการผลิตยางรถยนต์ เพื่อก่อให้เกิดกำไรและคุณภาพเพิ่มขึ้น

1.6 นิยามศัพท์

RADIAL	คือ	ยางที่มีโครงยางเป็นเส้นลวดเหล็กกล้า 1 ชั้น วางทำมุม 90 องศากับเส้นรอบวงยางหรือเส้นลวดแต่ละเส้นแผ่กระจายเป็นแนวรัศมีออกจากศูนย์กลางโดยรอบ และมีชั้นของเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ซึ่งเป็นเส้นลวดเหล็กกล้า 4 ชั้น คาดยึดโครงยางไว้
EXTRUDER	คือ	เครื่องดันยาง ที่ขึ้นรูปโดยอาศัยการอัดยางผ่านแม่พิมพ์ (Die) ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตัวเครื่องประกอบด้วยกระบอกที่ให้ความร้อนได้และมีสกรูหมุนอยู่ภายใน เมื่อใส่ยางคอมปาวน์เข้าไปสกรูจะทำหน้าที่บดยางและอัดยางไหลออกผ่านแม่พิมพ์
COMPOUND	คือ	ยางที่มีการผสมสารเคมีต่าง ๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น พร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง
MOONEY	คือ	ความหนืดมูนนี่เป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ความสามารถในการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางคอมปาวน์ ยางที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่าย ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้ง่าย

TREAD	คือ	หน้ายางซึ่งเป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของยาง และเป็นส่วนที่สัมผัสผิวถนนทำหน้าที่ป้องกันของมีคม ที่จะทำอันตรายต่อโครงยาง ที่หน้ายางประกอบด้วยดอกยางและร่องดอก เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะถนน
SHOULDER	คือ	ไหล่ยางที่ประกอบด้วยเนื้อยางที่หนา มีหน้าที่คือ ป้องกันไม่ให้โครงยาง (Carcass) ชำรุดเสียหาย ช่วยในการระบายความร้อนในยางออกมา
SIDEWALL	คือ	แก้มยางที่อยู่บริเวณจากไหล่ยางถึงขอบยาง ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งาน และลดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น
APEX	คือ	เนื้อยางที่อยู่ส่วนบนของขอบลวด เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ขอบยาง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

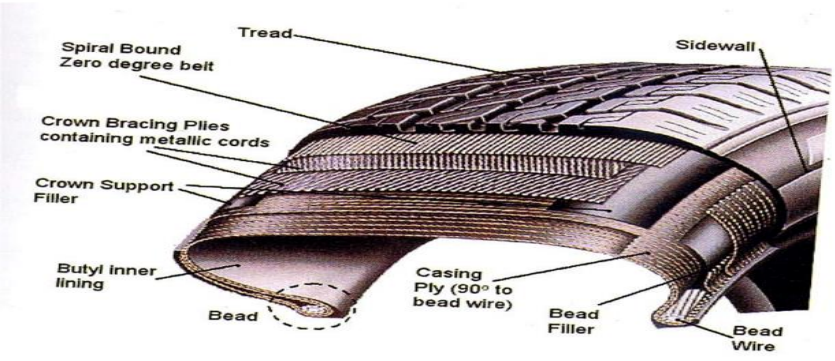
ในการศึกษาเรื่องการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตด้านของเสียและงานซ่อมของบริษัทตัวอย่าง มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจัดแบ่งกลุ่มเนื้อหาได้ดังนี้

2.1. โครงสร้างและกระบวนการผลิตยางรถบรรทุกเรเดียล
2.2. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)
2.3. เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ
2.4. ความสูญเสีย 16 ประการ
2.5. สถิติที่ใช้ในงานวิจัย
2.6. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)
2.7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างและกระบวนการผลิตยางรถบรรทุกเรเดียล

โครงสร้างยางบรรทุกเรเดียล

ยางเรเดียล หมายถึง ยางที่มีโครงยางเป็นเส้นลวดเหล็กกล้า 1 ชั้น วางทำมุม 90 องศา กับเส้นรอบวงยาง หรือเส้นลวดแต่ละเส้น และมีชั้นของเข็มรัดหน้ายาง (Belt) ซึ่งเป็นเส้นลวดเหล็กกล้า 4 ชั้น คาดยึดโครงยางไว้ [1] มีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงกว่ายางผ้าใบธรรมดา เนื่องจากหน้ายางมีความแกร่งกว่า การบิดตัวของหน้ายางน้อยกว่า ความร้อนจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่าและหน้ายางสัมผัสผิวถนนได้มากกว่า ช่วยลดปัญหาการบวมล่อนของยาง โดยโครงสร้างของยางเรเดียลจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 โครงสร้างของยางรถบรรทุกเรเดียล
ที่มา: บริษัทโอตานิเรเดียล จำกัด. (2554). **คู่มือการใช้งานยางรถยนต์**.

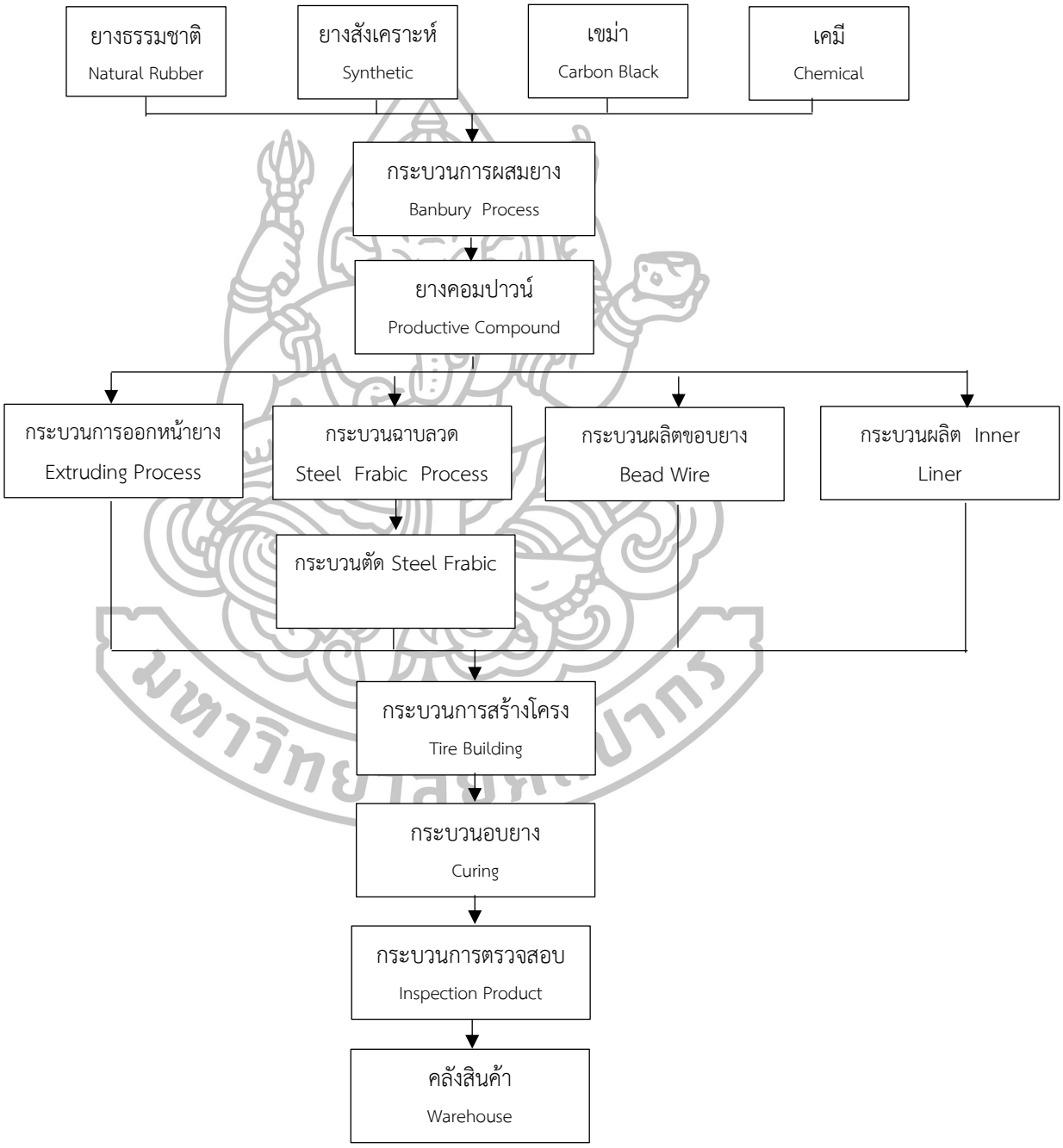
หน้ายาง (Tread) เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของยาง และเป็นส่วนที่สัมผัสกับผิวถนน ทำหน้าที่ป้องกันของมีคม ที่จะทำอันตรายต่อโครงยาง ที่หน้ายางประกอบด้วยดอกยางและร่องดอก เพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะถนน

1. ไหล่ยาง (Shoulder) ประกอบด้วยเนื้อยางที่หนา หน้าที่คือป้องกันอันตรายที่มีต่อโครงยาง (Carcass) ช่วยในการระบายความร้อนของยางออกมา
2. แก้มยาง (Sidewall) เป็นส่วนนอกสุดของยางที่ไม่ได้สัมผัสพื้นถนนขณะที่ยางวิ่งอยู่ ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายที่มีต่อโครงยาง และเป็นส่วนที่ยืดหยุ่นมากที่สุดของยาง
3. โครงยาง (Carcass) เป็นส่วนประกอบหลักของยาง มีบทบาทสำคัญในการรักษาความดันลมภายในยาง เพื่อให้ยางสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ รวมทั้งต้องทนต่อแรงกระแทกหรือสั่นสะเทือนจากถนนที่มีต่อยางได้ดี
4. เข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) เป็นชั้นที่อยู่ระหว่างหน้ายาง (Tread) กับโครงยาง (Carcass) ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับหน้ายาง (Tread) เพื่อการรับแรงกระแทกได้ดีและป้องกันไม่ให้โครงยาง (Carcass) ชำรุดเสียหาย
5. ขอบยาง (Bead) ประกอบด้วยกลุ่มของเส้นลวดเหล็กกล้า (High Carbon Steel) ที่ช่วยยึดส่วนปลายทั้งสองข้างของโครงยางเอาไว้เพื่อให้บริเวณขอบยาง(Bead) มีความแข็งแรง สามารถยึดแน่นสนิทกับกระทะล้อได้ดี

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กระบวนการผลิตยางเรเดียล

การผลิตยางเรเดียลมีขั้นตอนการผลิตดังแสดงในภาพที่ 2-2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 2-2 แผนภูมิขั้นตอนการผลิตยางเรเดียล

กระบวนการผสมยาง

1. ยางธรรมชาติ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตยางรถยนต์ คือ ช่วยทำให้ยางมีความยืดหยุ่นทนต่อแรงกระแทก และแรงดึงได้ดี แต่ยางธรรมชาติมีข้อจำกัด คือ เหมาะที่ใช้ในอุณหภูมิช่วง -40 ถึง 70 องศาเซลเซียส และไม่สามารถทนต่อน้ำมันบางประเภทได้

2. ยางสังเคราะห์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องให้มีคุณสมบัติเหนือยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์สามารถจำแนกออกได้ เป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ยางที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดีกว่ายางธรรมชาติ แต่คุณสมบัติทานด้านความเหนียว และความยืดหยุ่นด้อยกว่ายางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์กลุ่มนี้ ได้แก่ SRB (Styrene - Butadiene Rubber), BR (Polybutadiene Rubber)

กลุ่มที่ 2 เป็นยางที่มีคุณสมบัติทนต่อน้ำมัน ทนต่อความร้อนและโอโซน ยางสังเคราะห์ในกลุ่มนี้ เช่น CR (Chloroprene Neoprebe Rubber) และNBR (Acrylomitrile Butadiene (uilites) Rubber)

3. ผงคาร์บอน (Carbon Black) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำมันดิบ คุณสมบัติช่วยให้ยางแข็งตัวเพื่อเพิ่มความทนทานของยางและทนต่อรอยขีดขวนต่าง ๆ

4. สารเคมีต่าง ๆ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ในการผสมยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และผงคาร์บอน เพื่อเร่งปฏิกิริยาในการผลิต และเตรียมเป็น Compound Rubber ที่พร้อมนำไปขึ้นรูป สารเคมีที่ใช้แบ่งเป็น 4 กลุ่ม คือ

4.1. สารที่ทำให้ยางคงรูป (VulcanizingAgent) ใส่เพื่อให้สถานะของยางอยู่สถานะยืดหยุ่นได้ กลุ่มนี้ได้แก่ กำมะถัน

4.2. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (ProtectiveAgent) สารกลุ่มที่ได้แก่ สารโอโซน

4.3. สารช่วยในกระบวนการผลิต เช่น น้ำมัน ช่วยให้ยางที่ทำการผสมมีคุณสมบัตินิ่มนวล

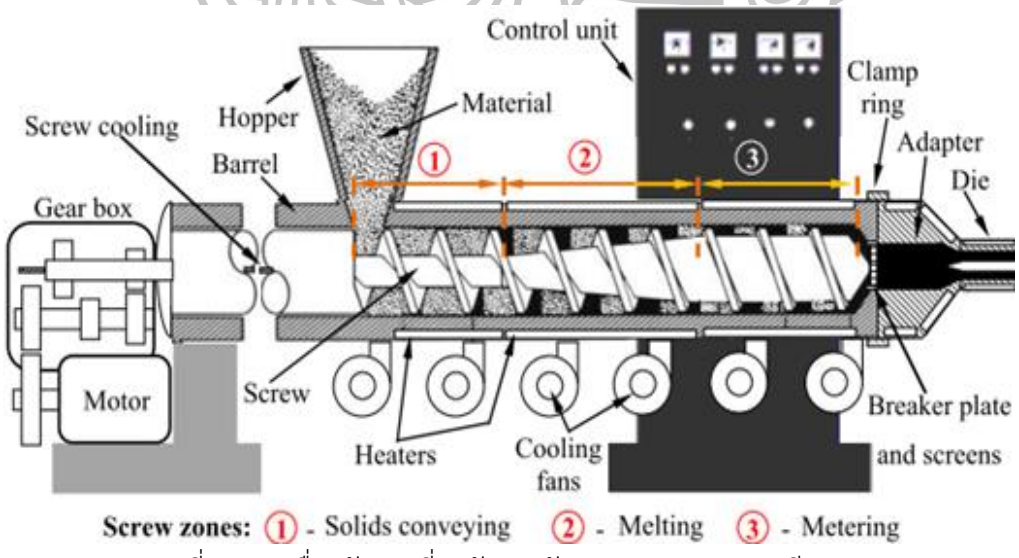
4.4. สารอื่น ๆ เช่น สารที่ทำให้ยางฟู หรือใส่ให้ยางมีสีต่าง ๆ

กระบวนการดันยาง (Extrusion)

การขึ้นรูปด้วยการอัดผ่านแม่พิมพ์ (Die) นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างของภาตัดขวางเหมือนกันตลอดแนวความยาว เครื่องเอกทรูดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เครื่องเอกทรูดที่อาศัยแรงอัดจากแรม (Ram Extruder) และเครื่องเอกทรูดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของเกลียวหนอน (Screw extruder)

เครื่องดันยางที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของเกลียวหนอน (Screw extruder)

เครื่องเอกทรูดนี้ประกอบด้วยเกลียวหนอนซึ่งหมุนอยู่ภายในบาเรล ซึ่งทั้งเกลียวหนอนและบาเรลสามารถตั้งอุณหภูมิตามต้องการที่ปลายด้านหนึ่งของบาเรล จะเป็นที่ตั้งของหัวดายและอีกปลายหนึ่งจะเป็นช่องสำหรับป้อนยางคอมปาวน์เข้าสู่เครื่อง การหมุนของเกลียวหนอนจะทำให้ยางคอมปาวน์ไหลเข้าไปในบาเรลอย่างต่อเนื่องและเกิดแรงดันสำหรับดันยางคอมปาวน์เหล่านี้ให้ไหลผ่านหัวดายที่อยู่ทางด้านหน้าเกิดเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นจำเป็นต้องนำยางที่ขึ้นรูปแล้ว (แต่ยังไม่เกิดการคงรูป) ไปผ่านขั้นตอนการคงรูปต่อไป โดยอาจใช้เทคนิคการคงรูปแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น การคงรูปในหม้ออบน้ำความดันสูง หรือ เทคนิคการคงรูปแบบต่อเนื่อง เช่น การคงรูปในถังของเหลว (Liquid batch) [2]



ภาพที่ 2-3 เครื่องดันยางที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของเกลียวหนอน

ที่มา: **Extrusion Process**,เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.dizaynvida.com/en/urun.aspx?urun_ID=2

2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

อุดมศักดิ์ จิตสงบ [3] การวิเคราะห์ระบบการวัด คือ การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของการวัด เพื่อจะแยกแหล่งของความแปรผันเช่น จากคน เครื่องมือ วิธีการ สภาพแวดล้อม เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงลดความแปรผัน ทำให้การวัดมีความน่าเชื่อถือ จุดมุ่งหมายของมาตรฐาน ISO/TS 16949 นั้นเพื่อพัฒนาระบบบริหารคุณภาพ สำหรับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การเน้นการป้องกันความบกพร่อง การลดความฝันแปร และการสูญเสียในห่วงโซ่ของการส่งมอบ

ความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดมี 3 ชนิดคือ

1. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic error) หรือไบอัส (Bias) เกิดจากปัจจัยภายนอก เช่น อากาศ ความชื้น อุณหภูมิ แสงสว่าง แก้ไขได้โดยการควบคุมให้คงที่
2. ความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัด (Personal Error) เช่นการขาดความรู้ในการวัด ความเข้าใจการใช้เครื่องมือ แก้ไขโดยการอบรมและสร้างมาตรฐาน
3. ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด เกิดจากโครงสร้างของเครื่องมือวัด หรือวิธีการใช้งาน แก้ไขโดยการสอบเทียบ การปรับเปลี่ยนวิธีการวัดใหม่ ใช้อุปกรณ์ยึดจับในการจับงานที่จะทำการวัด
4. ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุอื่นๆ

ประเภทของข้อมูลและการวิเคราะห์ระบบการวัด

1. การวัดแบบตัวแปรค่า (Variable) เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณ ซึ่งอาจอยู่ในรูปของน้ำหนัก ความยาว ปริมาตร หรือหน่วยอื่นๆ ที่สามารถวัดได้ ใช้ GR&R (Gage Repeatability & Reproducibility) , ndc (Number of district categories) , Bias , Stability , Linearity ตัดสินผลระบบการวัด
2. การวัดแบบคุณสมบัติ (Attribute) เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ในเชิงคุณภาพ โดยจำแนกออกเป็นลักษณะต่างๆ เช่น “ดี–เสีย”“ถูก–ผิด” หรือ “ชำรุด–ไม่ชำรุด” ฯลฯ ใช้ Kappa , Effectiveness , Miss Rate , False Alarm Rate ตัดสินผลระบบการวัด

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ

เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงานซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหาการค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุแห่งปัญหาที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้องตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง สำหรับการควบคุมคุณภาพ เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ (QC 7 Tools) [4] ประกอบด้วย

1. ใบตรวจสอบ (Cheek-sheets) เป็นตารางที่แสดงรายการรายละเอียดต่างๆ ของข้อมูลโดยออกแบบให้ง่ายต่อการจดบันทึกข้อมูล สะดวกต่อการจำแนกข้อมูลและวิเคราะห์ผล ซึ่งมักจะมีช่องให้พนักงานผู้ตรวจสอบสามารถทำเครื่องหมายใด ๆ ลงได้เลย ตัวอย่างดังภาพที่ 2-4

แผ่นตรวจสอบ

สินค้า : _____ **วันที่ :** _____

ขั้นตอนการผลิต : ตรวจสอบขั้นสุดท้าย **แผนก :** _____

ชนิดของความบกพร่อง : ตำหนิที่ผิวชิ้นงาน,รอยแตก **ชื่อผู้ตรวจสอบ :** _____
ฉีดไม่เต็มชิ้น, รูปร่างบิดเบี้ยว **ล็อตที่ :** _____

จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบทั้งสิ้น : 1525 **ใบสั่งเลขที่ :** _____

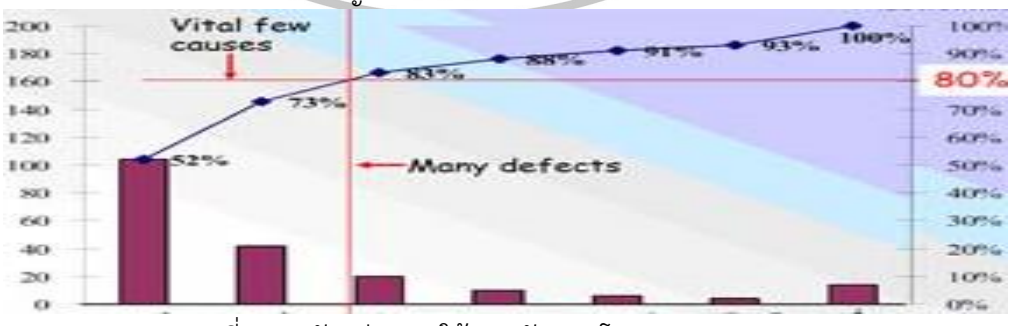
หมายเหตุ : ตรวจทุกชิ้น

ชนิดของความบกพร่อง		ผลรวมแต่ละชนิดบกพร่อง
ตำหนิที่ผิวชิ้นงาน	||| ||| ||| //	17
รอยแตก	||| ||| /	11
ฉีดไม่เต็มชิ้น	||| ||| ||| ||| ||| /	26
รูปร่างบิดเบี้ยว	///	3
อื่นๆ	|||	5
	รวมจำนวนความบกพร่อง	62 (จุดบกพร่อง)
จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย	||| ||| ||| ||| ||| ||| ||| //	42 ชิ้น

ภาพที่ 2-4 ตัวอย่างใบตรวจสอบ(Check Sheet)

ที่มา: **เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC TOOLS)**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.nubi.nu.ac.th

2. แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) [5] เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับแสดงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยเรียงลำดับปัญหาเหล่านั้นตามความถี่ที่พบจากมากไปหาน้อย และแสดงขนาดความถี่มากน้อยด้วยกราฟแท่งควบคู่ไปกับการแสดงค่าสะสมของความถี่ด้วยกราฟเส้น ซึ่งแกนนอนของกราฟเป็น ประเภทของปัญหาและแกนตั้งเป็นค่าร้อยละของปัญหาที่พบ

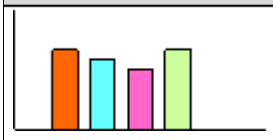
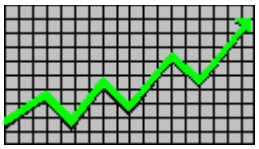
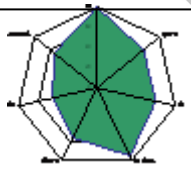


ภาพที่ 2-5 ตัวอย่างการใช้แผนผังพาเรโต(Pareto Diagram)

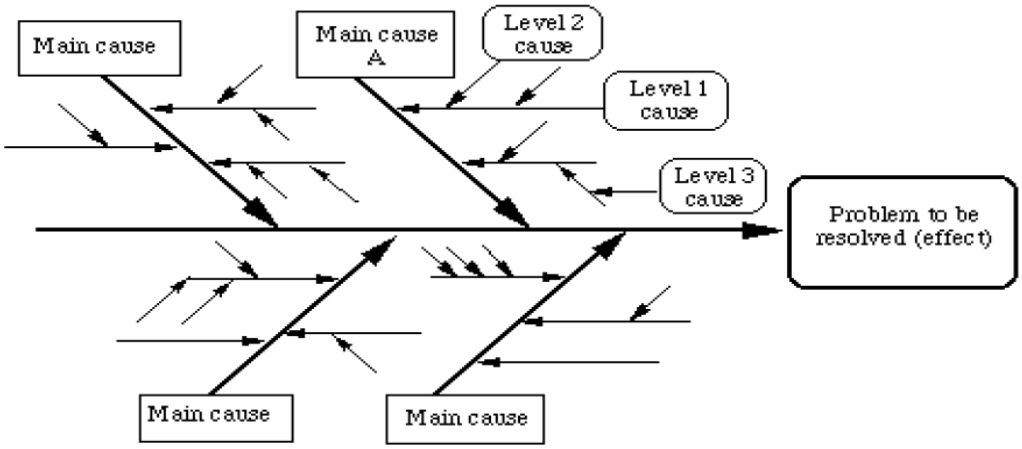
ที่มา: **Pareto Diagram** , เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.tpmconsulting.org/dic_des.php?id=179

กราฟ (Graph) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงนำเสนอข้อมูลให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆ ได้ง่ายและชัดเจนขึ้น และสามารถใช้วิเคราะห์แปลความหมาย ตลอดจนให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีโดยเฉพาะเมื่อข้อมูลมีจำนวนมาก การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟสามารถใช้กราฟเส้น กราฟแท่ง กราฟวงกลม กราฟรูปภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตารางประเภทและลักษณะเฉพาะของกราฟ

ประเภทของกราฟ	ลักษณะเฉพาะ
 **กราฟแท่ง**	• ใช้เมื่อมีข้อมูลมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ข้อมูลโดยใช้การเปรียบเทียบที่พื้นที่ของกราฟ • ไม่เหมาะสมที่จะใช้ดูแนวโน้มในระยะยาว แต่เหมาะสำหรับข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา
 **กราฟเส้น**	• ใช้สำหรับดูแนวโน้ม การพยากรณ์ในอนาคต หรือทำนายผลจากข้อมูลในอดีตได้ • ใช้ในการควบคุมแผนงานให้ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้
กราฟวงกลม	• พื้นที่ของกราฟเท่ากับ 100% แต่ละส่วนที่แบ่งออกมาจะแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนในแต่ละส่วนประกอบของข้อมูลว่าเป็นกี่ส่วนขององค์ประกอบทั้งหมด
 **กราฟใยแมงมุม**	• เป็นกราฟรูปหลายเหลี่ยมซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความมากน้อยของแต่ละส่วนโดยกำหนดตำแหน่งจุดลงในแต่ละเส้นแกนของกราฟ ใช้เปรียบเทียบก่อน-หลังการปรับปรุงหรือเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

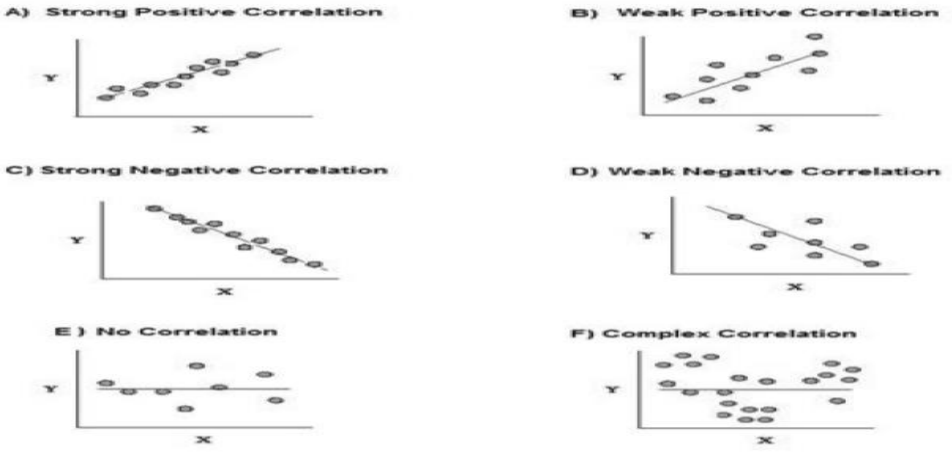
4. แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือ ผังอิชิกาวา เป็นแผนภูมิที่ใช้ต่อจากแผนภูมิพาเรโต ซึ่งเมื่อเลือกแก้ปัญหาใดจากแผนภูมิพาเรโตแล้วก็นำปัญหานั้นมาแจกแจงสาเหตุของปัญหาเป็น 4 ประการ คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) วัตถุดิบ (Material)



ภาพที่ 2-6 ตัวอย่างแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

ที่มา: **เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC TOOLS)**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.nubi.nu.ac.th

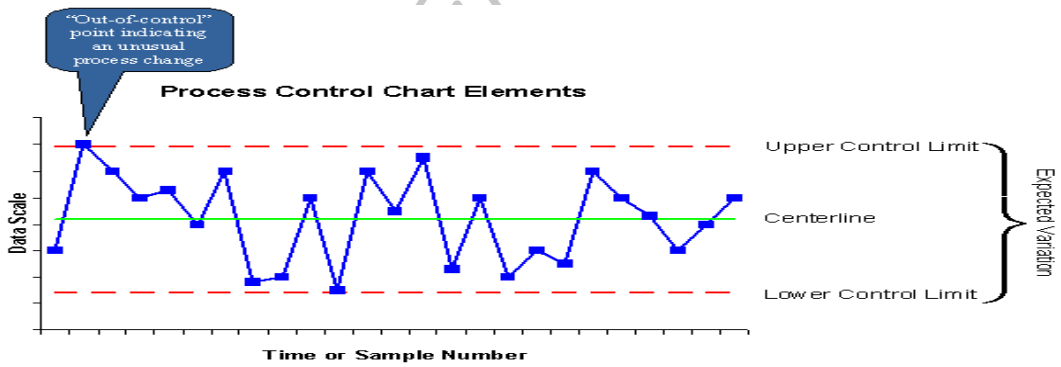
5. แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ว่าสัมพันธ์กันในลักษณะใด ซึ่งจะสามารถหาสหพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรทั้งสองตัวที่แสดงด้วยแกน x และแกน y ของกราฟ ว่าสหพันธ์เป็นบวกคือ ตัวแปรมีความสัมพันธ์แปรตามกัน หรือมีสหพันธ์เป็นลบคือตัวแปร มีความสัมพันธ์แปรผกผันต่อกัน



ภาพที่ 2-7 ตัวอย่างแผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)

ที่มา: **เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC TOOLS)**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.nubi.nu.ac.th

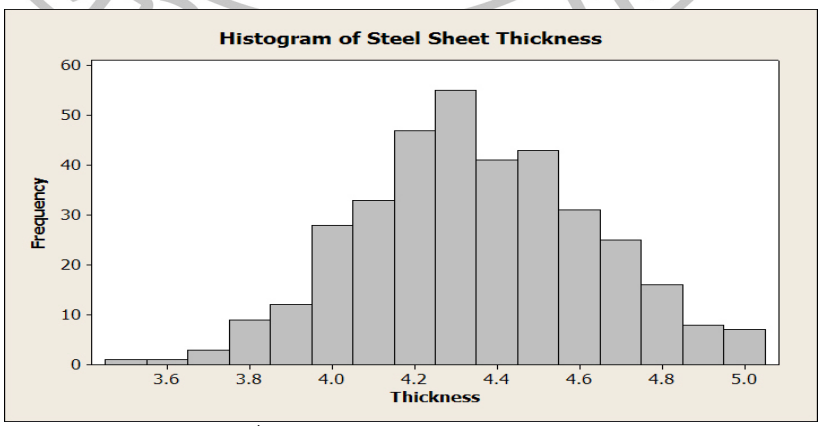
6. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิกราฟที่ใช้เพื่อการควบคุมกระบวนการผลิต โดยมีการแสดงให้เห็นถึงขอบเขตในการควบคุมทั้งขอบเขตควบคุมบน (UCL) และขอบเขตล่าง (LCL) แล้วนำข้อมูลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการมาเขียนเทียบกับขอบเขตที่ตั้งไว้เพื่อจะได้รู้ว่า ในกระบวนการผลิต ณ เวลาใดมีปัญหาด้านคุณภาพ จะได้รีบแก้ไขปรับปรุงกระบวนการให้กลับสู่สภาพปกติโดยเร็ว



ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุม(Control Chart)

ที่มา: **เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC TOOLS)**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.nubi.nu.ac.th

7. ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นกราฟแท่งที่ใช้แสดงความถี่ของข้อมูลที่จัดเป็นหมวดหมู่โดยที่แท่งกราฟมีความกว้างเท่ากัน และมีด้านข้างติดกัน ซึ่งจัดตัวอย่างให้ศูนย์กลางของฮิสโตแกรมเป็นค่าความถี่สูงสุด ส่วนความถี่รองลงมาจะกระจายลดหลั่นไปตามลำดับ



ภาพที่ 2-9 ตัวอย่างกราฟฮิสโทรแกรม

ที่มา: **เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC TOOLS)**, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก http://www.nubi.nu.ac.th

2.4 ความสูญเสีย 16 ประการ (16 Losses)

ความสูญเสียต่างๆในที่เกิดขึ้นในมุมมองของ TPM คือความสญเสีย 16 ประการ ซึ่งแบ่งแยกตามหมวดหมู่ได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้

1. ความสูญเสียหลักที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักร 7 ประการ
   1.1. ความสูญเสียที่เกิดจากการขัดข้องของเครื่องจักร (Failure Loss)
   1.2. ความสูญเสียเกิดจากการเตรียมงานการปรับตั้ง (Set-up and Adjustment Loss)
   1.3. ความสูญเสียจากการเปลี่ยนใบมีด (Cutting-blade Loss)
   1.4. ความสูญเสียจากการหยุดเล็กๆน้อยๆและการเดินเครื่องตัวเปล่า (Minor Stoppage and Idling Loss)
   1.5. ความสูญเสียจากความเร็วที่ลดลง (Speed Loss)
   1.6. ความสูญเสียจากของเสียและงานซ่อม (Defect and Rework Loss)
   1.7. ความสูญเสียจากการเริ่มผลิต (Start-up Loss)
2. ความสูญเสียหลักที่เป็นอุปสรรคต่อความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร 1 ประการ
   2.1. ความสูญเสียจากการวางแผนหยุดเครื่องจักร (Shutdown Loss)
3. ความสูญเสียหลักที่เป็นอุปสรรคต่อประสิทธิภาพของคน 5 ประการ
   3.1. ความสูญเสียจากการบริหารจัดการ (Management Loss)
   3.2. ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion Loss)
   3.3. ความสูญเสียจากการวางโครงสร้างการทำงาน (Arrangement Loss)
   3.4. ความสูญเสียจากการขาดระบบอัตโนมัติ (Loss resulting off Automatic System)
4. ความสูญเสียหลักที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ทรัพยากรเพื่อการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ 3 ประการ
   4.1. ความสูญเสียผลผลิตต่อวัตถุดิบ (Yield Loss)
   4.2. ความสูญเสียด้านพลังงาน (Energy Loss)
   4.3. ความสูญเสียของแม่พิมพ์ จิ๊ก และฟิกเจอร์ (Die Jig& Fixture Loss)

2.5 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

นิยามของสถิติ

สถิติ (Statistics) มาจากภาษาเยอรมันว่า Statistik มีรากศัพท์มาจาก Stat หมายถึง วิธีการที่ว่าด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอ ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการตีความหมายข้อมูล สถิติแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ [6]

1.สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) เป็นสถิติที่ใช้อธิบายคุณลักษณะของสิ่งที่ต้องการศึกษากลุ่มใดกลุ่มหนึ่งไม่สามารถอ้างอิงไปยังกลุ่มอื่นๆ ได้ สถิติที่อยู่ในประเภทนี้ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าฐานนิยม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพิสัย ฯลฯ

2.สถิติอ้างอิง (Inferential Statistics) เป็นสถิติที่ใช้อธิบายคุณลักษณะของสิ่งที่ต้องการศึกษากลุ่มใดกลุ่มหนึ่งหรือหลายกลุ่มแล้วสามารถอ้างอิงไปยังกลุ่มประชากรได้ โดยกลุ่มที่นำมาศึกษาจะต้องเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร ตัวแทนที่ดีของประชากรได้มาโดยวิธีการสุ่มตัวอย่าง และตัวแทนที่ดีของประชากรเรียกว่ากลุ่มตัวอย่าง

2.5.1 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิต การวัดการตรวจสอบระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อบ่งบอกว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์ความเสถียรภาพของกระบวนการ (Stability)
2. การวิเคราะห์ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ(Potential Capability, Cp)
3. การวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการด้วยค่าความถูกต้องและค่ากลาง (Performance Capability, Cpk)

กรณีกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์มีขีดจำกัดของข้อกำหนดทั้งสองข้าง (UCL และ LCL) ค่า Cp และ Pp

จะหาได้ดังนี้

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{ST}}$$

$$Pp = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{LT}}$$

กรณีกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์มีขีดจำกัดของข้อดำหนดด้านด้านหนึ่ง ค่า Cp และ Pp จะหาได้ดังนี้

$$Cp = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{ST}} \quad \text{หรือ} \quad Cp = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{ST}}$$

$$Pp = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{LT}} \quad \text{หรือ} \quad Pp = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{LT}}$$

ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไป (Performance Capability Index , Cpk , Ppk) จะเป็นค่าเชิงสถิติที่บ่งบอกความสามารถของกระบวนการ โดยเปรียบเทียบระหว่างความผันแปรของกระบวนการกับความผันแปรที่ยอมให้ตามข้อกำหนดทางเทคนิคที่ออกแบบไว้ การคำนวณค่า Cpk และ Ppk จะเป็นดังนี้

$$C_{PU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{ST}} \quad \text{หรือ} \quad C_{PL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{ST}}$$

$$C_{PK} = MIN\ (C_{PU}, C_{PL})$$

$$P_{PU} = \frac{USL - \bar{X}}{3\hat{\sigma}_{LT}} \quad \text{หรือ} \quad P_{PL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\hat{\sigma}_{LT}}$$

$$P_{PK} = MIN\ (P_{PU}, P_{PL})$$

2.5.2 การทดสอบสมมติฐาน

2.5.2.1 ความหมายของการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐาน หมายถึง ข้อสมมติหรือข้อความที่เกี่ยวข้องกันของประชากรชุดเดียวหรือมากกว่า ซึ่งอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้ อย่างไรก็ตาม การทดสอบสมมติฐานว่าเป็นจริงหรือไม่ เราไม่สามารถกระทำได้จากประชากรทั้งหมดอย่างทั่วถึง กลุ่มตัวอย่างจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม จากนั้นจึงอาศัยค่าสถิติต่างๆ ที่ได้รับจากกลุ่มตัวอย่างนั้นๆ เข้าช่วยในการตัดสินใจว่าเป็นจริงหรือไม่ อย่างไร สมมติฐานจะจริงหรือไม่ขึ้นอยู่กับหลักฐานที่มีอยู่และกฎเกณฑ์ที่กำหนด ถ้าหลักฐานไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ก็ทำให้สรุปได้ว่าไม่ยอมรับสมมติฐานนั้น ถ้าหลักฐานสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ก็สามารถสรุปได้ว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐานนั้น

ดังนั้น สมมติฐานที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อจุดมุ่งหมายที่ต้องการ เรียกว่า สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ซึ่งเขียนแทนด้วย $\mathrm{H_0}$ การปฏิเสธ $\mathrm{H_0}$ ก่อให้เกิดการไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานอื่นๆ (Alternative Hypothesis) เขียนแทนด้วย $\mathrm{H_1}$

2.5.2.2 การทดสอบสมมติฐานสำหรับประชากรสองชุด

การเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของประชากรสองชุด โดยทั่วไปกำหนดให้

ประชากรชุดที่ 1 มีค่าเฉลี่ย μ_1 และ ความแปรปรวน σ_1^2

ประชากรชุดที่ 2 มีค่าเฉลี่ย μ_2 และ ความแปรปรวน σ_2^2

2.5.2.2.1 การทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (กรณีทราบความแปรปรวน)

ในกรณีที่ประชากรทั้งสองชุดมีความเป็นอิสระต่อกัน และประชากรทั้งสองชุด มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียง (ซึ่งสามารถใช้ทฤษฎีข้อจำกัดในการเข้าสู่ศูนย์กลางมาใช้อธิบายได้)

ทฤษฎีข้อจำกัดในการเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) : ถ้าสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่ไม่ทราบการแจกแจงความน่าจะเป็น การแจกแจงของตัวอย่างสุ่มที่เกิดขึ้นเช่น ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง จะมีการแจกแจงโดยประมาณเป็นแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ และความแปรปรวน $\frac{\sigma^2}{n}$ ถ้าขนาดของตัวอย่าง (n) มีค่ามากๆ ($n \geq 30$)

ในการทดสอบเกี่ยวกับค่าเฉลี่ย ในกรณีที่ทราบความแปรปรวนของประชากร การแจกแจงที่เกี่ยวข้อง คือ การแจกแจง Z

สูตรทั่วไปของตัวสถิติ Z คือ

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - E(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{V(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}}$$

ดังนั้นตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย คือ

$$Z = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

H_1	เงื่อนไขในการปฏิเสธ H_0
$\mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$	$Z_0 > Z_{\alpha/2}$ หรือ $Z_0 < Z_{\alpha/2}$
$\mu_1 - \mu_2 > \Delta_0$	$Z_0 > Z_{\alpha}$
$\mu_1 - \mu_2 < \Delta_0$	$Z_0 < -Z_{\alpha}$

$$t_0 = \frac{(\overline{x}1 - \bar{x}_2) - \Delta_0}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

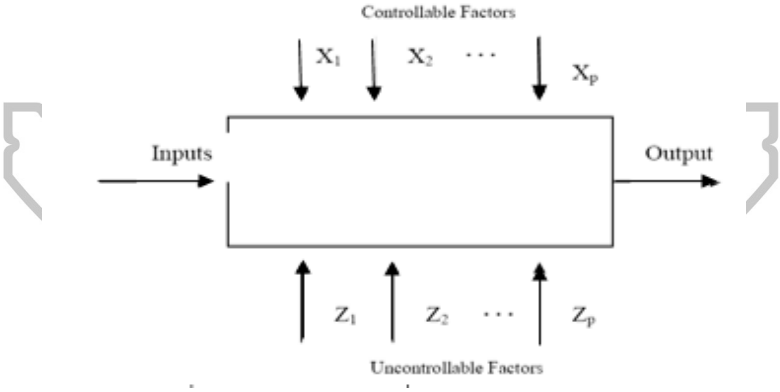
H_1	เงื่อนไขในการปฏิเสธ H_0
$\mu_1 - \mu_2 \neq \Delta_0$	$t_0 > t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$ หรือ $t_0 < -t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$
$\mu_1 - \mu_2 > \Delta_0$	$t_0 > t_{\alpha, n_1+n_2-2}$
$\mu_1 - \mu_2 < \Delta_0$	$t_0 < -t_{\alpha, n_1+n_2-2}$

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การทดลอง (Experiment) คือ การจำลองสภาพความเป็นจริงให้มาอยู่ในสภาพที่สามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริงอันเป็นผลจากการปฏิบัติในการศึกษาทดลอง โดยที่การทดลองจะแบ่งเป็นการทดลองเบื้องต้น คือการทดลองเพื่อให้ทราบผลอย่างกว้างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป และการทดลองขั้นตัดสินใจเป็นขั้นตอนการนำสิ่งที่คัดเลือกได้จากการทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ หรือหาสิ่งที่ดีที่สุดในกลุ่มโดยจะมีการใช้แผนการทดลองแบบต่างๆ [7]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร

วัตถุประสงค์ของการทดลอง คือเพื่อที่จะศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบซึ่งกระบวนการและระบบจะแสดง ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการหรือระบบ

ที่มา: **การออกแบบการทดลอง**, เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก www.eng.buu.ac.th

จากภาพสามารถอธิบายได้ว่ากระบวนการ คือการรวมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นเข้าด้วยกันเพื่อเปลี่ยน Input ให้เป็น Output ที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าโดยที่ตัวแปรของกระบวนการบางตัว $x_1, x_2,...x_p$ เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้

ในขณะที่ตัวแปรอื่น $z_1, z_2,....z_q$ เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ดังนั้นในการออกแบบทดลองจึงมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลต่อ Y มากที่สุด

2. หาวิธีการตั้งค่าที่มีผลต่อ Y ที่ทำให้ได้ค่า Y ตามต้องการ

3. หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y ที่ทำให้ได้ค่า Y มีความแปรปรวนน้อยที่สุด

4. หาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อ Y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้คือ Z_1, Z_2,....Z_q มีค่าน้อยที่สุด

การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือวิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-a-Time) โดยทั่วไปแล้วการออกแบบการทดลองแบบ One Factor at a Time จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมาก และยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

ข้อดีของการออกแบบการทดลอง คือให้ผลของความแม่นยำ และความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูงโดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหาโดยทั่วไปแล้วถ้าหากเรามีปัจจัยในการทดสอบอยู่ประมาณ 10 ปัจจัยซึ่งในการดำเนินการทดสอบดูว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริงต่อกระบวนการด้วยวิธีแบบ One Factor at a Time จะใช้เวลานานถึง 1 ปีในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัยแต่ด้วยวิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองจะใช้เวลาเพียงแค่ 1-3 อาทิตย์เท่านั้นในการตรวจสอบปัจจัยดังกล่าวการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร

2.6.1 คำจำกัดความ (Definition)

1. อิทธิพลหรือผล (Effect) คือผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

2. ปัจจัย (Factor) คือสิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

3. ระดับของปัจจัย (Level of Factor) คือสภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งที่ทำการกำหนดในการทดลอง

4. ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) คือปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบน้อย และไม่สามารถควบคุมได้

2.6.2 วัตถุประสงค์ในการออกแบบ

1. เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยตัวใดมีผลต่อสิ่งที่สนใจ

2. เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้สิ่งที่สนใจใกล้เคียงค่าที่ต้องการมากที่สุด
3. เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ความแตกต่างของสิ่งที่สนใจน้อยที่สุด
4. เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีค่าน้อยที่สุด
5. ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการผลิต
6. ช่วยเพิ่มผลผลิต (Yield)
7. ช่วยลดความแปรปรวนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ได้ตามค่าที่ต้องการ
8. ช่วยลดเวลาในการพัฒนากระบวนการผลิต
9. ช่วยเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์
10. ช่วยลดต้นทุน

2.6.3 ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองในการออกแบบเชิงวิศวกรรม

1. ช่วยในการวิเคราะห์เลือกรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม
2. ช่วยในการวิเคราะห์เลือกวัตถุดิบที่เหมาะสม
3. ช่วยในการเลือกปัจจัยของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ
4. ช่วยในการกำหนดปัจจัยของผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ทำงานได้ดีที่สุด

2.6.4 หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลอง

1. เรพลิเคชั่น (Replication) เป็นการทดลองซ้ำๆ โดยมีคุณสมบัติ 2 ประการคือ

1.1. ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้

1.2. ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้ประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งดังนั้นรีพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองหาตัวประมาณที่ถูกต้องขึ้น

2. แรนดอมไมเซชั่น (Randomization) หมายถึงการทดลองที่ทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่มวิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชั่นทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริงนอกจากนี้การใช้วิธีการแรนดอม (Random) ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลองบล็อกอันหนึ่งอาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมด การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

3.1. แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

3.2. แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

3.3. แบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.6.5 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดและทำความเข้าใจปัญหาคือ การศึกษาและทำความเข้าใจกระบวนการหรือระบบเพื่อกำหนดปัญหาในการออกแบบการทดลองให้แน่ชัดทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ในขั้นตอนนี้อาจจะต้องพยายามพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองและบ่อยครั้งที่จะต้องหาข้อมูลสำหรับป้อนเข้าจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องเช่นแผนกวิศวกรรมแผนกประกันคุณภาพแผนกผลิตแผนกการตลาดผู้บริหารลูกค้าและแผนกบุคคลถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการและคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้น

2. เลือกปัจจัย และกำหนดค่าของปัจจัยที่จะนำทำการทดลองคือ การเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลองการกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงและกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลองผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลองกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงและกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ณจุดที่กำหนดได้อย่างไรและจะวัดผลตอบได้อย่างไรดังนั้นในกรณีเช่นนี้ ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎีมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่าปัจจัยที่กำหนดขึ้นมานี้มาความสำคัญหรือไม่และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ การกรองปัจจัย (Factor Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยการเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างและเมื่อได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่าตัวแปรใดมีความสำคัญและที่ระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดอาจจะลดขอบเขตให้แคบลงได้

3. เลือกตัวแปรตอบสนองเป็นตัวแปรที่ใช้ในการวัดผลของกระบวนการโดยจะเลือกตัวแปรตอบสนองที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนองเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่าอะไรคือตัวแปรตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง ในการเลือกการออกแบบการทดลองนั้นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเสมอ โดยจะพิจารณาขนาดตัวอย่าง (Replicate) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อกหรือแรนดอมไมเซชั่นอย่างใดอย่างหนึ่ง การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (Replicate) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีการจัด

กลุ่ม (Block) หรือการจัดแบบสุ่ม (Randomizations) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือไม่ ในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมากเราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่าปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อค่าตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5. ทำการทดลองตามวิธีการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้แล้วเมื่อทำการทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. วิเคราะห์ผลโดยใช้หลักการทางสถิติ คือการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทำการทดลองไว้ เพื่อช่วยหาข้อสรุปที่เกิดขึ้นว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ควรจะเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อว่าผลลัพธ์ และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ คือทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพและถ้านำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรมความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึกจะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุน และมีความน่าเชื่อถือ

7. สรุปผล และข้อเสนอแนะเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้วจะต้องทำการสรุปผลของกระบวนการที่ทำการทดลองซึ่งอาจแสดงในรูปของตารางกราฟ หรือแผนภูมิ เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้วผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติ และแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้จะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการนำเสนอผลงานให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

ตารางที่ 2-2 รูปแบบและลักษณะการทดลอง

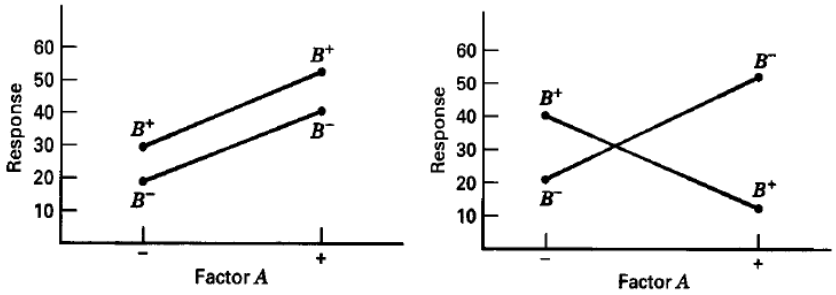
รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
single Factor	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยโดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	รวดเร็ว	มากที่สุด	มาก
2^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ แต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัย อยู่ที่ปัจจัยละ 2 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
2^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยแต่ไม่ทำการทดลองเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

2.6.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัยซึ่งต้องการที่จะศึกษาถึงผลร่วมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้นการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลหมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปเรียกว่า ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากมีปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัยดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพล
ของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมีประโยชน์หลายประการ และเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย ยิ่งกว่านั้นแล้วการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลยังเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมเกิดขึ้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ นอกจากนั้นแล้วการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลทำให้เราสามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้

อิทธิพลของปัจจัยร่วม คือผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป ดังตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์แสดงดังรูปซึ่งเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดังภาพ และเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดังภาพโดย A และ B คือปัจจัย 2 ปัจจัย



ภาพที่ 2-11 ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม

ที่มา: **การออกแบบการทดลอง** , เข้าถึงเมื่อ 15 ตุลาคม 2558 เข้าถึงได้จาก Digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0510/03chapter2.pdf

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลจะมีรูปแบบทั่วๆ ไปคือในกรณีที่ปัจจัย A มีระดับเท่ากับ a ปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b ปัจจัย C มีจำนวนระดับเท่ากับ c ต่อไปเช่นนี้เรื่อยๆ และทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในลักษณะของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ซึ่งจะมีจำนวนข้อมูลที่ได้ทั้งหมดในการทดลองเท่ากับ abc...n และจะต้องมีเรพลิเคตอย่างน้อย 2 เรพลิเคตเพื่อที่จะทำให้สามารถหาค่าผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ ถ้าอันตรกิริยาที่เป็นไปได้ทั้งหมดถูกนำเข้าไปพิจารณาในแบบจำลอง รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่สำคัญได้แก่

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k จะใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้นระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลาเป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้เช่น เครื่องจักร เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2x2x...x2=2^k$ ข้อมูล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับมีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรกเมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบการออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริบูรณ์ดังนั้นการออกแบบการทดลองชนิดนี้จะทำให้สามารถกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลงได้

สำหรับการเลือกใช้ 2^k แฟคทอเรียลกับ 3^k แฟคทอเรียลจะพิจารณารูปแบบความเป็นเส้นตรง (Linearity) ของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองโดยจะใช้ 2^k แฟคทอเรียลเมื่อรูปแบบของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงซึ่งจะให้ความถูกต้องในการตีความมากกว่าดังนั้นหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้วจะหันมาใช้แบบ 3^kแฟคทอเรียลแทนจะเหมาะสมกว่า

2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k หมายถึงการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ประกอบด้วยทรีตเมนต์ หรือปัจจัยทั้งหมด k ตัวซึ่งแต่ละทรีตเมนต์แบ่งเป็น 3 ระดับได้แก่ ระดับสูงกลางต่ำซึ่งส่วนใหญ่จะแทนด้วยตัวเลข 0, 1 และ 2 ตามลำดับสำหรับแต่ละทรีตเมนต์ในการทดลอง 3^k จะถูกแทนด้วยเลข k โดยที่ตัวแรกจะบ่งบอกถึงระดับของตัวแปร A ตัวที่สองจะบ่งบอกถึงระดับของตัวแปร B ,..., และตัว k จะบ่งบอกถึงระดับของตัวแปร K เช่นในการออกแบบ 32 ตัวเลข 00 แสดงให้เห็นว่าเป็นการทดลองตัวแปร A และ B ที่ระดับต่ำ และตัวเลข 01 เป็นการทดลองตัวแปร A ที่ระดับต่ำและตัวแปร B ที่ระดับกลางเป็นต้น

ในการออกแบบ 3^k นั้นถ้าตัวแปรมีลักษณะเป็นปริมาณ (Quantitative) เราแทนสัมประสิทธิ์ความแตกต่างออร์ธอกอนอล (Orthogonal Contrast Coefficient) เชิงเส้นตรงด้วยตัวเลข -1, 0 และ +1 ตามลำดับซึ่งทำให้ง่ายต่อการสร้างแบบจำลองการถดถอยของผลลัพธ์ที่เกิดจากแต่ละระดับของปัจจัย นอกจากนี้การออกแบบ 3^k ยังสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ และการออกแบบตัวแปรในรูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic) และแทนสัมประสิทธิ์ความแตกต่างออร์ธอกอนอลรูปสมการนี้ด้วยเลข +1, -2, -1 ตามลำดับ

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลหมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นตัวอย่างเช่นกรณี 2 ปัจจัยถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับในการทดลอง 1 เรพลิเคต (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลองและเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลจะกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกันแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปมีรูปแบบทั่วไปคือ A*B*C*... แฟคทอเรียล

2.6.7 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่าในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าวการตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบจะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือกคือ

H_o: ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H_1: ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β

α คือความเสี่ยงในการที่จะไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริงหมายถึงความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลักทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เองจึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้และในการทำการวิเคราะห์ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่และให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้การตั้งสมมติฐานจะเป็นการตั้งด้วยความหวังที่จะปฏิเสธดังนั้นในการทำการทดสอบสมมติฐานย่อมมีความเสียงที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 หากจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักในทางปฏิบัติจะเริ่มจากการตั้งสมมติฐานออกแบบการทดลองดำเนินการสุ่มตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักนั้นๆในทางปฏิบัติเมื่อตั้งสมมติฐานได้แล้วจะทำการออกแบบการทดลองตามความเหมาะสมโดยอาศัยหลักการของ Design of Experiment (DOE)

2.6.8 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบจำลองสำหรับทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป

ข้อสมมติสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลอง กรณีหลายปัจจัยที่กล่าวว่า หากความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Experimental Error or Residual, e_{ij}) มีการกระจายแบบปกติ (Normally Distributed) และมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independently Distributed) ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และค่าความแปรปรวนคงที่แต่ไม่ทราบค่า (Constant Variance, σ^2) มีความถูกต้องตรงตามข้อสมมติ ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปใช้ได้

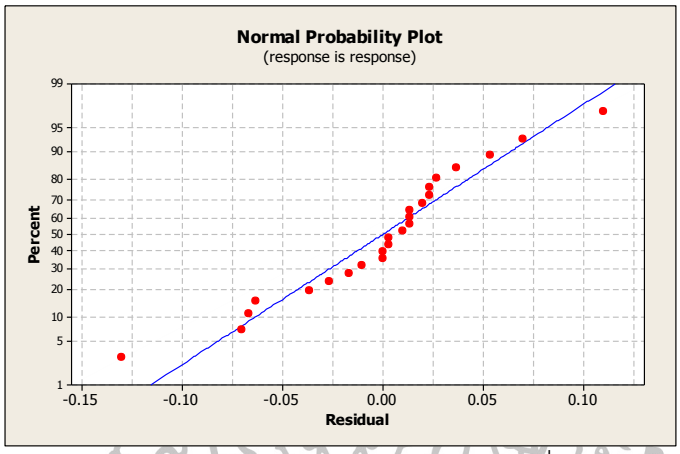
อย่างไรก็ตามข้อสมมติสำหรับการทดลองอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบความถูกต้องของข้อสมมติดังกล่าว นอกจากนี้ ยังสามารถศึกษาหาความเหมาะสมของตัวแบบจำลองของค่าความผิดพลาดโดยการพิจารณา

$$\hat{y}_{ij} = \bar{y}_{ij}$$

$$e_{ijk}\text{ (Residual)} = y_{ijk} - \bar{y}_{ij}$$

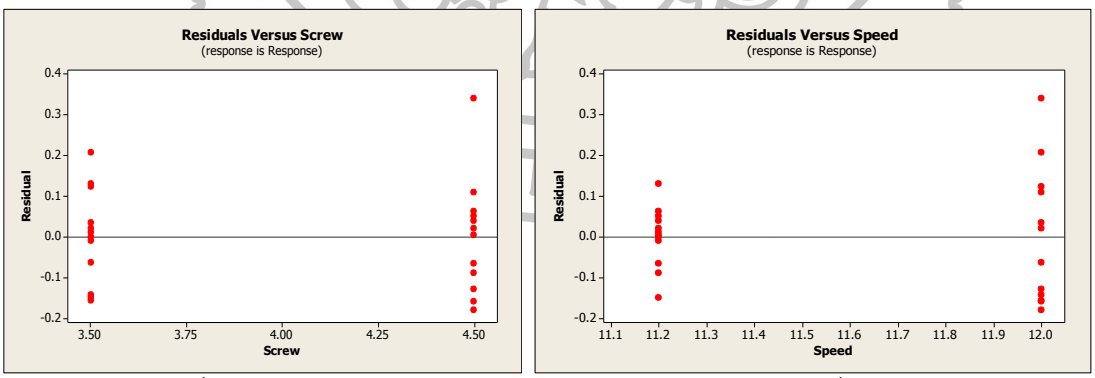
การตรวจสอบเพื่อหาความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง ควรจะกระทำทุกครั้งภายหลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลองเสร็จสิ้น ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบจำลองนี้สามารถศึกษาการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปได้

1. การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ เป็นการตรวจสอบข้อสมมติทางด้านการกระจายแบบปกติของข้อมูล ที่ได้รับจากการทดลองสามารถกระทำได้โดยใช้การพล็อทความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าความผิดพลาด (Residuals) ถ้าข้อสมมติมีความถูกต้อง การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟดังกล่าวควรมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 2-12

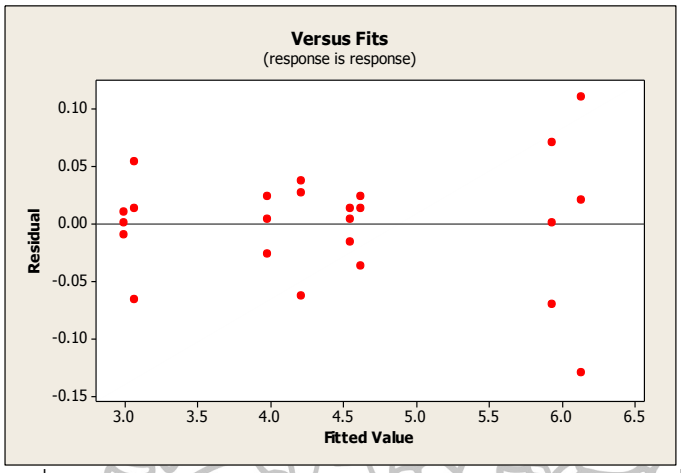


ภาพที่ 2-12 การพล็อทความน่าจะเป็นของค่าความผิดพลาดที่มีการกระจายชนิดปกติ

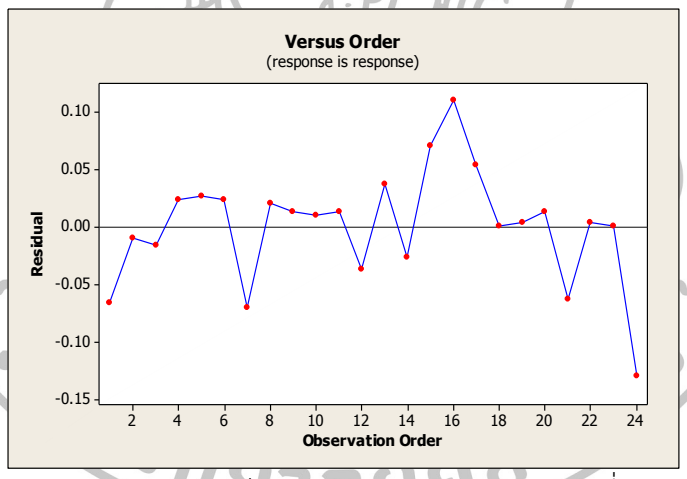
2. การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ เป็นการพล็อทระหว่างค่าความผิดพลาด (Residuals) กับค่าประมาณการทดลองที่ระดับ I ใดๆ ค่าความผิดพลาดดังกล่าวควรมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) เมื่อพิจารณาที่ค่าประมาณการทดลองที่ระดับต่างๆ อย่างไรก็ตามหากเกิดแนวโน้มของรูปทรงเช่น ลักษณะลำโพง แสดงว่าขัดแย้งกับข้อสมมติดังกล่าว คือความแปรปรวนไม่คงที่ สมารถแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 2-13 ถึง 2-15



ภาพที่ 2-13 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย



ภาพที่ 2-14 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2-15 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดและลำดับที่ของการทดลอง

เมื่อตรวจสอบข้อสมมติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนผ่านค่าผิดพลาดมีการแจงแจกแบบปกติ ค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ความแปรปรวนคงที่ และเป็นอิสระต่อกันจึงสามารถอ่านผลได้จากตาราง ANOVA ดังภาพที่ 2-16

Factorial Fit: response versus Base, Screw, Speed

Estimated Effects and Coefficients for response (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.43375	0.01215	364.77	0.000
Base	-0.01083	-0.00542	0.01215	-0.45	0.662
Screw	1.74417	0.87208	0.01215	71.75	0.000
Speed	1.25750	0.62875	0.01215	51.73	0.000
Base*Screw	0.14583	0.07292	0.01215	6.00	0.000
Base*Speed	-0.00750	-0.00375	0.01215	-0.31	0.762
Screw*Speed	0.19083	0.09542	0.01215	7.85	0.000
Base*Screw*Speed	0.07250	0.03625	0.01215	2.98	0.009

S = 0.0595469 PRESS = 0.12765
R-Sq = 99.80% R-Sq(pred) = 99.55% R-Sq(adj) = 99.71%

Analysis of Variance for response (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	27.7412	27.7412	9.24708	2607.87	0.000
2-Way Interactions	3	0.3464	0.3464	0.11548	32.57	0.000
3-Way Interactions	1	0.0315	0.0315	0.03154	8.89	0.009
Residual Error	16	0.0567	0.0567	0.00355		
Pure Error	16	0.0567	0.0567	0.00355		
Total	23	28.1760				

ภาพที่ 2-16 ตัวอย่างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนและตารางค่าเฉลี่ย

จากภาพที่ 2-16ได้ค่า P-Value ของปัจจัยการไล่ยางด้าน Base เท่ากับ 0.662 แสดงว่าปัจจัยการไล่ยางด้าน Base ไม่มีผลต่อผลตอบสนอง เช่นเดียวกับอันตรกิริยาระหว่างการไล่ยางด้าน Base และความเร็วสายพานเริ่มต้นที่ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.762 ดังนั้นจึงไม่พบอัตรกิริยา (ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย)

แต่ค่า P-Value ของปัจจัยหลักการเดินสกรูและความเร็วสายพานเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0.000 < α ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่าปัจจัยหลักทั้งสองมีผลต่อค่าผลตอบสนอง

2.6.9 แนวทางการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ส่วนนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณซึ่งทำให้ได้ค่าของ P-Values (ProbabilityValues) ที่สัมพันธ์โดยตรงกับ α อันจะหมายถึงโอกาสที่น้อยที่สุดที่จะสามารถปฏิเสธ

สมมติฐานหลักได้ในการทดสอบสมมติฐานเมื่อสมมติฐานหลักนั้นถูกต้องซึ่งเมื่อให้ค่าα=0.05 จะหมายถึงว่ายอมรับความผิดพลาดแบบที่ 1 เท่ากับ 0.05 หรือมีโอกาสผิดพลาดได้หนึ่งใน 20 ของการตัดสินใจทั้งหมดดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิสูจน์สมมติฐานนั้นหากพบว่าค่า P-Values มีค่ามากกว่า 0.05 หมายถึงโอกาสที่การปฏิเสธสมมติฐานหลักแล้วกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งก็ไม่สามารถที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก และต้องยอมรับสมมติฐานหลักนั้นแต่หากค่า P-Values มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักแล้วทำการยอมรับสมมติฐานอื่นแทน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักริน ยิ้มย่อง (2555) [8] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียโดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา : กรณีศึกษา บริษัท เล็นตัส เทคโนโลยี่ส์ (ไทย) จำกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานและระบบการผลิตของการชุบโลหะ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการและปริมาณของเสีย จากการเก็บข้อมูลพบว่าปัญหางานยับเป็นอาการที่ทำให้เกิดปริมาณของเสียมากที่สุด โดยมีสาเหตุมาจากไม่มีมาตรฐานในการตรวจรับส่วนประกอบและการตรวจสอบเครื่องจักร จึงดำเนินการปรับปรุงโดยติดตั้งเครื่องวัดอัคราการไหลของลม การปรับแต่งหัวฉีดน้ำแรงดันสูง และมาตรฐานการตรวจสอบทางเข้าออกของชิ้นงานไปที่บ่อชุบ ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดของเสียอาการปัญหางานยับจากเดิม 193 ชิ้น เหลือ 40 ชิ้นต่อ 1 ล้านชิ้น

โสภิดา ท้วมมี (2550) [9] วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยมีปริมาณของเสียประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 54.66% จากการศึกษาพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการไม่หลอมละลายเกิดจากการนำเศษพีวีซีแผ่นวนกลับไปใช้ใหม่ โดยนำกลับไปใช้หลอมรวมกลับวัตถุดิบใหม่มากเกินไป และไม่มีการควมคุมระดับปัจจัยอื่นๆ โดยการวิจัยได้แบ่งส่วนการวิจัยออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแรกจะเป็นการค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตรโดยการกรองปัจจัย (Screening Factor) ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) และส่วนที่สองคือการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยศึกษาพื้นผิวตอบสนองของตัวแปร (Response Surface Methodology) และทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้โปรแกรมminitab version 14 แล้วทำการสรุปผลการวิจัยโดยทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล และพบว่าเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ลดลงได้ 73.08 เปอร์เซ็นต์

E.V. Gijo, Johny Scaria and Jiju Antony (2011) [10] ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ Six sigma ในการลดของเสียกระบวนการกลึงละเอียดในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในอินเดีย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นงาน ซึ่งในกระบวนการกลึงละเอียดนี้ต้องการความแม่นยำของระยะชิ้นงานทั้งสองด้านและความเรียบของชิ้นงานโดยกระบวนการแก้ไขปัญหาแบ่งออกเป็น

4 ส่วน คือ การนิยามปัญหา การสำรวจวรรณกรรม การออกแบบกรณีศึกษาและการวิเคราะห์ บนพื้นฐานข้อมูลที่มีอยู่ในกระบวนการผลิต โดยเริ่มจากการจัดตั้งทีมงานจากผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตนั้น นิยามอาการของปัญหา แล้วทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อให้เกิดความมั่นใจในข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ แล้วทำการจัดลำดับอาการของชิ้นงานเสียโดยใช้หลักการของพาเรโต 3 อันดับ คือ 1) ชิ้นงานเป็นเงา 2)ชิ้นงานเป็นร่องลึก และ 3) เป็นรอยขีดข่วนบนชิ้นงาน และทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่จะส่งผลให้เกิดอาการเสีย ซึ่งได้ทั้งหมด 12 ปัจจัย เมื่อได้ปัจจัยแล้วทางทีมได้วางแผนในการพิสูจน์แต่ละปัจจัยโดยใช้ Genba , Process Capabilty, Chi-square test, ANOVA, และDOE จนกระทั่งเหลือ 7 ปัจจัยที่คิดว่าเป็นสาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดอาการของเสีย ก่อนการปรับปรุงพบของเสีย 16.6 % แล้วนำปัจจัยที่เป็นปัจจัยร่วมมาทำการออกแบบทดลอง คือ การปรับตั้งค่าพามิเตอร์ในการผลิตไม่เหมาะสม และ การตั้งค่าไม่ถูกต้อง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial โดยเลือกพารามิเตอร์ที่สำคัญในการปรับตั้งมา 6 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหาในแต่ละปัจจัย แล้วนำไปควบคุมในกระบวนการผลิต หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้ว พบว่า ของเสียลดลงเหลือ 1.19 % และเพิ่มระดับ Sixma Level จาก 2.47 เป็น 3.76

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1. การศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษาและปัญหาที่เกิดขึ้น

3.1.2. เลือกผลิตภัณฑ์และสายการผลิตภายในแผนกดันยาง (Extruding) ที่เกิดปัญหา

3.1.3. ประเมินความสูญเสีย (Loss Analysis) ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก

3.1.4. การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

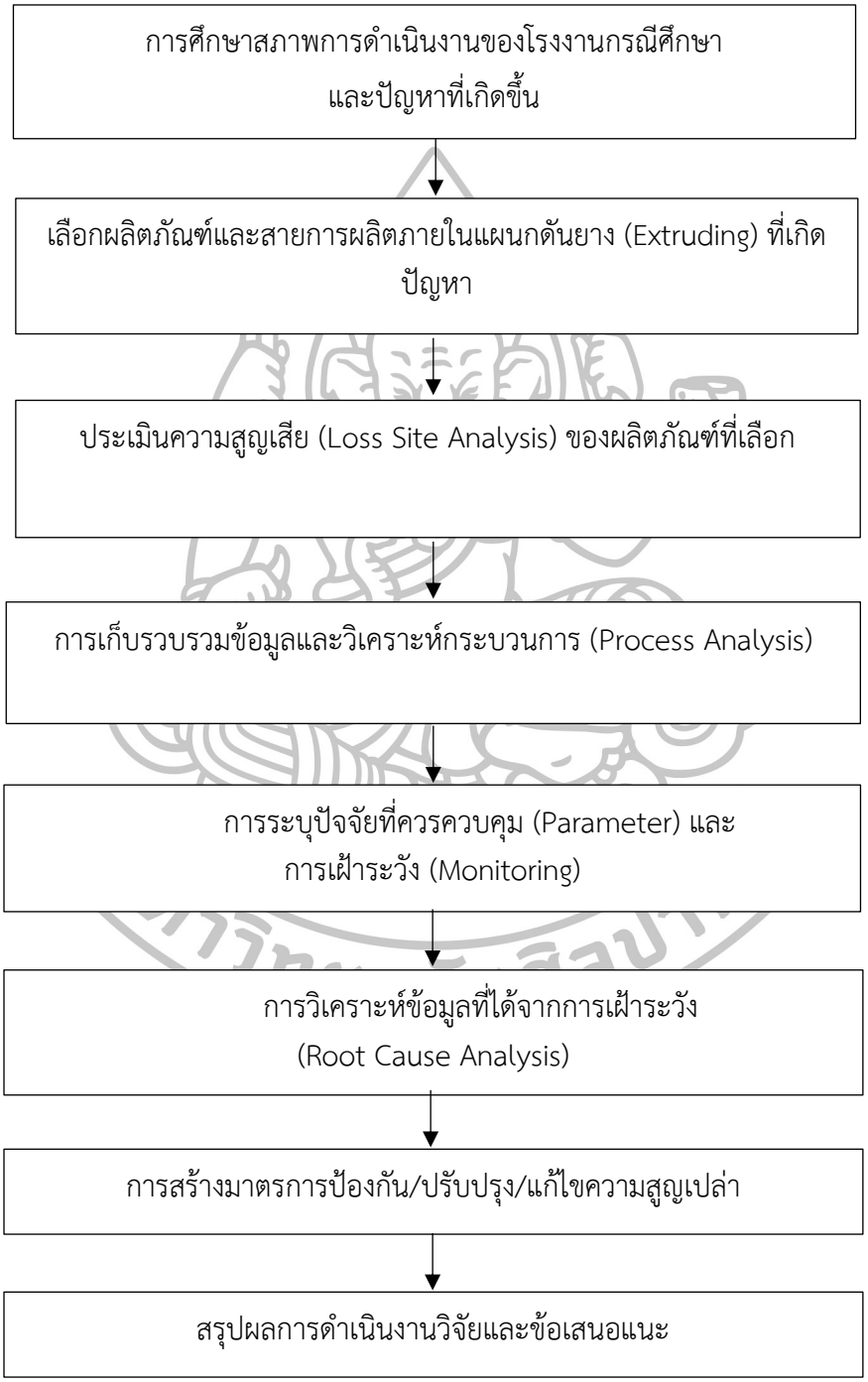
3.1.5. การระบุปัจจัยที่ควรควบคุม (Parameter) และการเฝ้าระวังปัจจัย (Monitoring)

3.1.6. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าระวังปัจจัย (Root Cause Analysis)

3.1.7. การสร้างมาตรการป้องกัน/ปรับปรุง/แก้ไขความสูญเปล่า

3.1.8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะอธิบายไว้ดังภาพที่ 3-1

มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.1. การศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษาและปัญหาที่เกิดขึ้น

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ (ยางบรรทุกและโดยสารเรเดียล : Truck and Bus Radial (TBR) ที่จำหน่ายสินค้าทั้งในและต่างประเทศ โดยภายในกระบวนการผลิตจะแบ่งเป็นกระบวนการย่อย 10 แผนก เพื่อผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ส่งเข้ามาประกอบที่แผนกสร้างโครง (Tire Building) โดยแผนกที่พบปัญหาความสูญเสียด้านงานเสียและซ่อมคือ แผนกดันยาง (Extruding)

3.1.2. เลือกผลิตภัณฑ์และสายการผลิตภายในแผนกดันยาง (Extruding) ที่เกิดปัญหา

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้มุ่งศึกษาในส่วนของแผนกดันยาง (Extruding) ที่มีการผลิตทั้งหมด 4 ผลิตภัณฑ์ คือ หน้ายาง (Tread) แก้มยาง (Sidewall) ไหล่ยาง (Shoulder) และ ยางเสริมขอบ (Apex) ผู้วิจัยจะทำการเลือกผลิตภัณฑ์จาก PQ Analysis ซึ่งพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์งานเสีย และแนวโน้มในการผลิต เพื่อนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยจะทำการศึกษา แล้วมาทำการเลือกรุ่นการผลิตในสายผลิตภัณฑ์นั้น เพื่อทำเป็นรุ่นการผลิตต้นแบบ

3.1.3. ประเมินความสูญเสีย (Loss Analysis) ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่าความสูญเสีย (Loss Analysis) มีทั้งหมด 16 Losses ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือน เพื่อวิเคราะห์ว่าความสูญเสียของรุ่นการผลิตในสายผลิตภัณฑ์นั้น เกิดความสูญเสียด้านใดมากที่สุด หลังจากนั้นทางผู้วิจัยจะใช้หลักการของพาเรโต้ เพื่อเลือกปัญหาที่สำคัญมาทำการปรับปรุงก่อน

3.1.4. การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

3.1.4.1 การนิยามอาการของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยต้องทำการจำแนกปัญหาให้ชัดเจน ทั้งในด้านของลักษณะของการเกิด ตำแหน่งที่เกิด และจำนวนรูปแบบที่เกิด เพื่อให้ผู้วิจัยเข้าใจอาการของปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างถูกต้อง เพื่อนำไปสู่แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขที่ถูกต้องต่อไป

3.1.4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำให้เกิดความมั่นใจในระบบการวัดค่าและสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อให้มั่นใจว่าพนักงานสามารถแยกของดี ของเสียในกระบวนการผลิตได้

3.1.4.3 การระบุกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของปัญหา และออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล (Check Sheet) โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์พนักงานเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการของปัญหา และผู้วิจัยต้องไปดูที่หน้างานจริง (3G) แล้ววิเคราะห์ว่าปัจจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงานนั้นเป็นไปได้หรือไม่ ถ้าเป็นไปไม่ได้ต้องทำการพิสูจน์ยืนยัน หลังจากนั้นนำปัจจัยที่เป็นไปได้ มาใช้ในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูลเพื่อค้นหาความแตกต่างระหว่างของดี กับ ของเสีย

3.1.4.4.การวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

นอกจากการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์พนักงานและดูที่หน้างานจริง (3G) แล้ว ผู้วิจัยจะต้องทำการค้นหาปัจจัยเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์กระบวนการการทำงานของเครื่อง Extruder ตั้งแต่กระบวนการป้อนยางคอมปาวน์เข้าปาก Hopper การบดยาง การแปรสภาพของชิ้นงาน โดยวัตถุประสงค์ในขั้นตอนนี้ คือ ค้นหาปัจจัยจากกระบวนการโดยใช้ทฤษฎีการดันยาง (Extruder)

3.1.5. การระบุสิ่งที่ควรควบคุม (Parameter) และการเฝ้าระวัง (Monitoring)

เมื่อได้ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาการของปัญหาทั้งในส่วนของการเก็บข้อมูล (Check Sheet) และการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis) แล้ว ผู้วิจัยจะนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการควบคุมและเฝ้าระวังให้อยู่ในมาตรฐานที่กำหนด แล้วทำการเก็บข้อมูลว่ายังเกิดอาการปัญหานั้นอีกหรือไม่ โดยวัตถุประสงค์ในขั้นตอนนี้ คือ พิจารณาปัจจัยที่ได้จากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์กระบวนการ เพื่อค้นหาปัจจัยที่สงสัย หรือไม่สงสัย เพื่อนำไปหาสาเหตุรากเหง้าที่แท้จริงของปัญหา

3.1.6. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าระวัง (Root Cause Analysis)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำปัจจัยที่ได้จากการเฝ้าระวังปัจจัย (Monitoring) ในขั้นตอนที่ 3.1.5 มาทำการวิเคราะห์ เพื่อค้นหารากเหง้าสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง หากปัจจัยใดที่ยังสงสัยต้องทำการ

พิสูจน์ยืนยันโดยใช้ข้อมูลทางสถิติ สำหรับปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยร่วมจะทำการศึกษาโดยใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

3.1.7. การสร้างมาตรการป้องกัน ปรับปรุง แก้ไขความสูญเปล่า

นำข้อมูลและวิธีการที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ 3.1.6 มาทำการกำหนดให้เป็นมาตรฐาน เมื่อพบปัญหาจะต้องสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้รวดเร็ว โดยในการปรับปรุงจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement) และ การแก้ไขเชิงนวัตกรรม (Innovation)

3.1.8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดที่ผ่านมา โดยผู้วิจัยจะต้องนำผลสภาวะ (Conditions) ที่ได้จากการทดลองไปใช้ในสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต เพื่อตรวจสอบว่าสามารถใช้ได้และของเสียที่เกิดขึ้นลดลงได้จริง พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการทำวิจัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การศึกษาสภาพการดำเนินงานของโรงงานกรณีศึกษา

4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

ชื่อ: บริษัท โอตานิ เรเดียล จำกัด

ที่อยู่: 96 หมู่3 ถ.ริมคลองบ้านไร่ ต.บางแก้ว อ.นครชัยศรี จ.นครปฐม 73120

ก่อตั้ง: ปลายปี 2549

เริ่มผลิต: วันที่ 16 พฤศจิกายน 2553

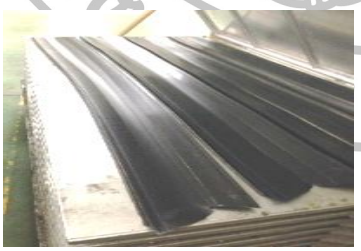
ผลิตภัณฑ์ที่ผลิต: ยางเรเดียล สำหรับใช้กับรถบรรทุกและโดยสาร

4.1.2 ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตหลักของแผนกดันยาง (Extruding)

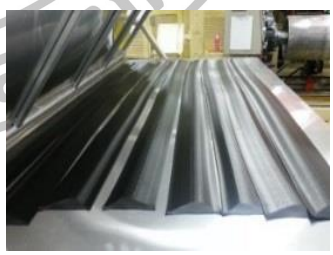
ผลิตภัณฑ์ที่แผนกดันยาง (Extruding) ผลิตมีทั้งหมด 4 ชิ้นส่วน ประกอบด้วย หน้ายาง (Tread) แก้มยาง (Side Wall) ไหล่ยาง (Shoulder) และ ขอบยาง (Apex) ดังภาพที่ 4-1 โดยงานวิจัยฉบับนี้มุ่งศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) เท่านั้น

หน้ายาง(Tread)

แก้มยาง(Sidewall)



ขอบยาง(Apex)



ไหล่ยาง(Shoulder)

ภาพที่ 4-1 ผลิตภัณฑ์ของแผนกดันยาง(Extruding)

4.1.3 กระบวนการผลิตไหล่ยาง (Shoulder)

ในกระบวนการผลิตไหล่ยาง (Shoulder) สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้ 3 ขั้นตอนคือ

1. กระบวนการดันยาง (Extruder)

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการเริ่มต้นกระบวนการผลิตคือ ยางคอมปาวน์ (Compound) ซึ่งจะเป็นยางที่ถูกผสมและรีดเป็นยางแผ่น เมื่อนำมาใช้ที่แผนกดันยาง(Extruding) ยางคอมปาวน์จะถูกแปรสภาพจากยางแผ่น เป็นยางที่ผสมเข้ากันดี โดยใช้เครื่องดันยาง (Extruder) และยางจะถูกดันออกมาตามลักษณะรูปร่างของแม่พิมพ์ (Die)

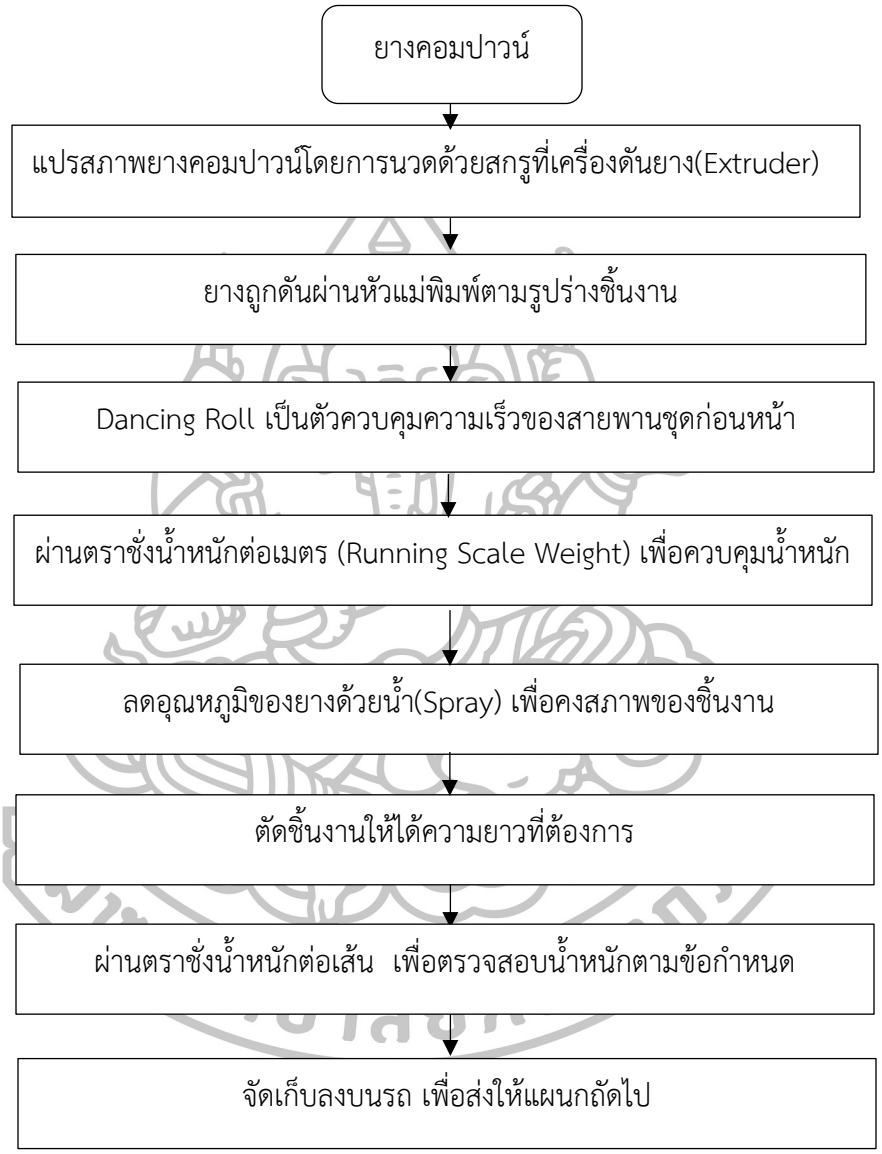
2. กระบวนการลดอุณหภูมิ (Cooling)

เนื่องจากเมื่อยางถูกดันออกมาจากหัว Extruder จะมีความร้อนในเนื้อยาง จึงต้องทำการลดอุณหภูมิของชิ้นงาน เพื่อคงสภาพของชิ้นงานไม่ให้เกิดการยืดหรือหดตัว (Shrinkage)

3. กระบวนการตัด (Cutting) และ การเก็บชิ้นงาน (Booking)

ในกระบวนการผลิตของแผนกดันยาง (Extruding) จะมีลักษณะเป็นงานเทรนต่อเนื่อง ชิ้นงานShoulder ที่จะถูกส่งประกอบที่แผนกถัดไปนั้น จะต้องผ่านกระบวนการตัดให้ได้ความยาวตามที่ข้อกำหนดกำหนด และเก็บชิ้นงานไว้ในรถ เพื่อรอส่งให้กับแผนกที่นำไปประกอบ อธิบายลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตได้ดังภาพที่ 4-2

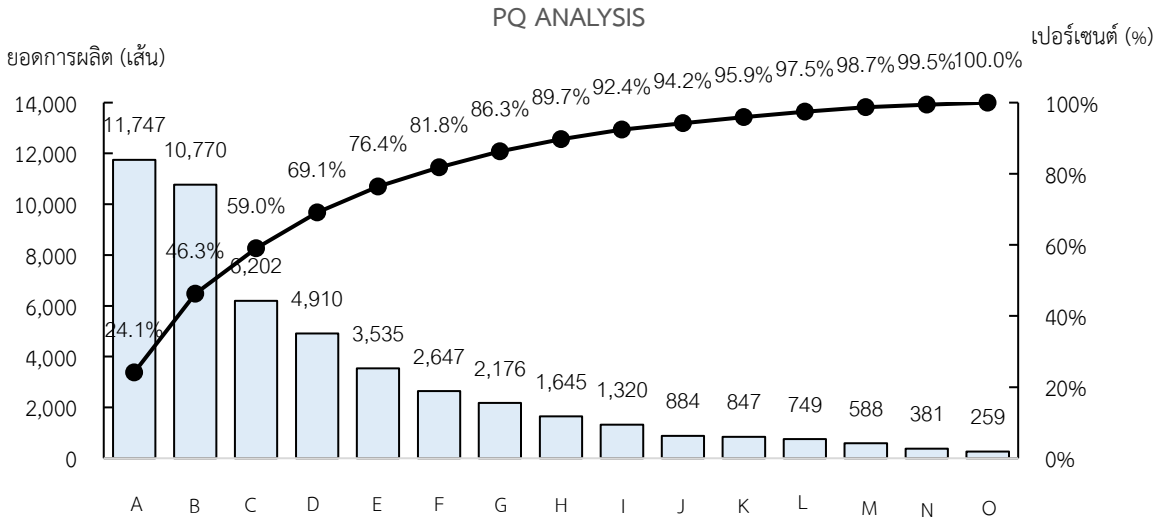
มหาวิทยาลัยศิลปากร



ภาพที่ 4-2 กระบวนการผลิตไหล่ยาง (Shoulder)

4.2. เลือกผลิตภัณฑ์และสายการผลิตภายในแผนกดันยาง (Extruding) ที่เกิดปัญหา

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งศึกษากระบวนการผลิตไหล่ยาง (Shoulder) ที่มีหลายขนาดผลิตภัณฑ์ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกรุ่นการผลิตที่จะทำการศึกษา วิเคราะห์โดยใช้ PQ Analysis ซึ่งจะพิจารณาจากแนวโน้มการผลิตและการเกิดของเสียในการผลิตไหล่ยางในแต่ละรุ่น ดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์ PQ Analysis เพื่อเลือกรุ่นการผลิตของไหล่ยาง (Shoulder)

ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลการเลือกผลิตภัณฑ์และสายการผลิตของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder)

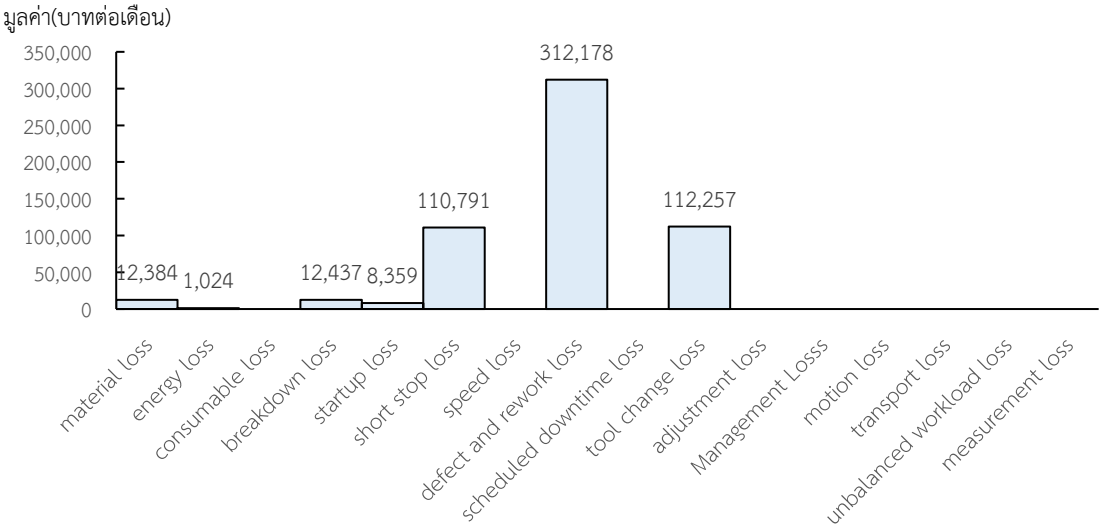
NO.	Component	Avg Produce Pcs/Month	% Demand	% Accumulate	Avg NG Pcs/Month	% NG	TREND Pcs/Month
1	D511 (A)	11,747	24.14%	24.14%	1,730	14.73%	10,830
2	D701 (B)	10,770	22.13%	46.27%	1,440	13.37%	18,229
3	D691 (C)	6,202	12.75%	59.02%	1,444	23.28%	6,358
4	D321 (D)	4,910	10.09%	69.11%	932	18.98%	1,104
5	D106 (E)	3,535	7.27%	76.37%	787	22.25%	4,314
6	D661 (F)	2,647	5.44%	81.81%	511	19.32%	-
7	D711 (G)	2,176	4.47%	86.29%	405	18.60%	3,410
8	D201 (H)	1,645	3.38%	89.67%	890	54.09%	682
9	D332 (I)	1,320	2.71%	92.38%	359	27.22%	3,678
10	D345 (J)	884	1.82%	94.20%	295	33.33%	-
11	D110 (K)	847	1.74%	95.94%	352	41.57%	618
12	D512 (L)	749	1.54%	97.48%	295	39.45%	2,632
13	D351 (M)	588	1.21%	98.68%	176	29.93%	-
14	D205 (N)	381	0.78%	99.47%	67	17.48%	-
15	D957 (O)	259	0.53%	100.00%	156	60.15%	1,510
	TOTAL	**48,661**			**9,839**	**20.22%**	

จากตารางที่ 4-1 แสดงให้เห็นว่า รุ่นการผลิตของไหล่ยาง(Shoulder) ที่จะทำการศึกษาคือการผลิตไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เนื่องจากมีปริมาณของเสีย (%NG) เท่ากับ 14.73 % และมีแนวโน้มที่จะทำการผลิตในปริมาณที่สูงขึ้น อีกทั้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่อง เหมาะสมกับการนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ทางผู้วิจัยจะทำการศึกษา

4.3. การประเมินความสูญเสีย (Loss Analysis) ของผลิตภัณฑ์ที่เลือก

4.3.1. การประเมินความสูญเสีย (Loss Analysis)

หลังจากการคัดเลือกผลิตภัณฑ์และสายผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษา คือ การผลิตไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A แล้ว จึงได้ทำการประเมิน 16 Loss Analysis เพื่อให้ทราบว่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A นั้น เกิดขึ้นจากความสูญเสียใดมากที่สุด ซึ่งพบว่าเป็นความสูญเสียทางด้านของเสียและงานซ่อม (Defect and Rework) มากที่สุด คิดเป็นมูลค่าประมาณ 312,178 บาทต่อเดือน ดังภาพที่ 4-4

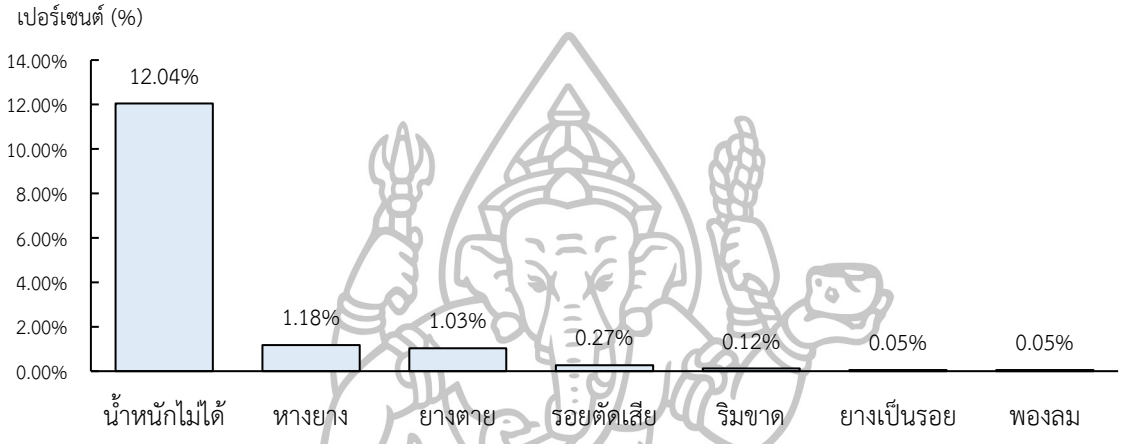


ภาพที่ 4-4 การประเมินความสูญเสีย (Loss Site Analysis)

4.3.2. สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการประเมินความสูญเสีย (Loss Site Analysis) ของการผลิตไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A ซึ่งพบว่าเป็นความสูญเสียทางด้านของเสียและงานซ่อม (Defect and Rework) มากที่สุด จึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดของเสีย โดยใช้กราฟพาเรโตเพื่อแสดงลำดับของเสียในการผลิตไหล่

ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A จากภาพที่ 4-5 จะเห็นได้ว่าของเสีย 3 อันดับแรกคือ ปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนด 12.04 % ปัญหาหางยาง 1.18% และยางตาย 1.03% ตามลำดับ



ภาพที่ 4-5 กราฟพาเรโตแสดงลำดับของเสียรวมทั้งหมด สำหรับไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A

จากภาพที่ 4-5 ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะศึกษาปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดของชิ้นงานไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A

4.4.การเก็บข้อมูล และวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

4.4.1. การนิยามอาการ

อาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A หมายถึง ชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) ที่มีน้ำหนักเบา (น้อยกว่า 2.56 กิโลกรัม/คู่) และน้ำหนักหนัก (มากกว่า 2.68 กิโลกรัม/คู่) เนื่องจากข้อกำหนดคือ 2.62 ± 0.06 กิโลกรัม/คู่

โดยอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดของชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A ทั้งหมด 12.04 % สามารถแบ่งเป็นอาการย่อยได้ 3 อาการ คือ

1. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างการผลิต 8.28%
2. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท 2.70%
3. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการเริ่มต้นการผลิต 1.06%

ภาพที่ 4-6 อาการปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 อาการ

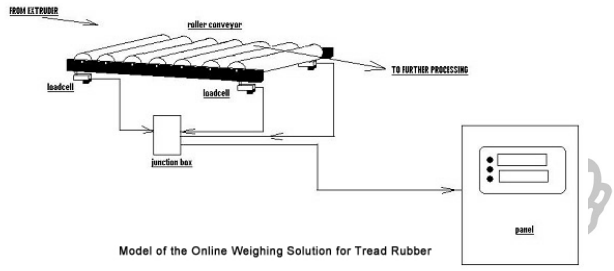
4.4.2. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

ก่อนที่ทางผู้วิจัยจะดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น เพื่อทำให้เกิดความมั่นใจในระบบการวัดค่าและสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยจึงต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อให้มั่นใจว่าพนักงานสามารถแยกของดี ของเสียในกระบวนการผลิตได้ โดยในส่วนคุณสมบัติด้านความแม่นยำจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งการประเมินผลความแม่นยำดังกล่าวพิจารณาจาก GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility)

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้วางแผนการศึกษาโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้วัด
   กำหนดให้มีการใช้เครื่องมือวัดโดยใช้เครื่องตาชั่งดิจิตอล (Running Scale weight) ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว ดังภาพที่ 4-7
2. จำนวนพนักงานที่ใช้วัด
   สุ่มพนักงานที่มีหน้าที่ในการอ่านค่าและวัดน้ำหนักชิ้นงานที่ผ่านการอบรมในด้านการใช้งานและทำงานประจำที่จุดวัดชิ้นงานมาทำการสุ่มวัดค่าน้ำหนักของชิ้นงาน จำนวน 2 คน จากทั้งหมด 4 คน

3. จำนวนชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) ที่ใช้ในการวัด
   ทำการคัดแยกชิ้นงานที่มีน้ำหนักต่างกันจำนวน 10 ชิ้นงาน
4. จำนวนครั้งในการวัดซ้ำของสำหรับชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้น กำหนดให้พนักงานแต่ละคนมีการวัดซ้ำคนละ 3 ครั้งต่อชิ้นงาน และดำเนินการทดลองตามตารางที่ 4-2



แผนภาพที่ 4-7 เครื่องตาชั่งดิจิตอล (Running Scale weight)

ที่มา: **เครื่องชั่งดิจิตอล**, เข้าถึงเมื่อ27 มีนาคม 2559 เข้าถึงได้จาก http://www.ipaindia.com/customization/

ตารางที่ 4-2 ผลการวัดน้ำหนักของชิ้นงานไหล่ยาง(Shoulder)ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือ

APPRAISER/		PART									
TRIAL #		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. พนักงาน A	1	1.290	1.300	1.300	1.310	1.300	1.280	1.300	1.310	1.300	1.310
2.	2	1.290	1.300	1.300	1.310	1.310	1.290	1.300	1.310	1.300	1.310
3.	3	1.290	1.300	1.300	1.310	1.310	1.290	1.300	1.310	1.300	1.310
	AVE	1.290	1.300	1.300	1.310	1.307	1.287	1.300	1.310	1.300	1.310
5. พนักงาน B	1	1.290	1.300	1.300	1.310	1.310	1.280	1.300	1.310	1.300	1.310
6.	2	1.290	1.300	1.300	1.310	1.310	1.290	1.300	1.310	1.300	1.320
7.	3	1.290	1.300	1.300	1.310	1.310	1.290	1.300	1.310	1.300	1.320
	AVE	1.290	1.300	1.300	1.310	1.310	1.287	1.300	1.310	1.300	1.317

ตารางที่ 4-3 GageR&R ของการวัดน้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องตาชั่งดิจิตอล (Running Scale weight)

Measurement Unit Analysis

Repeatability – Equipment Variation (EV)

EV = $\bar{R} \times K_1$

= 0.0020 × 0.5908

= 0.00118

Trials	K1
2	0.8862
3	0.5908

Reproducibility – Appraiser Variation (AV)

AV = $\{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2/nr)\}^{1/2}$

= {(0.0010 × 0.5231)^2 - (0.0012 ^2/(10 × 3))}^1/2

= 0.00048

Trials	2	3
K_2	0.7071	0.5231

Repeatability & Reproducibility (R & R)

R & R = $\{(EV^2 + AV^2)\}^{1/2}$

= {(0.00118^2 + 0.00048^2)}^0.5

= 0.00127

Part Variation (PV)

PV = $R_p \times K_3$

= 0.02667 × 0.3146

= 0.00839

Parts	K_3
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375
9	0.3429
10	0.3146

Total Variation (TV)

TV = $\{(R\&R^2 + PV^2)\}^{1/2}$

= {(0.00127^2 + 0.00839^2)}^0.5

= 0.00849

% Total Variation (TV)

% EV = 100 (EV/TV)

= 100(0.00118/0.00849)

= **13.92%**

% AV = 100 (AV/TV)

= 100(0.00048/0.00849)

= **5.62%**

n = number of parts

r = number of trials

% R&R = 100 (R&R/TV)

= 100(0.00127/0.00849)

= **15.01%**

% PV = 100 (PV/TV)

= 100(0.00839/0.00849)

= **98.87%**

ndc = 1.41 (PV/GRR)

= 1.41(0.00839/0.00127)

= **9.284**

CONCLUSION: ✓ NO ACTION REQUIRED COMMENT : .....

☐ ACTION REQUIRED .....

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาค่า % GR&R ตามมาตรฐานที่กำหนดคือ

1. %Gage R&R < 10 % แสดงว่าสามารถยอมรับผลจากระบบการวัดได้
2. 10% < %Gage R&R < 30% แสดงว่าอาจจะยอมรับผลจากระบบการวัดได้
3. %Gage R&R > 30% แสดงว่าระบบการวัดต้องมีการปรับปรุง

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความผันแปรที่เกิดขึ้นมีดังนี้

1. ความผันแปรทั้งหมดอันเกิดจากเครื่องมือวัด (Repeatability) ประมาณ 13.92 %
2. ความผันแปรทั้งหมดอันเกิดจากพนักงานวัด(Reproducibility) ประมาณ 5.62%
3. ความผันแปรจากชิ้นงานต่อชิ้นงาน (Part Variation) ประมาณ 98.87 %

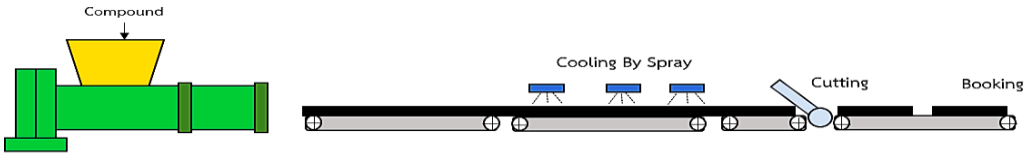
ความผันแปรของระบบการวัดทั้งระบบ (%GR&R หรือ Precision to total variation Ratio) มีค่าเท่ากับ 15.01% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของอาจจะยอมรับได้เนื่องจากตามมาตรฐานที่กำหนดคือ 10% < %Gage R&R < 30% แสดงว่าอาจจะยอมรับผลจากระบบการวัดได้

4.4.3. การระบุกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของปัญหาและออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

4.4.3.1 การวิเคราะห์กระบวนการผลิตและปัจจัยการทำงานของการดันยาง

ในกระบวนการดันยางจะประกอบด้วย 4 กระบวนการหลักดังแสดงในภาพที่ 4-8 ได้แก่ กระบวนการที่ 1 คือ กระบวนการเตรียมยางคอมปาวน์ โดยการแปรสภาพจากยางแผ่นเป็นยางที่ผสมเข้ากันดีโดยใช้สกรู กระบวนการที่ 2 คือ กระบวนการดันยาง เป็นกระบวนการที่ยางถูกดันออกมาผ่านตัวแม่พิมพ์ (Die) ตามรูปร่างของชิ้นงาน กระบวนการที่ 3 คือ กระบวนการลดอุณหภูมิ (Cooling) เพื่อลดอุณหภูมิของชิ้นงานและคงสภาพของชิ้นงานไม่ให้เกิดการยืดหรือหดตัว (Shrinkage) สุดท้าย คือ กระบวนการตัดเพื่อให้ได้ความยาวของชิ้นงานตามที่ต้องการและจัดเก็บชิ้นงานลงรถ ส่งให้กับแผนกประกอบต่อไป

จากการสังเกตและเก็บข้อมูลพบว่า ในกระบวนการที่ 3 และ 4 นั้นไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ได้ข้อกำหนด เนื่องจากค่าน้ำหนักต่อเมตรที่หัวดัน มีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักของชิ้นงานที่ท้ายไลน์ แสดงว่าระหว่างกระบวนการไม่มีปัจจัยใดส่งผลต่อปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ได้ข้อกำหนด ดังนั้นการวิเคราะห์ปัญหาจึงมุ่งไปที่ กระบวนการเตรียมยางคอมปาวน์และกระบวนการดันยาง



ภาพที่ 4-8 กระบวนการไหลของกระบวนการดันยางไหล่ยาง(Shoulder)

ทั้งนี้ขั้นตอนการเตรียมยางคอมปาวน์และการดันยาง กระบวนการทำงานเริ่มจากการป้อนยางคอมปาวน์เข้าที่สกรู 200 Extruder (Cold feed) หลังจากนั้นยางคอมปาวน์จะถูกแปรสภาพโดยมีสกรู

เป็นตัวบดยางให้ผสมเข้ากันดี แล้วถูกดันผ่านมาที่แม่พิมพ์ (Die) และมีลูกกลิ้ง (Conveyor) เป็นตัวดึงยางไปข้างหน้าตามไลน์การผลิต โดยที่ในแต่ละรุ่นการผลิตจะมีการตั้งค่าน้ำหนักต่อเมตร ความเร็วของสกรู และความเร็วสายพานที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีน้ำหนักตรงตามข้อกำหนด

จากการสัมภาษณ์พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตไหล่ยางสำหรับปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนด สามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 4-4 เป็นตารางปัจจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงาน การระดมความคิดในทีมผู้ชำนาญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดันยาง และพิจารณาถึงความเป็นไปได้หรือเป็นไปไม่ได้ของปัจจัยนั้น

ตารางที่ 4-4 แสดงการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงานและการระดมความคิดจากทีมผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดันยาง

ปัจจัยหรือพารามิเตอร์	ผลการทวนสอบหน้างาน	เป็นไปได้/ไม่ได้	อาการเสีย
1.ปริมาตรยางป้อนเข้าสกรู	ในการป้อนยางเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์ จะมีบางช่วงที่ยางคอมปาวน์มีความตึงและหย่อน ส่งผลต่อจังหวะในการป้อนยาง	เป็นไปได้	1. ช่วงการต่อยาง 2. ระหว่างการผลิต
2. ความแตกต่างค่าความหนืดของยางคอมปาวน์	มีฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ ตรวจสอบค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ ให้อยู่ในข้อกำหนดก่อนนำมาใช้ในกระบวนการผลิต แต่ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ของยางแต่ละชุดการผลิต มีความแตกต่างกันอยู่	เป็นไปได้	1. ระหว่างการผลิต 2. เริ่มต้นการผลิต
3. ความเร็วรอบสกรู Extruder	จากการมอนิเตอร์จากระบบ ความเร็วรอบสกรู200 เท่ากับ 17.83±0.03 รอบต่อนาที	เป็นไปได้	1. ระหว่างการผลิต 2. เริ่มต้นการผลิต
4. กระแสมอเตอร์ขับ (Current)	ค่ากระแสของมอเตอร์ขับ จะสัมพันธ์กับความนิ่ม-แข็ง (ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์) และกราฟที่ใช้ในการติดตามหน้างาน กระแสกับน้ำหนักต่อเมตรจะมีความสัมพันธ์กัน	เป็นไปได้	1. ระหว่างการผลิต 2. เริ่มต้นการผลิต
5. การตั้งตัดความยาวชิ้นงาน	มีตัวนับความยาวชิ้นงานก่อนเข้าใบมีดตัดชิ้นงานซึ่งมีความแม่นยำในการตัดแต่ละครั้ง	เป็นไปไม่ได้	

4.4.3.2. แบบฟอร์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปัจจัยที่ได้จากการระดมความคิด

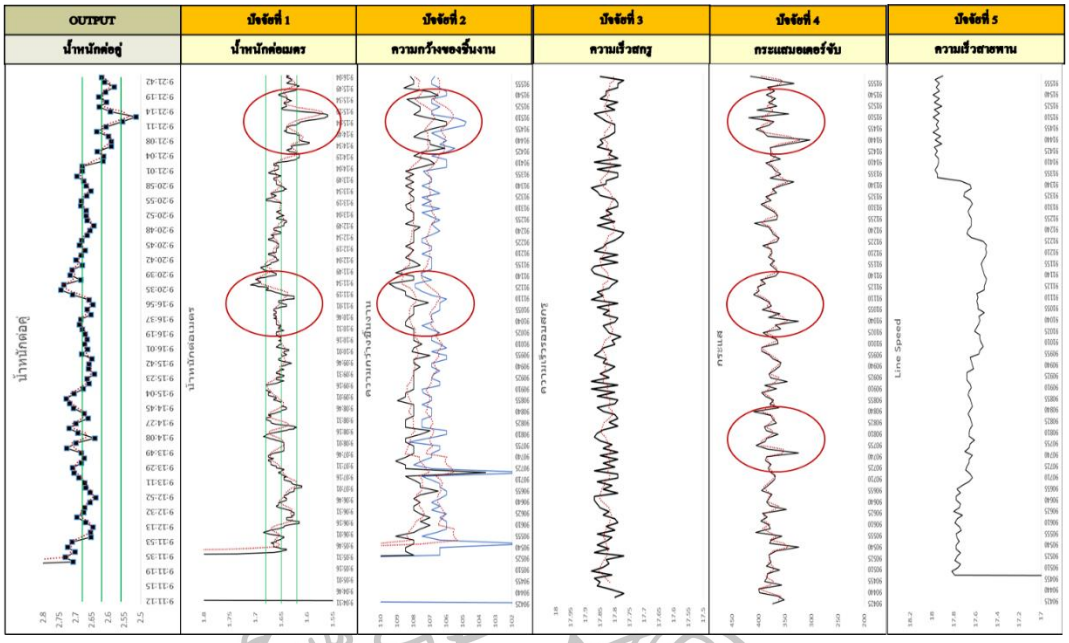
หลังจากที่ได้ปัจจัยจากการระดมความคิดจากพนักงานและทีมผู้ชำนาญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดันยาง ทางผู้วิจัยจะนำปัจจัยเหล่านี้ไปใช้ในการออกแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 แบบฟอร์มที่ในการเก็บข้อมูลปัจจัยที่ได้จากการระดมความคิด

เวลา	น้ำหนักชิ้นงานต่อคู่	น้ำหนักต่อเมตร	ความเร็วรอบสกรู (รอบต่อนาที)	กระแสมอเตอร์ขับ (A)	ความเร็วสายพาน (เมตรต่อนาที)	ความกว้างชิ้นงานด้าน R	ความกว้างชิ้นงานด้าน L	สิ่งผิดปกติที่พบในการเก็บข้อมูล

เนื่องจากในกระบวนการดันยางเป็นการผลิตที่เป็นเทรนการผลิตต่อเนื่อง ทางผู้วิจัยจึงต้องนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากแบบฟอร์มด้านบน มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยการใช้กราฟดังภาพที่ 4-9 ซึ่งผลลัพธ์ที่ผู้วิจัยสนใจคือ น้ำหนักของชิ้นงานต่อคู่ และมีปัจจัยที่สนใจ 5 ปัจจัย ดังนี้

1. น้ำหนักต่อเมตรที่ออกมาจากหัวดัน พบว่ามีความสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อคู่ของชิ้นงาน แต่ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหา เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ตัวเดียวกัน
2. ความกว้างของชิ้นงาน พบว่ามีความสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อเมตรและน้ำหนักต่อคู่ เนื่องจากน้ำหนักของชิ้นงานคือ ความกว้าง x ความหนา x ความยาว
3. ความเร็วรอบสกรู พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ของน้ำหนักของชิ้นงานต่อคู่
4. ความเร็วสายพาน พบว่ามีความสัมพันธ์กับน้ำหนักต่อเมตรและน้ำหนักต่อคู่ของชิ้นงาน โดยเมื่อน้ำหนักของชิ้นงานเพิ่มขึ้น จะต้องทำการปรับความเร็วสายพานให้เร็วขึ้น และเมื่อน้ำหนักของชิ้นงานเบา จะต้องทำการปรับลดความเร็วสายพานลง



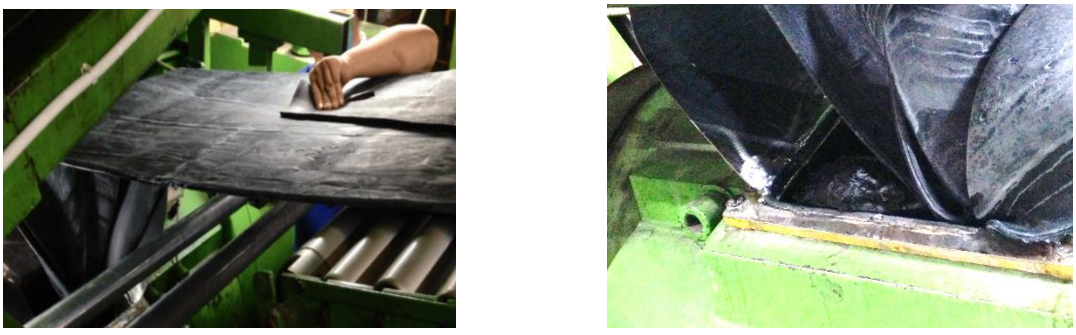
ภาพที่ 4-9 แสดงกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเก็บข้อมูล

นอกจากนี้ในระหว่างการเก็บข้อมูลทางผู้วิจัยยังพบว่ามีสิ่งผิดปกติของกระบวนการผลิตดังนี้

1. กระบวนการป้อนยาง

    1.1. พบว่ามีการป้อนยางขาดช่วงทำให้กระแสมอเตอร์ขับต่ำลง และน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นงานไม่นิ่ง

    1.2. พบว่าบางช่วงที่ทำการป้อนยางเข้าสกรู พบว่ามียางล้นออกมาที่ปากของ ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์



ภาพที่ 4-10 แสดงการป้อนยางขาดช่วงและมียางล้นที่ปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์ ตามลำดับ

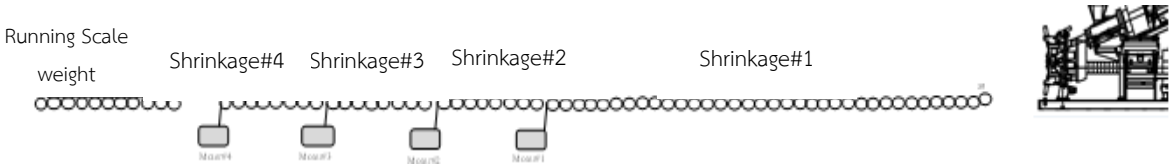
2. ระหว่างกระบวนการดันยาง

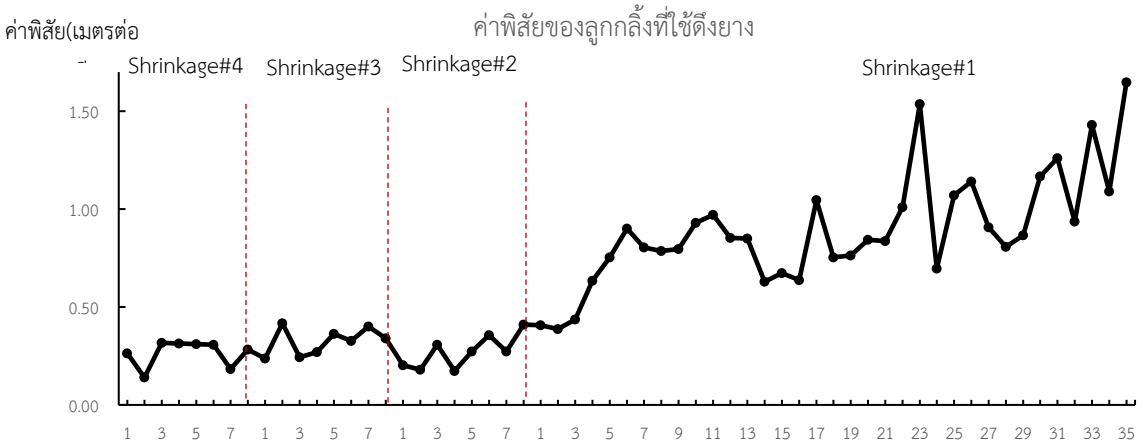
2.1. เมื่อทำการเปลี่ยนพาเลทยางที่มีค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ ที่ค่าแตกต่างกันโดยที่ความเร็วรอบสกรูและความเร็วสายพานคงที่พบว่าที่ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์สูงขึ้น น้ำหนักต่อเมตรของยางมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 4-11

ภาพที่ 4-11 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักต่อเมตร เมื่อค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ (Mooney Viscosity) เพิ่มขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลง

2.2. ลูกกลิ้งดึงยางมีการกระตุกและยางที่ถูกดันออกมาสัมผัสไม่เต็มหน้าของลูกกลิ้ง

ทางผู้วิจัยสังเกตว่าลูกกลิ้งมีการกระตุก จึงได้ทำการวัดค่าพิสัยของลูกกลิ้งแต่ละลูกด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) เพื่อตรวจสอบว่าลูกกลิ้งมีการกระตุกหรือไม่ โดยลูกกลิ้งที่ใช้ในการดึงยางแบ่งเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่ 1 คือ Shrinkage # 1 มีจำนวนลูกกลิ้ง 35 ลูก ช่วงที่ 2 คือ Shrinkage # 2 มีจำนวนลูกกลิ้ง 8 ลูก ช่วงที่ 3 คือ Shrinkage # 3 มีจำนวนลูกกลิ้ง 8 ลูก และสุดท้าย Shrinkage#4 มีลูกกลิ้งจำนวน 8 ลูก จากภาพที่ 4-12 พบว่าในช่วงที่ 1 คือ Shrinkage#1 ค่าพิสัยของลูกกลิ้งแต่ละลูกมีการกระตุกจริงและมากกว่าที่ตำแหน่งอื่น





ภาพที่ 4-12 ผลของการวัดค่าพิสัยของลูกกลิ้งที่ใช้ดึงยางทั้ง 4 ช่วง เพื่อตรวจสอบการกระตุกของลูกกลิ้ง

ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยจากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและปัจจัยการทำงานของการดันยางจากการเก็บข้อมูลและสิ่งผิดปกติที่พบระหว่างกระบวนการผลิต สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-6 ตารางที่ 4-6 สรุปปัจจัยที่ได้จากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ปัจจัย

ปัจจัย	เริ่มต้นการผลิต	ระหว่างการผลิต	ช่วงต่อยาง
การป้อนยางเข้าไม่สม่ำเสมอ	✓	✓	✓
ความแตกต่างของความหนืดของยางคอมปาวน์ (ความหนืดของยางคอมปาวน์)	✓	✓	
ความไม่สม่ำเสมอของลูกกลิ้งดึงยาง	✓	✓	
กระแสมอเตอร์ขับ (Current)		✓	
ความเร็วสายพาน (Line Speed)	✓	✓	

4.4.3.4.การค้นหาปัจจัยการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

ตารางที่ 4-7 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

กระบวนการหลัก	กระบวนการย่อย	กลไกการทำงาน	ปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนด (Parameter)		
			ช่วงการต่อยาง	ระหว่างการผลิต	เริ่มต้นการผลิต
การเตรียมยางคอมปาวน์	การป้อนยางเข้าปากส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์	Feed Roll เป็นตัวดึงยางคอมปาวน์เข้าปากสกรู โดยเกลียวสกรูเป็นตัวบดยาง และมีความเร็วของสายพานป้อนยางเป็นตัวปรับ Tension (ความตึงหย่อนของยางที่เข้าปากสกรู)	ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรู	1) ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรู 2) ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ ของยาง	1) ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรู 2) ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ ของยาง
การบดยาง	การดันยางในตัว Extruder	Extruder ประกอบด้วยเกลียวหนอนซึ่งหมุนอยู่ภายในบาเรลหรือห้องอัด ซึ่งการหมุนของเกลียวหนอนจะทำให้ยางคอมปาวน์ไหลเข้าไปในบาเรลอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ยางไหลจากด้านหลังไปด้านหน้าของเครื่อง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะทำให้ยางมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ยางมีความหนืดลดลงจนอยู่ในสภาพที่สามารถขึ้นรูปได้	-	1) ความเร็วรอบสกรู 2) กระแสของมอเตอร์ขับ 3) อุณหภูมิของยาง	1) ความเร็วรอบสกรู 2) กระแสของมอเตอร์ขับ 3) อุณหภูมิของยาง
การดึงยางออกจากDIE	การดันยางออกจากหัวDIE ไปยังRoller	การหมุนของเกลียวหนอนยังก่อให้เกิดแรงดันสำหรับดันยางคอมปาวน์ให้ไหลผ่านหัวดายน์ที่อยู่ด้านหน้า โดยมีลูกกลิ้งเป็นตัวดึงยาง เพื่อให้ยางที่ถูกดันออกมาไหลไปข้างหน้า	-	1) ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้งRoller ที่ดึงยาง 2) ความเร็วสายพาน	1) ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้งRoller ที่ดึงยาง 2) ความเร็วสายพาน

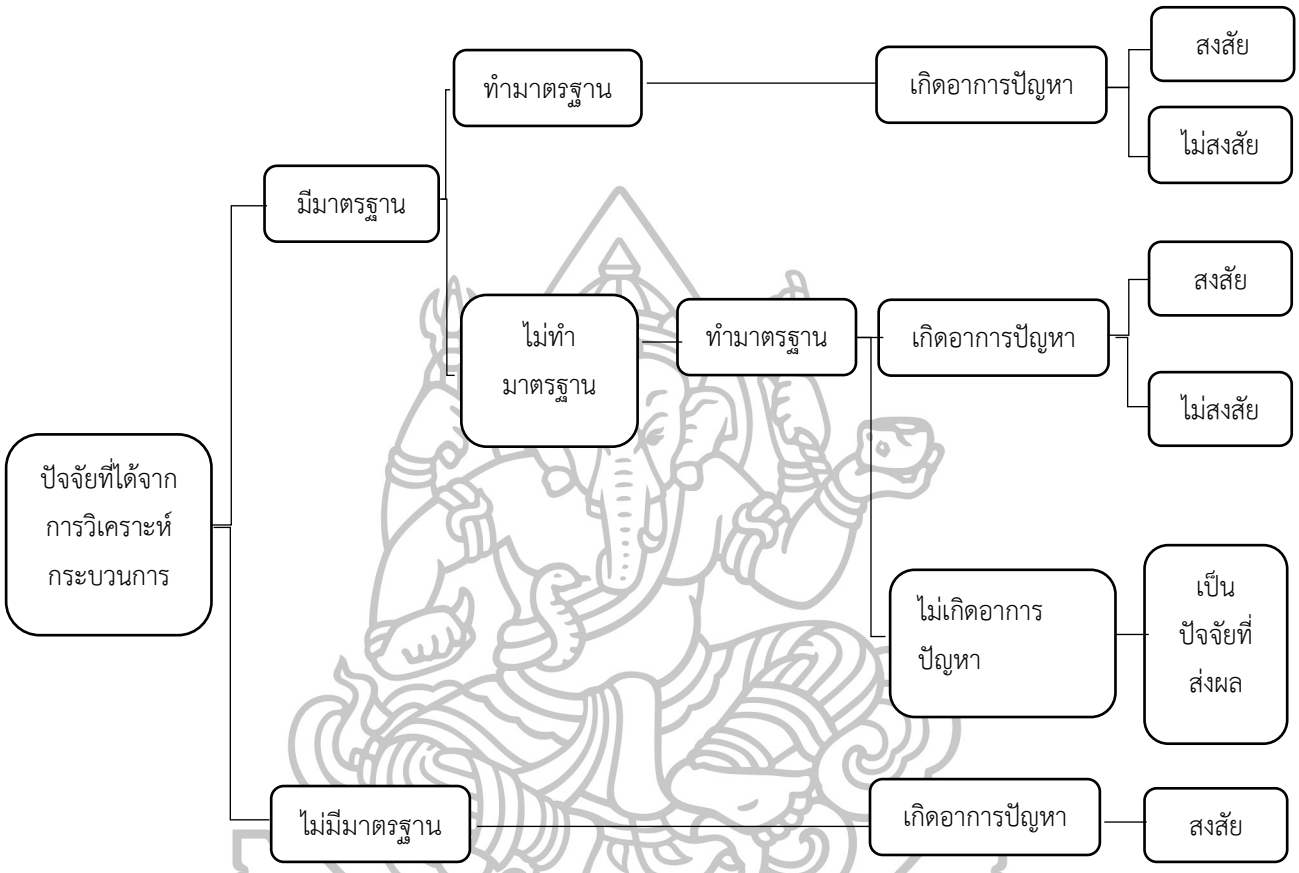
4.5. การระบุปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมและการเฝ้าระวังปัจจัย

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและปัจจัยการทำงานของการดันยาง และปัจจัยจากการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis) สามารถคัดเลือกปัจจัยที่นำไปใช้ในการควบคุมและการเฝ้าระวังกระบวนการ โดยแบ่งตามอาการของปัญหาได้ดังนี้

1. อาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท มีทั้งหมด 1 ปัจจัยคือ
    1.1. ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรู
2. อาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างกระบวนการผลิต มีทั้งหมด 7 ปัจจัย คือ
    2.1. ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรู
    2.2. ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์
    2.3. ความเร็วของรอบสกรู
    2.4. กระแสของมอเตอร์ขับ
    2.5. อุณหภูมิของยางบริเวณหัวดัน
    2.6. ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้ง (Roller) ที่ดึงยาง
    2.7. ความเร็วสายพาน

4.5.1. การเฝ้าระวังปัจจัย (Monitoring Check Sheet)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเก็บข้อมูล เพื่อควบคุมปัจจัยที่สอดคล้องกับอาการของปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดทั้ง 2 ช่วง คือ 1) น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท และ 2) น้ำหนักไม่ได้สปคระหว่างกระบวนการผลิต โดยมีหลักการในการวิเคราะห์ตามภาพที่ 4-13 ดังนี้



ภาพที่ 4-13 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ปัจจัยในขั้นตอนของการเฝ้าระวังปัจจัย (Monitoring)

จากการเฝ้าระวังปัจจัย (Monitoring Check Sheet) สามารถสรุปได้โดยแบ่งตามอาการของปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดเป็น 2 ช่วงคือ

1. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

ปัจจัยที่ใช้ในการเฝ้าระวังและควบคุม คือ ปริมาตรยางป้อนเข้าสกรู โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 9 ครั้งที่ทำการต่อยางระหว่างพาเลท จากตารางที่ 4-8 จะพบว่าปัจจัยที่สงสัยและไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงของการต่อยางคือ ปริมาตรยางป้อนเข้าสกรู เพราะปริมาตรช่วงการต่อยางแต่ละครั้งไม่เท่ากัน

ตารางที่ 4-8 การเฝ้าระวังปัจจัยอาการน้ำหนักไม่ข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

กระบวนการ	ปัจจัยที่ควรควบคุม	ข้อกำหนดของปัจจัย (STD)	เฝ้าระวังครั้งที่ 1	เฝ้าระวังครั้งที่ 2	เฝ้าระวังครั้งที่ 3	เฝ้าระวังครั้งที่ 4	เฝ้าระวังครั้งที่ 5	เฝ้าระวังครั้งที่ 6	เฝ้าระวังครั้งที่ 7	เฝ้าระวังครั้งที่ 8	เฝ้าระวังครั้งที่ 9	สอดคล้องกับข้อกำหนด Y/N	สงสัย/ไม่สงสัย
การป้อนยางเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์	ปริมาตรยางป้อนเข้า	ไม่มีข้อกำหนด	2.286 kg	2.638 kg	2.321 kg	2.180 kg	6.309 kg	6.154 kg	6.743 kg	6.892 kg	5.890 kg	-	**<u>สงสัย</u>**เพราะปริมาตรช่วงการต่อยางแต่ละครั้งไม่เท่ากัน
		จำนวนที่พบอาการ	3 คู่	0 คู่	6 คู่	2 คู่	0 คู่	1 คู่	0 คู่	0 คู่	1 คู่		
		ตำแหน่งที่พบอาการ	เบา	เบา	เบา	เบา	-	เบา	-	-	เบา		
		จำนวนที่ผลิต	1276 คู่	1276คู่	1276คู่	1276คู่	1276คู่	1276คู่	1276คู่	1276คู่	1276คู่		

2. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างกระบวนการผลิต

ปัจจัยที่ใช้ในการเฝ้าระวังและควบคุมคือ 1) ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรู 2) ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ Viscosity หรือ ความหนืดของยางคอมปาวน์ 3) ความเร็วของรอบสกรู 4) กระแสของมอเตอร์ขับ 5) อุณหภูมิของยางบริเวณหัวดัน 6) ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้ง (Roller) ที่ดึงยาง และ 7) ความเร็วสายพาน โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ครั้งที่มีการผลิต จากตารางที่ 4-9 พบว่าปัจจัยที่สงสัยและไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงของการต่อยางคือ

1. ปริมาตรยางป้อนเข้าสกรู เพราะปริมาตรยางที่ป้อนเข้าไม่สัมพันธ์กับปริมาตรยางที่ถูกดันออกมา
2. ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ เพราะในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ จะส่งผลกระทบต่อค่าน้ำหนักต่อเมตร
3. อุณหภูมิยางที่ปากสกรู เพราะอุณหภูมิมีผลต่อการขึ้นรูปของยาง
4. ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้งดึงยาง เพราะ หน้าสัมผัสของลูกกลิ้งดึงยาง สัมผัสกับยางไม่ต่อเนื่อง
5. ความเร็วของสายพาน เพราะ เป็นปัจจัยร่วมที่ใช้ในการควบคุมน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นงาน

ตารางที่ 4-9 การเฝ้าระวังปัจจัยอาการน้ำหนักไม่ข้อกำหนดระหว่างกระบวนการผลิต

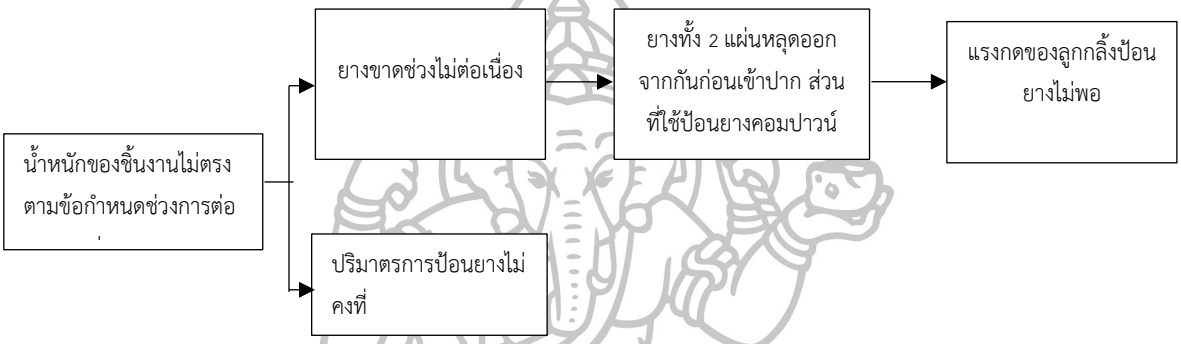
กระบวนการ	ปัจจัยที่ควรควบคุม	ข้อกำหนดของปัจจัย(STD)		เฝ้าระวังครั้งที่ 1	เฝ้าระวังครั้งที่ 2	เฝ้าระวังครั้งที่ 3	เฝ้าระวังครั้งที่ 4	สอดคล้องกับข้อกำหนดY/N	สงสัย/ไม่สงสัย
การป้อนยางเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์	ปริมาตรยางป้อนเข้า	ไม่มีข้อกำหนด		36.93 Kg/Min	34.29 Kg/Min	39.57 Kg/Min	31.65 Kg/Min	-	**<u>สงสัย</u>**เพราะปริมาตรยางที่ป้อนเข้าไม่สัมพันธ์กับปริมาตรยางที่ถูกดันออกมา
	ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์	50±10		51,47.4	51,51	49.4,49.9	49.6,46.4	Y	**<u>สงสัย</u>**เพราะในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ จะส่งผลต่อน้ำหนักต่อเมตร
	ความเร็วรอบสกรู	MAX	18	17.9	17.88	17.91	17.90	N	**<u>ไม่สงสัย</u>**เพราะทดลองเดินสกรูตัวเปล่า พบว่าค่าเบี่ยงเบน 0.03 รอบต่อนาที
		MIN	17.8	17.76	17.76	17.75	17.75		
	กระแสมอเตอร์ขับ	MAX	ไม่มี	397.8	389.8	422.5	406	-	**<u>ไม่สงสัย</u>**เพราะค่ากระแสมอเตอร์ขับจะขึ้นอยู่กับปริมาตรยางที่ป้อนเข้า
		MIN	ไม่มี	326.5	322.4	336.8	317.4		
	อุณหภูมิยางที่ออกจากปากสกรู	ไม่มีกำหนด		N/A	N/A	N/A	N/A	-	**<u>สงสัย</u>**เพราะอุณหภูมิมีผลต่อการขึ้นรูปของยาง
	ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้งดึงยาง	ไม่มีกำหนด		กระตุก	กระตุก	กระตุก	กระตุก	-	**<u>สงสัย</u>**เพราะหน้าสัมผัสของลูกกลิ้งสัมผัสกับยางไม่ต่อเนื่อง
	ความเร็วสายพาน	MAX	18.8	17.58	17.45	19.54	19.61	N	**<u>สงสัย</u>**เพราะเป็นปัจจัยร่วมที่ใช้ในการควบคุมน้ำหนักต่อเมตร
		MIN	17.8	16.97	17.12	19.03	19.52		
		จำนวนที่พบอาการ		7 คู่	2 คู่	56 คู่	2 คู่		
		ตำแหน่งที่พบอาการ		เบา	เบา	เบา,หนัก	เบา		
		จำนวนที่ผลิต		259คู่	152คู่	201คู่	113คู่		

4.6.การวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา(Root Cause Analysis) จากข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าระวังปัจจัย

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำปัจจัยที่ได้จากการเฝ้าระวังปัจจัย(Monitoring) มาทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหารากเหง้าสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อนำไปสู่การแก้ไขและปรับปรุง โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ช่วงตามอาการของปัญหาคือ

1. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

จากการเก็บข้อมูล การเฝ้าระวังและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ นำมาวิเคราะห์กลไกการเกิดของสาเหตุดังภาพที่ 4-14 พบว่าเกิดจากแรงกดของลูกกลิ้งกดยางไม่พอ จึงทำให้รอยต่อของยางคอมปาวน์ทั้ง 2 แผ่นหลุดออกจากกัน และพบว่าปริมาตรของการป้อนยางในช่วงการต่อยางไม่คงที่



ภาพที่ 4-14 การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) อาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

1.1. การพิสูจน์จากการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis)

1.1.1. ปริมาตรการป้อนยางไม่คงที่

ผู้วิจัยทำการพิสูจน์ปัจจัยปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรูไม่คงที่โดยการต่อยางระหว่างพาเลทเป็น 2 แบบคือ 1) การต่อยางแบบขาดช่วง (ไม่ต่อเนื่อง) และ 2) การต่อยางแบบเกยทับกัน ดังภาพที่ 4-15 และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-Test) พบว่า

1.1.1. การต่อยางแบบขาดช่วง(ไม่ต่อเนื่อง) ค่า P (F<=f) เท่ากับ 0.0495 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จะเห็นได้ว่า ค่า P< 0.05 แสดงว่าความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 4-11

1.1.2. การต่อยางแบบเกยทับกัน ค่า P (F<=f) เท่ากับ 0.369 เมื่อเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญที่ 0.05จะเห็นได้ว่า ค่า P> 0.05 แสดงว่าความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่มเท่ากัน ดังตารางที่ 4-12

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-Test) จึงสามารถสรุปได้ว่า การป้อนยางแบบขาดช่วง (ไม่ต่อเนื่อง) หรือ การป้อนยางเข้าสกรูไม่คงที่ ส่งผลต่ออาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

ภาพที่ 4-15 การต่อยางระหว่างพาเลทแบบขาดช่วง(ไม่ต่อเนื่อง)และ การต่อยางแบบทับเกย ตามลำดับ

ตารางที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ F-Test กรณีการต่อยางแบบขาดช่วง(ไม่ต่อเนื่อง)

	Normal	*Discontinue*
Mean	2.641428571	2.634428571
Variance	0.000495286	0.000529619
Observations	7	7
df	6	6
F	0.93517353	
P(F<=f) one-tail	0.46861813	
F Critical one-tail	0.233434021	

ตารางที่ 4-12 ผลการวิเคราะห์ F-Test กรณีการต่อยางแบบเกยทับกัน

	Normal	*Overlap*
Mean	2.660666667	2.646
Variance	0.000114333	6.7E-05
Observations	3	3
df	2	2
F	1.706467662	
P(F<=f) one-tail	0.369485294	
F Critical one-tail	19	

1.1.1.1 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปริมาตรที่เหมาะสมในช่วงของการต่อยาง

หลังจากได้ทำการพิสูจน์ปัจจัยปริมาตรการป้อนยางไม่ต่อเนื่องในช่วงของการต่อยาง (รอยต่อยางขาดช่วงหรือแยกออกจากกันก่อนเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์) มีผลต่ออาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท ในการออกแบบการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาตรการต่อยางที่เหมาะสมที่สุด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการป้อนยางขาดช่วงระหว่างรอยต่อของยางคอมปาวน์ โดยแบ่งการทดลองระยะของการต่อยางคอมปาวน์ออกเป็น 4 ระดับ ตามตารางที่ 4-13 และค่าตอบสนอง(Response) คือ ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักต่อเมตรในช่วงของการต่อยาง

ตารางที่ 4-13 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองการต่อยางคอมปาวน์

ปัจจัย	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
ความยาวรอยต่อ(cm)	50	100	150	200

จากการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าของความแปรปรวนในช่วงของการต่อยางทั้ง 4 ระดับ กับ การต่อยางในช่วงของยางปกติ (ยางคอมปาวน์ Batch เดียวกัน ที่ไม่มีรอยต่อ) จะพบว่า ในช่วงการต่อยางที่ความยาวรอยต่อไม่เกิน 100 เซนติเมตร เป็นช่วงของการต่อยางแบบเกยทับกันที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าความแปรปรวนเฉลี่ยเท่ากับ 0.00018 (ที่ระยะ 50 เซนติเมตร) และ 0.00019 (ที่ระยะ 100 เซนติเมตร) ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความแปรปรวนในช่วงของยางปกติ (ยางคอมปาวน์ Batch เดียวกัน ที่ไม่มีรอยต่อ) ที่ 0.000196 ดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนที่ได้จากการออกแบบการทดลองหาปริมาตรการต่อยาง

		Response : ค่าความแปรปรวน		
ความยาวรอยต่อ (cm)	**ปริมาตรช่วงการต่อยาง (m3)**	**ยางปกติ**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**
50	7.9128	0.000195	0.000196	0.000169
100	15.8256	0.000195	0.000169	0.000225
150	23.7384	0.000195	0.000900	0.001225
200	31.6512	0.000195	0.001600	0.001521

1.1.3. แรงกดของลูกกลิ้งป้อนยางไม่พอ

จากการพิสูจน์ว่าการป้อนยางไม่คงที่หรือขาดช่วงในช่วงของการต่อยางระหว่างพาเลท มีผลต่ออาการปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงรอยต่อยางระหว่างพาเลท ซึ่งทางผู้วิจัยพบว่า

บางช่วงรอยต่อของยางคอมปาวน์ทั้งสองแผ่นแยกออกจากกัน ก่อนที่เข้าปากส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์ เนื่องจากลูกกลิ้งที่ใช้กดยางนั้น ไม่สามารถกดให้รอยต่อยางคอมปาวน์ทั้งสองแผ่นไม่แยกออกจากกันได้ โดยลักษณะของลูกกลิ้งที่ใช้ในการกดยางคอมปาวน์ในช่วงรอยต่อ ปัจจุบันใช้เป็นลูกกลิ้งกดแยก 2 จุด ที่มีลักษณะหน้าสัมผัสของลูกกลิ้งไม่เต็มหน้า ดังภาพที่ 4-16 ซึ่งแรงกดจากการคำนวณเท่ากับ 96.7 นิวตัน เมื่อเทียบกับแรงดึงของสกรูที่ดึงยางเข้าไปเท่ากับ 105 นิวตัน แสดงให้เห็นว่าแรงกดของลูกกลิ้งป้อนยางไม่พอ จึงทำให้ช่วงรอยต่อของยางคอมปาวน์ทั้ง 2 แผ่นหลุดออกจากกันก่อนเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์

ภาพที่ 4-16 ลูกกลิ้งที่ใช้ในการกดยางช่วงรอยต่อของยางคอมปาวน์ในปัจจุบัน แรงกดเท่ากับ 96.7 นิวตัน

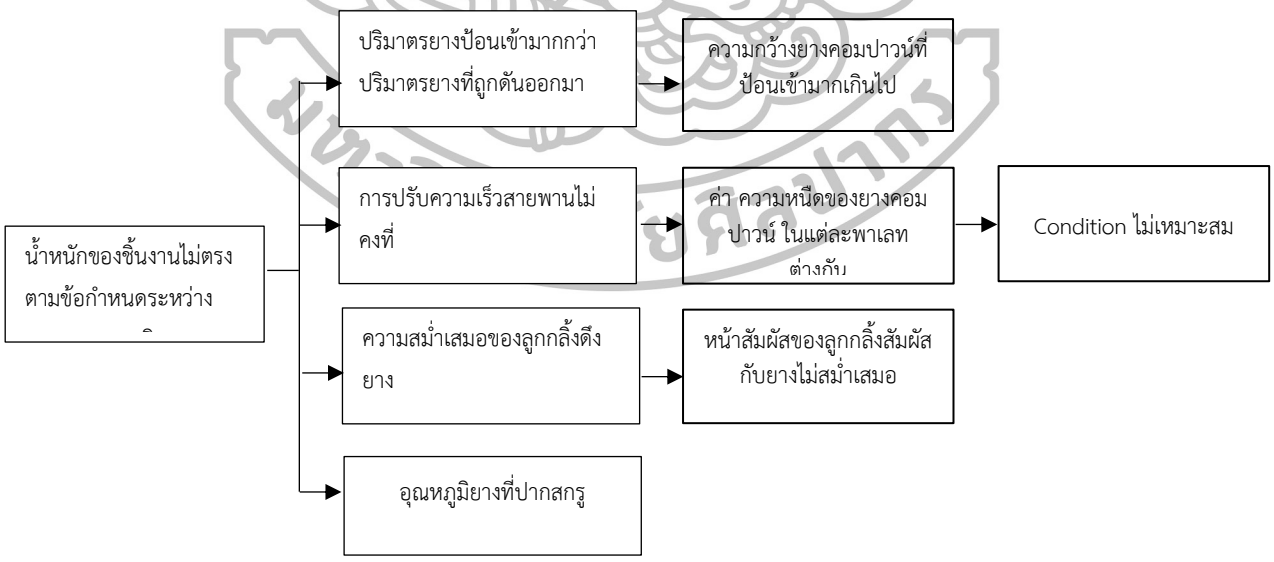
1.1.2.1 การออกแบบลูกกลิ้งกดยาง เพื่อให้สามารถกดยางคอมปาวน์ไม่ให้แยกออกจากกัน

ในการออกแบบลูกกลิ้งกดยางใหม่นั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกกลิ้งสามารถกดยางคอมปาวน์ทั้งสองแผ่นไม่ให้หลุดออกจากกันได้ โดยที่สามารถรับแรงดึงของสกรูที่ดึงยางเข้าไป นั่นคือ ลูกกลิ้งกดยางต้องมีแรงกดมากกว่า 105 นิวตัน โดยทางทีมผู้วิจัยออกแบบลูกกลิ้งใหม่โดยให้เป็นลูกกลิ้งเต็มหน้า เพื่อเพิ่มแรงกดให้พอที่จะกดรอยต่อของยางคอมปาวน์นั้นได้ ซึ่งลูกกลิ้งใหม่นั้นมีแรงกดเท่ากับ 123.77 นิวตัน ดังภาพที่ 4-17

ภาพที่ 4-17 ลูกกลิ้งใหม่ที่ใช้ในการกดยางช่วงรอยต่อของยางคอมปาวน์ แรงกดเท่ากับ 123.77 นิวตัน

2. น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างกระบวนการผลิต

จากการเก็บข้อมูล การเฝ้าระวังและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ นำมาวิเคราะห์กลไกการเกิดของสาเหตุ ดังภาพที่ 4-18



ภาพที่ 4-18 การวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis) อาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างกระบวนการผลิต

2.1. การพิสูจน์จากการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis)

2.1.1. ความกว้างของยางคอมปาวน์ที่ป้อนเข้ามากเกินไป

เนื่องจากในขั้นตอนของการเก็บข้อมูลที่พบความผิดปกติของกระบวนการคือ ระหว่างกระบวนการผลิต บางช่วงที่ทำการป้อนยางเข้าสกรู พบว่ามียางล้นออกมาที่ปากของ ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์ และจากทฤษฎีของการดันยาง คือ ปริมาตรยางที่ป้อนเข้าต้องเท่ากับปริมาตรของยางที่ถูกดันออกมา ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณปริมาตรการป้อนยางของสภาพการทำงานปัจจุบัน จากสูตรการคำนวณปริมาตร คือ

$$M = DV$$

เมื่อ M คือ น้ำหนัก (Kg)

D คือ ความหนาแน่น (Kg/m^3)

V คือ ปริมาตร (m^3)

จากการคำนวณปริมาตรการป้อนเข้าที่ความกว้างยางคอมปาวน์ที่ใช้ในปัจจุบันเท่ากับ 70 เซนติเมตร เท่ากับ 36.93 Kg/Min เมื่อเทียบกับการคำนวณปริมาตรยางที่ถูกดันออกมาเท่ากับ 30.46 Kg/Min แสดงให้เห็นว่าปริมาตรยางป้อนเข้ามากกว่าปริมาตรยางที่ถูกดันออกมา ทางผู้วิจัยจึงได้คำนวณหาความกว้างของยางคอมปาวน์ที่เหมาะสมที่ทำให้ปริมาตรยางป้อนเข้าเท่ากับปริมาตรยางที่ถูกดันออกมา ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณคือ ความกว้างยางคอมปาวน์ 60 เซนติเมตร

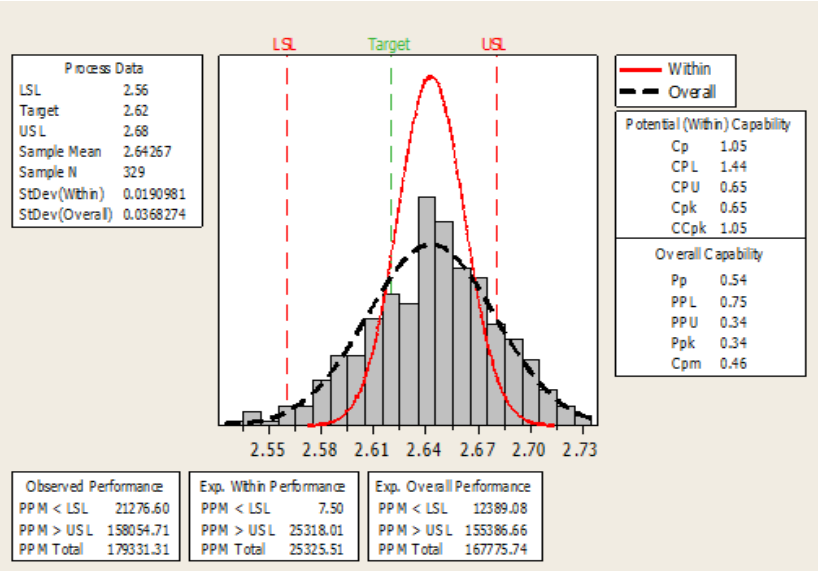
ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการลดความกว้างของยางคอมปาวน์ที่แผนกผสมยาง (Banburry Mixing) จาก 70 เซนติเมตร เป็น 60 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4-19 แล้วนำมาทำการผลิตที่แผนกดันยาง(Extruding) และวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน(F-Test) และการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต(Process Capability) พบว่ายางที่ลดความกว้างยางคอมปาวน์นั้นความแปรปรวนลดน้อยลงเท่ากับ 0.000467 ดังตารางที่ 4-15 และ Cpk เท่ากับ 1.09 ซึ่งยางที่ลดความกว้างมีโอกาสเกิดของเสียลดลงจาก 16.77 % เป็น 2.84% ดังภาพที่ 4-20 และ 4-21

ภาพที่ 4-19 การลดความกว้างยางคอมปาวน์จาก 70 เซนติเมตรเป็น 60 เซนติเมตร

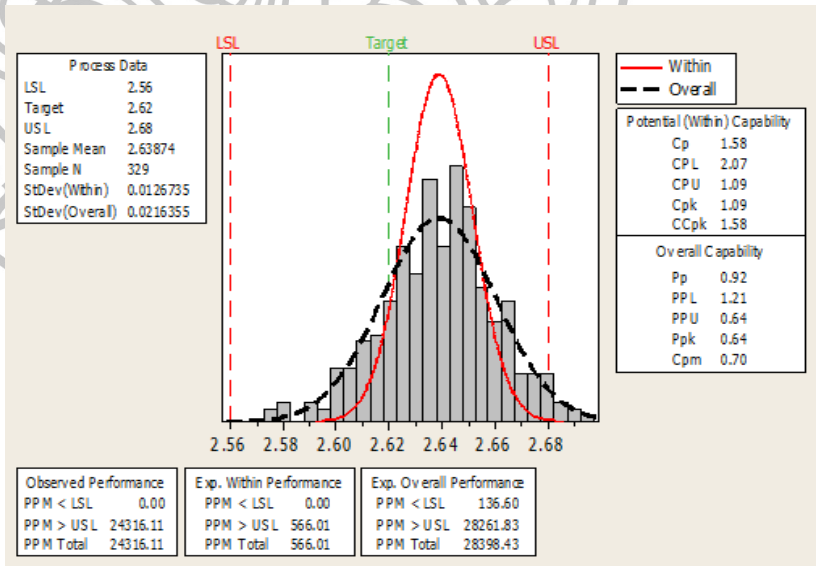
ตารางที่ 4-15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (F-Test) ของความกว้างยางคอมปาวน์

F-Test Two-Sample for Variances

	60 CM ยางที่ลดความกว้าง	70 CM ยางปกติ
Mean	2.638741641	2.642671733
Variance	0.000467381	0.001354191
Observations	329	329
df	328	328
F	0.34513693	
P(F<=f) one-tail	0	
F Critical one-tail	0.833678643	



ภาพที่ 4-20 ผลของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของความกว้างยางคอมปาวน์ที่ 70 เซนติเมตร



ภาพที่ 4-21 ผลของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) ของความกว้างยางคอมปาวน์ที่ 60 เซนติเมตร

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความกว้างของยางคอมปาวน์มากเกินไป ส่งผลทำให้ปริมาตรของยางป้อนเข้ามากกว่าปริมาตรของยางที่ถูกดันออกมา ทำให้การควบคุมการดันยางไม่คงที่และเกิดปัญหาอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงปรับลดความกว้างยางคอมปาวน์จาก 70 เซนติเมตร เป็น 60 เซนติเมตร

2.1.2. สภาวะที่ใช้ในการดันยางไม่เหมาะสม

สภาวะที่ใช้ในการดันยางไม่เหมาะสม เนื่องจากพบว่าในช่วงของค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ที่แตกต่างกัน พบว่า การปรับความเร็วสายพานไม่คงที่ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการพิสูจน์โดยการออกแบบการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ กับ ความเร็วของสายพาน โดยแบ่งระดับของค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เป็น 6 ระดับ และ ความเร็วของสายพาน เป็น 5 ระดับ ตามตารางที่ 4-16 โดยค่าตอบสนองที่ใช้คือ น้ำหนักของชิ้นงาน Shoulder ที่มีน้ำหนักเท่ากับ 2.62 ±0.06 กิโลกรัมต่อคู่

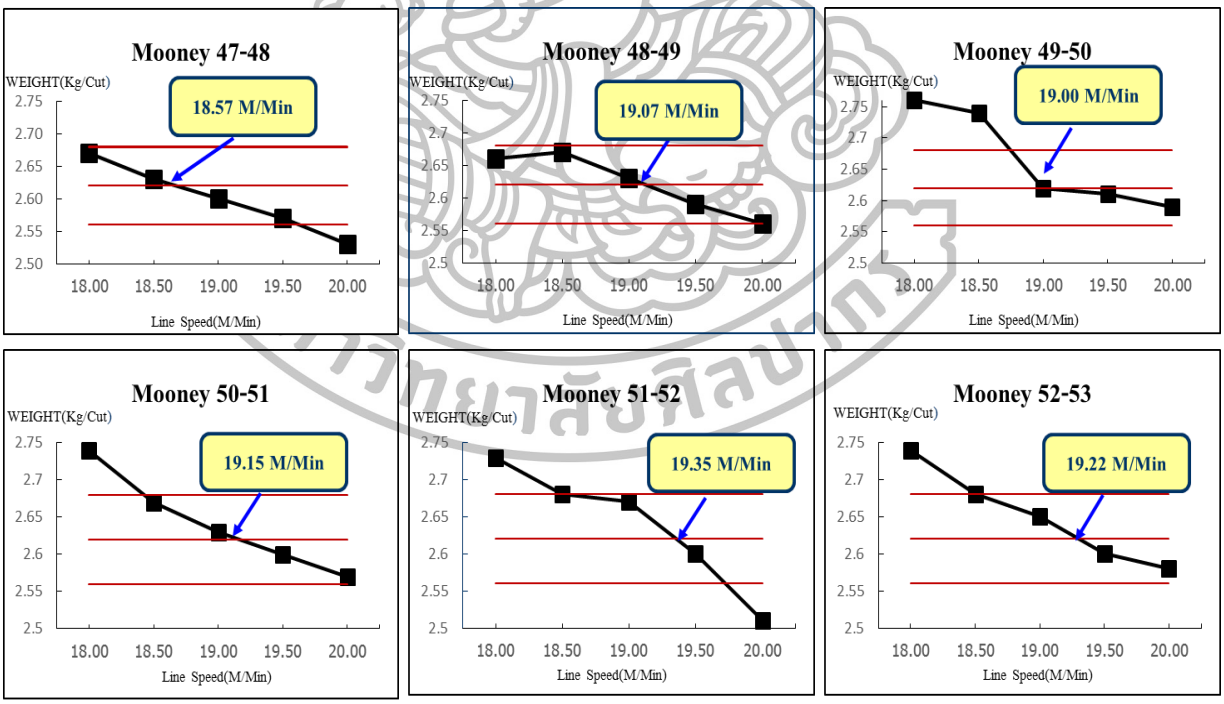
ตารางที่ 4-16 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ กับ การปรับความเร็วสายพาน

Factors	Factors Level					
1.ความหนืดของยางคอมปาวน์	47-48	48-49	49-50	50-51	51-52	52-53
2. ความเร็วสายพาน	18	18.5	19	19.5	20	-

ผลจากการทดลองพบว่าในช่วงของค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ ที่แตกต่างกันจะใช้ความเร็วสายพานที่แตกต่างกันในการเริ่มต้นการผลิต เพื่อให้น้ำหนักของชิ้นงานอยู่ที่ค่ากลางของข้อกำหนด คือ 2.62 กิโลกรัมต่อคู่ ดังภาพที่ 4-22 สามารถสรุปสภาวะได้ดังนี้

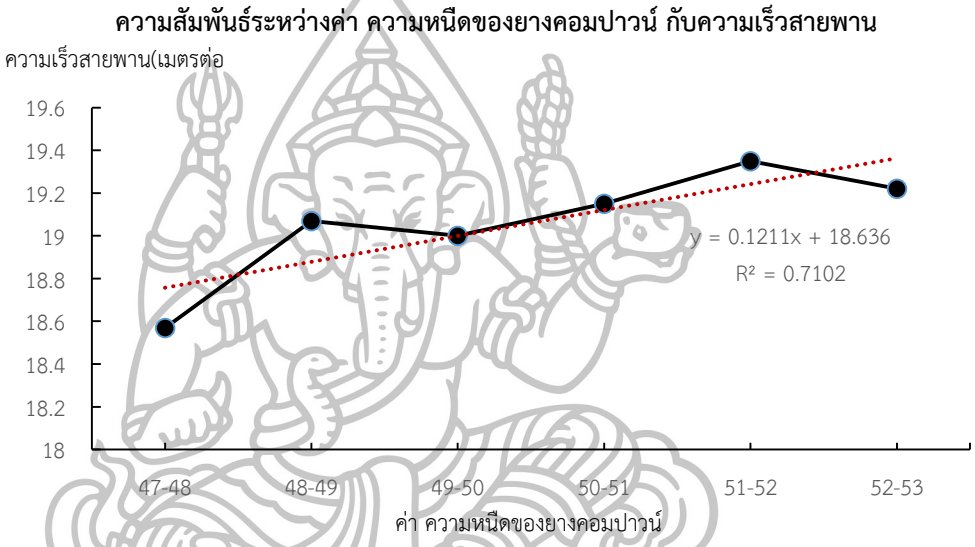
1. ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เท่ากับ 47 ถึง 48 ต้องใช้ความเร็วสายพานเริ่มต้นในการผลิตเท่ากับ 18.57 เมตรต่อนาที

2. ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เท่ากับ 48 ถึง 49 ต้องใช้ความเร็วสายพานเริ่มต้นในการผลิตเท่ากับ 19.07 เมตรต่อนาที
3. ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เท่ากับ 49 ถึง 50 ต้องใช้ความเร็วสายพานเริ่มต้นในการผลิตเท่ากับ 19.00 เมตรต่อนาที
4. ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เท่ากับ 50 ถึง 51 ต้องใช้ความเร็วสายพานเริ่มต้นในการผลิตเท่ากับ 19.15 เมตรต่อนาที
5. ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เท่ากับ 51 ถึง 52 ต้องใช้ความเร็วสายพานเริ่มต้นในการผลิตเท่ากับ 19.35 เมตรต่อนาที
6. ค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์เท่ากับ 52 ถึง 53 ต้องใช้ความเร็วสายพานเริ่มต้นในการผลิตเท่ากับ 19.22 เมตรต่อนาที



ภาพที่ 4-22 แสดงผลของค่าความเร็วสายพานที่เหมาะสมกับค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ในแต่ละช่วง

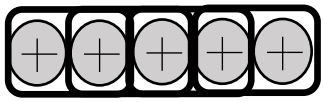
เมื่อนำค่าความเร็วสายพานที่เหมาะสมกับค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ในแต่ละช่วง มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) พบว่า ความเร็วสายพานมีความสัมพันธ์กับค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ มาก เนื่องจากค่า R^2 เท่ากับ 0.7102 โดยพบว่าเมื่อค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ เพิ่มขึ้น (ยางแข็ง) ความเร็วสายพานจะเพิ่มขึ้นด้วย ดังภาพที่ 4-23



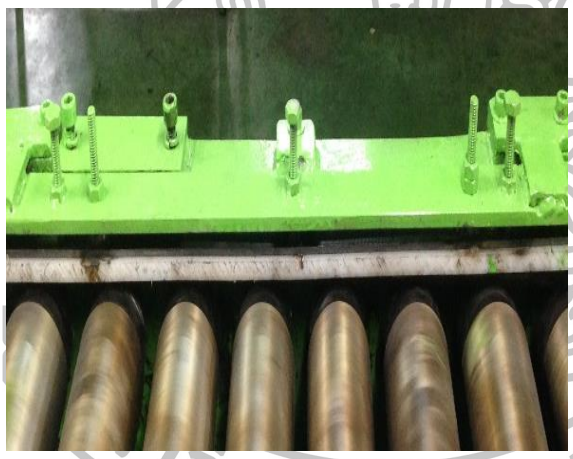
ภาพที่ 4-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์กับความเร็วสายพาน

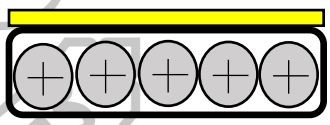
2.1.3 หน้าสัมผัสของลูกกลิ้งสัมผัสกับยางไม่สม่ำเสมอ

จากภาพที่ 4-12 พบว่าในช่วงที่ 1 คือ Shrinkage#1 ค่าพิสัยของลูกกลิ้งแต่ละลูกมีการกระตุกจริงและมากกว่าที่ตำแหน่งอื่น ทางทีมของผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาสาเหตุของการกระตุกของลูกกลิ้งชุด Shrinkage#1 ซึ่งพบว่าลูกกลิ้งชุดนี้มีจำนวน 35 ลูกและใช้มอเตอร์ขับโซ่สายพาน 1 ตัว ซึ่งต่างจากชุด Shrinkage 2,3,4 ที่มีลูกกลิ้งชุดละ 8 ตัว และแต่ละชุดสายพานใช้มอเตอร์ขับชุดละ 1 ตัว และจากภาพที่ 4-12 จะพบว่าลูกกลิ้งที่อยู่ห่างจากมอเตอร์ขับจะมีการกระตุกของลูกกลิ้งมากกว่าลูกกลิ้งที่อยู่ใกล้มอเตอร์ขับ จากการปรึกษากับทีมผู้เชี่ยวชาญด้านการดันยาง (Extruding) คือ ปัจจุบันบริษัทตัวอย่างใช้โซ่แบบข้อต่อในการขับเคลื่อนให้ลูกกลิ้งหมุน ซึ่งจะทำให้ในบางช่วงลูกกลิ้งเกิดการกระชาก จึงได้ทำการทดลองโดยการเปลี่ยนโซ่ที่ใช้ขับสายพานลูกกลิ้งจากโซ่แบบข้อต่อมาเป็นโซ่เส้นเดียว ดังภาพที่ 4-24 พบว่าหลังจากใช้โซ่เส้นเดียวในการขับสายพานลูกกลิ้ง ค่าพิสัยในการกระตุกของลูกกลิ้งลดลง จาก 0.89 เมตรต่อนาที เป็น 0.28 เมตรต่อนาที ดังภาพที่ 4-25



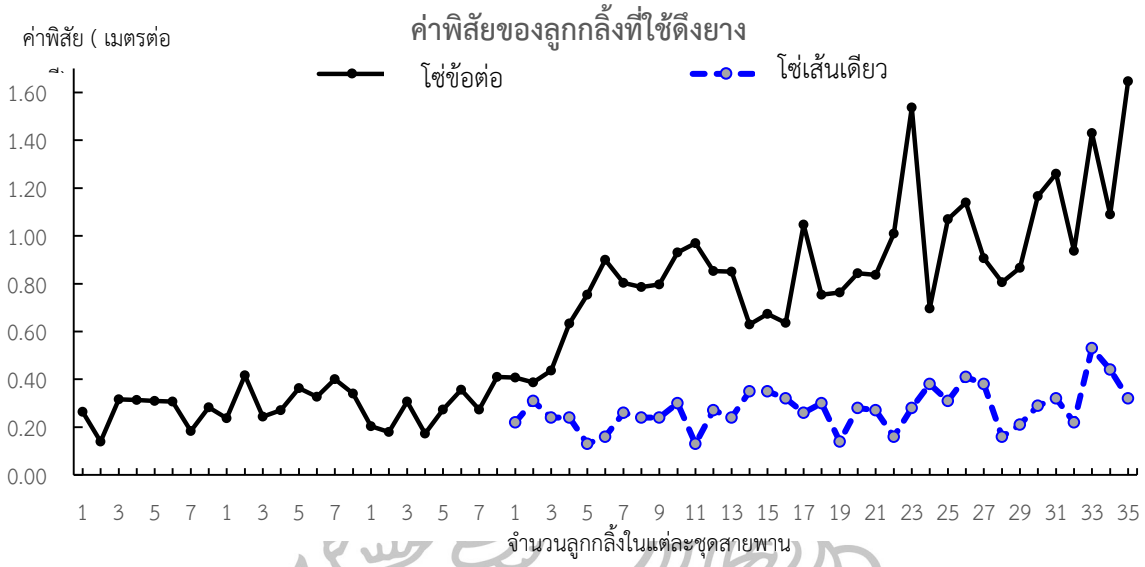
ลักษณะโซ่ข้อต่อ (ก่อนปรับปรุง)





ลักษณะโซ่เส้นเดียว (หลังปรับปรุง)

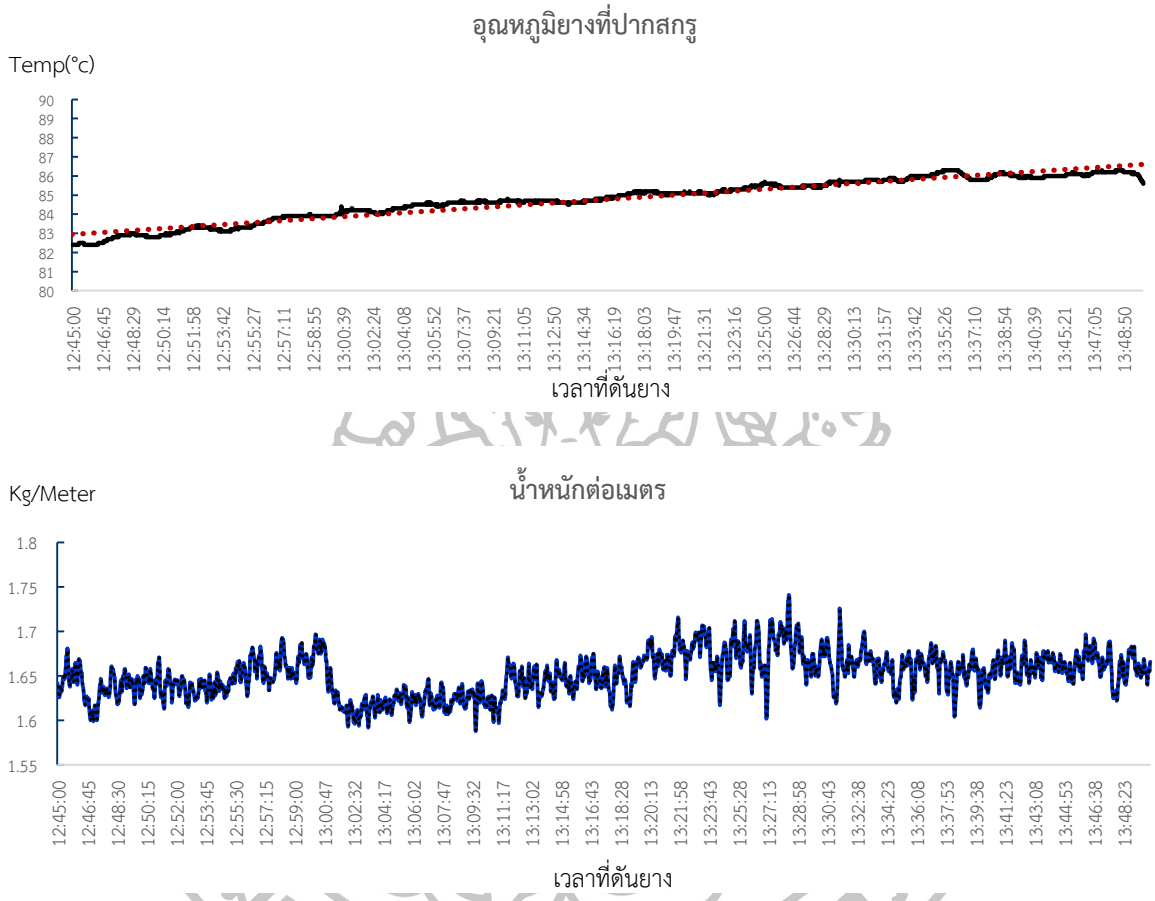
ภาพที่ 4-24 ลักษณะของโซ่ข้อต่อ (ก่อนปรับปรุง) และ โซ่เส้นเดียว (หลังปรับปรุง)



ภาพที่ 4-25 กราฟเปรียบเทียบค่าพิสัยของความเร็วลูกกลิ้งระหว่างการใช้โซ่ข้อต่อ(ก่อนปรับปรุง) กับโซ่เส้นเดียว(หลังปรับปรุง)

2.1.4 อุณหภูมิยางที่ปากสกรู

เนื่องจากในการดันยางออกจากหัวดัน เพื่อแปรสภาพจากยางคอมปาวน์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นให้กลายมาเป็นยางที่ถูกผสมเข้ากัน ปัจจัยสำคัญ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ทางผู้วิจัยจึงมีข้อสงสัยและมีการพิสูจน์ว่าอุณหภูมิยางที่ปากสกรูมีผลต่ออาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดหรือไม่ จากภาพที่ 4-26 พบว่าที่ช่วงเวลาเดียวกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของยางที่ปากสกรูไม่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักต่อเมตร หรือ น้ำหนักต่อชิ้นของชิ้นงาน



ภาพที่ 4-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิยางที่ปากสกรูกับน้ำหนักต่อเมตรของชิ้นงาน ที่แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน

4.6.1. สรุปปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์หารากเหง้าของปัญหา (Root Cause Analysis)

จากการพิสูจน์และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเฝ้าระวังในข้อที่ 4.1.5.1 สามารถสรุปผลของปัจจัยที่ส่งผลต่ออาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดทั้ง 2 ช่วงได้ดังนี้

1.น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาการปัญหาคือ

1.1. ปริมาตรการป้อนยางไม่คงที่ เนื่องจากมียางขาดช่วงในช่วงรอยต่อของยางระหว่างพาเลท

1.2. ลูกกลิ้งที่ใช้กดยางในช่วงของรอยต่อระหว่างพาเลท น้ำหนักของแรงกดไม่พอที่จะทำให้ยางทั้งสองแผ่นไม่แยกออกจากกัน

2.น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างการผลิต

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอาการของปัญหา คือ

1.1. ปริมาตรยางป้อนเข้ามากกว่ายางที่ถูกดันออกมา เนื่องจากความกว้างของยางคอมปาวน์มากเกินไป

1.2. สภาวะที่ใช้ในการดันยางไม่เหมาะสม คือ ในแต่ละช่วงของค่า ความหนืดของยางคอมปาวน์ ที่ต่างกัน จะใช้ค่าความเร็วสายพานที่แตกต่างกันด้วย

1.3. หน้าสัมผัสของลูกกลิ้งสัมผัสกับยางไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากลูกกลิ้งดึงยางมีการกระตุกหรือกระชาก

4.7.การสร้างมาตรการป้องกัน/ปรับปรุง/แก้ไขความสูญเปล่า

ในการสร้างมาตราการและการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดในช่วงของการต่อยางระหว่างพาเลทและระหว่างกระบวนการผลิต สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 แสดงมาตรการและการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต

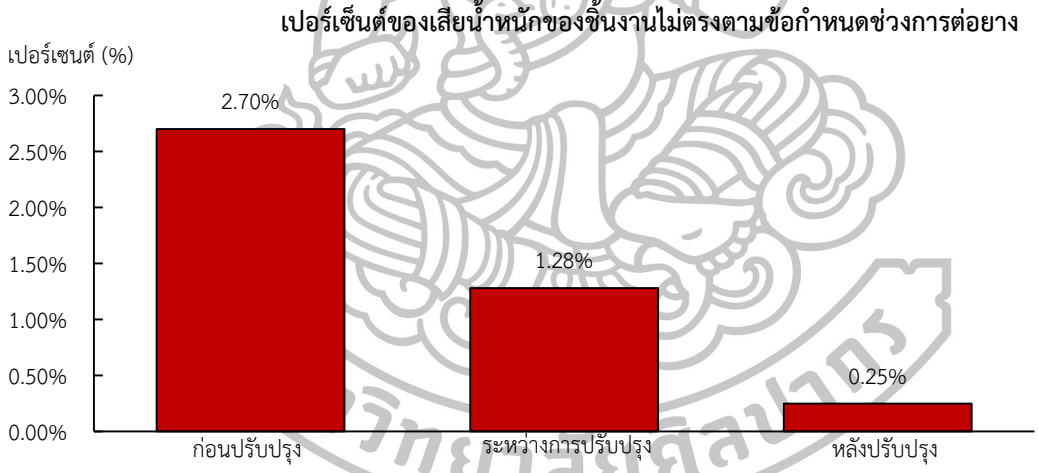
อาการ		กระบวนการ	รู้จริง		รู้เร็ว		แก้ไขไว
			สาเหตุ/ปัจจัย	การปรับปรุง	ความถี่/จำนวน	การควบคุม	
น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนด	ช่วงต่อยางระหว่างพาเลท	การป้อนยางเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์	แรงกดของลูกกลิ้งป้อนยางไม่พอ	เปลี่ยนเป็นลูกกลิ้งกดสัมผัสแบบเต็มหน้า เพื่อเพิ่มแรงกด	ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน	พนักงานเตรียมคอมเปาว์คอยควบคุมช่วงการต่อยางคอมเปาว์	กรณีลูกกลิ้งมีปัญหา แจ้งหัวหน้าแผนก เพื่อแจ้ง MAINTENANCE ดำเนินการแก้ไข
	ระหว่างกระบวนการผลิต	การป้อนยางเข้าปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์	ปริมาตรการป้อนยางเข้าสกรูมากกว่าปริมาตรยางออก	ลดความกว้างยางคอมปาวน์ (ลดปริมาตรป้อนเข้า)	ทุกพาเลทที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน SHOULDER D511	กำหนดมาตรฐานความกว้างยางป้อน	แยกพาเลทไว้พร้อมแจ้งหัวหน้า และใช้พาเลทอื่นก่อน
			ความหนืดยางคอมปาวน์	กำหนดความเร็วสายพานเริ่มต้นที่ใช้ในแต่ละช่วงของค่ามูนนี่	ทุกครั้งที่ทำการผลิต SHOULDER D511	กำหนดเป็นสภาวะให้กับพนักงานเพื่อใช้ในการผลิต	ปรับความเร็วสายพานเพื่อควบคุมให้น้ำหนักยางได้ข้อกำหนด
		การดันยางออกจากหัว DIE ไปยัง Roller	ความเร็วสายพาน				
			ความสม่ำเสมอของลูกกลิ้ง Roller ที่ดึงยาง	เปลี่ยนโซ่ขับสายพานเป็นแบบโซ่เดี่ยว	ลูกกลิ้งชุด SHRINKAGE CONVEYOR ทุกลูก	การตรวจเช็คเครื่องจักรประจำวัน	กรณีลูกกลิ้งมีปัญหา แจ้งหัวหน้าแผนก เพื่อแจ้งMAINTENANCE ดำเนินการแก้ไข
กรณีพบงานเสีย			ตรวจสอบทั้ง 5 ปัจจัยใหม่		หัวหน้างานสุ่มตรวจทุก 1 ชม.	หัวหน้างานตรวจสอบ	แยกของเสียลงพาเลทเพื่อนำกลับไป REWORK ใหม่

4.8. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออาการปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลทและน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างการผลิต และดำเนินการแก้ไขปรับปรุงตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น โดยแบ่งผลการดำเนินงานเป็น 2 ส่วนคือ

1.น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

ก่อนปรับปรุงของเสียเท่ากับ 2.7 % เมื่อดำเนินการกำหนดมาตรฐานความยาวของรอยต่อในการต่อยางและออกแบบลูกกลิ้งกดยางให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทำให้ของเสียหลังปรับปรุงเท่ากับ 0.25% (ลดลง 2.45%) ดังภาพที่ 4-27

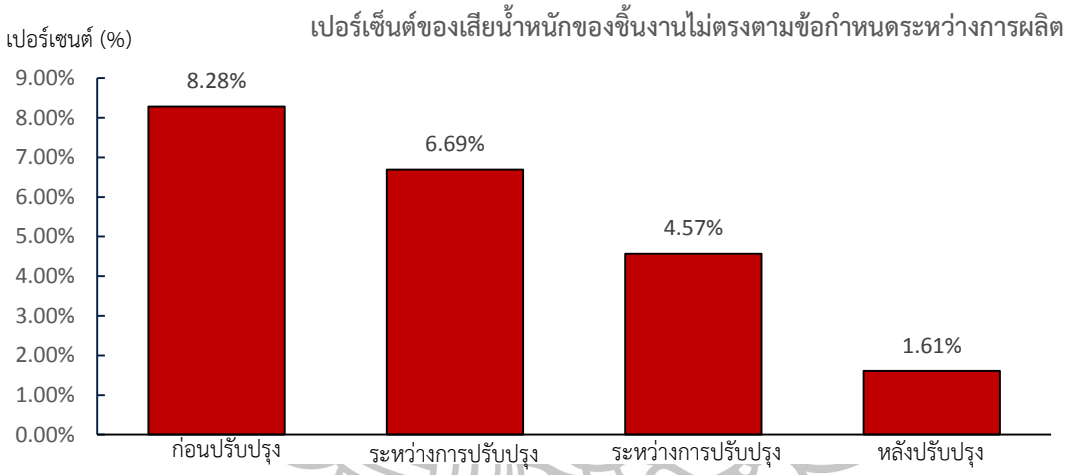


ภาพที่ 4-27 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ของเสียน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท ก่อนและหลังการปรับปรุง

ในส่วนของมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมพบว่า ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง 623,076 บาทต่อปี และสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 1,096.2 กิโลวัตน์-ชั่วโมงต่อปี นอกจากนี้ยังสามารถลดการปล่อย Co2 ได้เท่ากับ 1,827.27 กิโลกรัมต่อปี

2.น้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างกระบวนผลิต

ก่อนปรับปรุงของเสียเท่ากับ 8.28 % เมื่อดำเนินการลดความกว้างยางคอมปาวน์ที่ป้อนเข้าสกรู จาก 70 เซนติเมตร เป็น 60 เซนติเมตร , กำหนดสภาวะการดันยางในการปรับความเร็วสายพานในแต่ละค่าของ ความหนืดของยางคอมปาวน์ และออกแบบโซ่ขับสายพานใหม่ ทำให้ของเสียหลังปรับปรุงเท่ากับ 1.61% (ลดลง 6.67%) ดังภาพที่ 4-28



ภาพที่ 4-28 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ของเสียน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างการผลิต ก่อนและหลังการปรับปรุง

ในส่วนของมุมมองด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมพบว่า ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง 1,696,308 บาทต่อปี และสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 3,061.68 กิโลวัตน์-ชั่วโมงต่อปี นอกจากนี้ยังสามารถลดการปล่อย Co2 ได้เท่ากับ 4,958.33 กิโลกรัมต่อปี

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีผลต่อการทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยางรถยนต์ในแผนกดันยาง (Extruding)โดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษากระบวนการผลิตไหล่ยาง(Shoulder) โดยจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาของเสียของการผลิตสำหรับการผลิตไหล่ยางรุ่นการผลิต A ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาอาการปัญหาอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดใน 2 ช่วงคือ

1. ปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท โดยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่จะส่งผลต่อการเกิดอาการของปัญหาจากการสัมภาษณ์พนักงานและการวิเคราะห์กระบวนการผลิต โดยการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ในการศึกษาช่วงความยาวรอยต่อของการต่อยางที่จะทำให้การป้อนยางไม่ขาดช่วง ซึ่งผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าการป้อนยางขาดช่วงหรือไม่ต่อเนื่อง (ปริมาตรยางช่วงการต่อยางน้อย) จะส่งผลต่อการเกิดอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดในช่วงของการต่อยาง โดยการเปรียบเทียบในเชิงสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่ม(F-Test)

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบว่าปัจจัยหรือสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดช่วงการต่อยาง คือ ปริมาตรการป้อนยางเข้าในช่วงการต่อยางไม่ต่อเนื่อง เพราะระยะช่วงรอยต่อน้อยเกินไปเมื่อสกรูดึงยางคอมปาวน์เข้าส่วนที่ใช้ป้อน ทำให้รอยต่อแยกออกจากกัน ประกอบกับน้ำหนักของลูกกลิ้งที่ใช้กดรอยต่อมีน้ำหนักน้อยเกินไป จากการศึกษาระยะรอยต่อที่เหมาะสมคือ ความยาวรอยต่อในช่วงไม่เกิน 100 เซนติเมตร และไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังได้ออกแบบลูกกลิ้งที่ใช้ในการกดยางให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น พบว่าสามารถลดจำนวนสัดส่วนของเสียน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลทลดลง 2.45 % คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 623,076 บาทต่อปี

2. ปัญหาน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดระหว่างการผลิต โดยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่จะส่งผลต่อการเกิดอาการของปัญหาจากการสัมภาษณ์พนักงานและการวิเคราะห์กระบวนการผลิต ซึ่งพบว่าสิ่งผิดปกติที่พบในกระบวนการผลิต คือ 1) ลูกกลิ้งที่ใช้ดึงยางบริเวณหัวดันมีการกระตุก หน้าสัมผัสของลูกกลิ้งสัมผัมกับยางไม่ต่อเนื่อง จึงต้องมีการออกแบบโซ่ขับสายพานใหม่ 2) ยางล้นที่ปาก ส่วนที่ใช้ป้อนยางคอมปาวน์ ระหว่างการป้อนยางเข้าสกรู จึงมีการทดลองปรับลดความกว้างยางคอมปาวน์ที่

ป้อนเข้าสกรูจาก 70 เซนติเมตร เป็น 60เซนติเมตร และวิเคราะห์เปรียบเทียบจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของประชากรสองกลุ่ม (F-Test) กับการวิเคราะห์ความสามารถในกระบวนการผลิต(Cpk) นอกจากนี้ได้มีการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) ในการหาค่าความเร็วสายพานที่เหมาะสมกับค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ในแต่ละช่วง พบว่าสามารถลดจำนวนสัดส่วนของเสียน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดระหว่างการผลิตลดลง 6.67 % คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 1,696,308 บาทต่อปี

เมื่อคิดเทียบของเสียอาการน้ำหนักของชิ้นงานไม่ตรงข้อกำหนดของการผลิตไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 12.04 % เป็น 4.25% (ลดลง 7.79%) คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 2,319,384 บาทต่อปี ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4,157.88 กิโลวัตน์-ชั่วโมงต่อปี และลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์(Co_2) เท่ากับ 6,779.6 กิโลกรัมต่อปี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ (Mooney Viscosity) ที่เพิ่มขึ้นหรือยางคอมปาวน์แข็งขึ้น เมื่อทิ้งยางคอมปาวน์ไว้หลายวัน ซึ่งการทดลองครั้งต่อไปควรจะศึกษาการออกแบบการทดลองในกรณีที่ทิ้งยางคอมปาวน์ไว้หลายวันด้วย

5.5.2 สำหรับการต่อยางระหว่างพาเลท วิธีการหาระยะที่เหมาะสมในการต่อยางกับเพิ่มน้ำหนักลูกกลิ้งที่ใช้กดยาง อาจจะยังไม่เป็นวิธีการที่ดีที่สุด หากมีการออกแบบให้รอยต่อสามารถยึดตึดกันได้ตลอดทุกครั้งที่มีการต่อยางระหว่างพาเลท จะทำให้ของเสียช่วงการต่อยางลดลงเป็น 0 % ได้

5.5.3 ในการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงปัญหาความเหนียวหรือซ้อนพับติดกันของยางคอมปาวน์ที่ส่งมาจากแผนกผสมยาง (Banbury) ซึ่งควรจะศึกษาแก้ไขปัญหาเพิ่มเติมในส่วนนี้ เพราะยางคอมปาวน์ที่เหนียวและซ้อนพับติดกันมาส่งผลต่อการป้อนยางขาดช่วง และ ป้อนยางเข้าไม่สม่ำเสมอ

รายการอ้างอิง

[1] บริษัทโอตานิเรเดียล จำกัด. (2554). **คู่มือการใช้งานยางรถยนต์**.

[2] **Extrusion Process**. เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.dizaynvida.com/en/urun.aspx?urun_ID=2.

[3] อุดมศักดิ์ จิตสงบ. (2550). **การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)**, เข้าถึงเมื่อ 31 สิงหาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.bigqtraining.com.

[4] ภาณุ บูรณจารุกร. **เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC TOOLS)**. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.nubi.nu.ac.th.

[5] **Pareto Diagram**. (2551). เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2558. เข้าถึงได้จาก http://www.tpmconsulting.org/dic_des.php?id=179.

[6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (2551). **สถิติวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

[7] ชุติมา ราชพิทักษ์. (2551). **“การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชินนิ่ง โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรม ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[8] จักริน ยิ้มย่อง. (2555) **“การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียโดยใช้หลักการซิกซ์ซิกมา : กรณีศึกษา บริษัท เล็นตัส เทคโนโลยี่ส์ (ไทย) จำกัด.”** ปริญญานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการวิศวกรรมธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[9] โสภิดา ท้วมมี. (2551). **“การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การ ออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก.”** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

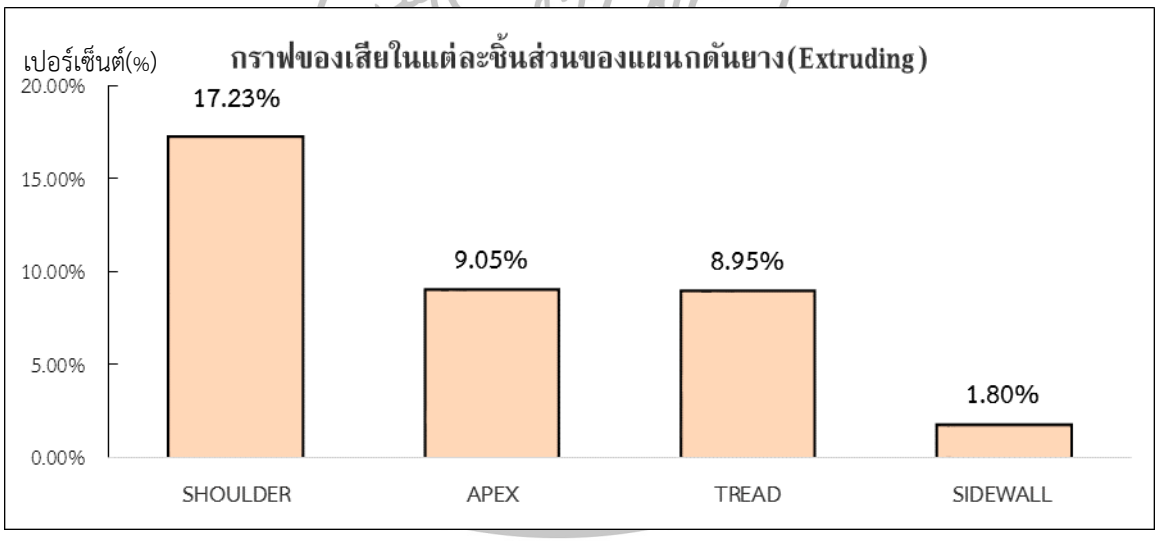
[10] E.V. Gijo, Johny Scaria and Jiju Antony. (2011). **“ Application of sixma methodology to reduce defects of a grinding.”** Quality and Reliability Engineering International.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลของเสียรวมของแต่ละการผลิตชิ้นส่วนของแผนกดันยาง (Extruding)

ตารางที่ ก-1 แสดงข้อมูลของเสียของแต่ชิ้นส่วนของแผนกดันยาง (Extruding) ช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง ตุลาคม 2557

NO.	Component	Avg Produce Pcs/Month	% Demand	% Accumulate	Avg NG Pcs/Month	% NG	TREND Pcs/Month
1	APEX	46,226	27.32%	27.32%	4,602	9.05%	54,488
2	SHOULDER	45,385	26.82%	54.14%	9,448	17.23%	54,488
3	SIDEWALL	54,968	32.48%	86.62%	1,009	1.80%	54,488
4	TREAD	22,646	13.38%	100.00%	2,225	8.95%	27,244
TOTAL		169,224	100%				



ภาพที่ ก-1 กราฟแสดงจำนวนของเสียในส่วนของการผลิตในแต่ละชิ้นส่วนของแผนกดันยาง (Extruding) เดือนพฤษถาคม ถึง ตุลาคม 2557

ตารางที่ ก-2 แสดงข้อมูลของเสียในแต่ละชิ้นส่วนที่ผลิตภายในแผนกดันยาง(Extruding) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม ถึง ตุลาคม 2557

Component	หัวข้อ	เดือน/2014						ข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน
		May	June	July	August	September	October	
APEX	ยอดการผลิต(เส้น/เดือน)	47,875	32,946	45,903	46,520	52,966	51,144	46,226
	ของเสีย (เส้น/เดือน)	3,031	4,642	4,558	4,538	5,590	5,251	4,602
	เปอร์เซนต์ NG (%)	5.95%	12.35%	9.03%	8.89%	9.55%	9.31%	9.05%
SHOULDER	ยอดการผลิต(เส้น/เดือน)	43,848	34,286	42,112	47,634	52,846	51,582	45,385
	ของเสีย (เส้น/เดือน)	10,652	9,396	7,572	10,830	7,590	10,648	9,448
	เปอร์เซนต์ NG (%)	19.54%	21.51%	15.24%	18.52%	12.56%	17.11%	17.23%
TREAD	ยอดการผลิต(เส้น/เดือน)	23,138	16,054	21,619	23,079	26,204	25,784	22,646
	ของเสีย (เส้น/เดือน)	2,211	1,846	2,356	2,098	2,830	2,011	2,225
	เปอร์เซนต์ NG (%)	8.72%	10.31%	9.83%	8.33%	9.75%	7.24%	8.95%
SIDEWALL	ยอดการผลิต(เส้น/เดือน)	53,601	39,624	53,332	58,797	60,668	63,783	54,968
	ของเสีย (เส้น/เดือน)	1,002	1,023	1,236	729	878	1,186	1,009
	เปอร์เซนต์ NG (%)	1.84%	2.52%	2.27%	1.23%	1.43%	1.83%	1.80%

ตารางที่ ก-3 แสดงข้อมูลของเสียในการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เดือนสิงหาคม 2557

CODE	ยอดการผลิต (เส้น)	หัวยาง	หางยาง	น้ำหนักไม่ได้สเปค	ริมขาด	ยางตาย	รอยตัดเสีย	พองลม	ผลรวม (เส้น)
A	11,310	148	148	1844	12	255	8		2,415
B	2,062	90	100	430	10	46			676
C	816	34	38	178		26			276
D	6,342	102	108	462	88	74	12		846
E	7,644	138	156	1180	10	100		10	1,594
F	6,698	118	128	822	26	126	4		1,224
G	4,710	126	94	1212	18	216		50	1,716
H	1,764	52	38	430			8		528
I	3,690	96	106	308	14	36			560
J	1,408	62	60	544		24			690
K	348	8	12	98					118
L	40	16	8	438					462

ตารางที่ ก-4 แสดงข้อมูลของเสียในการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เดือนกันยายน 2557

CODE	ยอดการผลิต(เส้น)	หัวยาง	หางยาง	น้ำหนักไม่ได้สเปค	ริมขาด	ยางเป็นรอย	ยางตาย	ผลรวม(เส้น)
A	13,374	104	120	1,204	6		8	1442
B	1,898	58	46	262	24		12	402
C	918	58	42	76				176
E	3,432	78	176	384	24		26	688
F	12,042	140	176	1070	64		24	1474
G	8,764	134	108	978	104		34	1358
I	2,406	78	92	298	14			482
J	932	44	44	254				342
K	796	20	22	40				82
L	2,870	102	140	596	74	20		932
M	1,134	32	30	204	8			274

ตารางที่ ก-5 แสดงข้อมูลของเสียในการผลิตชิ้นงานไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A เดือนตุลาคม 2557

CODE	ยอดการผลิต(เส้น)	ห้วยาง	หางยาง	น้ำหนักไม่ได้สเปค	ริมขาด	ยางเป็นรอย	ยางตาย	รอยตัดเสีย	พองลม	ผลรวม(เส้น)
A	10,558	116	148	824	26	18	100	86	16	1,334
C	918	30	24	372	6					432
D	1,600	68	62	548	10					688
E	3,654	72	94	306	42					514
F	13,570	146	146	1,150	118		54	8		1,622
G	5,132	86	88	958	82		44			1,258
I	4,510	140	150	998	18		12			1,318
J	200	12	8	4						24
L	2,026	112	102	1,012	50					1,276
M	5,394	82	112	704	14		28			940
N	778	42	46	380						468
O	30	20	20							40
P	2,246	64	60	728	34					886

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการผลิตและของเสียก่อนและหลังปรับปรุงของการผลิตชิ้นงาน ไหล่ยาง (Shoulder) รุ่นการผลิต A

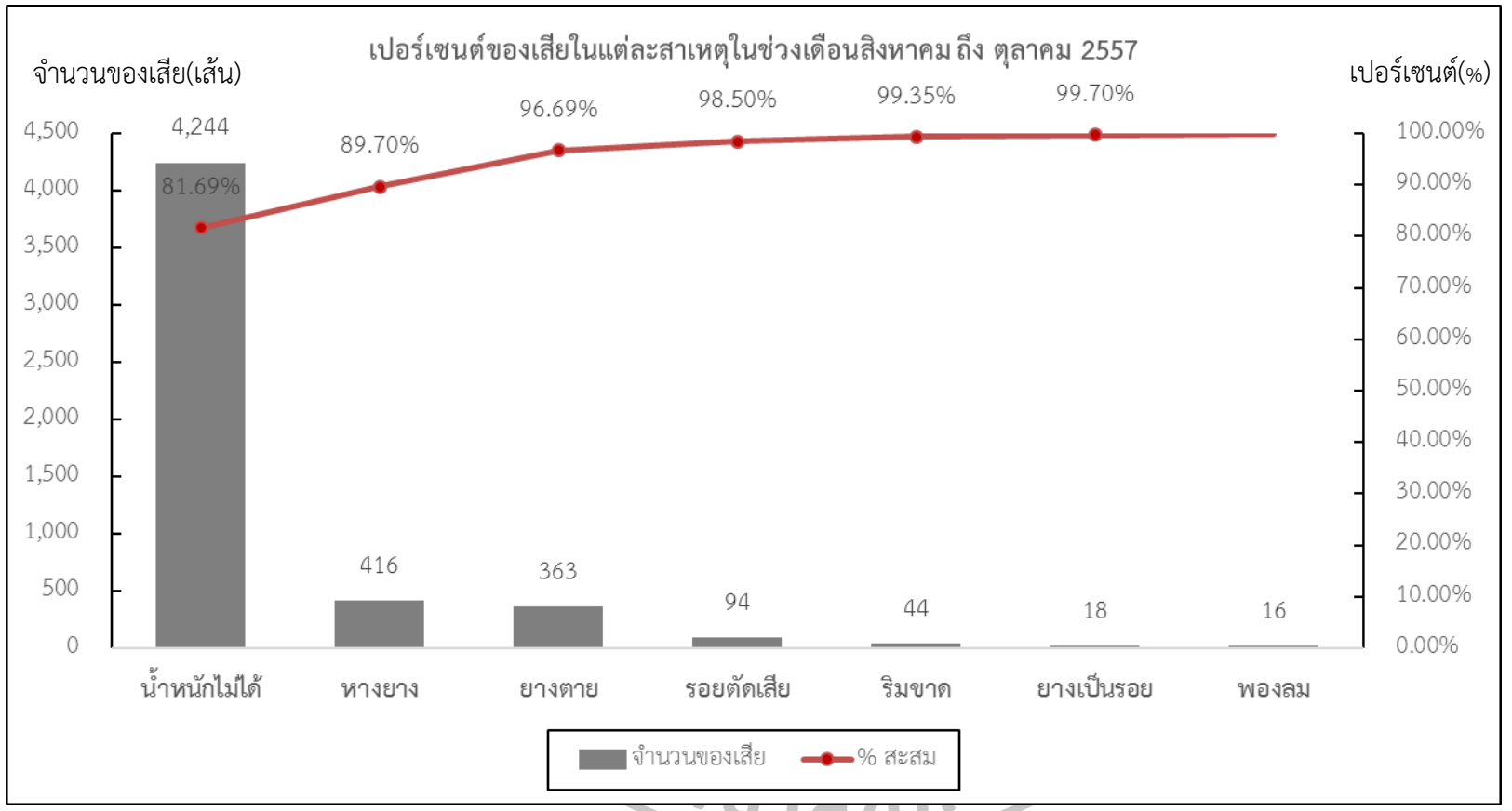
ตารางที่ ข-1 สรุปของเสียของการผลิตไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A ก่อนการปรับปรุง ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง ตุลาคม 2557

อันดับ	อาการของเสีย	จำนวนของเสีย (เส้น)	% ของเสีย	% ของเสียสะสม	% สะสม
1	น้ำหนักไม่ได้	4,244	12.04	12.04	81.69%
2	หางยาง	416	1.18	13.22	8.01%
3	ยางตาย	363	1.03	14.25	6.99%
4	รอยตัดเสีย	94	0.027	14.52	1.81%
5	ริมขาด	44	0.012	14.64	0.85%
6	ยางเป็นรอย	18	0.005	14.70	0.35%
7	พองลม	16	0.005	14.74	0.31%
ยอดของเสีย (เส้น)		5,195			
ยอดการผลิต (เส้น)		35,242			

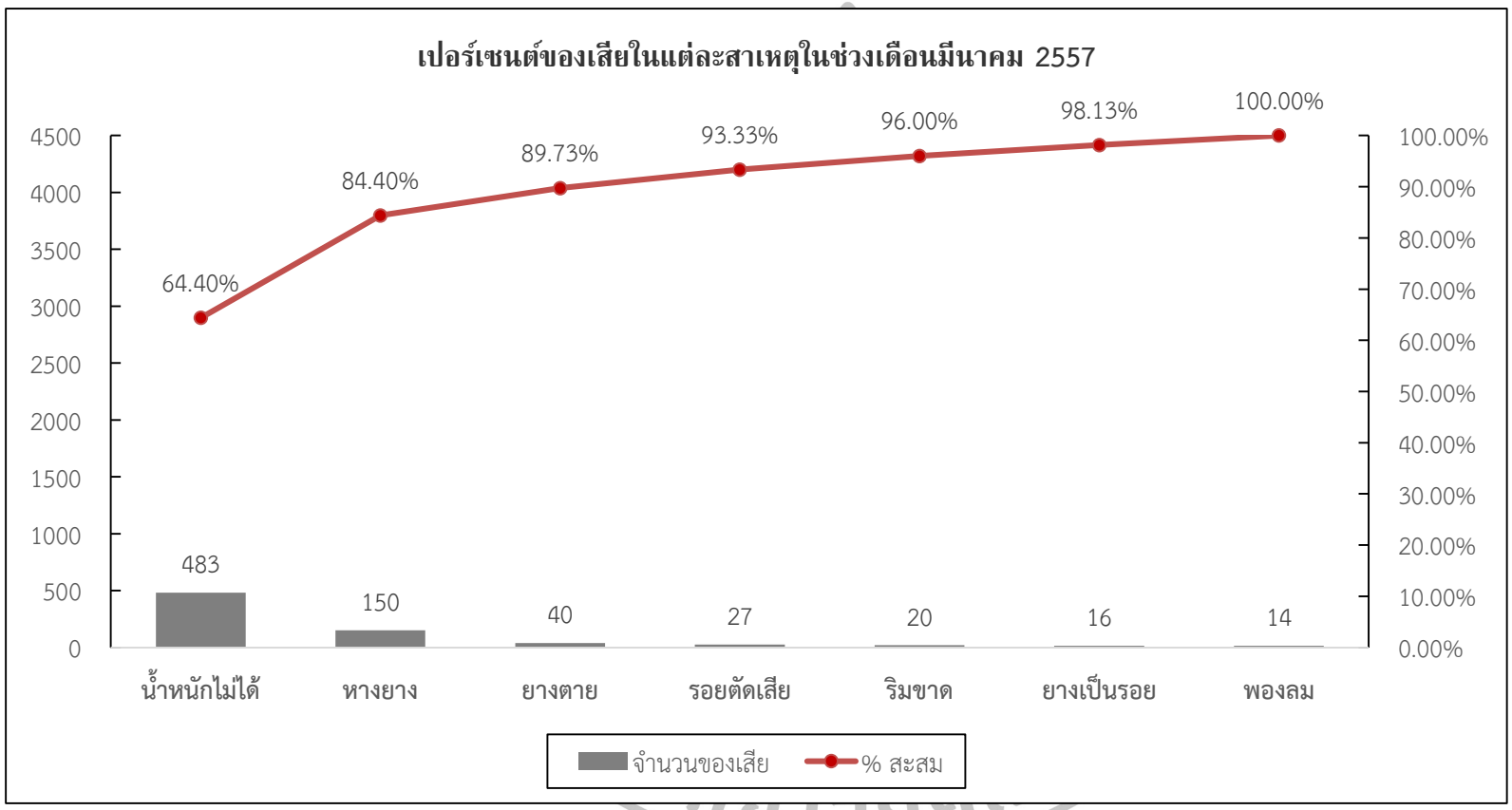
มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ข-2 สรุปของเสียของการผลิตไหล่ยาง(Shoulder) รุ่นการผลิต A หลังการปรับปรุงในช่วงเดือนมีนาคม 2557

ลำดับ	อาการของเสีย	จำนวนของเสีย (เส้น)	% ของเสีย	% ของเสียสะสม	% สะสม
1	น้ำหนักไม่ได้	483	4.25	4.25	64.40%
2	หางยาง	150	1.32	5.57	20.00%
3	ยางเป็นรอย	40	0.035	5.92	5.33%
4	ริมขาด	27	0.024	6.15	3.60%
5	ยางตาย	20	0.018	6.33	2.67%
6	พองลม	16	0.014	6.47	2.13%
7	ความยาวไม่ได้	14	0.012	6.59	1.87%
ยอดของเสีย (เส้น)		750			
ยอดการผลิต(เส้น)		11,374			



ภาพที่ ข-1 กราฟแสดงสาเหตุของเสียก่อนปรับปรุงในช่วงเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม 2557



ภาพที่ ข-2 กราฟแสดงสาเหตุของเสียหลังปรับปรุงเดือนมีนาคม 2558

ภาคผนวก ค

สภาวะจากการเก็บข้อมูลและการทดลอง

ตารางที่ ค-1 ตารางข้อมูลสภาวะที่ได้จากการตารางการเก็บข้อมูล (Check Sheet) ในขั้นตอนการสัมภาษณ์พนักงาน เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

น้ำหนักต่อ CUT					**น้ำหนักต่อเมตร**					สภาวะการดันยาง						**ความยาว**		
เวลา	ค่าจริง	LCL	CL	UCL	**เวลา**	**ค่าจริง**	**LCL**	**CL**	**UCL**	เวลา	รอบสกรู (RPM)	กระแส (A)	Line Speed(M/Min)	ความกว้างด้าน R	ความกว้างด้าน L		**Skiver Process**	
9:11:12	2.84	2.56	2.62	2.68	9:04:31	0.02	1.62	1.65	1.68	90425	17.8	374	9.22	84	161	**ชิ้นงานที่**	ความยาวชิ้นงาน (เมตร)	
9:11:13	4.22	2.56	2.62	2.68	9:04:32	0.55	1.62	1.65	1.68	90430	17.8	351	9.21	127	138		ขวา	ซ้าย
9:11:14	4.56	2.56	2.62	2.68	9:04:33	0.94	1.62	1.65	1.68	90435	17.8	365	9.22	126	127	1	1743	1745
9:11:15	4.61	2.56	2.62	2.68	9:04:34	1.33	1.62	1.65	1.68	90440	17.9	398	9.22	124	125	2	1743	1740
9:11:17	4.53	2.56	2.62	2.68	9:04:35	1.75	1.62	1.65	1.68	90445	17.9	400	9.2	123	125	3	1745	1745
9:11:18	4.48	2.56	2.62	2.68	9:04:36	2.18	1.62	1.65	1.68	90450	17.9	357	8.16	125	126	4	1745	1743
9:11:19	4.25	2.56	2.62	2.68	9:04:37	2.62	1.62	1.65	1.68	90455	17.8	389	7.39	128	129	5	1745	1743
9:11:22	3.06	2.56	2.62	2.68	9:04:38	3.01	1.62	1.65	1.68	90500	17.9	384	17.8	131	132	6	1746	1748
9:11:28	2.71	2.56	2.62	2.68	9:04:39	3.06	1.62	1.65	1.68	90505	17.8	383	17.8	132	134	7	1748	1745
9:11:35	2.73	2.56	2.62	2.68	9:04:40	3.04	1.62	1.65	1.68	90510	17.8	360	17.8	131	134	8	1741	1744
9:11:41	2.7	2.56	2.62	2.68	9:04:41	3.04	1.62	1.65	1.68	90515	17.8	386	17.7	133	135	9	1743	1748

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ตารางข้อมูลสภาวะที่ได้จากการตารางการเก็บข้อมูล (Check Sheet) ในขั้นตอนการสัมภาษณ์พนักงาน เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

น้ำหนักต่อ CUT					**น้ำหนักต่อเมตร**					สภาวะการดันยาง						**ความยาว**		
เวลา	ค่าจริง	LCL	CL	UCL	**เวลา**	**ค่าจริง**	**LCL**	**CL**	**UCL**	เวลา	รอบสกรู (RPM)	กระแส (A)	Line Speed(M/Min)	ความกว้างด้าน R	ความกว้างด้าน L	ชิ้นงานที่	**Skiver Process**	
9:11:48	2.72	2.56	2.62	2.68	9:04:42	3.02	1.62	1.65	1.68	90520	17.8	377	17.8	132	133	10	1744	1740
9:11:53	2.71	2.56	2.62	2.68	9:04:43	2.93	1.62	1.65	1.68	90525	17.9	379	17.8	118	119	11	1745	1743
9:12:01	2.65	2.56	2.62	2.68	9:04:44	2.84	1.62	1.65	1.68	90530	17.8	381	17.7	106	108	12	1746	1748
9:12:06	2.65	2.56	2.62	2.68	9:04:45	2.77	1.62	1.65	1.68	90535	17.9	366	17.8	106	109	13	1747	1745
9:12:13	2.65	2.56	2.62	2.68	9:04:46	2.71	1.62	1.65	1.68	90540	17.8	325	17.8	106	109	14	1745	1743
9:12:19	2.67	2.56	2.62	2.68	9:04:47	2.65	1.62	1.65	1.68	90545	17.8	379	17.8	101	108	15	1744	1746
9:12:26	2.7	2.56	2.62	2.68	9:04:48	2.62	1.62	1.65	1.68	90550	17.9	376	17.8	106	108	16	1746	1745
9:12:32	2.68	2.56	2.62	2.68	9:04:49	2.6	1.62	1.65	1.68	90555	17.8	356	17.8	108	109	17	1743	1745
9:12:39	2.67	2.56	2.62	2.68	9:04:50	2.59	1.62	1.65	1.68	90600	17.8	406	17.7	107	108	18	1743	1746
9:12:45	2.66	2.56	2.62	2.68	9:04:51	2.57	1.62	1.65	1.68	90605	17.8	378	17.8	106	108	19	1745	1747
9:12:52	2.64	2.56	2.62	2.68	9:04:52	2.55	1.62	1.65	1.68	90610	17.8	381	17.8	106	107	20	1745	1747
9:12:57	2.66	2.56	2.62	2.68	9:04:53	2.56	1.62	1.65	1.68	90615	17.8	396	17.8	106	108	21	1747	1747
9:13:05	2.67	2.56	2.62	2.68	9:04:54	2.55	1.62	1.65	1.68	90620	17.8	384	17.7	106	107	22	1747	1746

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ตารางข้อมูลสภาวะที่ได้จากการตารางการเก็บข้อมูล (Check Sheet) ในขั้นตอนการสัมภาษณ์พนักงาน เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

น้ำหนักต่อ CUT					**น้ำหนักต่อเมตร**					สภาวะการดันยาง						**ความยาว**		
เวลา	ค่าจริง	LCL	CL	UCL	**เวลา**	**ค่าจริง**	**LCL**	**CL**	**UCL**	เวลา	รอบสกรู (RPM)	กระแส (A)	Line Speed(M/Min)	ความกว้างด้าน R	ความกว้างด้าน L	ชิ้นงานที่	**Skiver Process**	
9:13:11	2.67	2.56	2.62	2.68	9:04:55	2.55	1.62	1.65	1.68	90625	17.9	393	17.8	106	108	23	1745	1744
9:13:16	2.69	2.56	2.62	2.68	9:04:56	2.56	1.62	1.65	1.68	90630	17.9	348	17.8	107	108	24	1747	1747
9:13:24	2.71	2.56	2.62	2.68	9:04:57	2.55	1.62	1.65	1.68	90635	17.9	379	17.7	106	108	25	1743	1744
9:13:29	2.71	2.56	2.62	2.68	9:04:58	2.54	1.62	1.65	1.68	90640	17.9	385	17.8	107	108	26	1745	1745
9:13:36	2.68	2.56	2.62	2.68	9:04:59	2.56	1.62	1.65	1.68	90645	17.8	380	17.8	106	108	27	1745	1746
9:13:42	2.67	2.56	2.62	2.68	9:05:00	2.58	1.62	1.65	1.68	90650	17.8	375	17.7	106	108	28	1745	1750
9:13:49	2.68	2.56	2.62	2.68	9:05:01	2.63	1.62	1.65	1.68	90655	17.8	395	17.8	106	107	29	1745	1745
9:13:54	2.73	2.56	2.62	2.68	9:05:02	2.69	1.62	1.65	1.68	90700	17.9	386	17.7	106	108	30	1745	1745
9:14:01	2.7	2.56	2.62	2.68	9:05:03	2.75	1.62	1.65	1.68	90705	17.8	378	17.7	106	108	31	1745	1745
9:14:08	2.64	2.56	2.62	2.68	9:05:04	2.81	1.62	1.65	1.68	90710	17.8	370	17.6	107	108	32	1745	1745
9:14:14	2.69	2.56	2.62	2.68	9:05:05	2.87	1.62	1.65	1.68	90715	17.9	369	17.7	108	109	33	1748	1747
9:14:20	2.72	2.56	2.62	2.68	9:05:06	2.89	1.62	1.65	1.68	90720	17.8	378	17.7	101	104	34	1744	1747
9:14:27	2.7	2.56	2.62	2.68	9:05:07	2.9	1.62	1.65	1.68	90725	17.8	382	17.7	107	109	35	1746	1746

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ตารางข้อมูลสภาวะที่ได้จากการตารางการเก็บข้อมูล (Check Sheet) ในขั้นตอนการสัมภาษณ์พนักงาน เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

น้ำหนักต่อ CUT					**น้ำหนักต่อเมตร**					สภาวะการดันยาง						**ความยาว**		
เวลา	ค่าจริง	LCL	CL	UCL	**เวลา**	**ค่าจริง**	**LCL**	**CL**	**UCL**	เวลา	รอบสกรู (RPM)	กระแส (A)	Line Speed(M/Min)	ความกว้างด้าน R	ความกว้างด้าน L	ชิ้นงานที่	**Skiver Process**	
9:14:33	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:08	2.9	1.62	1.65	1.68	90730	17.8	377	17.7	108	109	36	1743	1747
9:14:38	2.67	2.56	2.62	2.68	9:05:09	2.9	1.62	1.65	1.68	90735	17.9	387	17.7	108	109	37	1746	1748
9:14:45	2.71	2.56	2.62	2.68	9:05:10	2.9	1.62	1.65	1.68	90740	17.8	385	17.6	107	109	38	1741	1745
9:14:51	2.72	2.56	2.62	2.68	9:05:11	2.91	1.62	1.65	1.68	90745	17.8	325	17.7	107	108	39	1747	1746
9:14:58	2.73	2.56	2.62	2.68	9:05:12	2.92	1.62	1.65	1.68	90750	17.8	383	17.7	106	108	40	1745	1746
9:15:04	2.7	2.56	2.62	2.68	9:05:13	2.92	1.62	1.65	1.68	90755	17.9	405	17.7	106	108	41	1743	1747
9:15:11	2.68	2.56	2.62	2.68	9:05:14	2.92	1.62	1.65	1.68	90800	17.9	388	17.6	108	109	42	1745	1744
9:15:16	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:15	2.91	1.62	1.65	1.68	90805	17.9	384	17.7	107	109	43	1745	1744
9:15:23	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:16	2.9	1.62	1.65	1.68	90810	17.8	363	17.7	106	108	44	1747	1746
9:15:29	2.64	2.56	2.62	2.68	9:05:17	2.89	1.62	1.65	1.68	90815	17.8	386	17.7	106	107	45	1744	1748
9:15:36	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:18	2.88	1.62	1.65	1.68	90820	17.8	390	17.6	108	109	46	1745	1744
9:15:42	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:19	2.86	1.62	1.65	1.68	90825	17.8	366	17.6	108	109	47	1743	1743
9:15:48	2.65	2.56	2.62	2.68	9:05:20	2.85	1.62	1.65	1.68	90830	17.8	373	17.7	108	109	48	1747	1746

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ตารางข้อมูลสภาวะที่ได้จากการตารางการเก็บข้อมูล (Check Sheet) ในขั้นตอนการสัมภาษณ์พนักงาน เพื่อหาปัจจัยในการออกแบบฟอร์มเก็บข้อมูล

น้ำหนักต่อ CUT					**น้ำหนักต่อเมตร**					สภาวะการดันยาง							**ความยาว**	
เวลา	ค่าจริง	LCL	CL	UCL	**เวลา**	**ค่าจริง**	**LCL**	**CL**	**UCL**	เวลา	รอบสกรู (RPM)	กระแส (A)	Line Speed(M/Min)	ความกว้างด้าน R	ความกว้างด้าน L	ชิ้นงานที่	**Skiver Process**	
9:15:54	2.68	2.56	2.62	2.68	9:05:21	2.85	1.62	1.65	1.68	90835	17.8	377	17.7	107	108	49	1747	1750
9:16:01	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:22	2.86	1.62	1.65	1.68	90840	17.9	409	17.7	107	108	50	1743	1743
9:16:07	2.67	2.56	2.62	2.68	9:05:23	2.87	1.62	1.65	1.68	90845	17.8	362	17.6	107	108	51	1745	1745
9:16:14	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:24	2.89	1.62	1.65	1.68	90850	17.8	379	17.6	108	108	52	1747	1747
9:16:19	2.67	2.56	2.62	2.68	9:05:25	2.9	1.62	1.65	1.68	90855	17.9	372	17.7	107	109	53	1745	1749
9:16:25	2.68	2.56	2.62	2.68	9:05:26	2.89	1.62	1.65	1.68	90900	17.8	388	17.7	107	109	54	1740	1743
9:16:32	2.69	2.56	2.62	2.68	9:05:27	2.85	1.62	1.65	1.68	90905	17.9	394	17.7	107	109	55	1742	1743
9:16:37	2.68	2.56	2.62	2.68	9:05:28	2.78	1.62	1.65	1.68	90910	17.8	366	17.6	108	108	56	1745	1745
9:16:44	2.65	2.56	2.62	2.68	9:05:29	2.69	1.62	1.65	1.68	90915	17.9	389	17.7	106	108	57	1744	1742
9:16:50	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:30	2.59	1.62	1.65	1.68	90920	17.8	346	17.7	106	108	58	1740	1743
9:16:56	2.65	2.56	2.62	2.68	9:05:31	2.47	1.62	1.65	1.68	90925	17.9	378	17.7	107	108	59	1746	1747
9:17:02	2.66	2.56	2.62	2.68	9:05:32	2.33	1.62	1.65	1.68	90930	17.8	381	17.7	107	108	60	1744	1744
9:20:34	2.71	2.56	2.62	2.68	9:05:33	2.16	1.62	1.65	1.68	90935	17.8	370	17.6	106	108	61	1743	1743

ตารางที่ ค-2 ตารางข้อมูลค่าพิสัยของลูกกลิ้งดึงยางของชุด Shrinkage#1 ก่อนการปรับปรุง (ใช้โซ่สายพานแบบข้อต่อ)

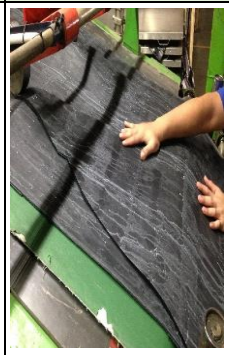
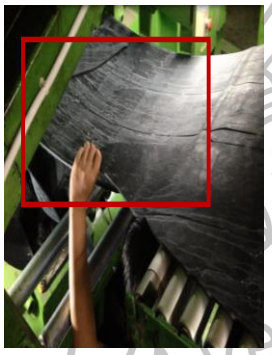
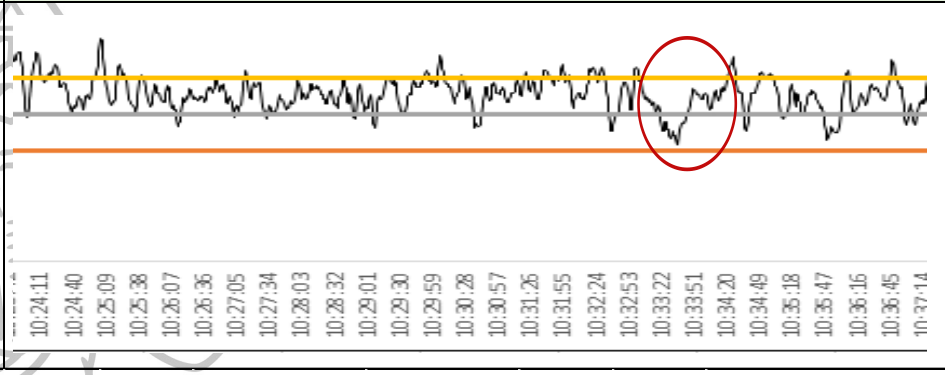
NO.		SHRINKAGE#1																																	
		ความเร็วของลูกกลิ้งแต่ละจุด(M/Min)																																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	Max	20	20	20	21	20	20	20	20	20	21	20	20	21	20	20	21	21	20	20	21	21	21	21	20	20	21	20	21	21	21	21	20	21	20	21
	Min	19	20	20	20	20	19	20	20	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	20	19	20	19	20	20	19	20	19	20	19	19
2	Max	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	21	20	20	20	20	20	20	21	20	21	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	21	21	21
	Min	20	20	19	20	20	19	19	20	19	19	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	19	19	19	19	20	19
3	Max	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	20	20	21	20	20	20	21	20	21	20	20	21	20	21	20	21
	Min	19	19	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	19	19	20	19	19	19	19	19	20	19	19	19	19	19	19	19
Average Max		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	20	20	20	20	21	21	20	20	21	20	20	20	20	21	20	21	20	21
Average Min		19	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	20	20	20	19	20	20	20	20	20	19	20	19	20	19	19	19	20	20	19	19	19	19	19	19
Range		0.41	0.39	0.44	0.63	0.75	0.90	0.80	0.79	0.80	0.93	0.97	0.85	0.85	0.63	0.67	0.64	1.05	0.75	0.76	0.84	0.84	1.01	1.54	0.70	1.07	1.14	0.91	0.81	0.87	1.17	1.26	0.94	1.43	1.09	1.65

ตารางที่ ค-3 ตารางข้อมูลค่าพิสัยของลูกกลิ้งดึงยางของชุด Shrinkage#1 หลังการปรับปรุง (ใช้โซ่สายพานแบบเส้นเดียว)

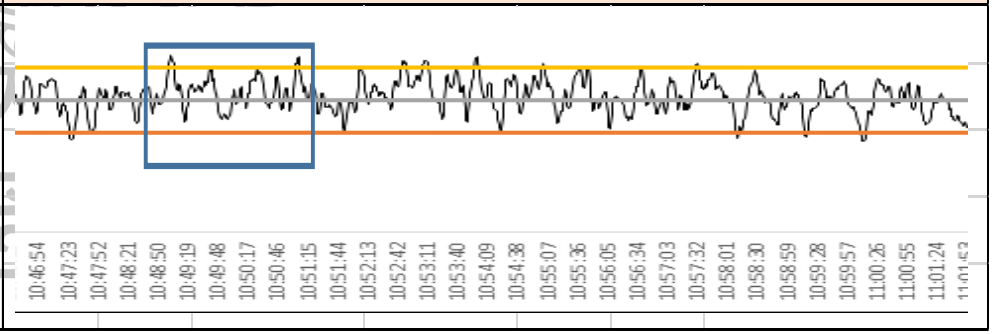
NO.		SHRINKAGE#1																																		
		ความเร็วของลูกกลิ้งแต่ละจุด(M/Min)																																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
1	Max	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Min	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	17	18	18
Range		0.22	0.31	0.24	0.24	0.13	0.16	0.26	0.24	0.24	0.30	0.13	0.27	0.24	0.35	0.35	0.32	0.26	0.30	0.14	0.28	0.27	0.16	0.28	0.38	0.31	0.41	0.38	0.16	0.21	0.29	0.32	0.22	0.53	0.44	0.32

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ ค-4 ตารางผลการทดลองการต่อยางแบบขาดช่วง ในช่วงอาการน้ำหนักไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

วิธีการต่อยาง	ตำแหน่ง	รูปภาพประกอบ(ต่อยาง)	รูปภาพประกอบ(เข้าปาก Hopper)	ผลการทดลอง(น้ำหนักต่อนาที)
ต่อระหว่างพาเลท	พาเลทบน			

ตารางที่ ค-5 ตารางผลการทดลองการการต่อยางแบบเกยทับกัน ในช่วงอาการน้ำหนักไม่ตรงตามข้อกำหนดช่วงการต่อยางระหว่างพาเลท

วิธีการต่อยาง	ขนาด(กว้าง*ยาว*หนา)	ภาพประกอบ	ผลการทดลอง(น้ำหนักต่อนาที)
รอยต่อระหว่าง BATCH	ขนาด70*20*0.16 CM		

ตารางที่ ค-6 ตารางข้อมูลสภาวะที่ใช้ในการทดลองในแต่ละช่วงของค่าความหนืดของยางคอมปาวน์ในช่วงอาการน้ำหนักไม่ตรงตามข้อกำหนดระหว่างการผลิต

No.	Mooney Range	Batch No.(1)	Mooney	Batch No.(2)	Mooney	ครั้งที่ทดลอง	Line Speed (RPM) : Target 2.62 Kg/คู่				
							18.00	18.50	19.00	19.50	20.00
1	47-48	138-140	47.7	135-137	47.9/48.1	Cpk	0.20	1.14	0.97	0.45	-0.52
						Average (Kg/คู่)	2.67	2.63	2.60	2.57	2.53
						SD	0.020	0.016	0.013	0.007	0.019
2	48-49	129-131	48.2/49.1	141-143	48.1/48.9	Cpk	0.01	0.43	1.21	0.85	0.02
						Average (Kg/คู่)	2.66	2.67	2.63	2.59	2.56
						SD	0.024	0.009	0.014	0.010	0.016
3	49-50	117-119	49.2/49.0	57-59	49.4/50.4	Cpk	-0.89	-0.96	1.23	1.87	0.26
						Average (Kg/คู่)	2.74	2.74	2.64	2.62	2.59
						SD	0.023	0.019	0.011	0.009	0.037
4	50-51	148-150	50.6	154-156	50.4	Cpk	-1.21	0.32	1.22	1.38	0.17
						Average (Kg/คู่)	2.74	2.67	2.63	2.60	2.57
						SD	0.017	0.015	0.012	0.010	0.009
5	51-52	51-53	51.5/51.5	157-159	52.7/50.4	Cpk	0.31	1.73	0.31	1.73	0.69
						Average (Kg/คู่)	2.73	2.68	2.67	2.62	2.59
						SD	0.014	0.011	0.013	0.013	0.007
6	52-53	151-153	53.7/52.8	163-165	53.9/52.8	Cpk	-1.83	-0.09	1.08	1.05	0.65
						Average (Kg/คู่)	2.74	2.68	2.65	2.60	2.58
						SD	0.011	0.011	0.010	0.012	0.011

ตารางที่ ค-7 ตารางข้อมูลสรุปสภาวะความเร็วสายพานกับค่าความหนืดของยางคอมปาวน์

ค่าความหนืดของยางคอมปาวน์	**LINE SPEED (M/Min)**
47-48	18.57
48-49	19.07
49-50	19.00
50-51	19.15
51-52	19.35
52-53	19.22

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ภาคผนวก ง

การพัฒนาตนเอง

เข้าร่วมงานการประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ (Conference on Industrial Operations Development) ครั้งที่ 6 ประจำปี 2558 จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วันที่ 12 พฤษภาคม 2558 ณ โรงแรมรามาการ์เด้นส์ กรุงเทพมหานคร วิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ ดร. ธเนศ เตชะเสน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล: นางสาวลัดดาวัลย์ บุญฤทธิ์
ที่อยู่: 6/5 หมู่ 4 ต. ท่ากระชับ อ. นครชัยศรี จ. นครปฐม 73120
โทร: 098-2757367
E-mail: aung_@hotmail.com

ประวัติการศึกษา:

พ.ศ. 2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนราชินีบูรณะ จังหวัดนครปฐม

พ.ศ. 2555 ระดับปริญญาตรี
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

พ.ศ. 2558 ระดับปริญญาโท
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการงานวิศวกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม