การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล่อยยาง

นางสาววาสนา ช่อมะลิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

LOSS TIME REDUCTION OF MIXING MACHINE FROM RUBBER STICKING AT DROP DOOR

Miss Wasana Chowmali

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล่อยยาง
โดย	นางสาววาสนา ช่อมะลิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

…… กรรมการ
(อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

วาสนา ช่อมะลิ : การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล่อยยาง. (LOSS TIME REDUCTION OF MIXING MACHINGE FROM RUBBER STICKING AT DROP DOOR) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย, 156 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางและจัดทำมาตรฐานการทำงานเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผสมยางของโรงงานผลิตยางรถยนต์ โดยได้นำแนวทางของซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 5 ระยะ(DMAIC) ได้แก่ (I) ระยะกำหนดปัญหา(D)ได้ทำการคัดเลือกปัญหาที่จะทำการวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางแก้ไข คือ ปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางมีสาเหตุหลักมาจากยางติดประตูปล่อยยาง โดย ยางสูตร A ที่มีส่วนผสมของซิลิกาเป็นหลัก ทำให้เกิดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรสูงถึง 31.9% (II) ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา(M) พบว่า สาเหตุหลักของปัญหาปัจจัยด้านคนและวิธีการ และปัจจัยด้านเครื่องจักร 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) อุณหภูมิของโรเตอร์ 2) อุณหภูมิแชมเบอร์ 3) อุณหภูมิประตูปล่อยยาง 4) ความเร็วโรเตอร์ และ 5) เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง (III) ระยะการหาวิธีการแก้ปัญหา (A) ประกอบด้วย 2 วิธี คือ การสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงานและการออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนแฟคทอเรียล แบบ 1 เรพลิเคต เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่า ปัจจัยที่ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง 4) ความเร็วโรเตอร์ และ 5) เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง มีผลอย่างมีนัยสำคัญ และใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร (IV) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (I) ได้นำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติตามแผนงานที่กำหนดไว้ (V) ระยะควบคุมและติดตามผล (C) พบว่า หลังจากปรับปรุงสามารถลดปัญหายางสูตร A ติดประตูปล่อยยางได้จาก 31.9 % เป็น 14.3% เป็นไปตามวัตถุประสงค์หลัก

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2555.....

5371444321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS : LOSS TIME REDUCTION / SIX SIGMA / DMAIC / DESING OF EXPERIMENT
WASANA CHOWMALI: LOSS TIME REDUCTION OF MIXING MACHINE FROM RUBBER STICKING AT DROP DOOR. ADVISOR: ASST.PROF NATCHA THAWESAENGSKULTHAI., 156 pp.

This research aims to reduce loss time of mixing machine and set standard method of the improved loss time that occur on a mixing process of tyre manufacturing by using six sigma approach

The methodology was composed of five phases (DMAIC). Phase I (D) defined quality problem definition which indicated that loss time came from rubber sticking at machine drop door. In addition, a majority of the problem (31.9%) stems from compound A which has high proportion of silica mixed. Phase II (M) identified root cause, the possible causes of the problem came from operator, work method and machine set up. The possible five factors were1) rotor temperature 2) chamber temperature 3) drop door temperature 4) rotor speed 5) open drop door time. Phase III (A) generated problem-solving solution which was composed of two alternatives: the development of work instruction and design of experiment. The 2^{k-1} fractional factorial design with a single replicate was then used to screen factors. The result found that the factor 3) drop door temperature 4) rotor speed and 5) open drop door time are highly significant affect to the high percentage of defectives. Then the optimal levels of significant factors were determined using a response surface methodology. Phase IV (I) selected the alternative application and implement action plan that generated from the previous phase. Phase V (C) is the control phase which evaluates results from the implementation. It was found that the percentage of loss time from rubber sticking at drop door reduce from 31.9% to 14.3%

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ทั้งคำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆในการนำไปปรับปรุงในงานวิทยานิพนธ์ รวมถึงการติดตามงานเป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย และรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำ ตรวจทานแก้ไข ข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้บริหารและทีมงานโรงงานกรณีศึกษา สำหรับการให้โอกาสทำการศึกษาและปรับปรุงสายการผลิตในงานวิจัย รวมถึงความร่วมมือในการเข้าร่วมประชุมของคณะทำงานในการให้แนวคิดจากการระดมสมอง เก็บข้อมูลและร่วมทำการทดลอง อีกทั้งยังให้ความรู้และข้อเสนอแนะนำทางเทคนิค เพื่อนำไปปรับปรุงงานเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว ที่คอยให้การสนับสนุนในทุกด้าน พร้อมทั้งให้ความเข้าใจและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา..... 2

1.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท..... 3

1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต..... 3

1.4 ส่วนประกอบของยาง..... 4

1.5 กระบวนการผลิต..... 5

1.6 แผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการผลิต..... 12

1.7 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 13

1.8 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 14

1.9 ขอบเขตของงานวิจัย..... 14

1.10 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 15

1.11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 15

1.12 วิธีดำเนินการวิจัย..... 15

1.13 แผนการดำเนินงานวิจัย..... 18

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 19

สารบัญ

หน้า

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 19

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 45

บทที่ 3 ระยะกำหนดปัญหา..... 53

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน..... 53

3.2 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผสมยาง..... 54

3.3 การนิยามปัญหา..... 57

3.4 สรุประยะกำหนดปัญหา..... 62

บทที่ 4 ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา..... 63

4.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)..... 63

4.2 การวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหาจากแผนผังแสดงสาเหตุและผล..... 68

4.3 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ..... 71

4.4 สรุประยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา..... 80

บทที่ 5 ระยะการหาวิธีการแก้ปัญหา..... 81

5.1 วิธีการแก้ปัญหาแต่ละสาเหตุ..... 81

5.2 การออกแบบการทดลอง..... 83

5.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา..... 98

บทที่ 6 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 100

6.1 การสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงาน..... 100

6.2 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม..... 103

6.3 การนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ..... 113

6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 117

สารบัญ

หน้า

บทที่ 7 ระยะการควบคุมและติดตามผล..... 119

7.1 ข้อมูลหลังการนำวิธีแก้ปัญหาไปปฏิบัติ..... 119

7.2 การประเมินผล..... 122

7.3 สรุประยะการควบคุมและติดตามผล..... 123

บทที่ 8 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 124

8.1 สรุปผลการวิจัย..... 124

8.2 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะ..... 127

8.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย..... 134

8.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย..... 134

8.5 ข้อเสนอแนะ..... 134

รายการอ้างอิง..... 136

ภาคผนวก..... 138

ภาคผนวก ก รหัสของเวลาสูญเสียของเครื่องจักรแต่ละประเภท..... 139

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์การทดลองจากโปรแกรม MINITAB..... 140

ภาคผนวก ค การสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต..... 144

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 157

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องจักรของแผนกผสมยางในปี 2011..... 13

ตารางที่ 1.2 แสดงแผนการดำเนินงานวิจัย..... 18

ตารางที่ 2.1 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน..... 30

ตารางที่ 2.2 แสดงเศษส่วน $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^3 ทั้งสองแบบ..... 39

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ซิกซ์ ซิกมา และการออกแบบการทดลอง..... 51

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการผลิตยาง..... 52

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร..... 65

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบวัดโดย AIAG..... 65

ตารางที่ 4.3 ลำดับในการวัดและชิ้นงานที่ต้องทำการวัดของพนักงานแต่ละคน..... 66

ตารางที่ 4.4 แสดงสาเหตุทั้งหมดที่ส่งผลต่อเวลาสูญเสียเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง 70

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การประเมิน Severity..... 72

ตารางที่ 4.6 เกณฑ์การประเมิน Occurrence..... 73

ตารางที่ 4.7 เกณฑ์การประเมิน Detection..... 74

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการผสมยาง..... 75

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหาและค่า RPN โดยเรียงจากค่ามากไปค่าน้อย... 79

ตารางที่ 5.1 ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองเพื่อหาความมีนัยสำคัญ..... 84

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab..... 85

ตารางที่ 5.3 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) สำหรับ 2^{5-1} 86

ตารางที่ 5.4 แสดงลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab..... 90

ตารางที่ 5.5 แสดงผลค่าน้ำหนักของยางที่ได้จากการทดลอง..... 91

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง..... 96

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 6.1 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม..... 104
ตารางที่ 6.2 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม..... 105
ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบโดย Minitab..... 109
ตารางที่ 6.4 ผลการหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimizer)..... 112
ตารางที่ 6.5 แผนการดำเนินงานแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A..... 113
ตารางที่ 7.1 ผลของการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ..... 123
ตารางที่ 8.1 ผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆในงานวิจัย..... 125
ตารางที่ 8.2 ผลการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้..... 132

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงถึงการพยากรณ์ตลาดยางรถยนต์ 5 ปีล่วงหน้า..... 1
รูปที่ 1.2 แสดงส่วนประกอบของยางรถยนต์..... 5
รูปที่ 1.3 แสดงแผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการผลิตยาง..... 12
รูปที่ 1.4 แสดงสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องจักร 1..... 14
รูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิรายละเอียดขั้นตอน D-M-A-I-C..... 21
รูปที่ 2.2 หลักการพาเรโต..... 24
รูปที่ 2.3 แผนภาพพาเรโตแสดงชนิดของสาเหตุ ก-ช..... 25
รูปที่ 2.4 การระบุปัญหา..... 26
รูปที่ 2.5 การระบุสาเหตุหลัก..... 27
รูปที่ 2.6 ความแตกต่างของความแม่นยำและความเที่ยงตรง..... 28
รูปที่ 2.7 รูปแบบของแผนภาพการกระจาย..... 31
รูปที่ 2.8 แสดงถึงองค์ประกอบของการออกแบบการทดลอง..... 36
รูปที่ 2.9 แผนภูมิควบคุม..... 43
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการผสมยาง..... 56
รูปที่ 3.2 ภาพตัดแสดงองค์ประกอบของเครื่องผสมยาง..... 57
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไป เนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554..... 59
รูปที่ 3.4 แผนภาพพาเรโตแสดงเวลาสูญเสียเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางแต่ละสูตรในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554..... 60

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงอัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง เทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรของยางสูตร A ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554..... 61

รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบวัดด้วยวิธี Crossed ANOVA..... 67

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบวัดด้วยวิธี Crossed ANOVA..... 67

รูปที่ 4.3 แผนผังสาเหตุและผล แสดงสาเหตุที่ส่งผลต่อเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง..... 69

รูปที่ 4.4 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN..... 79

รูปที่ 5.1 แผนผังต้นไม้ในการแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง..... 81

รูปที่ 5.2 ระดับ Resolution ที่เป็นไปได้ เมื่อกำหนด Run และจำนวน Factor..... 85

รูปที่ 5.3 ภาพจำลองเครื่องผสมยางแบบปิดและองค์ประกอบของเครื่องผสมยาง.. 87

รูปที่ 5.4 แสดงวัตถุดิบของยางสูตร A 87

รูปที่ 5.5 หน้าแรกของโปรแกรมสำหรับป้อนรายงานการผลิต..... 88

รูปที่ 5.6 Normal probability plot ของส่วนตกค้างน้ำหนักของยาง..... 92

รูปที่ 5.7 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูล..... 93

รูปที่ 5.8 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต..... 94

รูปที่ 5.9 Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ.. 95

รูปที่ 5.10 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ..... 95

รูปที่ 5.11 ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนักยาง..... 97

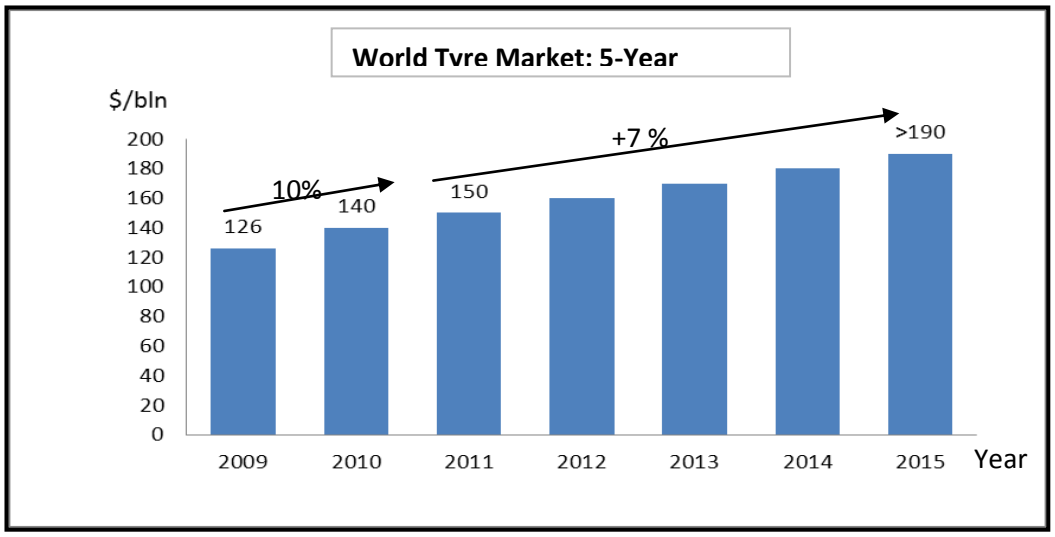
สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 5.12	ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนักยาง.....	97
รูปที่ 6.1	รูปแบบการจัดลำดับการผลิตแบบใหม่.....	102
รูปที่ 6.2	แสดงการหาจำนวนล็อตไซส์มากที่สุดในการผลิตแต่ละครั้งของยางสูตร A	103
รูปที่ 6.3	Normal probability plot ของส่วนตกค้างน้ำหนักของยาง.....	106
รูปที่ 6.4	แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูล.....	107
รูปที่ 6.5	แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต.....	108
รูปที่ 6.6	ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนัก.....	110
รูปที่ 6.7	ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนัก.....	111
รูปที่ 6.8	Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab.....	112
รูปที่ 6.9	แผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาเมื่อพบค่าน้ำหนักยางออกนอกค่าควบคุม.....	116
รูปที่ 7.1	แผนภูมิควบคุมสำหรับควบคุมค่าน้ำหนักของยางในกระบวนการผสมยาง.....	120
รูปที่ 7.2	อัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง เทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรของยางสูตร A ในเดือน ก.ย. 2554 – ส.ค. 2555.....	121
รูปที่ 7.3	เวลาสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่เกิดจากยางติดประตูปล่อยยาง ในเดือน ต.ค. 2554 – ส.ค. 2555.....	122
รูปที่ 7.4	แสดงประสิทธิภาพโดยรวม (Machine Efficiency) ของเครื่องจักร 1 เทียบกับเป้าหมาย.....	122

บทที่ 1
บทนำ

จากข้อมูลของสถาบันยานยนต์ ทำให้ทราบว่า ปีนี้ยอดการผลิตรถยนต์คาดว่าจะสามารถผลิตได้สูงถึง 2.1 ล้านคัน โดยแบ่งเป็นยอดขายในประเทศที่ 900,000 คัน เนื่องจากอุตสาหกรรมยานยนต์เติบโตดีต่อเนื่อง พร้อมกันนั้นอุตสาหกรรมยานยนต์เดินหน้าลงทุนต่อเนื่อง ในส่วนนี้ได้รวมไปถึงผู้ผลิตชิ้นส่วน คาดว่ามีมูลค่าการลงทุนปีนี้ 40,000-50,000 ล้านบาท ประมาณการยอดขายรถยนต์ในประเทศที่ตั้งไว้ 900,000 คันนี้ อยู่ภายใต้เงื่อนไขว่าสถานการณ์ต่าง ๆ ไม่มีอะไรผิดปกติ แม้ว่าการเมืองจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม เพราะประชาชนต่างก็รับได้ ถ้ามีการเลือกตั้งใหม่ ก็จะทำให้มีเงินสะพัดเข้ามาในระบบมากขึ้น ซึ่งส่วนหนึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการจับจ่าย [ที่มา: ศูนย์สารสนเทศยานยนต์ , 2554] จากข้อมูลการขยายตัวของตลาดยานยนต์ มีที่การขยายตัว ส่งผลให้อุตสาหกรรมชิ้นส่วยยานยนต์เติบโตอย่างต่อเนื่องเช่นกัน

อุตสาหกรรมยางรถยนต์เป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วตามภาวะการขยายตัวของตลาดรถยนต์ภายในประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญของบริษัทชั้นนำของโลก รวมถึงไทยยังมีแหล่งวัตถุดิบ คือ ยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ผู้ผลิตยางรถยนต์รายใหญ่ของโลก 3 ราย คือ บริษัท บริดจสโตน จำกัด (ญี่ปุ่น) บริษัท กู๊ดเยียร์ จำกัด (สหรัฐอเมริกา) และบริษัท มิชลิน จำกัด (ฝรั่งเศส) จึงหันมาตั้งฐานการผลิตที่เมืองไทย เพื่อรองรับกับความต้องการใช้ยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี จากปี 2011-2015 ตลาดยางรถยนต์จะมีการเติบโตขึ้นประมาณ 7% ดูรูปที่ 1.1 แสดงถึงการพยากรณ์ตลาดยางรถยนต์ 5 ปีล่วงหน้า โดยแกน (X) คือ ปี และ แกน (Y) มูลค่า หน่วยเป็น Billion dollar: (ที่มา 2010-2015 Global Insight, Pirelli Estimates, 2010)



รูปที่ 1.1 แสดงถึงการพยากรณ์ตลาดยางรถยนต์ 5 ปีล่วงหน้า: (ที่มา 2010-2015 Global Insight, Pirelli Estimates, 2010)

จากเหตุผลข้างต้นที่กล่าวมาจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่อุตสาหกรรมยางรถยนต์ต้องมีการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดรถยนต์ ที่มีอัตราการขยายตัวอย่างรวดเร็ว และได้มาซึ่งส่วนแบ่งทางการตลาด อีกทั้งการลดต้นทุนการผลิตก็เป็นสิ่งจำเป็นด้วยเช่นกัน

งานวิจัยนี้จัดทำเพื่อศึกษา ปัญหาที่เกิดในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ความสูญเสียในกระบวน การผลิตและหาแนวทางแก้ไขปัญหาเพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแสดงดังรูปที่ 1.6 ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดต้นทุนในการผลิตด้วย

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

บริษัท กรณีศึกษา เป็นบริษัทที่มีความมั่นคงและมีชื่อเสียงมายาวนานกว่า 20 ปี ในฐานะที่เป็นบริษัทผู้ผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทย เพื่อส่งขายในประเทศและส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ โดยผลิตภัณฑ์ของบริษัทจะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ยางสำหรับรถยนต์นั่ง (Passenger Car) และยางรถบรรทุกเล็ก (Light truck) โดยแต่ละประเภทก็จะมีความหลากหลายและมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่ม ซึ่งยางรถยนต์ทั้งสองประเภท ประกอบด้วยกลุ่มลูกค้าแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มโรงงานประกอบรถยนต์

(Original Equipment Market, OE) กลุ่มตลาดยางทดแทนหรือยางอะไหล่ (Replacement Market, RT)

1.2 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท

1. ยางรถยนต์นั่ง (Passenger car) ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ ที่มีความหลากหลาย เช่น ยางซูปเปอร์สปอร์ต ยางสมรรถนะสูง ยางประหยัดน้ำมัน ยางสมรรถนะสูงที่ให้อายุการใช้งานที่มากขึ้น 25%

2. ยางรถบรรทุกเล็ก (Light truck) หรือ รถกระบะ ซึ่งส่วนใหญ่จะเน้นที่ ทนต่อน้ำหนัก บรรทุก สมรรถนะออฟโรด อายุการใช้งานที่ยาวนาน

1.3 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Raw Materials)

ในกระบวนการผลิตยางรถยนต์จะประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก ดังต่อไปนี้

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) โดยมีชื่อเรียกทางเคมีว่า cis-1,4-polyisoprene ได้มาจากน้ำยางของต้นยาง ซึ่งต้นยางที่สามารถนำน้ำยางมาใช้ทำยางเพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตยางรถยนต์ได้นั้นมีหลายวงศ์ (Species) แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก (มากกว่า 99%) คือ Hevea brasiliensis

2. ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) เป็นยางที่สังเคราะห์ขึ้น นำมาเป็นส่วนผสมในเนื้อยาง ยางสังเคราะห์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ Styrene-butadiene (SBR) และ Polybutadiene (BR)

3. ผ้าใบ (Textiles) ทำมาจากเส้นใยของไฟเบอร์ นำมาเป็นส่วนประกอบของยาง

4. เส้นลวด (Steel) ทำด้วยเหล็กเหนียวฉาบทองแดง ใช้ทำโครงยาง (Carcass Wire) เพื่อยึดขอบยางกับกระทะล้อ

5. สารเคมี (Chemicals) ได้แก่ สารตัวเติม (Carbon black/Silica), น้ำมัน (Sundex Oil), สารเคมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Activator), สารเคมีตัวกระตุ้น (Accelerators), ตัวประสาน (Liquid Silane)

1.4 ส่วนประกอบของยาง (Components) แสดงดังรูป 1.2

ยางรถยนต์มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1. ยางชั้นใน (Butyl) ทำจากยางที่มีคุณสมบัติพิเศษซึ่งไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับชิ้นส่วนอื่นได้ ทำหน้าที่กักเก็บลมทำหน้าที่เหมือนยางใน

2. โครงยาง (Tread Ply) ทำขึ้นจากชั้นผ้าใบ (Textile) ที่ได้มาจากการฉาบยางลงบนเส้นใยสังเคราะห์ (Fabric) โดยการนำเอาชั้นผ้าใบมาวางซ้อนกันหลายๆ ชั้น แล้วทำการขึ้นรูปเป็นโครงยาง

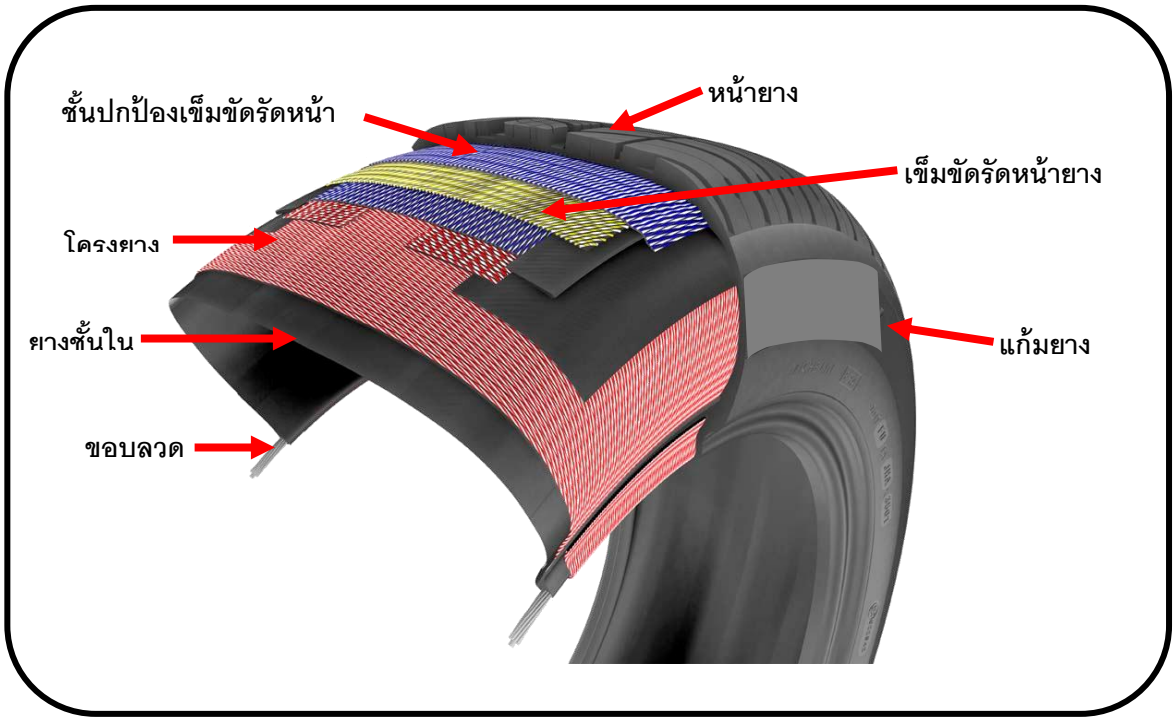
3. ขอบลวด (Bead) ทำขึ้นมาจากเส้นลวดแรงดึงสูง (High Tensile Wire) ที่ฉาบด้วยเนื้อยาง แล้วนำมาขดเป็นวงหลายๆ ชั้น ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระทะล้อรถยนต์ ทำหน้าที่ในการยึดยางให้ติดกับล้อรถยนต์ และป้องกันการรั่วของอากาศที่อยู่ภายในโครงยาง

4. แก้มยาง (Side Wall) เป็นเนื้อยางที่ได้มาจากการอัดยางผ่านดายน์ (die) เช่นเดียวกันกับหน้ายางแต่จะบางกว่า แล้วตัดให้ได้ความยาวตามต้องการ ซึ่งแก้มยางทำหน้าที่ในการหุ้มโครงยางเพื่อป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการใช้งาน อีกทั้งยังป้องกันไม่ให้ความชื้นผ่านเข้าไปทำความเสียหายแก่โครงยางได้

5 . เข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ทำมาจากเส้นลวดฉาบยาง (Steel Cord Belt) ซึ่งทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้กับหน้ายาง

6 . ชั้นปกป้องเข็มขัดรัดหน้ายาง (Cap Ply) ทำมาจากชั้นผ้าใบ (Textile) ช่วยป้องกันการขยายตัวของโครงยาง

7. หน้ายาง (Tread) ทำขึ้นจากเนื้อยางล้วนๆ โดยการอัดเนื้อยางให้ผ่านดายน์ (Die) ซึ่งกัดเป็นช่องตามรูปต่างที่ต้องการแล้วทำการตัดให้ได้ความยาว หน้ายางทำหน้าที่ในการยึดเกาะพื้นผิวถนน



รูปที่ 1.2 แสดงส่วนประกอบของยางรถยนต์

1.5 **กระบวนการผลิต** (Manufacturing Process)

โดยทั่วไป ประกอบด้วย 5 กระบวนการหลัก ดังต่อไปนี้

1. กระบวนการผสมยาง (Mixing Process)

เครื่องผสมยางเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตยางดิบ ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และสารเคมี จะถูกนำไปบดผสมกันตามสูตรที่ได้ถูกกำหนดอัตราส่วนของวัตถุดิบไว้แล้ว การผสมยางทำได้ 2 วิธี คือ การผสมในเครื่องผสมบานบูรี (Banbury Mixer) และการผสมบนลูกกลิ้ง (Mill)

การผสมในบานบูรีจะใช้เวลาน้อยกว่าและสามารถผสมยางในปริมาณที่มากกว่าบ น ลูกกลิ้ง มีการควบคุมกระบวนการผสมยางได้ 3 วิธี

(1) การใช้เวลา วิธีนี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่บานบูรีมีอุณหภูมิสูง จะทำให้ยางที่ผสมได้รับความร้อนมากเกินไป อาจทำให้ยางไหม้ (Lumpy)

(2) การใช้อุณหภูมิควบคุม ในกรณีที่อุณหภูมิคงที่วิธีนี้จะเหมาะสม แต่ถ้าอุณหภูมิสูง จุดทำให้ยางผสมกันไม่ดี

(3) การใช้กำลังงานควบคุม วิธีนี้จะได้ผลดีเมื่อการควบคุมด้วยอุณหภูมิไม่ได้ผล คือ เหมาะที่จะดำเนินการในช่วงที่อุณหภูมิในบานบูรีสูง การใช้อุณหภูมิควบคุมจะทำให้ยางหล่นลงมาก่อนที่ยางจะเข้ากัน เมื่อผสมยางจนถึงจุดที่กำหนดแล้วประตูเครื่องผสมก็จะเปิดออกและยางจะตกลงมา การผสมที่บานบูรีเป็นการผสมแบบ Batch Process ขั้นตอนการผสมยางมี 2 ขั้นตอนคือ

- Master Batch
- Final Step

Master Batch เป็นการผสมยางดิบ ซึ่งอาจจะเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ หรือในบางสต๊อกมียางทั้งสองชนิดผสมกัน ให้เข้ากับสารเคมี แต่จะไม่รวมถึงสารวัลคาไนซ์ ตัวเร่งปฏิกิริยา สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา รีทาเดอร์ ซึ่งถ้าผสมสารพวกนี้ในขั้นตอนนี้จะทำให้ยางสุกก่อนที่จะนำไปใช้งาน รวมทั้งอุณหภูมิในการผสมยางจะต้องควบคุมไม่ให้มากเกินไป คือ ประมาณ 300 °F ในกรณีที่สารเคมีที่จะเติมมีอยู่มาก ก็จะทำ Master Batch ซ้ำอีก โดยการแบ่งสารเคมีครึ่งหนึ่งเข้าไปผสมก่อน จากนั้นจะนำ Batch ที่ผ่านการผสมแล้วมาผสมอีกที โดยการเติมสารเคมีส่วนที่เหลือมาผ่านกระบวนการอีกทีหนึ่ง ยางที่ต้องการความนิ่มมากกว่าปกติก็จะนำยางมาผ่านในบานบูรี โดยไม่ต้องเติมสารเคมีใดๆ เราเรียกว่า Master Rubber จากนั้นจึงนำเข้ากระกวนการแทนยางเดิม

Final Step เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผสมยาง ขั้นตอนนี้จะใส่สารวัลคาไนซ์ รวมทั้งตัวเร่งปฏิกิริยา สารเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา และรีทาเดอร์ อาจจะใส่ทุกตัวหรือใส่เฉพาะตัวขึ้นอยู่กับสูตรของยางแต่ละสูตรว่าจะใช้ทำส่วนใดของยานยนต์ ซึ่งสารที่ใส่ลงไปนั้นจะเป็นสาระสำคัญที่ทำให้ยางถูกวัลคาร์ไนซ์ ขั้นตอนนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิให้แน่นอน มิฉะนั้นยางจะถูก Cure ก่อนจะนำไปใช้งานอุณหภูมิในการอบยางไม่ควรเกิน 220 °F อุณหภูมิสุดท้ายในบานบูรีเรียกว่า Bump Temperature

ยางที่ผ่านผสมในบานบูรีจะถูกนำไปบดในลูกกลิ้ง (Mill) ก่อนแล้วจึงถูกส่งไปตามสายพาน ในช่วงที่อยู่บนสายพานยางจะถูกฉีดด้วยสบู่ เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของยางที่ผสมแล้วไม่ให้ร้อนเกินไป และมีการเป่าลมเพื่อให้น้ำสบู่แห้ง น้ำสบู่นี้จะช่วยไม่ให้ยางติดกันเพราะจะต้องเก็บรวมกันไว้ก่อนที่จะนำไปใช้ น้ำสบู่มีส่วนผสมที่ใช้คือ น้ำสบู่ Clay การใส่ Clay เพื่อให้น้ำสบู่มี

ความเข้มข้นสามารถติดบนยางไม้เมื่อฉีดลงบนยาง และเป็นตัวที่ทำให้น้ำสบู่ไม่เกิดฟอง ยางที่นำมาผ่านน้ำสบู่จะถูกนำมารวมกันไว้ โดยอุณหภูมิส่วนนี้เรียกว่า Loading Temperature ซึ่งอยู่ประมาณช่วง 110 ºF ยางที่เก็บไว้จะถูกนำไปเข้าขั้นตอนการรีดยาง (Extruder)

2. กระบวนการเตรียมชิ้นส่วน (Preparation Process)

2.1) กระบวนการเตรียมยางชั้นใน โดยยางที่ได้จากขั้นตอนการผสมยาง (Mixing process) และ มีอายุการใช้งาน (Aging) พร้อมแล้ว จะถูกนำมากดอัด (Extruding) ผ่านแม่พิมพ์ (Die) ในอุณหภูมิ ความเร็วรอบ และแรงดันที่กำหนด ให้ได้ขนาดและรูปทรงโดยต้องควบคุมน้ำหนัก ความยาวและความกว้างให้อยู่ในข้อกำหนดชิ้นงาน เพื่อส่งต่อให้แผนกสร้างยาง

2.2) กระบวนการเตรียมโครงยาง (Tread Ply) หลังจากผ่านขั้นตอนการบดยาง (Milling) ยางก็จะถูกนำมาสู่ขั้นตอนการกดอัดให้เรียบ และนำยางมาเคลือบลงบนผ้าใบไนล่อน ผ้าใบที่ใช้เป็นไนลอนเป็นใยทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เครื่องฉาบผ้าใบ (Calender Machine) ซึ่งจะประกอบด้วยลูกกลิ้ง 4 ลูก เครื่องฉาบผ้าใบ (Calender Machine) จะทำหน้าที่ 3 อย่างคือ

- เพื่อทำให้ส่วนผสมต่างๆในตัวยาง รวมเป็นยางที่มีความหนา และความกว้างอย่างเหมาะสม รวมทั้งการกระจายตัวของเส้นใ ย ต้องสม่ำเสมอทั่วกันทั้งผืน ทั้งนี้เมื่อนำไปสร้างโครงยางจะทำให้ได้ยางที่มีขนาดและน้ำหนักสม่ำเสมอกันทุกเส้น

- เพื่อแทรกผ้าบุรองแผ่นยาง (Liner) เพื่อป้องกันแผ่นยางยึดติดกัน ซึ่งเรียกว่า วิธี Coating หรือ Skomming

- เพื่อลำเลียงยางไปยังม้วนผ้าใบ โดยอาศัยการรีดของลูกกลิ้ง ซึ่งเรียกว่า Frictioning ผ้าใบที่ถูกเคลือบด้วยยางแล้วจะถูกนำมาตัดด้วยเครื่องตัดอัตโนมัติ ซึ่งสามารถตั้งมุมที่จะตัดตามความต้องการได้ มุมของผ้าใบ (Bias Angle) จะมีผลเกี่ยวกับการทรงตัวของยาง จึงต้องคำนึงถึงเรื่องมุมเป็นสำคัญ ยางธรรมชาติจะมีคุณสมบัติด้าน Tack ดีมาก ดังนั้นการต่อผ้าใบหลังจากการตัดจึงไม่ต้องใช้ Cement ช่วย

2.3) กระบวนการเตรียมขอบลวด (Bead) ขอบยางเปรียบเสมือนจุดศูนย์รวมของยาง เป็นแกนให้กับยางทั้งเส้น ถ้าขอบยางเกิดการเสียหายอาจจะเกิดความเสียหายถึงชีวิตได้ ส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด วัสดุที่ใช้ทำขอบลวดจึงต้องใช้วัสดุที่ดี เส้นลวดที่ทำวงขอบล้อเป็นเส้นลวดที่มีความเหนียวแน่นเป็นพิเศษ ลวดนี้ถูกฉาบด้วยทองแดงและยางอีกชั้นหนึ่งจากเครื่องรีดยาง

เล็กๆ เส้นลวดนี้จะถูกม้วนพันเข้ามาด้วยวงล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนดไว้ จนกระทั่งครบรอบที่ต้องการก็จะถูกตัดออกโดยอัตโนมัติ จำนวนเส้นลวดจะขึ้นอยู่กับชนิดของยางที่จะใช้กับรถชนิดใด การทำเริ่มด้วยการเคลือบเส้นลวดด้วยเนื้อยาง จากนั้นนำเข้าเครื่องม้วนให้ได้จำนวนรอบที่ต้องการ ขอบล้อบางรุ่นจะนำมาใส่ Bead Filler และ Bead Insulator ใน Ply หนึ่ง จะประกอบด้วยจำนวนเส้นลวดในแต่ละแถบ เรียกว่า สเตรนด์ (Strand) จำนวนแถบหรือวง เรียกว่า เทิร์น (Turn) ในการทำวงขอบล้อจะต้องให้ได้จำนวน Turn x Strand และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงใน ตามที่กำหนดไว้

2.4) กระบวนการเตรียมแก้มยาง (Side Wall) วิธีการเตรียมจะเหมือนกับการเตรียมยางชั้นใน โดยยางที่ผ่านกระบวนการผสมยาง และได้ aging แล้ว จะถูกนำมารีดผ่านแม่พิมพ์ (Die) ที่เครื่อง Extruder ซึ่ง Extruder ที่ใช้ จะมี 2 ประเภท คือ

(1) Hot Feed Extruder คือ Extruder ที่ต้อง Warm ยางโดยการผ่าน mill แล้วตัดเป็นแผ่น ก่อนเข้าเครื่อง Extruder

(2) Cold Feed Extruder คือยางที่ Warm แต่ภายในเครื่องสามารถตั้งอุณหภูมิได้ ยางจะถูกอุ่นในเครื่องเอง

ยางที่ผ่านเครื่อง Extruder จะผ่านไปยัง conveyer เพื่อนำไปเข้าม้วน (Wind up) ซึ่งเรียกว่า Bobbin ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป

2.5) กระบวนการเตรียมเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) วิธีการจะเหมือนกับการเตรียมโครงยาง โดยนำเส้นลวด (Steel cord) มาฉาบด้วยเนื้อยางผ่านเครื่องฉาบลวด (Calender Machine) เมื่อได้ขนาดความหนาของยางฉาบลวดและความกว้างที่ต้องการแล้วก็นำไปสู่กระบวนการตัดที่เครื่องตัด ให้ได้มุมและความกว้างตามที่ต้องการ โดยส่วนมากมุมจะอยู่ที่ประมาณ 27-30 องศา แล้วนำมาต่อกันใหม่ให้เป็นเส้นแล้วเก็บในม้วน ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป

2.6) กระบวนการเตรียมชั้นปกป้องเข็มขัดรัดหน้ายาง (Cap Ply) วิธีการจะเหมือนกับการเตรียมโครงยาง โดยนำไนล่อน หรือ เรย่อน ที่มีความยืดหยุ่นสูง มาฉาบด้วยเนื้อยางผ่านเครื่องฉาบ (Calendar Machine) เมื่อได้ขนาดของยางฉาบไนล่อนและความกว้างตามที่

ต้องการแล้ว จากนั้นก็นำไปตัดเพื่อแบ่งเป็นม้วนเล็กๆ หรือที่เรียกว่า ริง (Ring) ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการสร้างยาง

2.7) กระบวนการเตรียมหน้ายาง (Tread) วิธีการเหมือนกับการเตรีย มหน้ายาง โดยยางที่ผ่านกระบวนการผสมยาง และได้ Aging แล้ว จะถูกนำมารีดผ่านดายน์ (Die) ที่เครื่อง Extruder ซึ่ง Extruder ที่ใช้ คือ Cold Feed Extruder ซึ่งยางจะถูก warm ภายในตัวเครื่องเอง ภายในตัวเครื่องจะมีระบบ Cooling อยู่ที่หัว เพื่อป้องกันการ cure ของยาง อุณหภูมิที่ยางถูกรีดออกมาจะอยู่ในช่วงที่กำหนดเพราะถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปยางจะรีดไม่ออก ถ้าสูงเกินไปยางจะไหม้ ยางที่รีดออกจากหัวรีดจะผ่านมาตามสายพาน (Conveyer) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมความกว้างของยาง และสามารถชั่งน้ำหนักและความหนาของยางให้ได้ตามที่กำหนด จากนั้นยางจะถูกฉีดด้วยน้ำ เพื่อให้ยางเย็นตัวและทำความสะอาด และจะถูกตัดด้วยเครื่องตัดอัตโนมัติ รอยตัดจะเป็นแนวเฉียง เพื่อเวลานำทั้งสองข้างมาต่อกันจะได้ติดดี วิธีการเก็บหน้ายางจะไม่เหมือนกับแก้มยาง ยางที่ถูกตัดจะถูกนำมาวางเรียงกันบนรถบรรทุก (Truck) ที่ประกอบกันหลายๆชั้น โดยวิธีการ Booking เพื่อป้องกันการยืดและหดตัวของหน้ายางก่อนถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป

3. กระบวนการสร้างยาง (Tire Building Process)

เมื่อส่วนประกอบต่างๆ ถูกเตรียมเรียบร้อยแล้ว ก็จะเป็นการประกอบส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นยางรถ โดยเครื่องสร้างยาง (Tyre Building Machine) ชิ้นส่วนต่างๆ จะถูกนำมาประกอบกันตามลำดับทีละชิ้น ตรงตำแหน่งต่างๆ ที่ได้มีการออกแบบไว้อย่างเที่ยงตรงเพื่อให้ได้ขนาดและคุณภาพของยางตามต้องการ เริ่มตั้งแต่การประกอบยางชั้นใน โครงยาง วงขอบล้อ แก้มยาง เข็มขัดรัดหน้ายาง ชั้นปกป้องเข็มขัดรัดหน้ายาง และหน้ายาง เป็นลำดับสุดท้าย ยางที่ประกอบเสร็จ เรียกว่า ยางกึ่งสำเร็จรูป (Bandage) ยางกึ่งสำเร็จรูปจะมีรูปร่างเหมือนตุ่มน้ำที่ตรงกลางป่องออกมากๆ ยางดิบจะถูกนำไปเก็บไว้บน Truck เพื่อรอไปสู่กระบวนการต่อไป

4. กระบวนการอบยาง (Curing Process)

กระบวนการอบยาง ทำให้หน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงสภาพของยางกึ่งสำเร็จรูป (Bandage) ให้เป็นยางรถยนต์สำเร็จรูป เริ่มจากนำยางกึ่งสำเร็จรูป ไปพ่นสารหล่อลื่น (น้ำ Dope) ที่ผิวด้านในท้องยาง เพื่อป้องกันการติดกันระหว่าง ยางกึ่งสำเร็จรูปกับแบลดเดอร์ ยางที่ผ่านการพ่นสารหล่อลื่นจะถูกนำไปตากพัดลมจนแห้ง จากน้ำนำยางกึ่งสำเร็จรูปไปอบที่เตาแม่พิมพ์

(Mold) เพื่อให้เกิดเป็นยางรถยนต์ที่สำเร็จรูป โดยมีข้อกำหนดคือ ยางที่อบออกมาจะต้องเป็นไปตามกฎ และเงื่อนไขของการอบยาง และยางที่อบออกมาจะต้องเป็นยางที่สมบูรณ์ ไม่มีปัญหาในเรื่องของคุณภาพ

กฎการอบยาง (Cure law) หมายถึง กฎเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นมาเพื่อควบคุมสภาวะต่างๆ ของการอบยาง เพื่อให้ยางมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ต้องการ โดย กฎการอบยางจะเป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับ อุณหภูมิ, เวลา และแรงดัน กฎการอบยางที่ใช้ มี 2 ประเภท คือ

(1) Hot Water Law หมายถึง การใช้แหล่งความร้อนจากน้ำร้อนในการอบยาง

(2) Bithermic Law หมายถึง การใช้แหล่งความร้อนที่ได้จากไอน้ำ และน้ำร้อนในการอบยาง

หลักการอบยาง แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

(1) Plastic period เป็นช่วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางกึ่งสำเร็จรูปให้เป็นไปตามรูปร่างของแม่พิมพ์ โดยจะค่อยๆเพิ่มแรงดัน (Pressure) เข้าไป

(2) Curing period เป็นช่วงเวลาที่มีการถ่ายเทความร้อน จากแหล่งความร้อนไปสู่ยาง โดยผ่านตัวกลาง คือ แม่พิมพ์ และ แบลดเดอร์

(3) Elastic period เป็นช่วงเวลาที่ยางมีคุณสมบัติทางเคมี และเชิงกลรวมทั้งรูปร่างและโครงสร้างของยางเป็นไปตามที่เราต้องการ ซึ่งเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการ

5. กระบวนการตรวจแต่งสินค้าสำเร็จรูป (Aspect and Finishing Process) ยางที่ผ่านกระบวนการอบแล้วก็จะวิ่งไปตามสายพาน (Conveyer) เพื่อให้ยางเย็นตัวและยางจะต้องผ่านการตรวจ ดังนี้

(1) Consign Post คือ การตรวจสอบยางที่อบแล้วเพื่อดู ลักษณะภายนอก ที่ไม่เกี่ยวกับตำหนิ แต่เกี่ยวข้องกับ เครื่องหมายต่างๆ บนแก้มยาง เบอร์ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ ว่าถูกต้องตามเอกสารที่กำหนดไว้หรือไม่

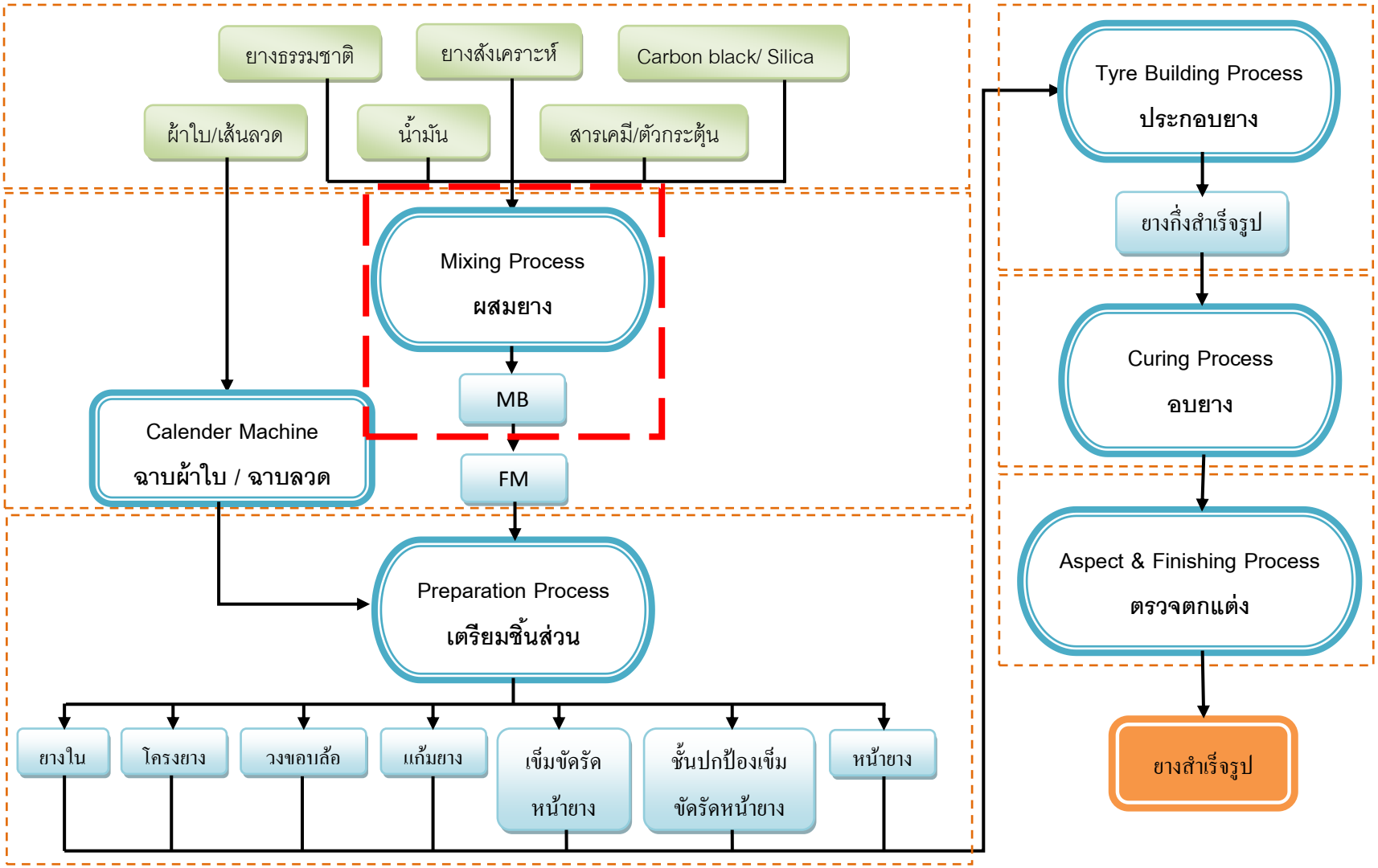
(2) Aspect post (ตรวจด้วยสายตา) เพื่อตรวจสอบลักษณะภายนอกของยางด้วยสายตา และมือสัมผัสเพื่อกำหนดให้ยางที่ได้มาตรฐานตามที่กำหนด ผ่านไปยังขั้นตอนต่อไป ส่วนยางที่มีรอยตำหนิก็จะถูกคัดแยกเพื่อไปซ่อมแซม หรือ ดำเนินการแก้ไขค้นหาสาเหตุต่อไป

(3) X-ray post ยางเรเดียลเสริมใยเหล็กทุกเส้นจะต้องผ่านการตรวจด้วยเครื่อง X-ray เพื่อดูการเรียงตัวของเส้นใยเหล็ก ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

(4) Uniformity post คือการตรวจเช็คความสมดุลย์ของยาง ให้ได้ตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด สำหรับยางที่ไม่ได้ค่าตามที่กำหนด จะต้องถูกนำไปปรับปรุงแก้ไข จากนั้นจึงนำมาตรวจเช็คใหม่

จากกระบวนการผลิตที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงแผนผังการไหลของกระบวนการผลิตยางรถยนต์ได้ดังรูปที่ 1.3

1.6 **แผนผังการไหลของกระบวนการผลิต** แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงแผนผังการไหลของกระบวนการผลิตยาง (กระบวนการที่จะทำการปรับปรุงคือ กระบวนการผสมยาง)

1.7 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการประชุมของทีมงานและนโยบายของผู้บริหารที่ต้องการจะปรับปรุงประสิทธิภาพ (Efficiency) ของเครื่องจักร ซึ่งเป็นอีกหนึ่งดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนกผสมยาง ที่มีเครื่องจักรทั้งหมด 5 เครื่อง พบว่า เครื่องจักร ในไลน์การผลิต 1 (M/C) มีประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่ต่ำกว่าเป้าหมายที่ต้องการประมาณ 1.2% (เป้าหมาย 81% เครื่องจักร 1 ทำได้ประมาณ 79.8% จากสูตรคำนวณ สมการที่ (1))

$$\text{Machine Efficiency (\%)} = \frac{\text{Useful production time}}{\text{Opening time}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

จากข้อมูลปี 2011 ดังแสดงในตารางที่ 1.1 แสดงถึงข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรแต่ละเครื่องเทียบกับเป้าหมาย

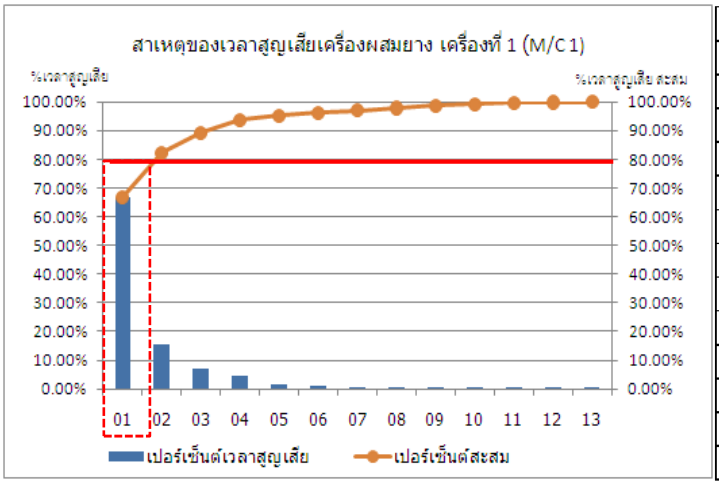
ตารางที่ 1.1 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องจักรของแผนกผสมยางในปี 2011

เครื่องจักร	เป้าหมาย (Plan)	ทำได้จริง (Actual)	%diff (Actual-Plan)
เครื่องจักร 1	81.0%	79.8%	-1.2%
เครื่องจักร 2	84.3%	84.3%	0.0%
เครื่องจักร 3	73.8%	73.6%	-0.2%
เครื่องจักร 4	82.8%	82.3	-0.5%
เครื่องจักร 5	73.6%	73.7%	+0.1%

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นว่าเครื่องจักร 1 เป็นเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเป้าหมายมากที่สุดคือ ต่ำกว่าเป้าหมาย 1.2% ทางทีมผู้บริหารจึงมีนโยบายปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร 1 ก่อน

จากนโยบายดังกล่าว จึงมีการจัดตั้งทีมงานเพื่อค้นหาสาเหตุและแก้ปัญหา โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลของ เวลาสูญเสียของเครื่องจักร 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึง เดือน กันยายน 2554 พบว่า ปัญหาที่พบมากที่สุด คือ ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง แสดงดังรูปที่ 1.5 ซึ่งนอกจากจะส่งผลกระทบทางด้านประสิทธิภาพของเครื่องจักร แล้ว ยังส่งผลกระทบทางด้าน

คุณภาพคือ น้ำหนักของยางที่หายไป ถ้าน้ำหนักของยางหายไป ได้ต่ำกว่าข้อกำหนดของน้ำหนักยางที่ควรจะเป็น ยาง batch นั้นก็จะกลายเป็นยางไม่ได้มาตรฐาน (NCF: Non conform)



รหัสปัญหา	ปัญหา
01	Rubber stuck at drop door
02	Run out rubber during size change
03	Preventive Maintenance
04	Run cleaning rubber, physical clean during size change
05	Cleaning mixer (quality)_manual cleaning by operator
06	Rubber stuck at HA/BM/SCW/Drop mill/SPM
07	Non-conform incoming products
08	Rubber stuck at SPM, BC, PR, UCC, TRIM, SM
09	Mixer
10	Sticky compound
11	Forklift/ Hand lift
12	Rubber stuck at take away, input BO conveyor
13	Rubber stuck at wigwag

รูปที่ 1.4 แสดงสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องจักร 1 (M/C 1)

จากรูปที่ 1.4 พบว่า สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดเวลาสูญเสียในเครื่องผสมยางเครื่อง 1 คือ ปัญหาจากยางติดประตูปล่อยยาง (รหัสปัญหา 01) ดังนั้น ทางทีมงานจึงต้องการแก้ปัญหานี้เป็นอันดับแรก

1.8 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานของเครื่องผสมยางในการลดเวลาสูญเสียของยางสูตร A จากเดิม 31.9%

1.9 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยเลือกยางสูตร A ของโรงงานกรณีศึกษา เพียงสูตรเดียวเท่านั้น

2. ทำการศึกษาเพื่อแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยางของเครื่องผสมยาง 1 (M/C1) ของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อเครื่องเดียวเท่านั้น

3. การวิเคราะห์ปัญหาจะประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ซิกมา และ การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหามากที่สุด และหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านั้น โดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการวิเคราะห์ผล

4. การปรับปรุงและแก้ไขปัญหา จะดำเนินการโดย ปรับตั้งค่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาตามที่ได้วิเคราะห์จากผลของการออกแบบการทดลอง และ สร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติการที่เป็นมาตรฐาน เพื่อให้เกิดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางน้อยที่สุด

1.10 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ได้มาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานของเครื่องผสมยางเพื่อลดเวลาสูญเสียของยางสูตร A จากเดิม 31.9%

1.11 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความสูญเสียของประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักรเนื่องจากปัญหายางติด ประตูปล่อยยาง

2. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3. ลดเวลาเวลาสูญเสียที่เกิดจากการปรับตั้งเครื่องผสมยางเพื่อลดปัญหายางติด ประตูปล่อยยาง

4. เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาของผลิตภัณฑ์อื่นๆของโรงงานผลิตยางรถยนต์

5. เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาของกระบวนการผสมยางในเครื่องจักรอื่นของโรงงานผลิตยางรถยนต์

6. ผลการศึกษาจะเป็นแนวทางในการปฏิบัติเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและใช้เทคนิคทางคุณภาพและสถิติในการสรุปผลของปัญหา

1.12 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและทำความเข้าใจ หลักการ แนวคิด รวมถึงเครื่องมือทางสถิติที่จำเป็น

2. กำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

- จัดตั้งทีมงานสำหรับปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผสมยาง ซึ่งประกอบไปด้วยหัวหน้าฝ่ายกระบวนการผลิต ผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการผสมยาง วิศวกรผู้ดูแลเครื่องผสมยาง วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพของยางผสม และ วิศวกรกระบวนการผลิต (ผู้วิจัย) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการติดต่อประสานงาน เสนอแนะแนวความคิด และสรุปข้อมูลที่ได้จากการระดมสมองของทีมงาน
- เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษา สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผสมสูตรยาง โดยการพูดคุยกับผู้บริหาร พนักงาน การเข้าไปสังเกตของผู้วิจัย
- พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตและ เวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางที่มีสาเหตุมาจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ของกระบวนการปัจจุบัน

3. การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา(Measure Phase)

- วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) เวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง
- สรุปสถานการณ์ปัจจุบัน (Baseline Performance) ของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง

4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา(Analysis Phase)

- วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยการระดมความคิดของทีมงานเพื่อให้ได้ข้อมูลสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง และสร้างเป็น แผนผังก้างปลา (Cause and Effect diagram)
- ทดสอบความมีนัยสำคัญของสาเหตุด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA , Hypothesis Testing
- วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกสาเหตุ หลักที่ต้องนำไปทำการทดลองขั้นตอนต่อไป

5. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ(Improvement Phase)

- รวบรวมแนวทางแก้ไขปัญหาตามหลักการ 4M จากการระดมสมองของทีมงาน
- ออกแบบการทดลอง (DOE) โดยการระดมสมองของทีมงาน เพื่อกำหนดรูปแบบการออกแบบการทดลอง กำหนดตัวแปรและข้อจำกัดต่างๆที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง

- ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางที่มีสาเหตุหลักมาจากยางติดประตูปล่อยยางมากที่สุด และปรับปัจจัยที่มีผลเพื่อให้เกิดเวลาสูญเสียน้อยที่สุด
- ระดมสมองทีมงานเพื่อสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น
- วางแผนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา และดำเนินงานตามแผนงานที่ได้วางเอาไว้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

6. การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)
    - จัดประชุมคณะทีมงานเพื่อชี้แจงผลของแนวทางการปรับปรุงแก้ไขที่ทดลองใช้จริงและร่วมกันพิจารณาตัววัดที่ต้องคอยตรวจติดตาม
    - เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงเพื่อยืนยันผลของการปรับปรุง
    - สรุปผลการปรับปรุงที่ได้โดยพิจารณาจากเวลาสูญเสียของเครื่องผสมสูตรยางที่สามารถลดได้
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.13 **แผนการดำเนินงานวิจัย** แสดงดังตารางที่ 1.2

ข้อที่	แผนการดำเนินงานวิจัย / เดือน	ก.ค.-54	ส.ค.-54	ก.ย.-54	ต.ค.-54	พ.ย.-54	ธ.ค.-54	ม.ค.-55	ก.พ.-55	มี.ค.-55	เม.ย.-55	พ.ค.-55	มิ.ย.-55	ก.ค.-55	ส.ค.-55	ก.ย.-55
1	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยและทำความเข้าใจ หลักการ แนวคิด เครื่องมือทางสถิติที่จำเป็น															
2	กำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)															
	• จัดตั้งทีมงานสำหรับปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผสมยาง															
	• เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผสมสูตรยาง															
	• พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตและเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางที่มีสาเหตุมาจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ของกระบวนการปัจจุบัน															
3	การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา(Measure Phase)															
	• วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด(Gauge R&R) เวลาสูญเสียของเครื่องจักร															
	• สรุปสถานการณ์ปัจจุบัน (Baseline Performance) ของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง															
4	การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา(Analysis Phase)															
	• วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ โดยการระดมความคิดของทีมงานเพื่อให้ได้ข้อมูลสาเหตุของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง และสร้างเป็นแผนผังก้างปลา (Cause and Effect diagram)															
	• ทดสอบความมีนัยสำคัญของสาเหตุด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA , Hypothesis Testing															
	• วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกสาเหตุที่ต้องนำไปทำการทดลองขั้นตอน															
5	การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ(Improvement Phase)															
	• รวบรวมแนวทางแก้ไขปัญหาตามหลักการ 4M จากการระดมสมองของ															
	• ออกแบบการทดลอง (DOE)															
	• ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางที่มีสาเหตุหลักมาจากยางติดประตูปล่อยยางมากที่สุด															
	• ระดมสมองทีมงานเพื่อสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานสำหรับแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น															
	• วางแผนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา และดำเนินงานตามแผนงานที่ได้วางเอาไว้ภายในระยะเวลาที่กำหนด															
6	การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)															
	• จัดประชุมคณะทีมงานเพื่อชี้แจงผลของแนวทางการปรับปรุงแก้ไขที่ทดลองใช้จริงและร่วมกันพิจารณาตัววัดที่ต้องคอยตรวจติดตาม															
	• กำหนดวิธีการวัดขนาดกลุ่มตัวอย่างและความถี่ในการวัด															
	• เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงเพื่อยืนยันผลของการปรับปรุง															
	• สรุปผลการปรับปรุงที่ได้โดยพิจารณาจากเวลาสูญเสียของเครื่องผสมสูตรยางที่สามารถลดได้															
7	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ															
8	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์															

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และคณะ(2546) ได้กล่าวว่า Six Sigma ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงทศวรรษที่ 1980 โดยบริษัท Motorola จากนั้นหลายบริษัทได้นำ Six Sigma มาใช้เป็นแผนกลยุทธ์ของกิจการและประสบความสำเร็จกันมากมาย เริ่มจากบริษัท General Electric (GE), AlliedSignal และ Sony รวมถึงบริษัท Motorola เอง หลังจากนั้น Six Sigma ก็ได้ถูกเผยแพร่ไปยังบริษัทต่างๆ โดยได้เข้าไปมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์การ และพัฒนาแนวคิดของการบริหารคุณภาพขึ้นใหม่จากระดับล่างสู่ระดับบนทั่วทั้งองค์กร โดย ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และคณะ(2546)ได้อ้างถึงที่มาของ Six Sigma จากคำกล่าวของ Bill Wiggenhorn รองประธานอาวุโสฝ่ายการศึกษาและฝึกอบรม ของบริษัท Motorola และเป็นอธิการบดีของมหาวิทยาลัย Motorola ไว้ว่า จริงๆ แล้วผู้ให้กำเนิด Six Sigma คือ Bill Smith ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ และวิศวกรอาวุโสใจกิจการสายโทรคมนาคมของ Motorola ได้ประยุกต์สูตรและวิธีการทางสถิติ เพื่อกลั่นกรองเป็นวิธีการของ Six Sigma เขาได้นำความคิดนี้ไปเสนอ Bob Galvin ซึ่งเป็น CEO ของ Motorola หลังจากที่ Bob Gavin ได้อ่านหลักการของ Six Sigma แล้ว เขาจึงได้มอบหมายงานให้กับ Jack Germaine รองประธานอาวุโสและผู้อำนวยการฝ่ายคุณภาพ โดยผลักดันให้ Six Sigma เป็นเป้าหมายอันดับหนึ่งและเป็นวัฒนธรรมองค์กร แต่เนื่องจากไม่มีเครื่องมือหรือบุคลากรพอเพียง เขาจึงได้ไปที่มหาวิทยาลัย Motorola เพื่อเตรียมการ สำหรับหลักสูตรการอบรม Six Sigma การอบรมไม่ได้เป็นแค่เพียงภาคทฤษฎีในห้องเรียนเท่านั้น แต่เป็นหลักสูตรที่เข้าถึงทุกๆ คน ทุกคนจะต้องได้รับการเรียนรู้ที่แตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ในการทำงาน เพื่อให้มั่นใจว่าทุกคนสามารถนำไปใช้และปฏิบัติร่วมกันได้จริงอย่างทั่วถึงทั้งองค์กร และหลังจากที่ได้ร่วมแรงร่วมใจในโครงการนี้ วัฒนธรรมองค์กรเกี่ยวกับคุณภาพได้เปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้น ยอดขายและอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น บริษัทได้รับรางวัลคุณภาพแห่งชาติ (Malcolm Baldrige National Quality Award) นอกจากนี้ยังมี โครงการคุณภาพแบบ Six Sigma เริ่มต้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 1987 โดยมีเป้าหมายที่จะบรรลุโครงการภายในระยะเวลา 5 ปี หลังจากนั้นในเดือน มีนาคม 1988

มหาวิทยาลัย Motorola ก็พร้อมที่จะจัดหลักสูตรเพื่อฝึกอบรมการบริหารงานตามแบบฉบับของ Six Sigma ซึ่งในตอนนั้นเน้นไปที่การประยุกต์ใช้ในด้านการบริการมากกว่า จะนำไปใช้ในการผลิต เพียงแค่ 2-3 เดือนต่อมา ทีมงานก็พร้อมที่จะพัฒนาโครงการต่างๆ เพื่อเป้าหมายด้านคุณภาพของบริษัท

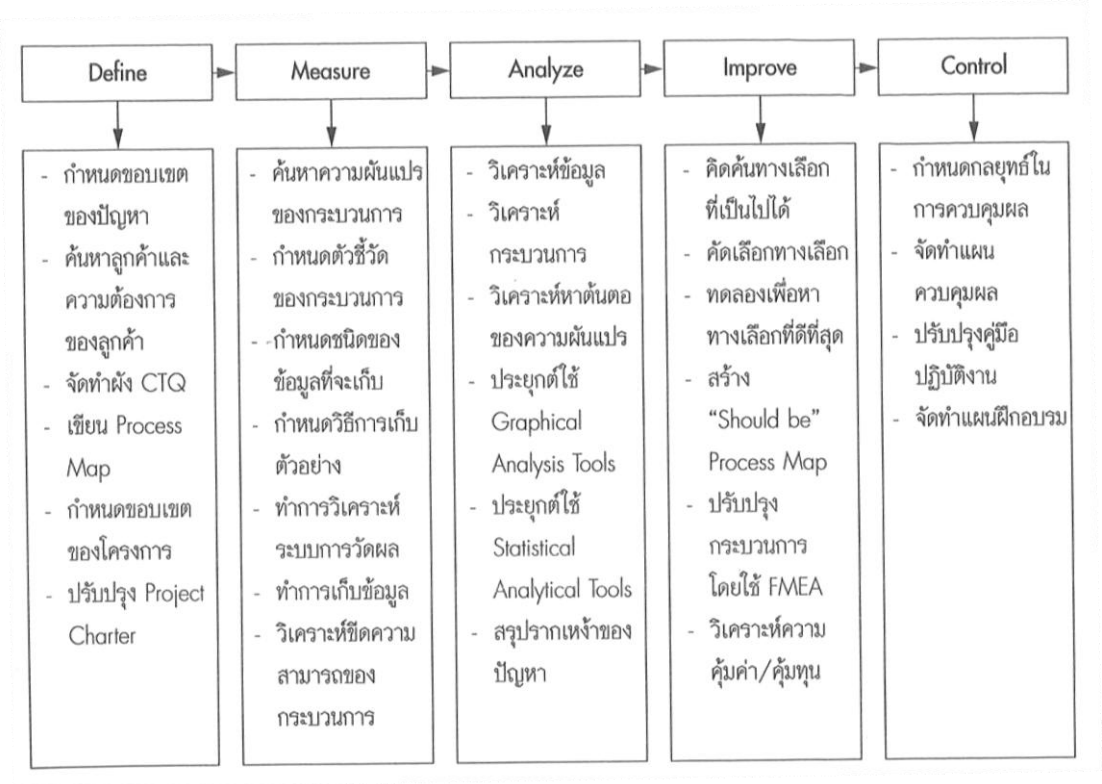
กันยรัตน์ คมวัชระ(2547) ได้นิยามเอาไว้ว่า หลักการหรือแนวคิดของ Six Sigma มีนั้นมีพื้นฐานมาจากแนวความคิดในเชิงสถิติภายใต้สมมติฐานที่ว่า ทุกสิ่งทุกอย่างคือกระบวนการ ซึ่งแต่ละกระบวนการนั้น มีความแปรปรวนแบบหลากหลาย (Variation) อยู่ตลอดเวลา ดังนั้น การนำเอาข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความเข้าใจในธรรมชาติของความแปรปรวนแบบหลากหลายก็จะนำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

หัวใจสำคัญของวิธี Six Sigma ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ว่า ถ้าเราสามารถนับหรือวัดจำนวนดีเฟค (Defect) หรือสิ่งที่มีตำหนิ บกพร่อง ผิดพลาด หรือ เสียของผลิตผลที่ได้จากกระบวนการ เราก็จะสามารถหาวิธีที่จะขจัดจำนวนดีเฟคบนผลิตผลให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้

การทำ Six sigma ให้ประสบสำเร็จอย่างสมดุล และนำไปสู่การบริหารคุณภาพ ที่ดี ควรมุ่งเน้น 3 ตัวแปรดังนี้ (1) เข้าใจถึงความต้องการของลูกค้า (2) ลดความแปรผันในผลลัพธ์ของกระบวนการ และ (3) ทำกระบวนการให้ง่าย โดยมีความซับซ้อนน้อย ซึ่งนำไปสู่ความผิดพลาดที่น้อยลง Duncan Manual (2006)

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และคณะ(2546) ได้ให้นิยาม ซิกซ์ซิกมา ไว้ว่า เป็นส่วนผสมอันกลมกลืนกันระหว่างความฉลาดหลายๆด้าน ในการบริหารองค์การ โดยการพัฒนากลวิธีทางสถิติเพื่อใช้เป็นอาวุธขององค์การ โดยเป้าหมายสูงสุดของซิกซ์ซิกมา นี้ ได้เน้นไปที่การนำเอา ซิกซ์ซิกมา มาใช้เป็นกลยุทธ์ของกิจการ มากกว่า ที่จะเป็นวิธีการทางคุณภาพในการควบคุมกระบวนการ สำหรับกระบวนการพัฒนาแบบ ซิกซ์ซิกมา นั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนง่ายๆ 5 ขั้นตอนคือ การกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define-D) การวัดและรวบรวมข้อมูล (Measure-M) การวิเคราะห์ (Analysis-A) การปรับปรุง (Improve-I) และการควบคุมและขยายผล (Control and Replicate-C) สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล (2546)

ทั้ง 5 ขั้นตอนดังกล่าวนี้ เป็นที่รู้จักกันในชื่อ DMAIC (อ่านว่า ดีแมกซ์) รายละเอียดแสดงของกระบวนการต่างๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิรายละเอียดขั้นตอน D-M-A-I-C (สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล,2546.P23)

1. ระยะกำหนดขอบเขตของปัญหา (Define Phase)

ในขั้นตอนแรกของกระบวนการแก้ไขปัญหาแบบ Six Sigma จะต้องกำหนดขอบเขตของปัญหาให้ชัดเจน โดยการจัดตั้งทีมงานหรือคณะทำงานเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลในอดีต เพื่อหาจุดบกพร่องของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ หรือ ค้นหาลูกค้าและความต้องการของลูกค้า จากนั้นทำการประเมินปัญหา ขนาดผลกระทบของปัญหา โดยอาจจะเปรียบเทียบกับสมรรถนะปัจจุบัน สำหรับเครื่องมือที่จะช่วยในกระบวนการนี้ ได้แก่ การเขียนแผนผังแสดงกระบวนการผลิต แผนภาพพาเรโต

2. ระยะการวัดและรวบรวมข้อมูล (Measure Phase)

สำหรับการดำเนินการในระยะนี้ จะเริ่มต้นจากการค้นหาความผันแปรของกระบวนการ การกำหนดตัวชี้วัดของกระบวนการ ตลอดจนการกำหนดชนิดของข้อมูลที่จะเก็บ กำหนดวิธีการเก็บตัวอย่าง จากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์ระบบการวัดผล การวิเคราะห์ขีดความสามารถของ

กระบวนการเปรียบเทียบกับความต้องการหรือสเปกของลูกค้าเพื่อให้ทราบว่าขณะนี้เราทำได้ดีเพียงใด มีข้อบกพร่องหรือความสูญเสียเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด และเมื่อปรับปรุงกระบวนการใหม่ (สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล , 2546) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ แม่นยำ เที่ยงตรง ไม่คลาดเคลื่อน สำหรับเครื่องมือที่จะช่วยในกระบวนการนี้ได้แก่ แผนผังก้างปลา (Fish bone Diagram) การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบวัด (MSA)

3.ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ ข้อมูล วิเคราะห์กระบวนการ วิเคราะห์หาต้นตอของความผันแปร โดยจะประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติ เข้ามาช่วย เพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหานั้น ซึ่งเครื่องมือ ทางสถิติที่มักนำมาใช้ ได้แก่ การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

4. ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

สำหรับระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนั้น เป็นการระดมสมองเพื่อคิดค้นหาทางเลือกที่เป็นไปได้ การพัฒนาวิธีที่การต่างๆ ที่จะนำมาขจัดปัญหารวมไปถึงการสร้างระเบียบแบบแผนต่างๆ เพื่อลดปัญหานั้น โดยเครื่องมือที่ใช้ปรับปรุงกระบวนการ อาจจะใช้ การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) และมีการนำ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) มาใช้เพื่อหาค่าปรับตั้งที่ดีที่สุด ในการปรับปรุงกระกวนการ

5. ระยะการควบคุมและติดตามผล (Control Phase)

ในระยะนี้จะเป็นการกำหนดกลยุทธ์ในการควบคุมผลของการปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความผันแปรในกระบวนการ หลังจากมีการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการแล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง มีการควบคุมกระบวนการนั้นไม่ให้เกิดความผิดปกติ ขึ้นอีก ทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมกระบวนการ การจัดทำแผนการควบคุมผล ตลอดจนจัดทำคู่มือในการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน จัดทำแผนการฝึกอบรม และต้องมีการติดตามผลเป็นระยะ

สำหรับงานวิจัยนี้ก็ได้นำเครื่องมือทางคุณภาพและเทคนิคต่างๆ ของทั้ง 5 ขั้นตอน ของซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในงานวิจัย มีดังต่อไปนี้ ดังนี้

1. แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

สำหรับ หลักการของพาเรโต้ (Pareto Principle) นั้น ได้ถูกค้นพบโดยนาย อัลเฟรโด พาเรโต (พ.ศ. 2391-2466)นักเศรษฐศาสตร์ ชาวอิตาเลียน มาจากการสำรวจรายได้ของประชากร ในสมัยนั้น โดยคนที่มีรายได้สูง 20% สามารถสร้างรายได้ถึง 80% ในขณะที่ประชากรที่เหลืออีก 80% รายได้รวมกันเพียง 20% ของระบบเศรษฐกิจทั้งหมด จึงได้นำหลักการนี้มาพยากรณ์เหตุการณ์อื่นๆที่เกิดขึ้นคล้ายๆกัน และเรียกเหตุการณ์นี้ว่า 20/80 หรือปรากฏการณ์พาเรโต

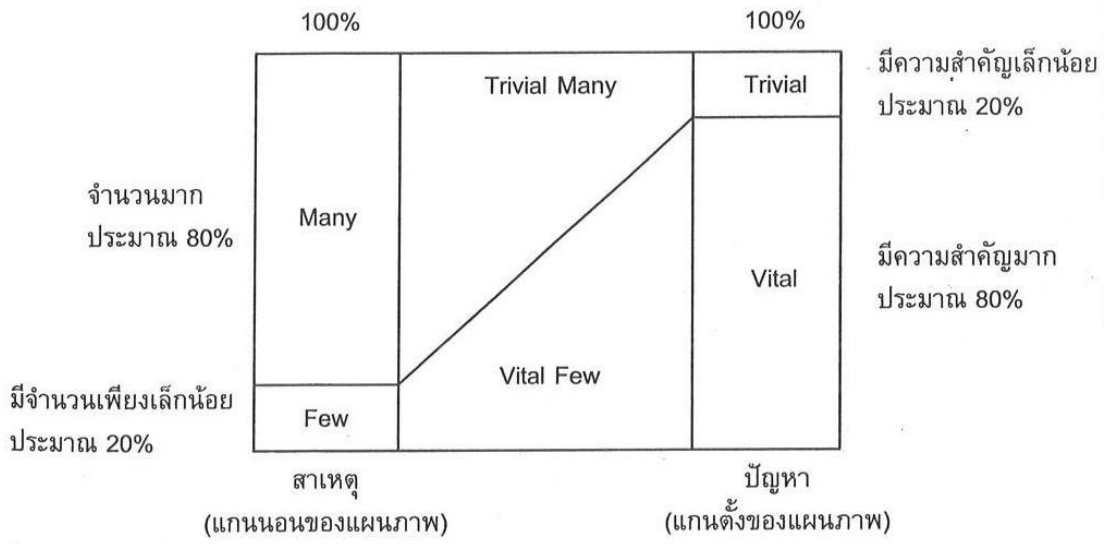
สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล (2546) ได้กล่าวถึง ผังพาเรโต ไว้ว่า เป็นกราฟแท่งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกับปริมาณ โดยสาเหตุอาจเป็นชนิดของข้อบกพร่อง ตำแหน่งของข้อบกพร่อง หน่วยงานที่พบปัญหา และในส่วนของปริมาณอาจเป็นมูลค่า ความถี่ จำนวน ปริมาตร ซึ่ง ผังพาเรโต นอกจากจะใช้เพื่อมุ่งหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาแล้ว ยังสามารถช่วยในการตัดสินใจได้อีกหลายแง่มุม เช่น ใช้จัดลำดับความสำคัญ ใช้จัดลำดับความรุนแรงของปัญหา ใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาตามลำดับของความสำคัญ และใช้ในการกำหนดเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาด้วย โดย ผังพาเรโตมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ (1) แกนตั้งซ้ายมือเป็นแกนแสดงปริมาณ

ส่วนที่ (2) แกนตั้งขวามือเป็นแกนแสดงเปอร์เซ็นต์สะสมตั้งแต่แท่งแรกไปจนแท่งสุดท้าย

ส่วนที่ (3) แกนนอนแสดงสาเหตุ ชนิด ประเภทที่สนใจศึกษา

ศุภชัย นาทะพันท์ (2551) ได้กล่าวถึงว่า โจเซฟ จูราน (พ.ศ. 2535) ซึ่งเป็นนักเศรษฐศาสตร์ ชาวอเมริกัน โดยจูรานได้สร้างวลีที่ว่า “ประเภทน้อยชนิดแต่มีผลมาก และประ ะเภทมากชนิดแต่มีผลน้อย (Vital Few and Trivial Many)” และจูรานยังได้กล่าวถึง หลักการ “ 80-20” ไว้ว่า ” ปัญหาที่มีความสำคัญมาก 80% จะมีสาเหตุมาจาก 20% ของสาเหตุทั้งหมด หรือ เรียกว่าประเภทน้อยชนิดแต่มีผลมาก (The Vital Few) และขณะเดียวกัน 80% ของสาเหตุจะมีผลต่อปัญหาเพียงเล็กน้อยอีกจำนวน 20% ของปัญหาเท่านั้น หรือ ที่เรียกว่าประเภทมากชนิดแต่มีผลน้อย (The Trivial Many) ดังนั้น ในการแก้ไขปัญหา จึงไม่จำเป็นต้องแก้ทุกสาเหตุให้หมดแต่ให้เลือกเฉพาะสาเหตุหลักที่สำคัญ มาทำการแก้ไข หรือ ปัญหาใดเป็นปัญหาสำคัญมาก ก็ควรเร่งแก้ไขก่อนและปัญหาใดที่เป็นปัญหาสำคัญน้อยก็ควรแก้ทีหลัง ตัวอย่างของแผนภาพพาเรโตแสดงดัง รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงหลักการพาเรโต (ศุภชัย นาทะพันท์, 2551.P81)

สำหรับ ขั้นตอนการสร้างแผนภาพพาเรโต (ศุภชัย นาทะพันท์, 2551) มีดังนี้

1. เริ่มต้นจากการศึกษาปัญหาว่าเราจะศึกษาปัญหาอะไร จากนั้นทำการแยกสาเหตุของการเกิดปัญหานั้น

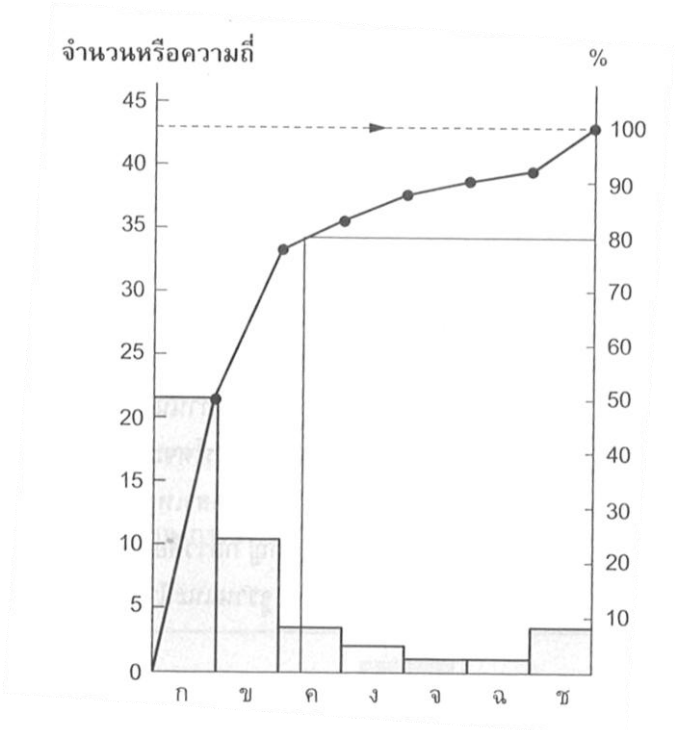
2. การออกแบบใบบันทึกข้อมูล ทั้งนี้ใบบันทึกข้อมูลต้องมีรายละเอียดพอสมควร เช่น ใครเป็นผู้บันทึก บันทึกวันไหน เวลาใด ตลอดจนอธิบายวิธีการเก็บข้อมูลด้วย

3. การทำการจดบันทึก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มา คำนวณหายอดรวมและเปอร์เซ็นต์สะสมของแต่ละสาเหตุจากนั้นนำมาพล็อตกราฟ

4. ในการพร็อตกราฟจะให้ แกนนอนเป็นแกนของ สาเหตุโดยสาเหตุที่มีความถี่ สูงสุดจะไว้ด้านซ้ายและสาเหตุที่มีความถี่ต่ำไว้ด้านขวา โดยที่แท่งอื่นๆที่ความถี่ไม่ควรเกิน 20% ของเปอร์เซ็นต์สะสมอยู่ด้านขวาสุด ส่วนแกนตั้งจะเป็นแกนความถี่และแกนเปอร์เซ็นต์

5. ในการ เขียนกราฟแท่ง ควรจะมีความกว้างเท่ากันทุกแท่งและข้อมูลที่แสดงควรมีประมาณ 6 ถึง 10 แท่งเท่านั้น จากนั้นลากเส้นความถี่สะสมจากซ้ายไปขวา

ในการประยุกต์แผนภาพพาเรโตในการเลือกที่จะแก้ปัญหาหรือสาเหตุ ข้อมูลทางสถิติจะเป็นตัวตัดสินใจให้เลือกแก้ปัญหาหรือสาเหตุทั้งหมดที่อยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์สะสมประมาณ 80 % จะเห็นได้จากรูป ที่ 2.3 ซึ่งแสดงตัวอย่างการสร้างแผนภาพพาเรโต จากรูป จะเห็นได้ว่า ควรพิจารณาแก้ไขสาหตุ ก และ ข ลำดับการแก้ปัญหาเริ่มจากแก้ที่สาเหตุ ก และ ข เมื่อสามเหตุ ก และ ข ถูกแก้ไปแล้ว สาเหตุ ค ก็จะเป็นสาเหตุหลักแทน และในกรณีที่ไม่มีข้อมูลทางสถิติสนับสนุนให้ใช้วิธีโหวตเสียงและลงมติ หรือให้คะแนนจากความเป็นไปได้ ความรุนแรง และความถี่



รูปที่ 2.3 แสดงแผนภาพพาเรโตโดยเรียงชนิดของสาเหตุ ก-ช (ศุภชัย นาทะพันท์, 2551. P82)

2 แผนผังก้างปลา (Fish-bone Diagram)

ศุภชัย นาทะพันท์ (2551) ได้กล่าวไว้ว่า แผนผังก้างปลา (Fish-bone Diagram) หรือเรียกว่าแผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) หรือแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause-and Effect Diagram) ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นเครื่องมือที่ช่วยในกิจกรรมกลุ่มคุณภาพ (Quality Circles) ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เราต้องการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหา ในการใช้แผนผังก้างปลาจะเป็นการพิจารณาสาเหตุ (Cause) ที่มีผลกระทบ (Effect) ต่อปัญหาที่เราสนใจจะศึกษาหรือปัญหาที่เราต้องการจะแก้ไข

พรเทพ เหลือทรัพย์สุข (2553) ได้กล่าวถึงผังก้างปลา ไว้ว่า ผังก้างปลาเป็นเครื่องมือของ Six Sigma ที่จะถูกใช้เบื้องต้นในขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define) วิเคราะห์ (Analyze) และปรับปรุง (Improve) ในกระบวนการ DMAIC โดยใช้ระบุว่าควรจะสุ่มอะไรจากกระบวนการและตัวแปรใดที่จำเป็นที่จะต้องถูกควบคุมในระหว่างกระบวนการสุ่มตัวอย่าง ถ้าไม่มีการวิเคราะห์สาเหตุและผลโดยใช้ผังก้างปลา กระบวนการสุ่มจะมีความเจาะจงน้อยลง

สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล (2546) ได้นิยาม ผังก้างปลา หรือ Cause & Effect Diagram ไว้ว่าเป็นผังที่ใช้แสดงสาเหตุของปัญหา โดยรวบรวมปัจจัยที่นอกจากจะส่งผลต่อคุณลักษณะทาง

คุณภาพแล้ว ยังสามารถแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเหตุและผลได้ดีอีกด้วย และกล่าวด้วยว่า ผังก้างปลาที่ดีควรมาจากการระดมความคิดจากทุกฝ่าย โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบเสมอ หลีกเลี่ยงการใช้ความรู้สึกเพียงอย่างเดียว โดยการตั้งคำถามอย่างต่อเนื่องว่า ทำไม ทำไม ทำไม และทำไม ซึ่งจะทำให้สามารถค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้

แผนผังก้างปลาแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

(1) แผนผังก้างปลาสำหรับการวิเคราะห์การกระจาย (C&E for Analysis Type) ที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านการผลิต การบริการ จะเขียนสาเหตุหลักให้เสร็จก่อน

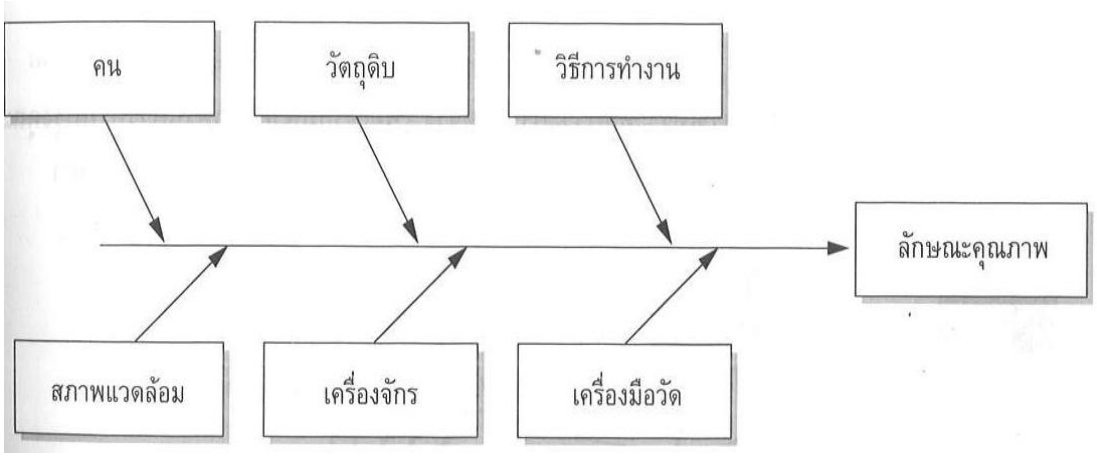
(2) แผนผังก้างปลาสำหรับวิเคราะห์กระบวนการผลิต (C&E for Process Analysis Type) จะเขียนขั้นตอนกระบวนการผลิตก่อน (สาเหตุหลัก) เชื่อมโยงแต่ละสาเหตุหลักด้วยสาเหตุย่อย

ขั้นตอนการสร้างแผนผังก้างปลา(ศุภชัย นาทะพันท์,2551)

ขั้นตอนแรก เริ่มจากการสร้างคณะทำงานจากบุคคลากรที่มีความชำนาญหรือบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปัญหานั้น มาระบุปัญหาและระดมความคิด (Brainstorming) โดยช่วยกันคิดและวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพและเขียนปัญหาบนแผนผังก้างปลาให้ด้านขวาของลูกศรแทนกระดูกสันหลังของปลา ดังแสดงรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 การระบุปัญหา (ศุภชัย นาทะพันท์, 2551. P87)

ขั้นตอนที่สองคือ การระบุสาเหตุหลัก โดยส่วนใหญ่แล้วสาเหตุหลักที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์นั้นมี 6 สาเหตุหลัก คือ คน (Man), เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine or Equipment), วิธีการปฏิบัติงาน (Work Method), วัตถุดิบ (Materials) สภาพแวดล้อม (Environment) และเครื่องมือวัด (Measurement) วิธีการเขียนคือ ให้หัวปลาคือปัญหาที่เราต้องการรู้สาเหตุ ส่วนก้างปลาคือสาเหตุย่อยต่างๆที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การระบุสาเหตุหลัก (ศุภชัย นาทะพันท์, 2551. P87)

ขั้นตอนที่สามคือ การจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ โดยให้ เขียน สาเหตุ ที่สำคัญไว้อันดับแรกๆ ไว้ที่เส้นก้างปลา ส่วนสาเหตุที่มีความสำคัญ เขียนไว้ที่ก้างปลาย่อยและต้องทำลูกศรแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกำกับไว้ด้วย

ขั้นตอนสุดท้าย คือ การ ประมวลผลเพื่อหาข้อสรุป เพื่อเลือกสาเหตุหลักมาทำการแก้ไขต่อไปซึ่งอาจจะทำโดยการให้คะแนนความสำคัญ หรือการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

แผนผังก้างปลาที่สมบูรณ์จะต้องได้ประเมิน จนพบสาเหตุที่แท้จริง พร้อมทั้งได้นำสาเหตุของปัญหาไปทำการแก้ไข หลังจากนั้นจึงกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน และทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้อง การใช้แผนผังก้างปลาจะให้ประโยชน์ในการใช้เป็นแผนผังที่รวบรวมความคิดเห็นของทุกๆคน

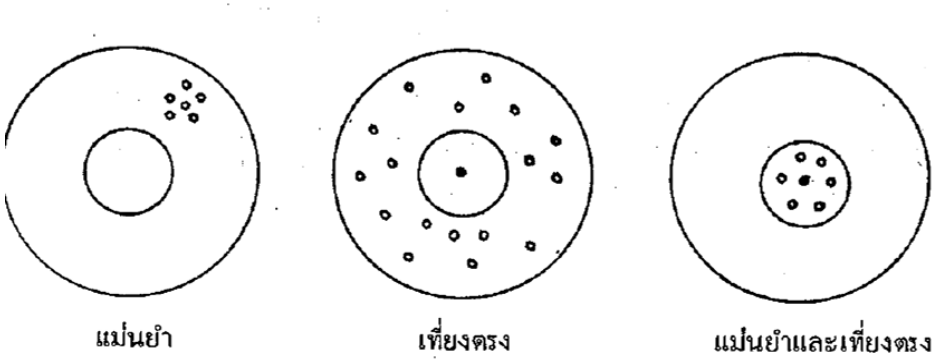
3. การศึกษาระบบการวัด (Gauge R&R measurement system)

ในการศึกษาระบบการวัด จะทำเพื่อวิเคราะห์ว่า เครื่องมือที่เราใช้วัดสาเหตุของปัญหาในปัจจุบัน หรือเครื่องมือวัดที่นำมาวิเคราะห์ปัญหา นั้น ความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy) หรือไม่โดยเทียบกับพิกัดความเผื่อของชิ้นงานหรือความผันแปรของกระบวนการ และเพื่อศึกษา ความผิดพลาดจากการวัด โดยการใช้ผู้วัดหลายคน วัดหลายๆชิ้นงาน โดยใช้เครื่องมือวัดและระบบวัดเดียวกัน

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2553) ได้กล่าวถึง ความแม่นยำ (Precision) ไว้ว่า เป็นความสามารถในการวัดที่ให้ผล ที่มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าไม่กระจัดกระจาย โดยข้อมูลจะอยู่เป็นกลุ่มเดียวกัน เป็นกลุ่ม ไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับเครื่องมือการวัด และ ความเที่ยงตรง (Accuracy) ไว้ว่า เป็น

ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้เคียงความจริงมากโดยผลต่างของค่าจริงและค่าวัด จะมีค่าเฉลี่ยน้อยมาก หรือแทบจะไม่แตกต่างกันเลย

ทั้งนี้ เครื่องมือที่ดีจะต้องให้ผลค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงเป็นไป ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความแตกต่างของความแม่นยำและความเที่ยงตรง (ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 2553. P23)

สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล (2546) ได้แบ่งคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบวัดได้เป็น 2 ประเภทคือ Repeatability และ Reproducibility

Repeatability เป็นคุณสมบัติซึ่งแสดงถึงความผันความผันแปรภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกันทุกประการได้แก่ คนวัดคนเดียวกัน วัดด้วยวิธีการเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ทำซ้ำหลายๆ ครั้ง หากเป็นระบบที่มีความแม่นยำสูง แม้จะทำการวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง ค่าที่ได้ก็จะใกล้เคียงค่าเดิม

Reproducibility เป็นคุณสมบัติซึ่งแสดงถึงความผันแปรอันเกิดจากการเปลี่ยนคนวัด แต่ใช้วิธีการเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน หากเป็นระบบการวัดที่มีความแม่นยำสูง แม้จะเปลี่ยนคนวัดไปกี่คนก็ตาม ค่าที่ได้ควรใกล้เคียงเดิม

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2553) ได้กล่าวถึง ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่สามารถประเมินผล Repeatability และ Reproducibility ได้ 3 วิธีคือ

วิธีที่ 1 ค่าพิสัยเฉลี่ย (Range Method) จะเหมาะสมกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ข้อดีคือ ทำได้ง่ายรวดเร็ว ส่วนข้อเสียคือจะไม่สามารถแยกความแปรผันของ Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้

วิธีที่ 2 ค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) จะเหมาะกับการทดลองซ้ำของพนักงานแต่ละคน ซึ่งข้อดีคือสามารถแยกความแปรผันของ Repeatability ออกจาก

Reproducibility ส่วนข้อเสียคือจะไม่สามารถวิเคราะห์ความผันแปรจากอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ระหว่างชิ้นงานกับพนักงานได้

วิธีที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method) เป็นวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดกับการวิเคราะห์ระบบการวัด เนื่องจากสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุของอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วมระหว่าชิ้นงานและพนักงานออกจากค่า Repeatability ได้

4. การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing)

สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล (2546) ได้ให้นิยามของ สมมติฐาน ว่า ความเชื่อ หรือ สิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้น การที่เราตั้งสมมติฐานแล้วพยายามทำการทดสอบหรือพิสูจน์ว่า สมมติฐานนั้นถูกหรือผิด เราเรียกว่า การทดสอบสมติฐาน (Hypothesis Testing)

ในขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานนี้ จะทำ เพื่อ ยืนยัน หรือพิสูจน์ ความจริงที่เกี่ยวกับ สาเหตุของปัญหาหรือกระบวนการที่เราได้ทำการศึกษามาแล้วนั้น เป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

วิธีการในการทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing) สามารถดำเนินการดังขั้นตอนต่อไปนี้

(1) ตั้งสมมุติฐานฐานหลัก (Null Hypothesis) เป็นข้อสมมุติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าเท็จ (Disprove) หรือข้อความที่ต้องการ ให้ปฏิเสธ ซึ่งอาจจะเป็นสมมติฐานแบบสองด้านหรือด้านเดียวก็ได้ โดยสมมติฐานหลักต้องเป็นส่วนกลับของสมมติฐานรอง จะเขียนสัญลักษณ์ด้วย H_0

(2) ตั้งสมมุติฐานรอง หรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) เขียนสัญลักษณ์ด้วย Ha หรือ H1 ข้อสมมุติหรือข้อความที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริง (Prove) หรือต้องการยอมรับ ยกเว้น กรณีที่พิสูจน์ว่าเท่ากัน

วิธีการตั้งสมมติฐาน อาจจะต้องพิจารณา 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สมมุติฐานที่มาจากข้อมูลเก่า หรือค่าที่กระบวนการดังกล่าวในอดีต หรืออาจจะได้มาจากการทดลองก่อนหน้านี้ก็ได้ กรณีนี้แปลว่าเรากำลังพิสูจน์ว่า ค่าพารามิเตอร์หรือ กระบวนการ ได้เปลี่ยนแปลงไปหรือยัง ส่วนที่ 2 สมมุติฐานที่มา จากทฤษฎีผลการวิจัย หรือผลจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการทดสอบสมมุติฐานสำหรับกรณีนี้จะเป็นการพิสูจน์ผล หรือ ยืนยัน ทฤษฎี หัวข้อการวิจัย หรือแบบจำลอง ว่าถูกต้องหรือไม่ และส่วนที่ 3 สมมุติฐานที่มา จากข้อกำหนดทางวิศวกรรม

(Engineering specification) ในกรณีนี้จะต้องการทดสอบว่ากระบวนการ ยังตรงตามข้อกำหนดหรือไม่

(3) ทำการกำหนดระดับการทดสอบ หรือความเสี่ยง (Significance Level หรือ Type I Error ; α) เป็นค่าความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐานที่แบ่งได้ 2 กรณี คือ

กรณี 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมุติฐานหลัก โดยสมมุติฐานหลักมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมุติฐาน

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมุติฐานหลัก โดยที่สมมุติฐานหลักมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งความผิดพลาดทั้ง 2 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมุติฐาน

ผลทดสอบ / ความจริง	ไม่ปฏิเสธ H_0	ปฏิเสธ H_1
H_0 ถูกต้อง	ตัดสินใจถูกต้อง (Confidence Level ; $1-\alpha$)	ตัดสินใจผิด (Type I Error ; α)
H_1 ถูกต้อง	ตัดสินใจผิด (Type II Error ; β)	ตัดสินใจถูกต้อง (Power of Test ; $1-\beta$)

(4) การกำหนดวิธีการตัดสินใจ ให้พิจารณาถึงตัวสถิติที่ทำการทดสอบ และพิจารณาถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวสถิติดังกล่าว ทั้งนี้ต้องนำทฤษฎีการแจกแจงสิ่งตัวอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะอธิบายถึงขนาดของความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขของการทดสอบ จากนั้นกำหนดช่วงแห่งการยอมรับและปฏิเสธของตัวสถิติ ซึ่ง ถ้าหากตัวสถิติที่ทำการทดสอบหรือผลที่ได้จากการคำนวณ อยู่ในบริเวณแห่งการยอมรับ ก็ให้ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ถ้าหากตัวสถิติสำหรับการทดสอบ อยู่ในบริเวณแห่งการปฏิเสธให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

5. แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

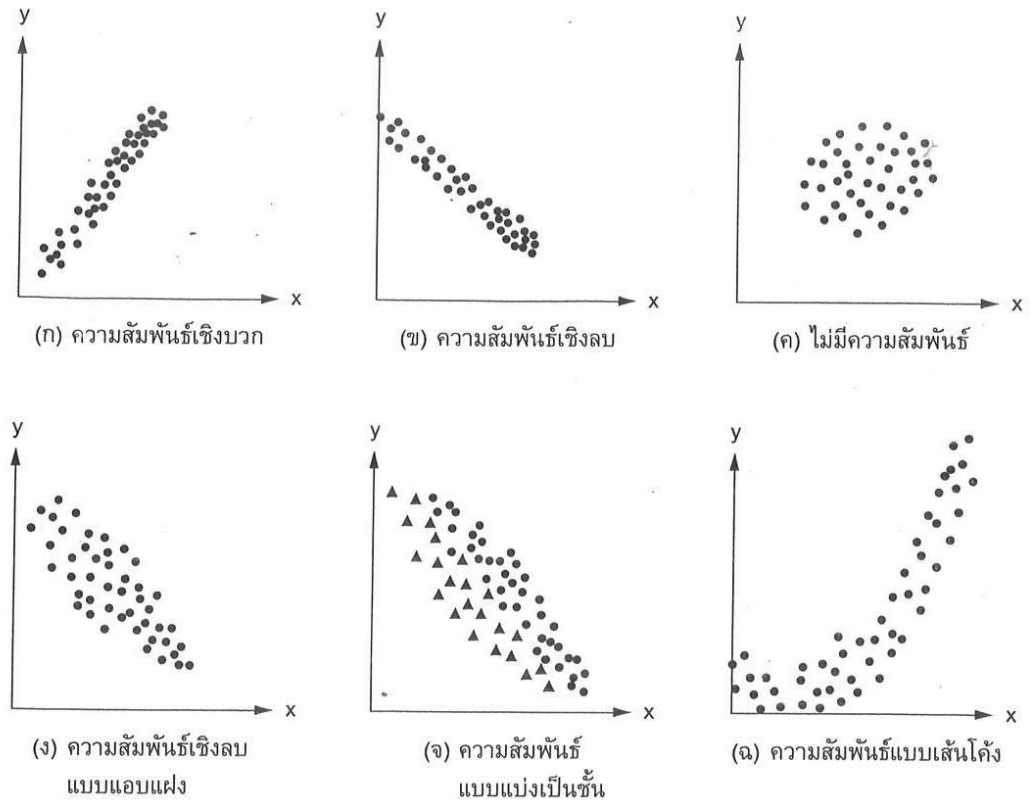
ศุภชัย นาทะพันท์, 2551 ได้กล่าวถึง แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ว่า ใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยการวาดลงบนแผนภาพการกระจาย

ขั้นตอนการสร้างแผนภาพการกระจาย

1. เก็บข้อมูลในลักษณะที่เป็นคู่อันดับ (x,y) โดยที่ให้สาเหตุที่สามารถควบคุมได้เป็นแกน x และ ผลกระทบเป็นแกน y

2. กำหนดมาตราส่วนทั้งแกนตั้งและแกนนอน แล้วเขียนข้อมูลพล็อตจุดลงแผนภาพ

แผนภาพการกระจายที่สร้างเสร็จสามารถสรุปความสัมพันธ์ (Relation) หรือสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่าง 2 ตัวแปร ได้แสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งมี 6 รูปแบบ



รูปที่ 2.7 รูปแบบของแผนภาพการกระจาย(ศุภชัย นาทะพันท์,2551)

จากรูป จะเห็นว่า รูปแบบ(ก) คือ มีความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างตัวแปร 2 ตัว เพราะขณะที่ค่าของ x เพิ่มขึ้น ค่าของ y ก็เพิ่มขึ้น รูปแบบ(ข) มีความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างตัวแปร 2 ตัว เพราะขณะที่ค่าของ x เพิ่มขึ้น ค่าของ y กลับลดลง รูปแบบ(ค) ไม่มีความสัมพันธ์กัน มี

ลักษณะคล้ายกับลูกกระสุนปืนที่ยิงเข้าเป้า รูปแบบ(ง) เป็นรูปแบบที่อาจจะมีหรือเกือบจะไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัว แต่มีรูปแบบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าของ x และค่าของ y รูปแบบ(จ) ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็นชั้นตามคุณลักษณะของปัจจัยที่ป้อนเข้า เช่น วัตถุดิบ เครื่องจักร อุณหภูมิ ความดัน หรือกระแสไฟที่แตกต่างกัน เป็นต้น ดังนั้น การนำเสนอควรกำหนดจุดเป็นวงกลมสำหรับปัจจัยที่หนึ่งและสามเหลี่ยมสำหรับปัจจัยที่เหลือ และรูปแบบ(ฉ) ข้อมูลมีความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งมากกว่าเส้นตรง

3.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์ (2548) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การถดถอย ไว้ว่า การวิเคราะห์การถดถอยหรือเรียกว่า Regression Analysis นั้น มีจุดประสงค์ คือการวิเคราะห์ดูความเชื่อมโยงระหว่างสาเหตุของปัญหาที่สงสัย กับผลลัพธ์ที่สนใจของกระบวนการ ซึ่ง Regression Analysis จะให้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือมากกว่าแผนผังการกระจาย เนื่องจากเป็นการคำนวณในเชิงตัวเลขไม่ใช่การพิจารณาด้วยสายตาเหมือนกับกราฟการกระจาย

นอกจากนี้การวิเคราะห์แบบ Regression Analysis ยังสามารถทำได้กับหลายสาเหตุพร้อมกัน ซึ่งไม่เหมือนกับวิธีผังการกระจายที่ทำได้เพียงสาเหตุเดียว นอกจากนี้ Regression Analysis ยังสามารถคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างสาเหตุแต่ละตัวกับผลลัพธ์ของกระบวนการว่ามีความเกี่ยวข้องกันหรือไม่ ถ้าเกี่ยวข้องกัน ก็จะแสดงตัวเลขออกมาและสามารถบอกได้ว่าเกี่ยวข้องกันในระดับใดได้ด้วย

6. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment: DOE)

ปัจจุบัน การออกแบบการทดลองถือว่า ได้รับความนิยมอย่างมากในการพัฒนาอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากการออกแบบการทดลอง จะทำให้เกิดการพัฒนากระบวนการผลิต ปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยวัตถุประสงค์หลักของการทดลองก็เพื่อที่จะพัฒนากระบวนการให้มีความเข้มแข็ง (Robust process) ลดความผันแปรภายนอกที่จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการ

ปารเมศ ชุติมา (2545) ได้ให้นิยามของการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) เอาไว้ว่า กระบวนการในการออกแบบการทดลองนั้น จะทำให้เราได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อในเชิงสถิติ โดยข้อมูลเหล่านี้ก็จะมีความน่าเชื่อถือสมเหตุสมผล สามารถหาข้อสรุปได้อย่างถูกต้องจากข้อมูลที่เรามีอยู่โดยใช้หลักการทางสถิติในการสนับสนุนข้อมูลของเรา และถ้าปัญหาที่เราสนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง

(Experimental Error) วิธีการทางสถิติจึงเป็นวิธีการอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในผลการวิเคราะห์การทดลองนั้นได้ จึงสามารถกล่าวได้ว่า สิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ประการดังนี้

(1) เรพลิเคชั่น (Replication) หมายถึง การทดลองซ้ำ โดยมีคุณสมบัติสองประการคือ ประการแรก เรพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ซึ่งตัวประมาณความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

(2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมุติฐานนี้เป็นจริง และทำให้สามารถลดปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

(3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดจากการทำบล็อกกิง

แนวทางในการออกแบบการทดลอง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

(1) การ ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนนี้จะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง บ่อยครั้งที่จะต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหารลูกค้า และแผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุผลนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้ง ควรจะมีการทำงานเป็นทีม

(2) การ เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทารทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

(3) การเลือกตัวแปร ตอบสนอง ในการเลือกตัวแปร ตอบสนอง ผู้ลดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูล เกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปร ตอบสนอง เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่าอะไรคือตัวแปรตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

(4) การเลือกการออกแบบการทดลอง จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้การแรนดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ จำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางทราบวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแต่งต่างที่เกิดขึ้น

(5) ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้น

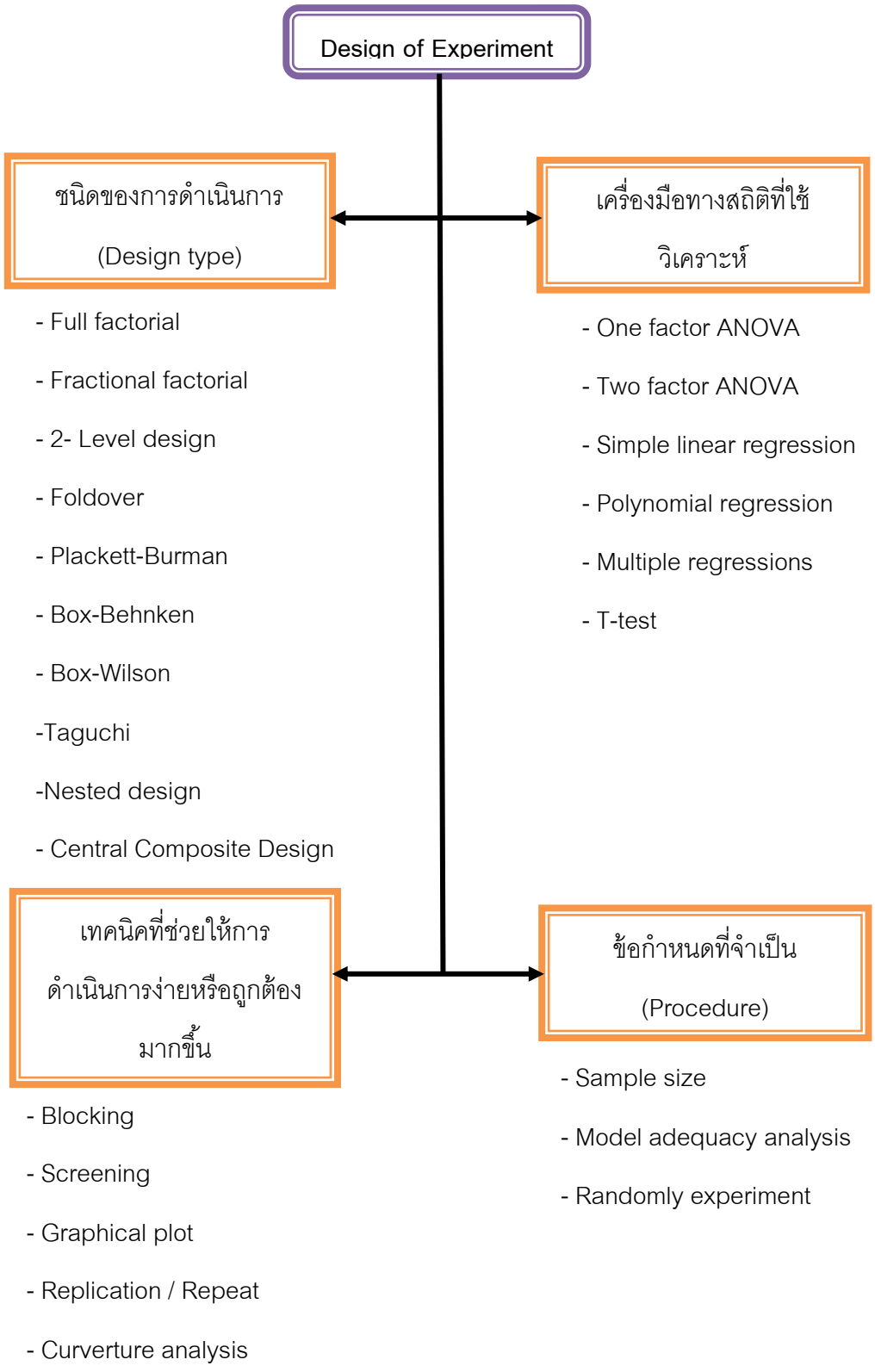
เกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

(6) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เราควรจำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้ามีการทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

(7) การสรุปผลและข้อเสนอแนะ หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้จะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

องค์ประกอบของการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 2.8

1. ชนิดของการดำเนินการ (Design type)
2. เครื่องมือทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ (Statistical tools)
3. เทคนิคที่ช่วยให้การดำเนินการง่ายหรือถูกต้องมากขึ้น (Technique)
4. ข้อกำหนดที่จำเป็น (Procedure)



รูปที่ 2.8 แสดงถึงองค์ประกอบของการออกแบบการทดลอง

(1) ชนิดของการดำเนินการ (Design type) คือ รูปแบบมาตรฐานที่จะใช้ในการดำเนินการ ผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนวางแผน เพราะ ชนิดของ Design จะนำไปสู่วิธีการดำเนินการทดลอง วิธีเก็บบันทึกข้อมูล และเครื่องมือทางสถิติที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในที่สุด การจะตัดสินใจเลือก Design ใดนั้น ต้องพิจารณาถึง ผลหรือเป้าหมายที่ต้องการได้รับ ความซับซ้อนของการทำการทดลอง และข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ โดย นักสถิติในยุคที่ผ่านๆมาได้คิดค้น Design ต่างๆ ไว้มากมาย จำเป็นที่ผู้ต้องการใช้ จะต้องศึกษารายละเอียดแต่ละ Design เพิ่มเติมด้วย

(2) เครื่องมือทางสถิติ (Statistical tools) หมายถึงกรรมวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เช่นเดียวกันที่ผู้ทดลองจะต้องเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนการวางแผนการทดลอง เละที่สำคัญผู้ใช้จะต้องเข้าใจ tool เหล่านี้ให้ดีพอ เมื่อผลการวิเคราะห์ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้ว จะแปลความหมายอย่างไร มีข้อผิดพลาดจะรู้ได้อย่างไรและจะตรวจได้ที่ใด

(3) เทคนิคหรือกลยุทธ์ (Technique) หมายถึงวิธีการที่จะทำให้การดำเนินการทดลองง่าย สะดวก และประหยัดทรัพยากรมากขึ้น โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้ เช่นเดียวกับผู้ทำการทดลองจะต้องกำหนดเทคนิคหรือกลยุทธ์พร้อมกับการเลือก Design เพราะบาง Design ก็มีข้อห้ามข้อกำหนดหรือข้อยืดหยุ่นที่แตกต่างกันไป

(4) ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental procedure) เป็นสิ่งพื้นฐานที่ผู้ทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ หาไม่แล้วผลการวิเคราะห์และข้อสรุปที่ได้อาจจะไม่มีความหมายหากปราศจากสิ่งเหล่านี้

7. การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (Fractional Factorial Design)

ปารเมศ ชุติมา.(2545) ได้กล่าวว่า การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ เราจะใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่ามีปัจจัยใดบ้าง ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณา

อยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อๆไปที่จะตามมาในอนาคต

ความสำเร็จของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลขึ้นอยู่กับแนวคิดที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1. หลักการที่ว่ามีปัจจัยจำนวนน้อยที่มีผล เมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่างๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่จะถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักและอันตรกิริยาขั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น

2. คุณสมบัติการฉายการออกแบบ การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในเซตย่อยของปัจจัยที่มีผล

3. การทดลองต่อเนื่อง เป็นไปได้ที่จะรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะให้เกิดการทดลองอย่างต่อเนื่องที่มีการออกแบบที่ใหญ่กว่า และสามารถประมาณผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในความสนใจได้ดียิ่งขึ้น

6. การสร้างการออกแบบ $\frac{1}{2}$

เศษส่วน $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^k ที่มีมิติสูงสุด อาจจะสร้างได้จากการเขียนการออกแบบเบื้องต้น(Basic Design) ซึ่งประกอบไปด้วย แฟกทอเรียลแบบบริบูรณ์ของ 2^{k-1} แล้วเติมปัจจัยตัวที่ k ลงไป โดยกำหนดให้เครื่องหมายบวกและลบของปัจจัยที่ k นี้ มีค่าเหมือนกันกับเครื่องหมายของอันตรกิริยาขึ้นสูงสุด ABC…(K-1) ดังนั้น เศษส่วนแฟกทอเรียลแบบ 2_{III}^{3-1} จะหาได้จากการเขียนแฟกทอเรียลแบบ 2^2 ให้เป็นการออกแบบเบื้องต้น และหาค่า C จากอันตรกิริยา AB เศษส่วนอีกชุดหนึ่งหาได้โดยให้ C เท่ากับ –AB วิธีการนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2-1 สังเกตว่าการออกแบบเบื้องต้นจะมีจำนวนการทดลองร่วมปัจจัย(แถว) ที่ครบถูกต้อง แต่จะขาดอยู่ 1 คอลัมน์ เราจะใช้ I = ABC…K ในการหาคอลัมน์ที่ K ขาดหายไป ดังนั้น เราจะใช้ K= ABC…(K-1) ในการกำหนดเครื่องหมายบวกและลบที่จะใช้กับปัจจัยตัวที่ k

ตามความเป็นจริงแล้วเราสามารถนำผลของอันตรกิริยาตัวใดๆมาใช้ในการสร้างคอลัมน์สำหรับปัจจัยตัวที่ k ก็ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ผลของอันตรกิริยาตัวอื่นๆ นอกเหนือจาก ABC…(K-1) แล้ว การออกแบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดการออกแบบที่มีมิติสูงสุดที่เป็นไปได้

อีกวิธีหนึ่งในการสร้างการออกแบบเศษส่วน $\frac{1}{2}$ ก็คือ แบ่งการทดลองทั้งหมดออกเป็น 2 บล๊อก โดยใช้ ABC…K เป็นตัวคอนฟาวด์ ซึ่งในแต่ละบลอกคือการออกแบบเศษส่วนแฟกทอเรียลแบบ 2^{k-1} ซึ่งมีมิติสูงสุด

ตารางที่ 2.2 แสดงเศษส่วน $\frac{1}{2}$ ของการออกแบบ 2^3 ทั้งสองแบบ

Run	Full 2^2 Factorial (Basic Design)		2_{III}^{3-1}, / = ABC			2_{III}^{3-1}, / = - ABC		
	A	B	A	B	C= AB	A	B	C= AB
1	-	-	-	-	+	-	-	-
2	+	-	+	-	-	+	-	+
3	-	+	-	+	-	-	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+	-

8. วิธีการพื้นผิวตอบ (Response Surface Methodology,RSM)

สำหรับขั้นตอนต่อจากการทดลองแบบคัดกรองปัจจัยซึ่งใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล ซึ่งวิธีการนี้ใช้เป็นเพียงการทดลองเริ่มต้นโครงการเพื่อหาว่า มีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทดลองของเรา หรือมีผลต่อผลตอบสนอง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเราจะปรับตั้งพารามิเตอร์เท่าไหร่จึงจะให้ผลตอบที่มากที่สุด ดังนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม เพื่อหาจุดของคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการทางสถิติ ที่เรียกว่า วิธีการพื้นผิวตอบ (Response Surface Methodology, RSM)

ปารเมศ ชุติมา.(2545) ได้กล่าวว่าวิธีการพื้นผิวผลตอบ เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และ เราได้ทำการทดลองมาก่อนหน้านี้แล้ว และมีผลการทดลองแล้วว่ามีปัจจัยตัวไหนบ้างที่ผลต่อตัวแปรตอบสนอง และเราต้องการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ ตัวอย่างเช่น สมมติว่าวิศวกรคนหนึ่งต้องการที่จะหา ความเร็วรอบ (X_1) และอุณหภูมิ (X_2) ที่จะทำให้ผลผลิตของกระบวนการมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลผลิตของกระบวนการนี้เป็นฟังก์ชันของระดับของความเร็วรอบและอุณหภูมิ กล่าวคือ

$$y = f(X_1, X_2) + \varepsilon$$

โดยที่ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้าเรากำหนดว่า $E(y) = f(X_1, X_2) = \eta$ ดังนั้น เราสามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้คือ

$$\eta = f(X_1, X_2)$$

ซึ่งเราจะเรียกว่า “พื้นผิวผลตอบ (Response Surface)”

โดยมากแล้วการแสดงพื้นผิวตอบจะแสดงในรูปของกราฟฟิก เพื่อที่จะช่วยให้เรามองรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมาก คือเราจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้นขั้นตอนแรกคือ เราจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซ็ตของตัวแปรอิสระ โดยปกติแล้วเราจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ก็คือแบบจำลองกำลังหนึ่ง

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad (1)$$

และใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้นสำหรับสมการที่มีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum \sum_{i<j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \qquad (2)$$

การศึกษาพื้นผิวผลตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองหนึ่งในสองแบบที่กล่าวมานี้ ซึ่งแน่นอนว่าแบบจำลองพหุนามที่กล่าวมานี้จะไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระได้ แต่ทว่าถ้าพื้นผิวที่เราสนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร

วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบได้อย่างดีเพียงพอ ดังนั้น ในการวิเคราะห์พื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นมาจะสามารถประมาณ ได้กับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่างๆของแบบจำลองสามารถที่จะถูกประมาณได้เป็นอย่างดี ถ้าเราทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่าง

เหมาะสม การออกแบบสำหรับการสร้างพื้นผิวผลตอบเรียกว่า การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน ซึ่งบ่อยครั้งที่จุดบนพื้นผิวตอบที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุด ซึ่งบางผลตอบจะพบว่า ผลตอบของระบบไม่ค่อยเป็นส่วนโค้งและแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลองแล้ว ซึ่งวัตถุประสงค์ของเราคือการนำการทดลองไปตามแนวทางที่มีการปรับปรุงมากที่สุดและอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อที่จะไปให้ใกล้จุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อพบค่าที่ดีที่สุดแล้ว เราก็จะนำเอาแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้นเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์และการทดลองเช่นนี้จะทำเพื่อที่จะให้เราสามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้ วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบนั้น เปรียบได้กับการปีนภูเขา ซึ่งยอดของภูเขาเปรียบได้กับจุดที่มีผลตอบสูงสุด หรือถ้าค่าที่ดีที่สุดคือค่าต่ำสุด ก็จะคิดเสมือนว่า เรากำลังเคลื่อนที่ลงสู่หุบเขา วัตถุประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบก็คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยก่อให้เกิดการทำงานอย่างน่าพอใจ

วิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent)

บ่อยครั้งที่การประมาณค่าเงื่อนไขการทำงานที่ดีที่สุดเบื้องต้นสำหรับระบบที่กำลังศึกษานั้นจะอยู่ห่างไกลจากจุดที่ดีที่สุดจริง ในกรณีเช่นนั้นวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลองคือ การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจากจุดตั้งต้นไปสู่บริเวณใกล้กับจุดที่ดีที่สุด วิธีการที่จะใช้ควรจะเป็นวิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ เมื่อเราอยู่ห่างจากจุดที่ดีที่สุดนั้น

การปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด เป็นวิธีการที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างเป็นอันดับบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุด กล่าวคือ ในทิศทางที่มีการเพิ่มขึ้นของผลตอบสูงที่สุด แน่นอนว่าถ้าเราต้องการหาค่าที่ต่ำที่สุดแทน เราจะเรียกวิธีการดังกล่าวว่า วิธีการปีนลงด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Descent) แบบจำลองกำลังหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาก็คือ

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^{k} \hat{\beta}_i x_i \qquad (3)$$

และพื้นผิวผลตอบกำลังหนึ่ง (First-Order Response Surface) จะเป็นเส้นโครงร่างของ $\hat{y}$ ซึ่งจะเป็นอันดับของเส้นขนาน ทิศทางการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุดคือทิศทางที่ค่า $\hat{y}$ มีค่าเพิ่มขึ้นรวดเร็วที่สุด ทิศทางนี้คือเส้นที่ขนานกับเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นมา เราจะใช้เส้นทางเส้น

ที่ผ่านจุดศูนย์กลางของอาณาเขตที่กำลังสนใจและตั้งฉากกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นมานี้เป็นเส้นทางในการปีนขึ้นที่มีความชันสูงสุด ดังนั้นการก้าวย่าง (Step) บนเส้นทางเดินนี้จะเป็นสัดส่วนกับสัมประสิทธิ์ การถดถอย{ $\hat{\beta}_i$ }ขนาดที่แท้จริงของก้าวย่างจะหาได้จากประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการของผู้ทำการทดลองหรือข้อพิจารณาทางปฏิบัติอื่นๆ

การทดลองจะมีการทำขึ้นบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุดจนกระทั่งค่าของผลตอบไม่สามารถที่จะเพิ่มขึ้นอีกต่อไปได้ หลังจากนั้นแบบจำลองกำลังหนึ่งตัวใหม่อาจจะถูกสร้างขึ้นมาจะต้องมีการหาเส้นทางที่มีความชันสูงสุดขึ้นมาใหม่ และกระบวนการดังที่กล่าวมาข้างต้นนี้ก็จะเกิดขึ้นอีกครั้ง ในที่สุดผู้ทำการทดลองก็จะมาสู่จุดที่อยู่ใกล้กับจุดที่มีค่าที่มีค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะถูกบ่งชี้โดยดูจาก Lack of Fit ของแบบจำลองกำลังหนึ่ง เมื่อถึงตอนนั้นการทดลองเพิ่มเติมจะถูกดำเนินการขึ้นเพื่อหาตัวประมาณของค่าที่ดีที่สุดที่เหมาะสม

สำหรับการออกแบบการทดลองสำหรับฟิตวิธีพื้นผิวตอบ การฟิตและวิเคราะห์ผิวตอบจะง่ายขึ้น ถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม โดยมีแนวทางในการเลือกและพิจารณาการออกแบบดังนี้

(1) ข้อมูลต้องมีการแจกแจงหรือการกระจายตัวที่เหมาะสมของทุกจุดของข้อมูลตลอดบริเวณที่เราสนใจ

(2) ต้องสามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองและ Lack of Fit ได้

(3) ต้องทำให้การทดลองเกิดขึ้นได้ในบล็อก

(4) ต้องทำให้การออกแบบมีอันดับสูงขึ้นและสร้างขึ้นได้ตามลำดับ

(5) ต้องให้ค่าประมาณภายในความผิดพลาด

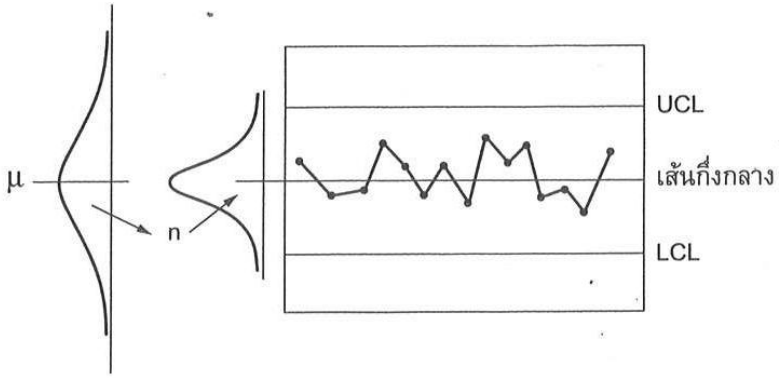
(6) ไม่จำเป็นต้องรันการทดลองจำนวนมาก

(7) ไม่จำเป็นต้องมีหลายระดับสำหรับตัวแปรอิสระ

(8) คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

ศุภชัย นาทะพันท์(2551) ได้กล่าวถึง แผนภูมิควบคุม ไว้ว่า แผนภูมิควบคุม (Control chart) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2467 โดย วอลเตอร์ เอ.ชิวฮาร์ต ขณะที่เขาทำงานที่

เบลล์เทเลโฟนแล็ป แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือคุณภาพอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการเฝ้าติดตามกระบวนการผลิตที่กำลังดำเนินการอยู่ (On-line Process) ดังแสดงในรูปที่2.9



รูปที่ 2.9 แผนภูมควบคุม (ศุภชัย นาทะพันท์, 2551.P90)

จากรูปที่ 2.9 แสดงถึงแผนภูมควบคุมค่าเฉลี่ยที่ใช้บันทึกความแปรผันจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง แกนนอน (Horizontal Axis) แทนกลุ่มตัวอย่างซึ่งถูกสุ่มด้วยจำนวนที่เท่ากัน และแกนตั้ง (Vertical Axis) แทนผลลัพธ์ จุด (Solid cycle) แต่ละจุดแทนค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มตัวอย่าง เส้นกึ่งกลาง (Center Line) แทนค่าเฉลี่ยของจุดหรือแทนค่าอ้างอิง (Reference value) ของข้อมูลในอดีต หรือแทนค่าเป้าหมายของข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ หรือแทนค่าเฉลี่ยของประชากร ส่วนเส้นขีดจำกัดควบคุม (Control limits) ถูกสร้างเพื่อช่วยตัดสินว่า ความผันแปรระหว่างกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นนั้น มีนัยสำคัญต่อคุณภาพหรือไม่

เนื่องจากฮิสโตแกรมไม่สามารถแปรเปลี่ยนได้ตามเวลา และเนื่องจากทุกกระบวนการผลิตต้องมีความแปรผันที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ (Chance Cause) ซ่อนอยู่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ขณะที่การประยุกต์แผนภูมิควบคุม จะทำให้ทราบถึงความแปรผันที่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ (Assignable Cause) และสามารถกำจัดความแปรผันดังกล่าวได้ การปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องจากความแปรผันของส่วนต่างๆ อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพเท่านั้น ที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตตรงตามความต้องการของลูกค้า เพราะผลิตภัณฑ์ ที่ผลิต จะมีความแปรผันน้อยจากค่าเฉลี่ยของขนาด (Nominal Dimension)

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2553) ได้นิยามแผนภูมิควบคุม ไว้ว่า เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้แยกความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่เป็นไปตามกำหนดของข้อมูลออกจากความผันแปรจากสาเหตุโดนธรรมชาติของข้อมูล โดยผ่านกลไกที่สำคัญ คือ พิกัดควบคุม (Control Limit) ของแผนภูมิ

ประเภทของแผนภูมิควบคุมได้รับการจำแนกแผนภูมิควบคุมแบ่งเป็น 2 ประเภท โดยจำแนกตามลักษณะการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1.) แผนภูมิควบคุมประเภทเชิงลักษณะ (Control Chart for Attribute) ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตที่มีการตรวจวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการนับ เช่น จำนวนของเสียหรือชำรุด จำนวนรอยตำหนิ แผนภูมิประเภทนี้ มี 2 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (Proportion Defective Control Chart: P-Chart) ใช้สำหรับ ควบคุมการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยวิธีนับจำนวนของเสีย หรือชิ้นงานชำรุดจากสายงานผลิต และ แผนภูมิควบคุมรอยตำหนิ (Control Chart for the Number of Defective: C-Chart) ใช้สำหรับควบคุมการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยใช้ในกรณีที่ควบคุมคุณภาพทำโดยการนับจำนวนรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นแต่ละกลุ่ม

2.) แผนภูมิควบคุมประเภทตัวแปร (Control Chart for Variable) ใช้สำหรับการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยการชั่ง ตวง วัด เป็นค่าที่ต่อเนื่อง เช่น น้ำหนัก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อายุการใช้งาน เป็นต้น แผนภูมิประเภทนี้ที่นิยมกันมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ -Chart) และแผนควบคุมค่าพิสัย (R - Chart) ซึ่งแผนภูมิทั้ง 2 มักใช้ร่วมกัน ทั้งนี้ เนื่องจากเพื่อควบคุมการกระจายการผลิตและควบคุมค่าเฉลี่ย ถ้าเราพิจารณาแผนภูมิจะทราบว่า ค่าการกระจายของกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม ก็ต่อเมื่อไม่มีจุดใดของค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยตกอยู่นอกการควบคุม ซึ่งถ้ากราฟที่ได้อยู่นอกเหนือการควบคุม จะต้องดำเนินการตรวจสอบถึงสาเหตุของกระบวนการต่อไปเพื่อดำเนินการแก้ไข

วิธีการสร้างแผนภูมิควบคุม โดยทั่วไปมีหลักการสร้างดังนี้

1.เริ่มจากกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการควบคุม ซึ่งโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์บางชนิดอาจจะไม่ต้องควบคุมทุกคุณสมบัติของ ผลิตภัณฑ์ควรเลือกเฉพาะคุณสมบัติที่สำคัญ โดยแผนภูมิหนึ่งแผนภูมิจะใช้ควบคุมคุณสมบัติเพียงหนึ่งคุณสมบัติเท่านั้น

2.การเลือกชนิดของแผนภูมิควบคุม ควรพิจารณาว่าเป็นแผนภูมิควบคุมแบบใดระหว่างแผนภูมิควบคุมเชิงลักษณะ (Attribute Control Chart) แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน (Variable Control Chart)

3.เก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิต กำหนดจำนวนตัวอย่าง และกำหนดความถี่ในการเก็บข้อมูลระยะเวลา ในการเก็บข้อมูล ต้องคำนึงถึงต้นทุนในการเก็บข้อมูลและตรวจสอบ อัตราการผลิต ปริมาณการผลิต

4.บันทึกและเก็บรวบรวมข้อมูลในใบตรวจสอบหรือ Check lists ตามแบบฟอร์มที่ได้ออกแบบไว้

5.คำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ ได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) เส้นกลาง (Center line: CL)

6.วิเคราะห์ผลจากลักษณะของจุดที่ปรากฏบนแผนภูมิ ถ้ามีลักษณะจุดที่ปรากฏความผิดปกติเกิดขึ้น ในแผนภูมิที่ บ่งชี้ว่าเกิดความแปรผันที่มีสาเหตุระบุได้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น มีจุดตกอยู่ภายนอกขีดจำกัดควบคุมบน หรือล่าง แสดงว่ากระบวนการผลิต ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม ต้องค้นหาสาเหตุและปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการกำจัดสาเหตุแห่งความแปรผันนี้ที่ระบุสาเหตุได้ออกไป แล้วทำการคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิใหม่ จากข้อมูลที่เหลืออยู่ทำซ้ำ ๆ จนไม่เกิดจุดผิดปกติในแผนภูมิ

7. เมื่อกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมแล้ว แสดงว่าสามารถควบคุมความผันแปรของการผลิตให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตามค่าในเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม ซึ่งถือว่าค่าที่เส้นกลางของแผนภูมิควบคุมคือค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการผลิตนี้ทำได้ ส่วนการประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการผลิตสามารถคำนวณได้จากแผนภูมิควบคุมนี้เช่นกัน และสามารถนำเอาแผนภูมิควบคุมที่ได้ไปใช้ในการควบคุมการผลิตในอนาคต

2.2 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ โดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ได้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ของหลายๆ อุตสาหกรรม เช่น อาทิตย์ หงสพันธ์(2553) ได้ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ งานวิจัยเริ่มจากระยะนิยามปัญหา ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการปรับปรุง โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพคือ แผนภูมิพาเรโต จากนั้นได้วิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงนับโดยวิเคราะห์ทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบวัด และระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจจะมีผลต่อการเกิดเส้นใย, สีเป็นคราบ, สีเป็นรอยขีด , เม็ดผง , สีไหล , เม็ดพื้น และสีเป็นหลุม โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพคือแผนภาพและตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล จากนั้นได้นำเอาปัจจัยจากการวิเคราะห์สาเหตุในการเกิดข้อบกพร่องมาทดสอบนัยสำคัญด้วยวิธีทางสถิติและปรับค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) และได้กำหนดเป็นมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานใหม่ ผลจากการปรับปรุงพบว่า สามารถลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อ 1 คันลงได้ 57% และลดจำนวนค่าใช้จ่ายในการซ่อมข้อบกพร่องต่อ

คันลงได้ 55% เป็นไปตามเป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้ และ งานวิจัยของ จุฑาทิพย์ ทะประสพ (2551) ได้ประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์บรรจุภัณฑ์พลาสติก ขั้นตอนการดำเนินงานได้แบ่งออกเป็น 5 ระยะ ตามหลักการของซิกซ์ ซิมา ได้แก่ (1) ระยะการกำหนดปัญหา ได้แต่งตั้งทีมงาน เพื่อกำหนดปัญหาและได้ทำการเลือกปัญหาการพิมพ์เบี้ยวในกระบวนการพิมพ์ถุงบรรจุผ้าอนามัยที่ผลิตจากแผ่นวัตถุดิบแผ่น PE ขนาด 0.04 มิลลิเมตร (2) ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา โดยใช้ แผนผังแสดงสาเหตุและผล และแผนภาพพาเรโต เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาและใช้เทคนิค FMEA ช่วยในการคัดเลือกสาเหตุหลักของปัญหาสำหรับนำไปหาวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุของปัญหาที่จะนำไปหาวิธารแก้ไขในระยะถัดไป ได้แก่ ระดับอุณหภูมิบนเครื่องพิมพ์ไม่เหมาะสม แรงดึงของม้วนฟิล์มไม่เหมาะสม พนักงานขาดการฝึกอบรมวิธีการทำงานและการขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (3) ระยะการหาวิธีการแก้ไขปัญหา แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k เพื่อหาระดับอุณภูมิบนเครื่องพิมพ์และแรงดึงบนม้วนฟิล์มที่เหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตาราง

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
อุณภูมิของส่วนพิมพ์ที่ 7	50	70	^{0}C
อุณภูมิของส่วนพิมพ์ที่ 8	50	70	^{0}C
แรงตึงของม้วนฟิล์ม	15	180	N/mm.

จากการทดลอง ทำให้ทราบถึงค่าปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ อุณหภูมิส่วนพิมพ์ที่ 7 มีค่าเท่ากับ 50 ^{0}C อุณหภูมิของส่วนพิมพ์ที่ 8 มีค่าเท่ากับ 50 ^{0}C และแรงตึงของม้วนฟิล์มมีค่าเท่ากับ 15 N/mm. โดยอาศัยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น ทำให้สามารถประมาณค่าตัวแปรตอบสนองหลังการปรับระดับปัจจัยดังกล่าวมีค่าประมาณ 7 จุด และขั้นตอนที่สอง คือ การสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการพิมพ์ที่ถูกต้องขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาพนักงานขาดการฝึกอบรมวิธีการทำงาน และขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (4) ระยะการนำวิธีการแก้ปัญหาไป

ปฏิบัติตามแผนงานที่ได้กำหนดไว้ โดยต้องกำหนดรายละเอียดในขั้นตอนต่างๆ รวมถึงกำหนดเวลาและผู้รับผิดชอบ เพื่อนำไปสู่การประเมินผลการปฏิบัติงาน และ (5)ระยะการประเมินผล พบว่า สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทเบี้ยวเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของเสียรวมเฉลี่ยลดลง 14.94 และ 12.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเวลาในการพิมพ์งานลดลงเฉลี่ย 8.87 นาที ต่อม้วน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง จากการศึกษางานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้นำแนวคิดและวิธีการแก้ปัญหาตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา มาเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ด้วย

สาโรช บัวบูชา (2541) ได้ศึกษาวิจัย เกี่ยวกับ การพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการผลิต สำหรับกระบวนการผสมยาง โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางคุณภาพ (PFMEA) เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบกับคุณภาพยางผสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กระบวนการมียางเสียลดลง จากการศึกษาโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล พบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหายางผสมเสียในกระบวนการผสมยาง ได้แก่

1. ยังไม่มีการจัดตั้งระบบการประกันคุณภาพ
2. ขาดการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคทางวิศวกรรมคุณภาพ
3. ขาดระบบการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตที่ดี
4. ยังไม่มีกิจกรรมการประกันคุณภาพของกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ
5. เกิดปัญหาคุณภาพในกระบวนการผสมยางที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

จากสาเหตุดังกล่าว สาโรช บัวบูชา (2541) ได้เสนอระบบการประกันคุณภาพในกระบวนการผสมยางดังนี้

1. การวิเคราะห์หาข้อบกพร่องและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพ
2. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่มีโอกาสจะเกิดจากประยุกต์ใช้เครื่องมือทางคุณภาพที่เรียกว่า การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการ (PFMEA) ซึ่งมีขั้นตอนหนึ่งทีมีประโยชน์ต่องานวิจัยเล่มนี้คือ ทำให้ได้แนวทางในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผสมยางขั้นต้น (Master Batch) สำหรับปัญหายางติดส่วนใดส่วนหนึ่งของเครื่องจักร และได้เสนอแนวทางการแก้ไข ได้แก่ การตัดแผ่นยางให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด การควบคุมสารเคมีกันยางติด

ให้สม่ำเสมอ เปลี่ยนชนิดวัสดุที่ประตูป้อนวัตถุดิบให้ลื่น และลดระดับสายพานป้อนยางลงห้องผสม

3. การวิเคราะห์และเสนอการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการควบคุมคุณภาพ

4. การเริ่มจัดตั้งระบบการวัดและสอบเทียบ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA : Measurement System Analysis)

5. การจัดตั้งโปรแกรมการตรวจติดตาม และสำรวจคุณภาพของกระบวนการผสมยาง

หลังจากประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวในกระบวนการผสมยาง พบว่ามียางเสียคุณภาพต่ำใช้งานไม่ได้ลดลง 28.9 เปอร์เซ็นต์ ยางเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่ลดลง 8.4 เปอร์เซ็นต์ และยางเสียส่งคืนจากกระบวนการถัดไปลดลง 17.2 เปอร์เซ็นต์

สิริพร เต็งรัง (2547) ได้ศึกษาการเตรียมยางมาสเตอร์แบทจากน้ำยางเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติผสมซิลิกา ซึ่งจากงานวิจัยฉบับนี้ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของยางผสมซิลิกาเบื้องต้นดังนี้

ผลของการใช้ซิลิกาต่อการแปรรูป สำหรับยางที่มีการใส่ซิลิกาและยังไม่วัลคาไนซ์ จะมีความแข็งสูง โดยการเพิ่มปริมาณซิกา ทำให้ยางมีความหนืดหรือมูนนี (Mooney Viscosity) เพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติทนความร้อน มากกาว่า ยางที่มีส่วนผสมของผงเขม่าดำ ทำให้การแปรรูปยากขึ้น และอาจจะทำให้แรงดันในเครื่องจักรเพิ่มขึ้นด้วย

จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นนี้ ทำให้ทราบว่า ยางที่มีส่วนผสมของซิลิกา จะมีความหนืดหรือมูนนี มากกว่า ยางที่ผสมเขม่าดำ (Carbon black) ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาเกิดปัญหายางติด drop door มากกว่า ยางที่มีส่วนผสมของเขม่าดำ

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ศึกษาคุณสมบัติอื่นของยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของซิลิกา เช่น งานวิจัยของ H.M. da Costa และ C.R.G.Furtado (2003) ได้ศึกษาผลกระทบของ Castor oil ซึ่งเป็นสารตัวกระตุ้น ในยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของซิลิกา โดยใช้การออกแบบการทดลอง แบบแฟคทอเรียล (2^3) การทดลองได้ทำที่เครื่อง Mixer แบบ two-roll ที่อุณหภูมิ 70 ^{0}C มีปัจจัยนำเข้าคือ poly(ethylene glycol) (X1), stearic acid (X2) และ castor oil (X3) และผลตอบที่ต้องการ

คือ การเริ่มสุกตัวของยาง (Vulcanization) และความต้านทานแรงดึง (tensile strength) แสดงรายละเอียดดังตาราง

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
poly(ethylene glycol) (X1)	0	2.0	phr
stearic acid (X2)	0	2.5	phr
castor oil (X3)	0	5.0	phr

(phr : parts per hundred of rubber)

ผลการทดลอง ทำให้ทราบว่า สารตัวกระตุ้น Castor oil ที่ผสมลงไปในยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของซิลิกา ไม่มีผลต่อการสุกตัวของยาง (vulcanization) อย่างมีนัยสำคัญ การศึกษางานวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้เรื่องยางธรรมชาติผสมซิลิกา มากขึ้น อีกทั้งยังมีการใช้การออกแบบการทดลองในการวิจัย ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป

อีกหนึ่งงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ Silane ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้ยางธรรมชาติคลุกเคล้าเข้ากันกับซิลิกา คือ งานวิจัยของ B.T. POH และ C.C. NG (1997) โดยมีการเปรียบเทียบ Silane 2 ชนิดที่ส่งผลต่อค่าความหนืดหรือมูนนี (Mooney) ผลการทดลองทำให้ทราบว่า Silane ทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษางานวิจัยนี้ ทำให้ทราบว่า Silane ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างซิลิกาและยางธรรมชาติให้เข้ากันได้ดี นั้น จะส่งผลต่อค่าความหนืด หรือ มูนนี (Mooney) ของคอมปาวน์ ดังนั้น Silane จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเหนียวและปัญหายางติดของยางผสมซิลิกา

ส่วนงานวิจัยคือ งานวิจัยของ Suhaida S. และ Idrus H. ได้ศึกษาผลของรูปทรงที่แตกต่างกันของซิลิกาที่เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยมีการเปรียบเทียบรูปร่างต่างๆของซิลิกา ดังนี้ คือ ชนิดลูกบาศก์ (Cubical) ชนิดยืด (Elongated) และชนิดผิดปกติ (Irregular) ผลการทดลอง ทำให้ทราบว่า ซิลิกาที่มีรูปร่างแบบ ผิดปกติ (Irregular) จะมีแรง เกาะยึดกับโมเลกุลของยางธรรมชาติมากกว่าแบบลูกบาศก์ (Cubical) และแบบยืด (Elongated) จากการศึกษางานวิจัยนี้ ทำให้ผู้วิจัยทราบว่า Supplier ของซิลิกา ซึ่งอาจจะมีรูปร่าง ของซิลิกาต่างๆ กันไป ทำให้ส่งผล

โดยตรงต่อการยึดติดกันของคอมปาวน์ที่มีส่วนผสมของ ซิลิกา ถ้าซิลิกามีความเหนียวมากก็จะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหายางติด

จากงานวิจัยทั้งหมดที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3 โดยแบ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือทางคุณภาพ และ ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยียาง

ตารางที่ 2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ซิกซ์ ซิกมา และ การออกแบบการทดลอง

ชื่อผู้วิจัย	ประเภทของอุตสาหกรรม	ปัญหาที่พบ	แนวทาง/เครื่องมือทางคุณภาพที่ใช้	ผลของการปรับปรุง
อาทิตย์ หงสพันธ์	รถยนต์	ข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์	ซิกซ์ ซิกมา และ การออกแบบการทดลอง	สามารถลดข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อ 1 คัน ลงได้ 57% และลดค่าใช้ในการซ่อมข้อบกพร่องต่อคันลงได้ 55%
จุฑาทิพย์ ทะประสพ	บรรจุภัณฑ์พลาสติก	การพิมพ์เบี้ยวในกระบวนการพิมพ์ถุงบรรจุผ้าอนามัยที่ผลิตจากแผ่นวัตถุดิบแผ่น PE ขนาด 0.04 มิลลิเมตร	ซิกซ์ ซิกมา และ การออกแบบการทดลอง	สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทเบี้ยวเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของเสียรวมเฉลี่ยลดลง 14.94 และ 12.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเวลาในการพิมพ์งานลดลงเฉลี่ย 8.87 นาที ต่อม้วน
สาโรช บัวบูชา	ยางรถยนต์	ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนผสมยางขั้นต้น (Master batch)	PFMEA , MSA , หลักสถิติในการควบคุมคุณภาพ	ยางเสียคุณภาพต่ำใช้งานไม่ได้ลดลง 28.9 เปอร์เซ็นต์ ยางเสียที่นำกลับมาใช้ใหม่ลดลง 8.4 เปอร์เซ็นต์ และยางเสียส่งคืนจากกระบวนการถัดไปลดลง 17.2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี การผลิตยาง

ชื่อผู้วิจัย	ประเภทของอุตสาหกรรม	รายละเอียดของงานวิจัย	ผลที่ได้/ การนำมาใช้
สิริพร เต็งรัง	ผลิตภัณฑ์ยาง	ศึกษาการเตรียมยางมาสเตอร์แบชจากน้ำยางเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติผสมซิลิกา ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ยาง	ทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของยางผสมซิลิกาเบื้องต้น ว่ายางที่มีส่วนผสมของซิลิกา จะมีความหนืดหรือมูนนี มากกว่า ยางที่ผสมเขม่าดำ (Carbon black) ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาเกิดปัญหายางติด drop door มากกว่า ยางที่มีส่วนผสมของเขม่าดำ
H.M. da Costa และ C.R.G.Furtado	ยาง	ได้ศึกษาผลกระทบของ Castor oil ซึ่งเป็นสารตัวกระตุ้นในยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของซิลิกา โดยใช้การออกแบบการทดลอง แบบแฟคทอเรียล (2^3) การทดลองได้ทำที่เครื่อง Mixer แบบ two-roll	สารตัวกระตุ้น Castor oil ที่ผสมลงไปในยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของซิลิกา ไม่มีผลต่อการสุกตัวของยาง (vulcanization) อย่างมีนัยสำคัญ การศึกษางานวิจัยนี้ทำให้มีความรู้เรื่องยางธรรมชาติผสมซิลิกามากขึ้น
B.T. POH และ C.C. NG	ยาง	ศึกษาเปรียบเทียบ Silane 2 ชนิดที่ส่งผลต่อค่าความหนืดหรือมูนนี (Mooney) ผลการทดลองทำให้ทราบว่า Silane ทั้ง 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ	ทราบว่า Silane ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างซิลิกาและยางธรรมชาติให้เข้ากันได้ดี นั้น จะส่งผลต่อค่าความหนืด หรือ มูนนี (Mooney) ของคอมปาวน์ ดังนั้น Silane จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความเหนียวและปัญหายางติด
Suhaida S. และ Idrus H.	ยาง	ศึกษาผลของรูปทรงที่แตกต่างกันของซิลิกาที่เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ระหว่าง ชนิดลูกบาศก์ (Cubical) ชนิดยืด (Elongated) และชนิดผิดปกติ (Irregular)	ซิลิกาที่มีรูปร่างแบบ Irregular จะมีแรงเกาะยึดกับโมเลกุลของยางธรรมชาติมากกว่าแบบ Cubical และElongated ทำให้ทราบว่า รูปร่างของซิลิกาอาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ยางซิลิกามีความเหนียวต่างกัน

บทที่ 3
ระยะกำหนดปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึง การจัดตั้งคณะทำงาน ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผสมยาง เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานโดยแสดงด้วยแผนภาพการผลิต การนิยามปัญหาโดยแสดงวิธีการคำนวณเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง รวมถึงอธิบายวิธีการเก็บข้อมูล และความสูญเสียของเครื่องผสมยางที่เกิดจากยางติดประตูปล่อยยางในแต่ละเดือน โดยรวบรวมข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต แล้วทำการกำหนดสาเหตุหลักของยางติดประตูปล่อยยางที่จะนำมาแก้ไข และตัวติดตามผลการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเวลาสูญเสียที่เกิดจากยางติดประตูปล่อยยาง

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในการวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยางของโรงงานกรณีศึกษา จำเป็นต้องอาศัยการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความชำนาญเกี่ยวกับกระบวนการผลิตยางและเครื่องผสมยางเป็นอย่างดี ซึ่งทีมงานสำหรับโรงงานกรณีศึกษาในการแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยางในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วย

1. หัวหน้าฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต (กระบวนการผสมยาง)
2. ผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการผสมยาง
3. วิศวกรผู้ดูแลเครื่องผสมยาง (M/C1)
4. วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพของยางผสม
5. วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต (กระบวนผสมยาง: ผู้วิจัย)

3.2 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผสมยาง

กระบวนการผสมยางขั้นต้น (Master batch) ของแผนกผสมยาง ซึ่งเป็นกระบวนการแรกของกระบวนการผลิตยางรถยนต์ จะมีขั้นตอนย่อยๆ ดังต่อไปนี้

1. เตรียมวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วย

- ขั้นตอนการตัดเตรียมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ขนาดของยางที่จะทำการตัดจะต้องตัดตามความต้องการของแต่ละสูตรยาง เพื่อให้ขนาดของยางที่ตัดเป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละสูตรยาง และต้องมีการ Blending ของยางอย่างน้อย 3 suppliers

- ขั้นตอนการเตรียมสารเคมี โดยชนิดของและปริมาณของสารเคมีที่จะใช้ในแต่ละสูตรจะถูกกำหนดไว้แล้วตามข้อกำหนดของแต่ละสูตร โดยนำสารเคมีบรรจุถุงและเข้าเครื่องชั่งเพื่อให้ได้ปริมาณตามที่กำหนดไว้ เมื่อชั่งเสร็จแล้วทำการ Seal ปากถุงและเขียนชื่อสูตรสารเคมี วันที่/เดือน/ปี ที่ทำการผลิตไว้ที่ข้างถุง

- ขั้นตอนการเตรียม Carbon black และ Silica ขั้นตอนนี้จัดเตรียมโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ ทั้งนี้จะขึ้นกับคุณสมบัติของยางแต่ละสูตรว่าต้องการใส่ Carbon black หรือ Silica

- ขั้นตอนการเตรียมสารตัวเติม เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง โดยขั้นตอนการเตรียมจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการจัดเตรียม

2. การผสมยาง จะใช้เครื่องจักรที่เรียกว่า Mixer ในการคลุกเคล้าส่วนผสมต่างๆให้เข้ากัน โดยมีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

- Mixer คือส่วนที่วัตถุดิบต่างๆถูกนำมาผสมกัน
- Homo alignment คือส่วนที่ช่วยให้ส่วนผสมต่างๆคลุกเคล้าเข้ากัน จนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะประกอบด้วย mill หรือ rotor แล้วแต่รุ่นของเครื่องผสมยาง

- Profiler คือส่วนที่ใช้รีดยางให้เป็นแผ่นโดยใช้ mill รีดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการจะนำไปใช้งานในกระบวนการต่อไป

-Cooling คือส่วนที่ทำให้ยางที่ถูกรีดเย็นตัวลง

-Wigwag คือส่วนที่ใช้จัดเก็บยางลง skid

3. ตรวจสอบคุณภาพ ก่อนที่ยางจะถูกปล่อยจากกระบวนการนี้จะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติ ดังนี้

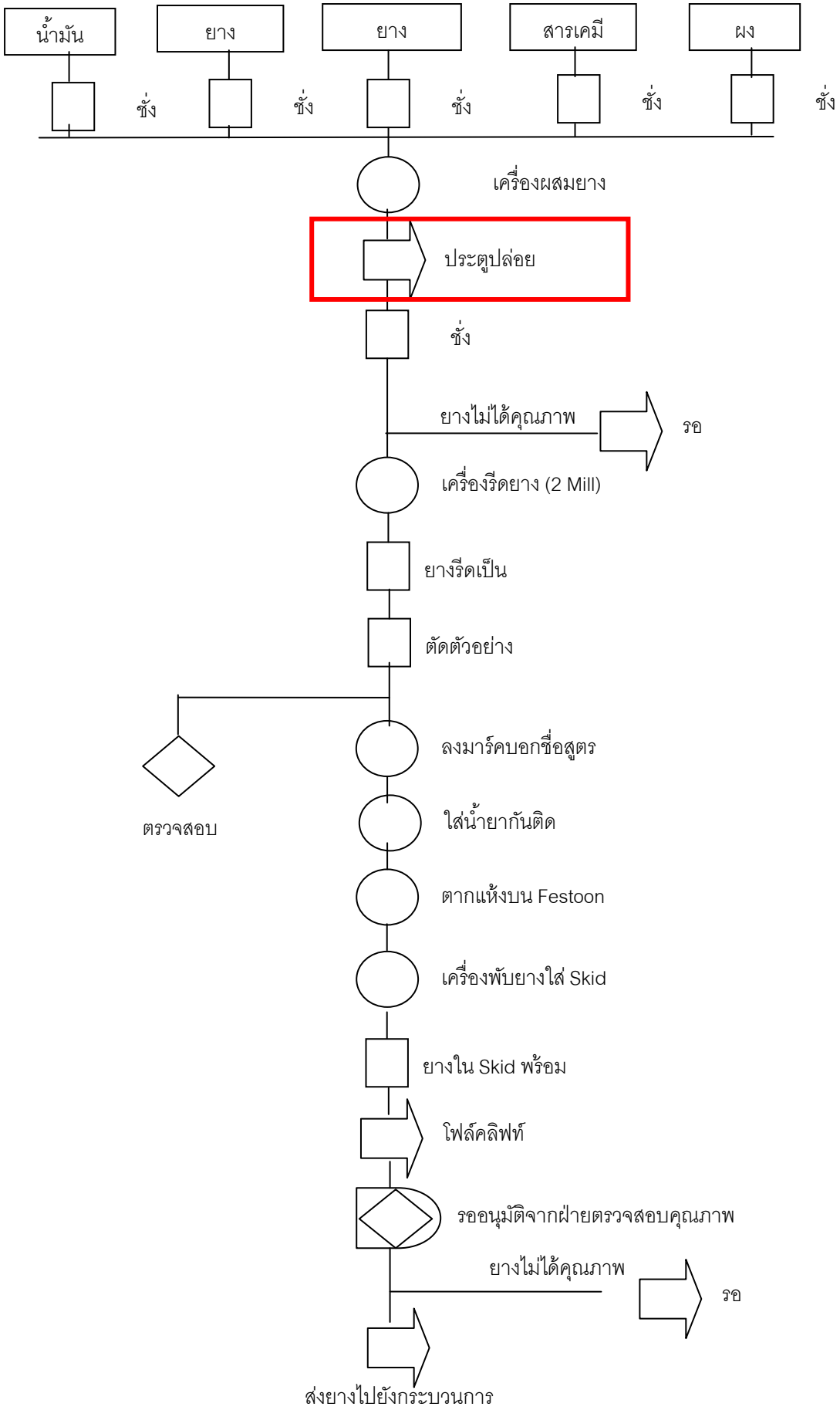
- Fluidity คือ การทดสอบหาคุณสมบัติการไหลของยาง ยางที่แข็ง การไหลจะช้า ค่า Fluidity จะต่ำ ส่วนยางที่นิ่ม จะไหลง่าย ค่า Fluidity จะสูง ทั้งนี้ค่า Fluidity ของยางแต่ละสูตรจะขึ้นกับคุณสมบัติที่ต้องการใช้งานของยางแต่ละประเภท

- Mooney คือ การตรวจสอบความหนืดของยาง โดยทดสอบหาค่าแรงที่เกิดจากการหมุนของโรเตอร์ผ่านเนื้อยางทดสอบไปยัง Strain gauge

- MCCs คือ การตรวจสอบหาเวลาที่ยางเริ่มสุกตัว โดยหาจากแรงบิด (Torque) เช่น T50 คือเวลาที่ยางสุกไปแล้ว 50 เปอร์เซ็นต์

-Scorch time คือการหาระยะเวลาการเริ่มสุกตัวของยางเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 115 หรือ 130 °C (หน่วยเป็นนาที)

ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการผสมยางขั้นต้น และขั้นตอนที่พบปัญหาสามารถแสดงดังรูปที่ 3.1 (กระบวนการที่ต้องการแก้ไขอยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม)

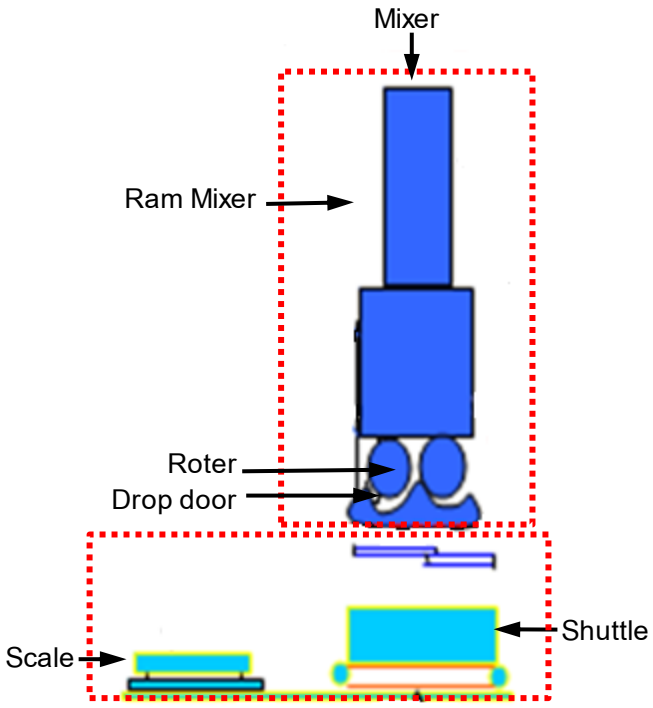


รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการผสมยาง

3.3 การนิยามปัญหา

3.3.1 ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง

การติดประตูปล่อยยางเกิดขึ้นหลังจากที่ยางผ่านการผสมคลุกเคล้าส่วนผสมต่างๆ จากมิกเซอร์ (Mixer) จนจบกระบวนการผสมยางและยางจะถูกปล่อยจากมิกเซอร์ โดยประตูปล่อยยาง (Drop door) ที่มีลักษณะเหมือนประตู เปิดเมื่อยางมิกซ์เสร็จ และปิดเมื่อยางถูกปล่อยออกมาจากประตูและยางจะเคลื่อนตัวมาตามสายพานมายังเครื่องชั่งน้ำหนัก (ดูรูปที่ 3.2 แสดงภาพตัดของมิกเซอร์และประตูปล่อยยางของเครื่องผสมยาง) เมื่อเกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยมาสาเหตุมาจากหลายสาเหตุ เช่น ยางเหนียว ประตูสกปรก การปรับตั้งเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม ก็จะทำให้ยาง Batch นั้นๆ ออกมาจากมิกเซอร์ไม่ได้ ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงาน (Break down) จากนั้นพนักงานประจำเครื่องจะแจ้งไปยังหัวหน้างานและทำการหยุดเครื่องจักรเพื่อทำความสะอาดประตูปล่อยยาง



รูปที่ 3.2 ภาพตัดแสดงองค์ประกอบของเครื่องผสมยาง (Mixer)

3.3.2 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพและเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง

วิธีการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องผสมยางของโรงงานกรณีศึกษา จะคำนวณมาจากการนำเวลาการทำงานของเครื่องผสมยางที่ทำให้เกิดผลผลิตหารด้วยเวลาทั้งหมดของเครื่องผสมยางที่วางแผนใช้ในการผลิต

$$\text{Machine Efficiency (\%)} = \frac{\text{Useful production time}}{\text{Opening time}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

โดย

Useful production time คือเวลาการทำงานของเครื่องผสมยางที่ทำให้เกิดผลผลิต คำนวณโดยนำจำนวนยางที่ผลิตได้ในแต่ละสูตร (หน่วยนับคือ Batch) คูณกับเวลามาตรฐานของการผสมยางแต่ละสูตร (หน่วยเป็นนาที)

Opening time คือเวลาทั้งหมดของเครื่องผสมยางที่วางแผนให้ใช้ในการผลิต โดยจะไม่นับรวมเวลาจากการวางแผนหยุดเครื่องเนื่องจากต้องการปรับปรุงเครื่องจักร (หน่วยเป็นนาที)

ส่วนวิธีการคำนวณเวลาสูญเสียที่เกิดจากการยางติดประตูปล่อยยางจะคิดออกมารูปแบบของอัตราร้อยละของประสิทธิภาพของเครื่องจักร(% efficiency loss) โดยอ้างอิงจากสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Efficiency Loss (\%)} = \frac{\text{Loss time}}{\text{Open time}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

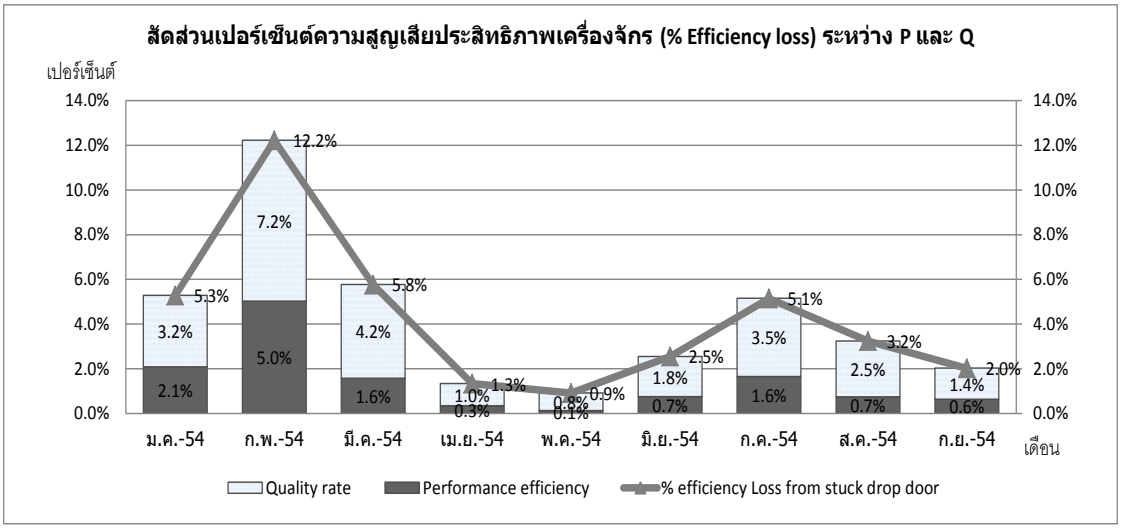
Loss time คือ เวลาที่เครื่องผสมยางหยุดเดินเครื่อง ในที่นี้ จะนำเฉพาะข้อมูลเครื่องจักรหยุดเดินเครื่องเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางมาคำนวณเท่านั้น (หน่วยเป็นนาที)

Opening time คือ เวลาทั้งหมดของเครื่องผสมยางที่วางแผนให้ใช้ในการผลิต โดยจะไม่นับรวมเวลาจากการวางแผนหยุดเครื่องเนื่องจากต้องการปรับปรุงเครื่องจักร (หน่วยเป็นนาที)

3.3.2 ประสิทธิภาพของเครื่องผสมยางในกระบวนการผสมยางของโรงงานกรณีศึกษา

จากการเก็บข้อมูลเวลาสูญเสียเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ของเครื่องผสมสูตรยาง M/C 1 ของโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่ต้นเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ.

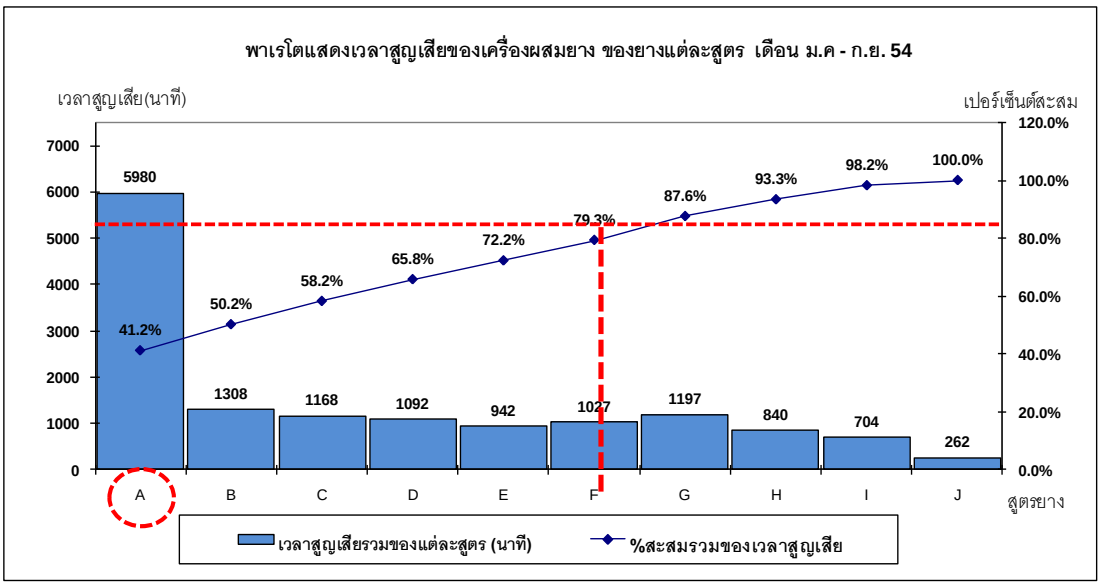
2554 พบว่า เวลาสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องจักร (% efficiency loss) โดยแสดงเป็นสัดส่วนระหว่าง Performance efficiency และ Quality Rate ได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงอัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554

จากรูปที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางมีค่าสูงมากที่เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 และมีค่าต่ำมากช่วงเดือน เมษายน และ พฤษภาคม พ.ศ.2554 เนื่องจากมีการผลิตน้อยเพราะหยุดช่วงวันสงกรานต์ หลังจากนั้น ช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ก็มีการสูญเสียเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.2%

เมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางของทุกเดือนมารวมกัน และนำมาแยกออกเป็นเวลาสูญเสียของยางแต่ละสูตร เพื่อที่จะหาว่ายางสูตรใดที่มีปัญหามากที่สุด ซึ่งในที่นี้จะใช้แผนภาพพาเรโตในการแสดงข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดย แกนนอนแสดงถึงสูตรยางแต่ละสูตร แกนตั้งทางด้านซ้ายแสดงถึงเวลาที่สูญเสียไป (หน่วยเป็นนาที) และแกนตั้งทางด้านขวาแสดงถึงเปอร์เซ็นต์สะสมของเวลาที่สูญเสียไปของยางแต่ละสูตรเทียบกับเวลาสูญเสียของยางทุกสูตรรวมกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.4

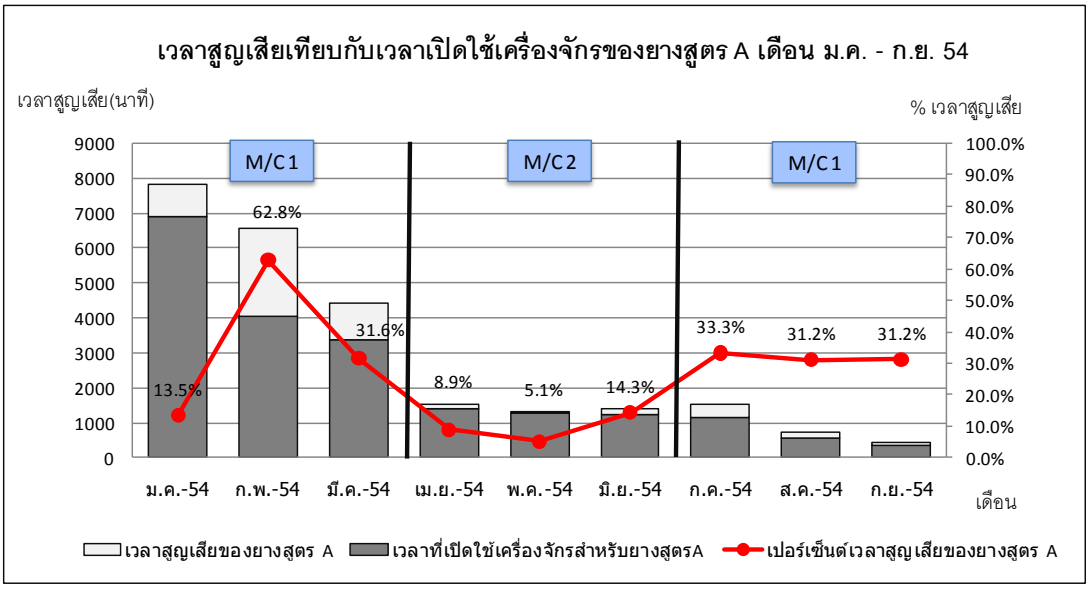


รูปที่ 3.4 แผนภาพพาเรโตแสดงเวลาสูญเสียเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางแต่ละสูตรในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554

จากแผนภาพพาเรโต ในรูปที่ 3.4 พบว่า เวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางเนื่องจากปัญหายางติด ประตูปล่อยยางที่มีเวลาสูญเสียสูงสุด 5 อันดับแรกคือ ยางสูตร A B C D และ E ตามลำดับ โดยยางสูตร A ซึ่งมีเวลาสูญเสียสูงสุดคือ 40.3 เปอร์เซ็นต์ และจากกฎ 80/20 ของแผนภาพพาเรโตในการเลือกที่จะแก้ปัญหาหรือสาเหตุ ข้อมูลทางสถิติจะเป็นตัวตัดสินใจให้เลือกแก้ปัญหาหรือสาเหตุทั้งหมดที่อยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์สะสมประมาณ 80 % จะเห็นได้จากรูป ที่ 1.8 ผู้วิจัยจะต้องทำการแก้ปัญหายางทั้งหมด 6 สูตร คือ A B C D E และ F แต่เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร ค่าใช้จ่ายและเวลา ในการทำการแก้ปัญหาจึงไม่สามารถใช้กฎ 80/20 ในการแก้ปัญหาได้

สำหรับต้นทุนในการผลิตยางมาสเตอร์แบชนั้น จะคิดออกมาเป็นจำนวนเงินได้คร่าวๆ ประมาณ 74.07 บาทต่อยางกิโลกรัม หรือ 20000 บาทต่อ 1 batch (น้ำหนัก =280 kg/batch) และเมื่อยางเกิดเป็นยาง NCF จะสูญเสียค่าใช้จ่าย 1 แสนบาท/ ตัน ทั้งนี้ในการทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหายางติด drop door จะต้องทำการทดลองครั้งละหลายๆ แบช (batch) ซึ่งคาดว่าจะต้องเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง ในการศึกษาและทดลอง

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นในการแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ทางทีมงานจึงจะมุ่งเน้นศึกษากับยางสูตร A เป็นอันดับแรก ค่อยนำวิธีการไปประยุกต์ใช้กับสูตรอื่นๆ อีกต่อไป ซึ่งเมื่อนำข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดของยางสูตร A เทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรในแต่ละเดือน นำมาแสดงเป็นกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงอัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง เทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรของยางสูตร A ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2554

จากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติด ประตูปล่อยยาง ของยางสูตร A มีค่าสูงมากที่เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 และมีค่าต่ำมากช่วงเดือน เมษายน และ พฤษภาคม พ.ศ. 2554 เนื่องจากมีการผลิตน้อยเพราะหยุดช่วงวันสงกรานต์ จึงมีการแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยการย้ายเครื่องจักรจาก เครื่องที่ 1 ไปยังเครื่องที่ 2 เพื่อช่วยลดปัญหายางติดเพราะเครื่องจักร 2 มีการผลิตยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นส่วนมาก เมื่อนำยางสูตร A ซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกามาผลิตที่เครื่องจักร 2 ทำการเกิดปัญหายางติดน้อยลง แต่ให้ผลทางด้านคุณภาพที่แย่กว่าเครื่องจักร 1 โดย ผลของค่าความหนืดหรือมูนนี (Mooney) ที่ผลิตที่เครื่องจักร 2 ให้ค่าความหนืดลดลง 0.8 หน่วย ด้วยเหตุผลทางด้านคุณภาพและข้อจำกัดของเครื่องจักร 2 จึงต้องนำยางสูตร A มาผลิตที่เครื่องจักร 1 ประกอบกับช่วงเดือน

มิถุนายน ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 เมื่อมีการผลิตเพิ่มขึ้นและเริ่มเข้าสู่ภาวะปกติ จึงต้องย้ายยางสูตร A กลับมาผลิตที่เครื่องจักร 1 เหมือนเดิม เพื่อให้เกิดความสมดุลในการใช้เครื่องจักรแต่ละเครื่อง ทำให้มีการสูญเสียเพิ่มขึ้นและค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ประมาณ 31.9 เปอร์เซ็นต์

3.4 **สรุประยะกำหนดปัญหา**

ในระยะนี้ ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน แล้วศึกษากระบวนการผสมยาง โดยมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่มีประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 79.8% ต่ำกว่าเป้าหมาย 1.2% (เป้าหมาย 81%) ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาความสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 มาจากปัญหาด้านคุณภาพ (Quality Rate) คือปัญหาจากยางติดประตูปล่อยยาง จากข้อมูลเดือนมิถุนายน ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 เครื่องจักรมีการสูญเสียโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.2% โดยยางสูตร A ซึ่งเป็นยางที่มีส่วนผสมของซิลิกา มีปัญหายางติดประตูปล่อยยางมากที่สุด จากข้อมูลเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ยางสูตร A มีเวลาสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง เฉลี่ย 31.9%

บทที่ 4
ระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหา

ในระยะนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล สภาพปัญหาเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยเริ่มจากการ วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) เพื่อทำการแยกแยะแหล่งความแปรผันต่างๆ และนำไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ จากนั้นจึงทำการระดมสมอง (Brainstorming) จากคณะทำงาน ที่ได้จัดตั้งไว้แล้ว เพื่อกำหนดสาเหตุหลักของปัญหาโดยใช้เครื่องมือทางสถิติ ได้แก่ แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ใช้เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยาง และทำการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA) เพื่อวิเคราะห์หาระดับความรุนแรง โอกาส และความสามารถในการตรวจจับของสาเหตุแต่ละข้อ และทำการเลือกโดยพิจารณาตามระดับคะแนนด้วยแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

4.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)

การวิเคราะห์ความผิดพลาดของระบบการวัดที่เป็นแหล่งที่มาของความผันแปรที่ส่งผลกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิเคราะห์มี 2 ด้าน คือ ความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy) โดยเทียบกับพิกัดความเผื่อของชิ้นงานหรือความผันแปรของกระบวนการ

สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งจะศึกษากระบวนการผสมยาง ยางที่ผ่านเครื่องผสมยาง (Mixer) จะต้องผ่านการชั่งน้ำหนัก ดังนั้นระบบวัดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมยางเพื่อวิเคราะห์ว่ายางติดประตูปล่อยยางหรือไม่นั้น มีระบบการวัดที่เกี่ยวข้องเพียงระบบเดียวคือ เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight Scale) ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์ความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบการวัดนี้ โดยอ้างอิงระบบการวัดของโรงงานกรณีศึกษาเป็นหลัก โดยใช้การประเมินความสามารถของระบบวัดแบบข้อมูลวัด (Variable Data) คือเครื่องมือวัดสามารถอ่านค่าได้จากการวัดชิ้นงานโดยเครื่องมือจะมีสเกล หรือตัวเลขแสดงค่าของการวัดนั้นๆ

ในการวิเคราะห์ความเที่ยงตรง (Accuracy) ของเครื่องมือวัด ทางบริษัทกรณีศึกษาได้มีการวัดความเที่ยงตรง (Accuracy) โดยการทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด 1 ครั้ง ต่อ สัปดาห์

วิธีการ คือ ใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 260 กิโลกรัม ซึ่งเป็นลูกตุ้มมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว ทำการชั่งน้ำหนักเพื่อวัดความเที่ยงตรงของระบบวัด ซึ่งจากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน ไม่มีค่าของน้ำหนักออกนอกการควบคุม ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงถือว่า เครื่องชั่งน้ำหนัก มีความเที่ยงตรง (Accuracy) อยู่แล้ว

ในส่วนของการวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญมาก เพราะระบบการวัดเปรียบเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า ซึ่งถ้ากล่าวถึงความแม่นยำของระบบการวัด จะสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) โดยที่ความหมายของ Repeatability คือ ค่าความแตกต่างเนื่องจากการวัดโดยใช้ชิ้นงานเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน และพนักงานเดียวกัน ส่วน Reproducibility คือค่าความแตกต่างของการวัดโดยใช้พนักงานแตกต่างกันแต่ใช้ชิ้นงานและเครื่องมือวัดเดียวกัน เนื่องจากการวิเคราะห์หรือแก้ไขปัญหาคุณภาพมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยข้อมูลที่สามารถตีความกระบวนการศึกษาได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเครื่องมือวัดต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต้องมีความแม่นยำ เพื่อที่จะให้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือ และยอมรับได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลวัดในระยะสั้น โดยมีแนวทางในการศึกษาคือ จะทำการวัดชิ้นงานมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบ ทำการทดสอบโดยพนักงานที่ผ่านการอบรมและรับรอง มาทำการวัด โดยอ่านผลของการวัดจาก Panel view แล้วทำการบันทึกค่าที่ได้จากการวัด

วิธีการในการศึกษาความสามารถของการวัดแบบข้อมูลวัด มีดังต่อไปนี้

(1) เลือกชิ้นงานตัวอย่าง สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้ชิ้นงานมาตรฐานที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนัก คือ ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ผ่านการสอบเทียบน้ำหนัก 20 กิโลกรัม

(2) เลือกพนักงานที่มีทักษะและผ่านการอบรมเป็นอย่างดี จำนวน 3 คน

(3) ทำการศึกษาพนักงานทีละคน โดยให้ทำการตรวจวัดชิ้นงานที่เตรียมไว้ โดยให้ทำการวัดชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น แต่ละครั้งจะต้องทำซ้ำ 2 ครั้ง พร้อมทั้งบันทึกผลลัพธ์ลงในแบบฟอร์ม ทำเช่นเดียวกันนี้กับพนักงานทุกคน

ในการเลือกขนาดสิ่งตัวอย่างได้อ้างอิงตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างแนะนำสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร

จำนวนผู้ทดสอบ (พนักงานวัด)	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2

ที่มา : อ้างอิงเอกสารประกอบการสอนโดย นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ (2555 : 41)

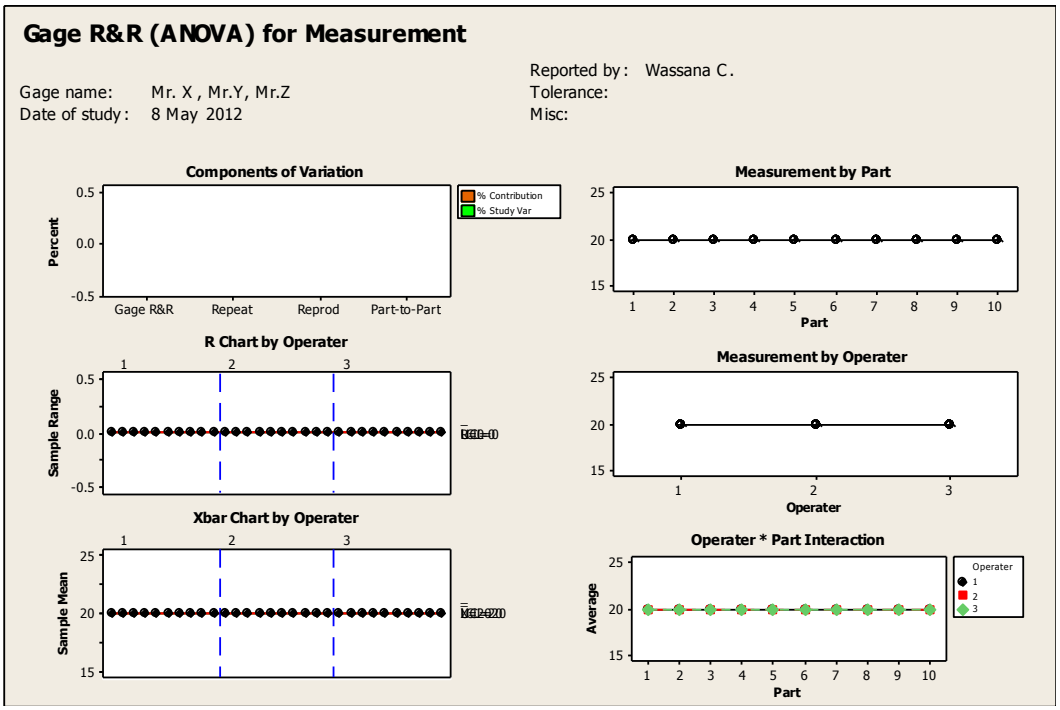
เกณฑ์การยอมรับค่า Gage Repeatability and Reproducibility โดย AIAG ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงไบอัสจะให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดตัวอย่างและลำดับในการวัดสลับกันในแต่ละครั้ง โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การยอมรับของระบบวัดโดย AIAG

เกณฑ์การยอมรับ GR&R	การสรุปผล
$\%P/T\ (P/TV) \leq 10\%$	สามารถยอมรับความสามารถของระบบวัดได้
$10\% \leq P/T\ (P/TV) < 30\%$	อาจจะยอมรับได้ (ให้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ)
$\%P/T\ (P/TV) \geq 30\%$	ไม่สามารถยอมรับได้ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

ตารางที่ 4.3 ลำดับในการวัดและชิ้นงานที่ต้องทำการวัดของพนักงานแต่ละคน

RunOrder	Part	Operater	Measurement	RunOrder	Part	Operater	Measurement
1	4	1	20.0	31	8	1	20.0
2	7	1	20.0	32	2	1	20.0
3	6	1	20.0	33	1	1	20.0
4	10	1	20.0	34	7	1	20.0
5	8	1	20.0	35	10	1	20.0
6	3	1	20.0	36	3	1	20.0
7	9	1	20.0	37	4	1	20.0
8	2	1	20.0	38	5	1	20.0
9	1	1	20.0	39	6	1	20.0
10	5	1	20.0	40	9	1	20.0
11	7	2	20.0	41	3	2	20.0
12	6	2	20.0	42	5	2	20.0
13	4	2	20.0	43	4	2	20.0
14	9	2	20.0	44	7	2	20.0
15	2	2	20.0	45	8	2	20.0
16	10	2	20.0	46	2	2	20.0
17	1	2	20.0	47	10	2	20.0
18	3	2	20.0	48	6	2	20.0
19	5	2	20.0	49	1	2	20.0
20	8	2	20.0	50	9	2	20.0
21	7	3	20.0	51	1	3	20.0
22	6	3	20.0	52	2	3	20.0
23	10	3	20.0	53	3	3	20.0
24	5	3	20.0	54	9	3	20.0
25	2	3	20.0	55	10	3	20.0
26	3	3	20.0	56	5	3	20.0
27	4	3	20.0	57	4	3	20.0
28	1	3	20.0	58	8	3	20.0
29	9	3	20.0	59	7	3	20.0
30	8	3	20.0	60	6	3	20.0



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบวัดด้วยวิธี Crossed ANOVA

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0	0	*	*
Operater	2	0	0	*	*
Part * Operater	18	0	0	*	*
Repeatability	30	0	0		
Total	59	0			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0	*
Repeatability	0	*
Reproducibility	0	*
Operater	0	*
Part-To-Part	0	*
Total Variation	0	*

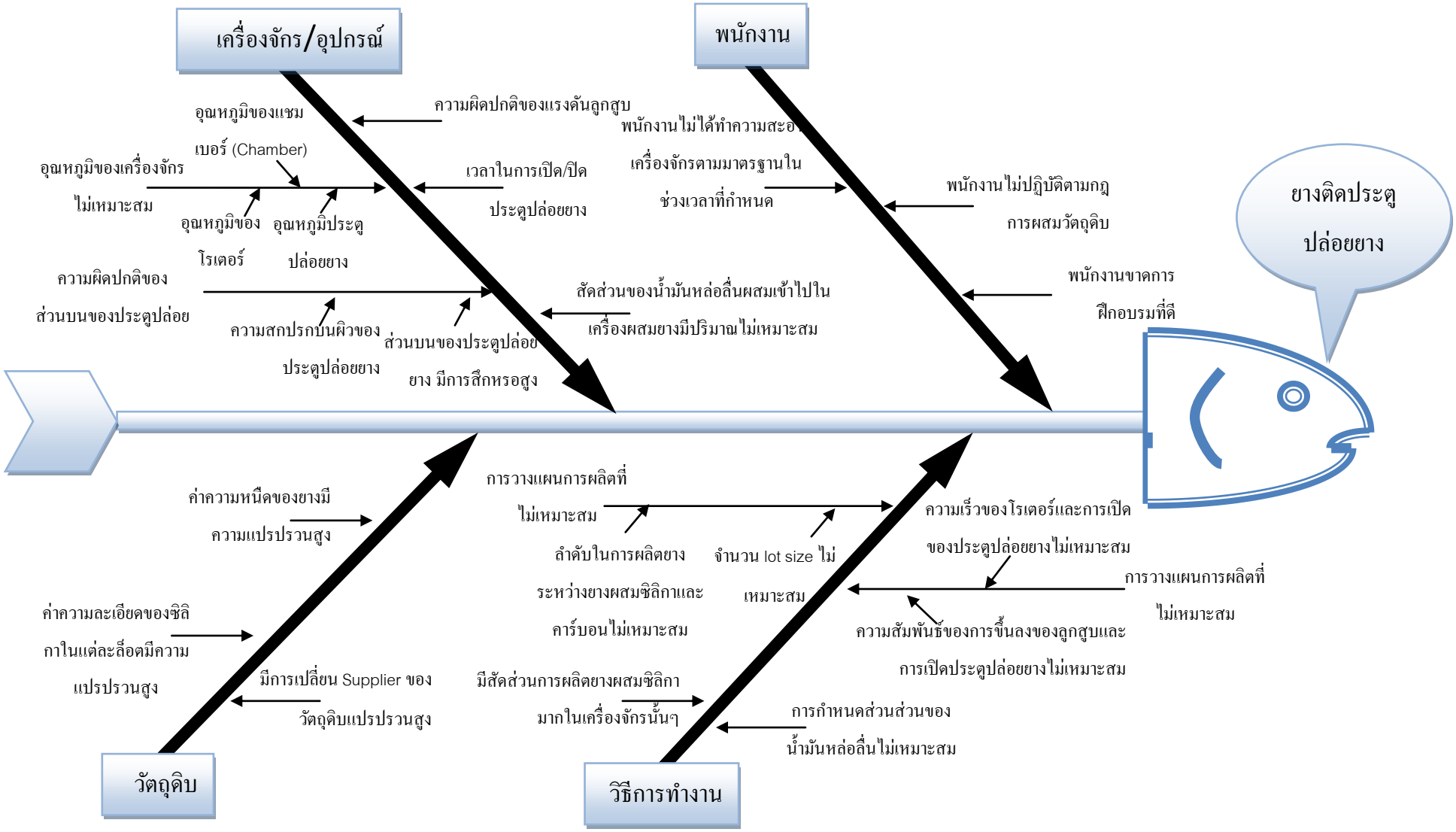
Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0	0	*	0.00
Repeatability	0	0	*	0.00
Reproducibility	0	0	*	0.00
Operater	0	0	*	0.00
Part-To-Part	0	0	*	0.00
Total Variation	0	0	*	0.00

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบวัดด้วยวิธี Crossed ANOVA

จากการวิเคราะห์ข้อมูล จากตาราง ANOVA หรือ จากแผนภูมิในแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า เครื่องชั่งน้ำหนักไม่มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรได้ เพราะความละเอียดของเครื่องมือวัดยังไม่พอ เนื่องจากจุดทศนิยมในการวัดมีเพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งในการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบวัด จึงถือว่าเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ แต่เนื่องจากทางบริษัทกรณีศึกษาจะให้ความสำคัญกับการชั่งน้ำหนักของส่วนผสมในการทำยางก่อนเข้ามิกเซอร์มากกว่า ซึ่งจะเป็นส่วนที่สำคัญมากกว่าน้ำหนักหลังออกจากมิกเซอร์และน้ำหนักยางแต่ละแบชมีหน่วยเป็นหลักร้อย กิโลกรัม จึงต้องการดูทศนิยมเพียงตำแหน่งเดียวก็ถือว่าเพียงพอแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงความแม่นยำของระบบการวัด โดยจะใช้ความเที่ยงตรง (Accuracy) เป็นตัวกำหนดความถูกต้องของเครื่องมือวัดเพียงอย่างเดียว

4.2 การวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหาจากแผนผังแสดงสาเหตุและผล

กระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาได้นำเครื่องมือที่มีชื่อว่า แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือ แผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) มาช่วยในการแสดงสาเหตุของปัญหาที่ได้จากการกำหนดในระยะการกำหนดปัญหา โดยอาศัยการระดมสมอง (Brainstorming) ของทีมงานที่จัดตั้งขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนผังสาเหตุและผล (Cause & Effect diagram) แสดงสาเหตุที่ส่งผลต่อเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง

ผลจากการระดมสมองที่แสดงไว้ในแผนผังแสดงสาเหตุและผลในรูปที่ 4.3 มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงสาเหตุทั้งหมดที่ส่งผลต่อเวลาสูญเสียเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง

กลุ่มปัจจัย	ลำดับ	สาเหตุ
พนักงาน	1	พนักงานไม่ปฏิบัติตามกฎการผสมวัตถุดิบ
	2	พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ดี
	3	พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด
เครื่องจักร	1	อุณหภูมิของเครื่องจักรไม่เหมาะสม 1.1 อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp) 1.2 อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber) 1.3 อุณหภูมิประตูปล่อยยาง(Drop door)
	2	สัดส่วนของน้ำมันหล่อลื่นผสมเข้าไปในเครื่องผสมยางมีปริมาณไม่เหมาะสม
	3	ความผิดปกติของแรงดันลูกสูบ
	4	ความผิดปกติของส่วนบนของประตูปล่อยยาง 4.1 ส่วนบนของประตูปล่อยยาง มีการสึกหรอสูง 4.2 ความสกปรกบนผิวของประตูปล่อยยาง
	5	เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง
วัตถุดิบ	1	ค่าความหนืดของยางมีความแปรปรวนสูง
	2	ค่าความละเอียดของซิลิกาในแต่ละล็อตมีความแปรปรวนสูง
	3	มีการเปลี่ยน supplier ของวัตถุดิบ
วิธีการทำงาน	1	มีสัดส่วนการผลิตยางผสมซิลิกามากในเครื่องจักรนั้นๆ
	2	การวางแผนการผลิตที่ไม่เหมาะสม 2.1 ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอนไม่เหมาะสม 2.2 จำนวน lot size ไม่เหมาะสม
	3	การกำหนดส่วนส่วนของน้ำมันหล่อลื่นไม่เหมาะสม
	4	4.1 ความสัมพันธ์ของการขึ้นลงของลูกสูบและการเปิดประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม 4.2 ความเร็วของโรเตอร์และการเปิดของประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม

4.3 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบเป็นการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk) โดยอาศัยตัวเลขประเมินลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk priority number: RPN) คือ

S = ความรุนแรง (Severity) พิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นแก่ลูกค้า

เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1-10 โดย

1 คือ ความรุนแรงน้อยที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

10 คือ ความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

O = โอกาสที่จะเกิดขึ้น (Occurrence) พิจารณาจากความเป็นไปได้ในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง

เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1-10 โดย

1 คือ ความถี่น้อยที่สุดของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

10 คือ ความถี่มากที่สุดของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

D = ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) พิจารณาจากคุณสมบัติด้านความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน

เกณฑ์การให้คะแนน คือ 1-10 โดย

1 คือ ความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด

10 คือ ความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่แย่ที่สุด

รายละเอียดเกณฑ์การประเมิน ความรุนแรง (Severity) แสดงดังตารางที่ 4.5 โอกาสที่จะเกิดขึ้น (Occurrence) แสดงดังตารางที่ 4.6 และ ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การประเมิน Severity: SER (อ้างอิงจากระบบ ISO/TS 16949)

ผล	เกณฑ์ : ระดับความรุนแรงของผลต่อผลิตภัณฑ์	คะแนน	ผล	เกณฑ์ : ระดับความรุนแรงของผลิตภัณฑ์ (ผลต่อการประกอบส่วน)
ไม่สามารถตอบสนองความปลอดภัยและ/หรือข้อกำหนด	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นมีผลต่อการขับขี่รถอย่างปลอดภัยและ/ หรือเกี่ยวข้องกับการฝ่าฝืนระเบียบของทางราชการโดยปราศจากการเตือน	10	ไม่สามารถตอบสนองความปลอดภัยและ/หรือข้อกำหนดทางกฎหมาย	อาจเป็นอันตรายต่อพนักงาน (เครื่องจักรหรือประกอบส่วน)โดยไม่ต้องเตือน)
	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นมีผลต่อการขับขี่รถอย่างปลอดภัยและ/หรือเกี่ยวข้องกับการฝ่าฝืนระเบียบของทางราชการโดยมีการเตือน	9		อาจเป็นอันตรายต่อพนักงาน (เครื่องจักรหรือประกอบส่วน)โดยต้องเตือน
สูญเสียหรือลดหน้าที่หลัก	สูญเสียหน้าที่หลัก (ขับรถไม่ได้ แต่ไม่มีผลต่อการขับรถอย่างปลอดภัย)	8	มีอุปสรรคอย่างรุนแรง	ต้องทำลายผลิตภัณฑ์ทั้ง 100% ไลน์หยุดหรือหยุดส่งมอบ
	สูญเสียหน้าที่หลัก (ขับรถได้ แต่ลดระดับสมรรถนะ)	7	มีอุปสรรคมาก	อาจต้องทำลายผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่ง ความเบี่ยงเบนจากกระบวนการหลักจะรวมการลดความเร็วของไลน์ หรือต้องใช้แรงงานมากขึ้น
สูญเสียหรือลดหน้าที่รอง	สูญเสียหน้าที่รอง (ขับรถได้ แต่หน้าที่ ความสะดวก/สบายไม่ได้สมรรถนะ	6	มีอุปสรรคปานกลาง	อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์ทั้ง 100% ที่นอกไลน์และยอมรับอีกครั้ง
	สูญเสียหน้าที่รอง (ขับรถได้ แต่หน้าที่ความสะดวก/สบายทำงานในระดับที่สมรรถนะที่ลดลง)	5		อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์บางส่วนที่นอกไลน์และยอมรับอีกครั้ง
ความรำคาญ	รูปภายนอก เสียง ขับรถได้ หรือรายการความไม่สบายที่ผู้ใช้ส่วนมากสังเกตได้ (มากกว่า 75%)	4	มีอุปสรรคปานกลาง	อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์ทั้ง 100 % ที่ไลน์และยอมรับอีกครั้ง
	รูปภายนอก เสียง ขับรถได้ หรือรายการความไม่สบายที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่สังเกตได้ (50%)	3		อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ไลน์และยอมรับอีกครั้ง
	รูปภายนอก เสียง ขับรถได้ หรือรายการความไม่สบายที่ผู้ใช้ที่ช่างสังเกตจะรู้ได้น้อย	2	มีอุปสรรคน้อย	ไม่สะดวกเล็กน้อยในกระบวนการปฏิบัติการหรือต่อพนักงาน
ไม่มีผล	ไม่มีผลที่สังเกตได้	1	ไม่มีผล	ไม่สะดวกเล็กน้อยในกระบวนการ

ตารางที่ 4.6 เกณฑ์การประเมิน Occurrence: OOC (อ้างอิงจากระบบ ISO/TS 16949)

Rank	Part per thousand	Percentage	ppm	Ppk
10	≥ 100 per 1,000	≥ 10%	≥ 100 000	≤ 0.55
9	50 per 1,000	5%	50 000	0.55
8	20 per 1,000	2%	20 000	0.78
7	10 per 1,000	1%	10 000	0.86
6	2 per 1,000	0.20%	2 000	1
5	0.5 per 1,000	0.05%	500	1.2
4	0.1 per 1,000	0.01%	100	1.3
3	0.01 per 1,000	0.00%	10	1.67
2	≤ 0.01 per 1,000	≤ 0.001%	1	2
1	Elimanated		≤ 1	≥ 2.0

ตารางที่ 4.7 เกณฑ์การประเมิน Detection: DET (อ้างอิงจากระบบ ISO/TS 16949)

คะแนน	โอกาสที่จะตรวจพบ	เกณฑ์ : โอกาสที่จะตรวจพบโดยการควบคุมการออกแบบ	ความน่าจะเป็น
10	ไม่มีโอกาสตรวจพบ	ไม่ควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน; ไม่วิเคราะห์หรือตรวจไม่พบ	แทบเป็นไปไม่ได้
9	ไม่น่าจะตรวจพบในแต่ละขั้น	ตรวจไม่พบลักษณะความล้มเหลวและ/ หรือความผิดพลาด (สาเหตุ) ได้โดยง่าย (เช่นสุ่มตรวจจับ)	น้อยมาก
8	ปัญหาที่พบหลังการแปรรูป	พนักงานตรวจพบลักษณะความล้มเหลวหลังการแปรรูปด้วย การใช้สายตา / สัมผัส/ เครื่องเสียง	น้อย
7	ปัญหาที่ตรวจพบในแหล่ง	พนักงานตรวจพบลักษณะความล้มเหลวในสถานีด้วยการใช้ สายตา / สัมผัส/ เครื่องเสียง หรือหลังจากแปรรูป)โดยใช้เกจ คุณสมบัติ (ผ่าน/ ไม่ผ่าน , ตรวจทอร์คด้วยมือ , ประแจคลิกเกอร์ เป็นต้น)	ต่ำมาก
6	ปัญหาที่ตรวจพบหลังการ แปรรูป	พนักงานตรวจพบลักษณะความล้มเหลวในสถานีด้วยการใช้ เกจ์ผันแปรหรือพนักงานตรวจในสถานีโดยใช้เกจ์คุณสมบัติ	ต่ำ
5	ปัญหาที่ตรวจพบในแหล่ง	พนักงานตรวจหาลักษณะความล้มเหลว หรือความผิดพลาด (สาเหตุ) ในสถานีโดยใช้เกจ์ผันแปรหรือควบคุมอัตโนมัติใน สถานีที่จะตรวจหาชิ้นส่วนผิดปกติและแจ้งพนักงาน (ไซแสง ออด เป็นต้น) ใช้เกจ์เมื่อตั้งค่าและตรวจชิ้นงานเริ่มแรก (เฉพาะ สาเหตุที่ตั้งค่าเท่านั้น)	ปานกลาง
4	ปัญหาที่ตรวจพบหลังการ แปรรูป	ตรวจหาลักษณะความล้มเหลวหลังการแปรรูปด้วยการควบคุม อัตโนมัติ ที่จะตรวจพบชิ้นส่วนผิดปรกติ และ ล็อกชิ้นส่วนเพื่อ ไม่ให้แปรรูปอีกต่อไป	ค่อนข้างสูง
3	ปัญหาที่ตรวจพบในแหล่ง	ตรวจหาลักษณะความล้มเหลวหลังการแปรรูปด้วยการควบคุม อัตโนมัติ ที่จะตรวจพบชิ้นส่วนผิดปรกติและล็อกชิ้นส่วนโดย อัตโนมัติในสถานีเพื่อไม่ให้แปรรูปอีกต่อไป	สูง
2	ตรวจหาความผิดพลาด และ/หรือ ป้องกันปัญหา	ตรวจหาความผิดพลาด (สาเหตุ) ในสถานีด้วยการควบคุม อัตโนมัติ ที่จะตรวจพบความผิดพลาดและไม่ให้ทำชิ้นส่วนที่	สูงมาก
1	ตรวจหาไม่ได้, ป้องกัน ความล้มเหลว	ป้องกันความผิดพลาด (สาเหตุ) จากผลของการออกแบบตัวยึด ออกแบบเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนผิดปรกติเพราะรายการนั้นถูก ป้องกันไว้โดยการออกแบบกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์	ค่อนข้างแน่นอน

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องร่วมกันโดยทีมงานทำให้ได้ผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบที่เป็นข้อสรุปร่วมกัน ดังตารางที่ 4.8 และเรียงคะแนนค่า RPN ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการผสมยาง

Potential Failure Modes and Effects Analysis (Process FMEA)

Affaire title: กระบวนการผสมยาง (Mixing process)						Core Team Members:	หัวหน้าฝ่ายกระบวนการผลิต, วิศวกรผู้ดูแลเครื่องผสมยาง, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพของยางผสม, วิศวกรกระบวนการผลิต								Original FMEA Date:	9/3/2012					
Revision Date :						Prepared by :	วิศวกรกระบวนการผลิต								Approved by :						
Line No.	Process Function/ Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	CLASS	Potential Cause(s) /Mechanism (s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	SEV	OCCUR	DET	RPN	EM	Comments	Recommended Action(s)	Responsibility and Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCCUR	DET	RPN
1	กระบวนการผสมยาง	พนักงานไม่ปฏิบัติตามกฎการผสมวัตถุดิบ	น้ำหนักขาดหรือเกิน		ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง			8	7	7	392			อบรมวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้พนักงาน						
2		พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ดี	ทำความสะอาดประตูผิดวิธีแก้ไขไม่ตรงจุด		ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง			8	7	7	392			อบรมวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องให้พนักงาน						
3		พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด	เกิดการสะสมของเนื้อยางติดตามเครื่องจักรในการผลิตล็อตต่อๆไป		พนักงานขาดแรงกระตุ้นในการทำงาน			9	10	10	900			สร้างแรงจูงใจให้พนักงาน						
4		อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp)ไม่เหมาะสม	ทำให้ยางนิ่มหรือแข็งเกินไป		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			9	10	10	900			ทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม						
5		อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber)ไม่เหมาะสม	ทำให้ยางนิ่มหรือแข็งเกินไป		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			9	10	10	900			ทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม						
6		อุณหภูมิประตูปล่อยยาง(Drop door)ไม่เหมาะสม	ทำให้ยางนิ่มหรือแข็งเกินไป		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			9	10	10	900			ทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม						
7		สัดส่วนของน้ำมันหล่อลื่นผสมเข้าไปในเครื่องผสมยางมีปริมาณไม่เหมาะสม	ผิวของเครื่องผสมยางไม่ลื่นทำให้ยางติด		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			8	7	9	504			ทำการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม						

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการผสมยาง (ต่อ)

Potential Failure Modes and Effects Analysis (Process FMEA)

Affaire title: **กระบวนการผสมยาง** (Mixing process)						Core Team Members: **หัวหน้าฝ่ายกระบวนการผลิต, วิศวกรผู้ดูแลเครื่องผสมยาง, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพของยางผสม, วิศวกรกระบวนการผลิต**									Original FMEA Date: 9/3/2012						
Revision Date :						Prepared by : **วิศวกรกระบวนการผลิต**								Approved by :						
Line No.	Process Function/ Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	CLASS	Potential Cause(s) /Mechanism (s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	SEV	OCCUR	DET	RPN	EM	Comments	Recommended Action(s)	Responsibility and Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCCUR	DET	RPN
8	กระบวนการผสมยาง	ความผิดปกติของแรงดันลูกสูบ	ยางไม่ถูกดันออกมาหมดทำให้มียางติดอยู่ที่		ความผิดปกติของเครื่องจักร การบำรุงรักษา	การซ่อมบำรุงตาม		8	9	7	504			สร้างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม						
9		ส่วนบนของประตูปล่อยยาง มีการสึกหรอสูง	ไม่สามารถปล่อยยางออกมาได้หมด เกิดยางตกค้างที่ประตู		อายุการใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องจักร	การซ่อมบำรุงตามแผนรายสัปดาห์ รายเดือนและรายปี		8	8	7	448			สร้างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม						
10		ความสกปรกบนผิวของประตูปล่อยยาง	ทำให้ยางติดเพิ่มมากขึ้น		การบำรุงรักษาเครื่องจักรไม่มีประสิทธิภาพพอ			8	8	8	512			สร้างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม						
11		เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง	ทำให้ยางถูกปล่อยออกมาไม่หมด เกิดการติดค้างที่ประตู		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			9	10	10	900			สร้างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม						
12		ค่าความหนืดของยางมีความแปรปรวนสูง	ยางเหนียวและติดขึ้นส่วนของเครื่องจักร		ความแปรปรวนของวัตถุดิบ			7	7	7	343			ปรับปรุงกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ						
13		ค่าความละเอียดของซิลิกาในแต่ละล็อตมีความแปรปรวนสูง	ยางเหนียวและติดขึ้นส่วนของเครื่องจักร		การตรวจสอบวัตถุดิบยังไม่ดีพอ			7	7	7	343			ปรับปรุงกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ						
14		มีการเปลี่ยน supplier ของวัตถุดิบ	ยางเหนียวและติดขึ้นส่วนของเครื่องจักร		การตรวจสอบวัตถุดิบยังไม่ดีพอ			7	7	7	343			ปรับปรุงกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ						

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการผสมยาง (ต่อ)

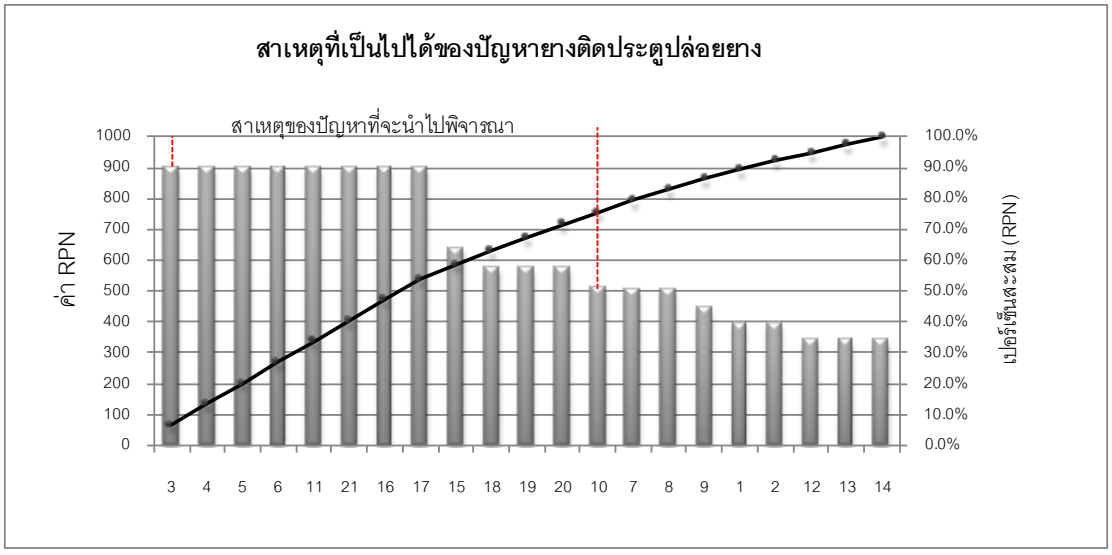
Potential Failure Modes and Effects Analysis (Process FMEA)

Affaire title: กระบวนการอบยาง (Curing process)						Core Team Members:	หัวหน้าฝ่ายกระบวนการผลิต, วิศวกรผู้ดูแลเครื่องผสมยาง, วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพของยางผสม, วิศวกรกระบวนการผลิต							Original FMEA Date:	1/3/2012					
Revision Date :						Prepared by :	วิศวกรกระบวนการผลิต							Approved by :						
Line No.	Process Function/ Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effects of Failure	CLASS	Potential Cause(s) /Mechanism (s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Current Process Controls Detection	SEV	OCCUR	DET	RPN	EM	Comments	Recommended Action(s)	Responsibility and Target Completion Date	Actions Taken	SEV	OCCUR	DET	RPN
15		มีสัดส่วนการผลิตยางผสมซิลิกามากในเครื่องจักรนั้นๆ	ทำให้มีโอกาสที่ยาจะติดประตูมากขึ้น		วิธีการวางแผนการผลิตยังไม่ดีพอ			8	8	10	640			วางแผนการผลิตที่เหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง						
16		ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอนไม่เหมาะสม	ซิลิกาจะติดประตูปล่อยยางมากกว่า คาร์บอน		วิธีการจัดลำดับการผลิตยังไม่ดีพอ			9	10	10	900			วางแผนการผลิตที่เหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง						
17		จำนวน lot size ไม่เหมาะสม	ผลิตซิลิการมากเกินไป ทำให้ยางติดเพิ่มมากขึ้น		ไม่มีการกำนดวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง			9	10	10	900			ทำการทดลองเพื่อหาจำนวน lot size ที่เหมาะสม						
18		การกำหนดส่วนส่วนของน้ำมันหล่อลื่นไม่เหมาะสม	ไม่มีการหล่อลื่นชิ้นส่วน ทำให้ยางมีโอกาสติดที่เครื่องจักร		ไม่มีการกำนดวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง			8	8	9	576			ทำการทดลองเพื่อหาสัดส่วนของน้ำมันหล่อลื่นที่เหมาะสม						
19		วิธีการปล่อยยางออกจากประตูปล่อยยาง	ยางถูกปล่อยออกมาไม่หมด		ไม่มีการกำนดวิธีปฏิบัติงานที่ถูกต้อง			8	8	9	576			ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหาวิธีการที่หมาะสม						
20		ความสัมพันธ์ของการขึ้นลงของลูกสูบและการเปิดประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม	ยางถูกปล่อยออกมาไม่หมด		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			8	8	9	576			ทำการศึกษาทดลองความสัมพันธ์ระหว่างลูกสูบและการปิดประตูปล่อยยาง						
21		ความเร็วของโรเตอร์และการเปิดของประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม	ยางติดที่ประตูขณะปล่อยยาง		ไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม			9	10	10	900			ทำการทดลองเพื่อหาความเร็วโรเตอร์ที่เหมาะสม						

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหาและค่า RPN โดยเรียงจากค่ามากไปค่าน้อย

ลำดับที่	สาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
3	พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด	900
4	อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp)ไม่เหมาะสม	900
5	อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber)ไม่เหมาะสม	900
6	อุณหภูมิประตูปล่อยยาง(Drop door)ไม่เหมาะสม	900
11	เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง	900
16	ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอนไม่เหมาะสม	900
17	จำนวน lot size ไม่เหมาะสม	900
21	ความเร็วของโรเตอร์และการเปิดของประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม	900
15	มีสัดส่วนการผลิตยางผสมซิลิกามากในเครื่องจักรนั้นๆ	640
18	การกำหนดส่วนส่วนของน้ำมันหล่อลื่นไม่เหมาะสม	576
19	วิธีการปล่อยยางออกจากประตูปล่อยยาง	576
20	ความสัมพันธ์ของการขึ้นลงของลูกสูบและการเปิดประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม	576
10	ความสกปรกบนผิวของประตูปล่อยยาง	512
7	สัดส่วนของน้ำมันหล่อลื่นผสมเข้าไปในเครื่องผสมยางมีปริมาณไม่เหมาะสม	504
8	ความผิดปกติของแรงดันลูกสูบ	504
9	ส่วนบนของประตูปล่อยยาง มีการสึกหรอสูง	448
1	พนักงานไม่ปฏิบัติตามกฎการผสมวัตถุดิบ	392
2	พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ดี	392
12	ค่าความหนืดของยางมีความแปรปรวนสูง	343
13	ค่าความละเอียดของซิลิกาในแต่ละล็อตมีความแปรปรวนสูง	343
14	มีการเปลี่ยน supplier ของวัตถุดิบ	343

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ได้สรุปดังตารางที่ 4.9 โดยจะนำผลคะแนน RPN ที่ได้ มาจัดเรียงจากมากไปน้อยและพล็อตแผนภูมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

ในการคัดเลือกสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภูมิพาเรโต้จัดลำดับความสำคัญของค่า RPN พบว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของคะแนน RPN ทั้งหมด มีทั้งหมด 13 ปัจจัยที่ต้องนำไปปรับปรุงแก้ไข แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านเวลา และทรัพยากร จึงไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ทั้ง 13 ปัจจัยได้

ดังนั้น สำหรับการคัดเลือกสาเหตุสำหรับนำไปหาวิธีแก้ปัญหานี้จะพิจารณาค่า S ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกระดับความรุนแรงของผลกระทบที่ได้จากการทำ FMEA ที่มีค่ามากที่สุด (กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชเจริญ, 2550) จากตารางที่ 4.9 สาเหตุที่มีค่า S ที่มากที่สุดคือ 9 มีทั้งหมด 8 ปัจจัย ได้แก่

1. พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด
2. อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp) ไม่เหมาะสม
3. อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber) ไม่เหมาะสม
4. อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (Drop door) ไม่เหมาะสม
5. เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง

6. ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอนไม่เหมาะสม

7. จำนวน lot size ไม่เหมาะสม

8. ความเร็วของโรเตอร์และการเปิดของประตูปล่อยยางไม่เหมาะสม

4.4 สรุประยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ระยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลวัด (Variable Date) สามารถสรุปได้ว่า เครื่องชั่งน้ำหนักไม่มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรได้ เพราะความละเอียดของเครื่องมือวัดยังไม่พอ เนื่องจากจุดทศนิยมในการวัดมีเพียงตำแหน่งเดียว ซึ่งในการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบวัด จึงถือว่าเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ แต่เนื่องจากทางบริษัทกรณีศึกษาจะให้ความสำคัญกับการชั่งน้ำหนักของส่วนผสมในการทำยางก่อนเข้ามิกเซอร์มากกว่า ซึ่งจะเป็นส่วนที่สำคัญมากกว่าน้ำหนักหลังออกจากมิกเซอร์และน้ำหนักยางแต่ละแบชมีหน่วยเป็นหลักร้อย กิโลกรัม จึงต้องการดูทศนิยมเพียงตำแหน่งเดียวก็ถือว่าเพียงพอแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องปรับปรุงความแม่นยำของระบบการวัด โดยจะใช้ความเที่ยงตรง (Accuracy) เป็นตัวกำหนดความถูกต้องของเครื่องมือวัดเพียงอย่างเดียว

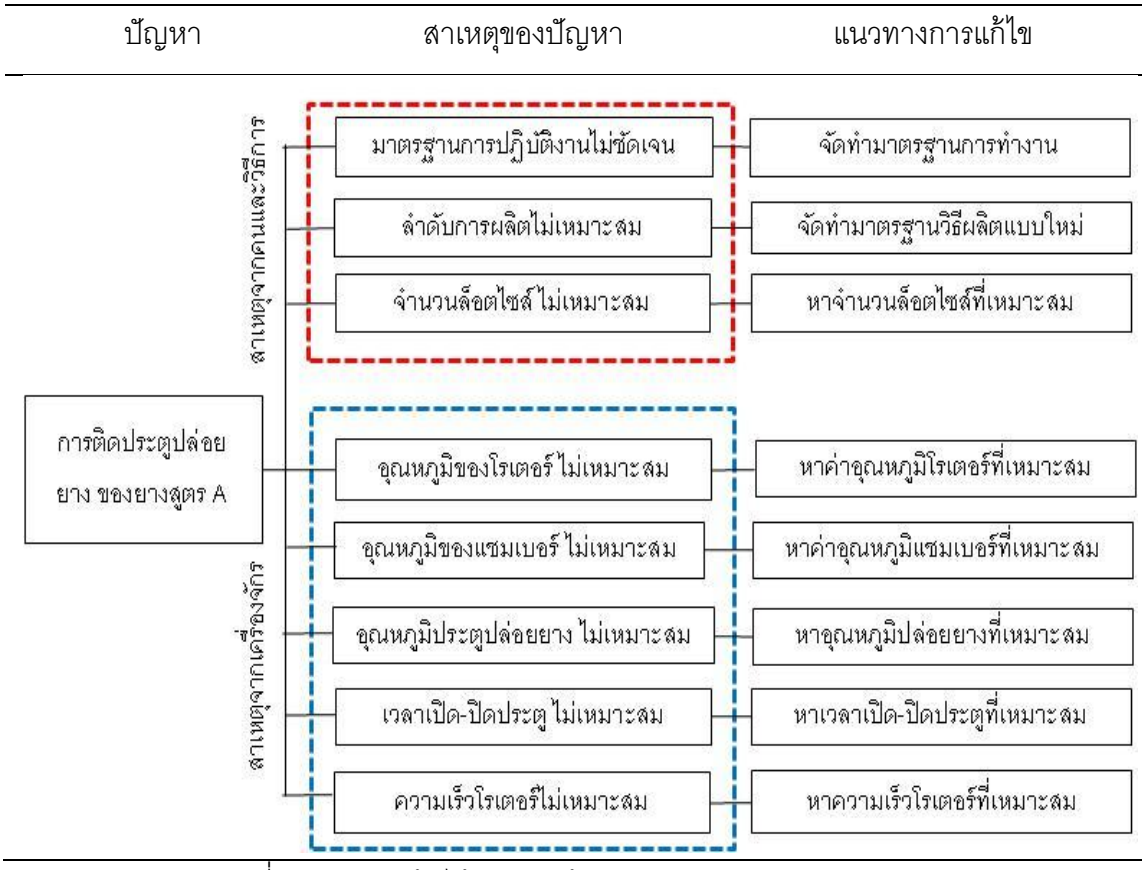
การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นได้นั้นเริ่มจากการใช้แผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) มาเพื่อสรุปสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยาง หลังจากนั้นนำสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และจัดลำดับความสำคัญตามคะแนน RPN จากมากไปน้อย และแสดงผลด้วยแผนภูมิพาเรโต โดยได้ทำการคัดเลือกสาเหตุที่มีค่า S มากที่สุดเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข ต่อไป ซึ่งมีปัจจัยรวมทั้งหมด 8 ปัจจัย โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ คือ 1) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านคนและวิธีการ ได้แก่ พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอน และจำนวน lot size 2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร ประกอบด้วย อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp) อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber) อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (Drop door) เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง และ ความเร็วของโรเตอร์ในการเปิดของประตูปล่อยยาง

บทที่ 5
ระยะการหาวิธีการแก้ปัญหา

สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมสมองเพื่อหาวิธีแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านคนและวิธีการ และ 2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร

5.1 วิธีการแก้ปัญหาแต่ละสาเหตุ

จากสาเหตุหลักของปัญหาที่สรุปได้จากระยะการหาสาเหตุหลักของปัญหานั้น ทีมงานได้ทำการระดมสมองและเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา ซึ่งได้ผลสรุปออกมาดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังต้นไม้ในการแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง

5.1.1 สาเหตุปัญหาจากคนและวิธีการ

จากการระดมสมองของทีมงานและวิธีการสัมภาษณ์พนักงานผู้ปฏิบัติงาน ทำให้พบสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุของปัญหาเป็น 2 ประเด็น คือ

1) มาตรฐานการปฏิบัติงานที่ไม่ชัดเจน จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัจจัยคณะทีมงานได้เสนอแนวทางในการแก้ไขดังนี้

- จัดทำมาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยางในกรณีที่เครื่องหยุดจักร (Break down) เมื่อเกิดยางติดประตูปล่อยยาง และตามแผนการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง

- การกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน

- กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องผสมยาง พร้อมทำแบบประเมินผลหลังการอบรม

2) การวางแผนการผลิตที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผ่านมาทำให้ทราบว่ายางที่มีส่วนผสมของซิลิกาจะมีความเหนียวมากกว่ายางที่มีส่วนผสมของคาร์บอน ทำให้เกิดการติดที่ประตูปล่อยยาง จากการระดมสมองของทีมงาน ได้นำเสนอแนวทางในการแก้ไขดังนี้

- จัดลำดับการผลิตแบบใหม่ โดยการจัดกลุ่มของสูตรยางที่ทำการผลิต ที่เครื่องจักร 1 ออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก 2) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่มีปัญหายางติด 3) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่ไม่มีปัญหายางติด และ 4) ยางไฟนอลมิกซ์ (Final mix) ของยางที่มีส่วนผสมซิลิกา โดยหลักการคือ ต้องวางแผนการผลิตให้ยางกลุ่มที่ 1 ผลิตก่อนยางกลุ่มที่ 2 เสมอ ส่วนกลุ่ม 3 และ กลุ่ม 4 สามารถสลับลำดับการผลิตกันได้

5.1.1 สาเหตุจากเครื่องจักร

จากการระดมสมองของทีมงานทำให้ทราบว่า สาเหตุจากเครื่องจักรน่าจะเป็นปัจจัยหลักของปัญหายางติดประตูปล่อยยาง และปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักร เมื่อเกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ช่างก็จะทำการปรับเครื่องแบบ Trial & Error โดยอาศัยประสบการณ์ที่ผ่านมา สำหรับวิธีแก้ปัญหานี้ ผู้วิจัยได้เสนอการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมของทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp) อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber) อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (Drop door) เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง และ ความเร็วของโรเตอร์ในการเปิดของประตูปล่อยยาง

5.2 การออกแบบการทดลอง

5.2.1 รูปแบบที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร ในแต่ละการทดลองต้องใช้ยางจำนวนมาก ถ้าเกิดของเสียจะต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายสูง ตลอดจนการทดลองจะต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตจริง ดังนั้น ในการเลือกรูปแบบที่ใช้สำหรับการวิจัยนี้ ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จึงตัดสินใจเลือกชนิดของการทดลองเป็นการออกแบบการทดลองเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{k-1} แบบ 1 เรพลิเคต (2^{k-1} Fractional Factorial Design Single Replicate) การทดลองนี้จะใช้เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อการติดประตูปล่อยยาง โดยใช้ตัวแปรตอบสนองเป็นค่าน้ำหนักของยางต่อแบช (Batch Weight)

การออกแบบการทดลองเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{k-1} แบบ 1 เรพลิเคต (2^{k-1} Fractional Factorial Design Single Replicate) ถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ เราจะใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่ามีปัจจัยใดบ้าง ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงกา ร (ปารเมศ ชุติมา , 2545) ซึ่งการทดลองนี้จะประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ที่มีข้อมูลเป็นแบบผันแปร (Variable Characteristic) และสำหรับการออกแบบการทดลองนี้สามารถสรุปข้อมูลได้ทั้งการทดลองความมีนัยสำคัญของปัจจัยและการมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลอง

5.2.2 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้มีปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่สำคัญทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิโรเตอร์ อุณหภูมิแซมเบอร์ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง ความเร็วโรเตอร์ และ เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง ซึ่งทั้ง 5 ปัจจัยนี้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยใช้ตัวแปรตอบสนองเป็นค่าน้ำหนักของยางหลังจากถูกปล่อยออกมาจากประตูปล่อยยาง และได้กำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้าปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลอง แสดงดัง ตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองเพื่อหาความมีนัยสำคัญ

สัญลักษณ์	ปัจจัย	หน่วย	ประเภทของปัจจัย	ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
A	อุณหภูมิโรเตอร์	℃	แปรผัน	65	75
B	อุณหภูมิแชมเบอร์	℃	แปรผัน	65	75
C	อุณหภูมิประตูปล่อยยาง	℃	แปรผัน	85	100
D	ความเร็วโรเตอร์	RPM	แปรผัน	45	60
E	เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง	Cmin	แปรผัน	20	40

โดยที่ปัจจัย A, B, C, D และ E เป็นค่าที่กำหนดในระดับต่ำสุดและสูงสุดที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาที่ไม่มีผลต่อคุณภาพของยาง

5.2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้ การทดลองแบบเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{k-1} แบบ 1 เรพลิเคต (2^{k-1} Fractional Factorial Design Single Replicate) เพื่อใช้ในการหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยแต่ละระดับที่มีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยจากระดับต่ำ (-1) ไปยังระดับสูง (+1) จำนวนการทดลองทั้งหมด 5 ปัจจัยนำเข้าจะเท่ากับ 2^{5-1} ประกอบไปด้วย 16 การทดลองร่วมปัจจัย ซึ่งการทดลองนี้จะทำให้ทราบผลกระทบหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นต่ำ เนื่องจากว่าการวิเคราะห์แบบไม่มีเรพลิเคตทดลองภายใต้สมมติฐานที่ว่าอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูง มีค่าน้อยและตัดทิ้งได้ เมื่อทราบปัจจัยที่มีนัยสำคัญแล้วจะนำเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปทำการทดลองเพิ่มเติม โดยที่แต่ละปัจจัยมีค่ามากกว่า 2 ระดับ เพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

สำหรับระดับความละเอียด (Resolution) ในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งหาได้จากความยาวของ Alias ที่สั้นที่สุดจาก Defining relation ที่หมายความว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากแค่ไหน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2 (R_{II}) จนถึง 5 (R_V) ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการ

ทดลอง 5 ปัจจัยแบบ 1 เรพพลิเคต ทำให้มีทั้งหมด 16 การทดลอง หรือ 16 รัน ซึ่งจะมีค่า Resolution เท่ากับ (R_V) โดยรายละเอียดของระดับ Resolution ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5.2

Available Factorial Designs (with Resolution)

	Factors													
Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	III	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

รูปที่ 5.2 ระดับ Resolution ที่เป็นไปได้ เมื่อกำหนด Run และจำนวน Factor

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่า ที่ผู้วิจัยกำหนดจำนวน Factor คือ 5 และ กำหนด Run คือ 16 จะได้ระดับของ Resolution เท่ากับ 5 (R_V) เป็นระดับที่ดีที่สุดที่คนออกแบบควรจะเลือกใช้ ซึ่งการออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัยใดๆที่จะคู่แฝดแฝง (Alias) กับผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัยตัวอื่นๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาสามปัจจัย

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้โปรแกรม Minitab Version 16 มาช่วยในการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้ในการสร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยในการออกแบบได้ให้ลำดับการทดลองมีการสุ่ม (Randomization) เพื่อให้ผลการทดลองไม่เป็นลำดับและมีความเป็นอิสระ (Independent) ต่อกัน ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab

Fractional Factorial Design

```
Factors:    5   Base Design:          5, 16   Resolution:     V
Runs:      16   Replicates:               1   Fraction:     1/2
Blocks:     1   Center pts (total):       0

Design Generators: E = ABCD

Alias Structure

I + ABCDE

A + BCDE
B + ACDE
C + ABDE
D + ABCE
E + ABCD
AB + CDE
AC + BDE
AD + BCE
AE + BCD
BC + ADE
BD + ACE
BE + ACD
```

ตารางที่ 5.3 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) สำหรับ 2^{5-1}

StdOrder	Basic Design				
	A	B	C	D	E=ABCD
1	-	-	-	-	+
2	+	-	-	-	-
3	-	+	-	-	-
4	+	+	-	-	+
5	-	-	+	-	-
6	+	-	+	-	+
7	-	+	+	-	+
8	+	+	+	-	-
9	-	-	-	+	-
10	+	-	-	+	+
11	-	+	-	+	+
12	+	+	-	+	-
13	-	-	+	+	+
14	+	-	+	+	-
15	-	+	+	+	-
16	+	+	+	+	+

สัญลักษณ์ (-) หมายถึงระดับต่ำ และสัญลักษณ์ (+) หมายถึงระดับสูง

5.2.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

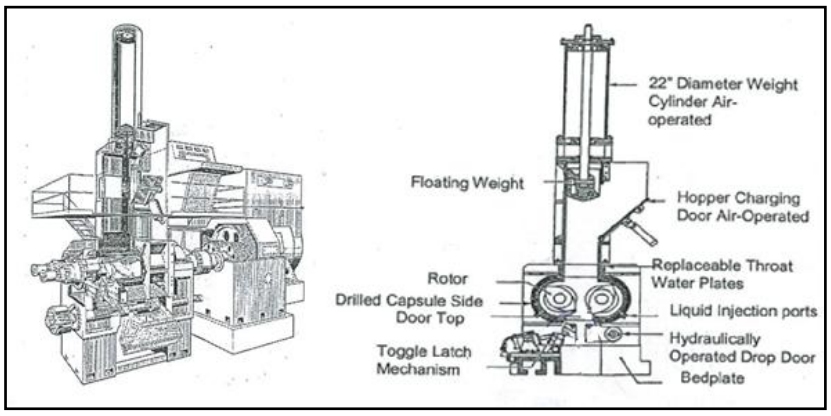
ตัวแปรตอบสนอง (Response) ในการทดลองนี้จะใช้น้ำหนักของยาง (Batch Weight) หลังออกจากมิกซ์เซอร์ ซึ่งจะมีเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อชั่งดูว่า มีน้ำหนักน้อยกว่าหรือมากกว่า มาตรฐานหรือไม่ โดยจะใช้ค่าน้ำหนักยางที่หายไปจากค่ามาตรฐานเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่า ยางติดประตูปล่อยยางหรือไม่ เพราะถ้าน้ำหนักของยางหายไป แสดงว่า มีเนื้อยางติดอยู่ในส่วนใดส่วนหนึ่งของเครื่องจักร ในการทดลองนี้จะถือว่า น้ำหนักก่อนเข้ามิกเซอร์มีค่าเท่ากันหมดคือ 280 กิโลกรัม เนื่องจากน้ำหนักก่อนเข้าที่มิกเซอร์ ซึ่งเป็นการชั่งส่วนผสมในการผลิตยางมาสเตอร์ที่มีส่วนประกอบทั้งที่เป็น ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ ซิลิกา สารตัวเติม สารตัวกระตุ้น

และ น้ำมัน ฯลฯ โดยวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีการชั่ง หรือ ตวง ที่มีความละเอียดของตราชั่งไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของส่วนผสม ถ้าส่วนผสมใดส่วนผสมหนึ่งหายไป จะตรวจสอบได้จากการตรวจสอบคุณสมบัติของยาง (Fluidity, Mooney, MCCs) ซึ่งทางบริษัทกรณีศึกษาได้มีการตรวจสอบคุณสมบัติของยางทุกแบชอยู่แล้วก่อนจะส่งไปยังกระบวนการต่อไป ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงไม่ใช้ค่าความแตกต่างระหว่างน้ำหนักก่อนเข้ามิกเซอร์ และ น้ำหนักหลังออกจากมิกเซอร์ เพราะถือว่าน้ำหนักก่อนเข้ามิกเซอร์ มีค่าเท่ากันหมดคือ 280 กิโลกรัม และใช้ค่าตอบสนองคือ ค่าน้ำหนักของยางหลังออกจากมิกเซอร์ เพียงค่าเดียวเท่านั้น

5.2.5 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

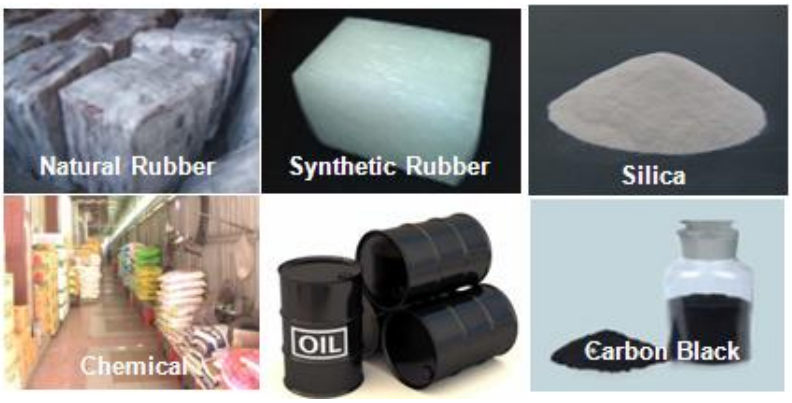
เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทำการทดลองในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

1) เครื่องผสมยาง (Mixer)



รูปที่ 5.3 ภาพจำลองเครื่องผสมยางแบบปิดและองค์ประกอบของเครื่องผสมยาง

2) วัตถุดิบส่วนผสมของยางสูตร A

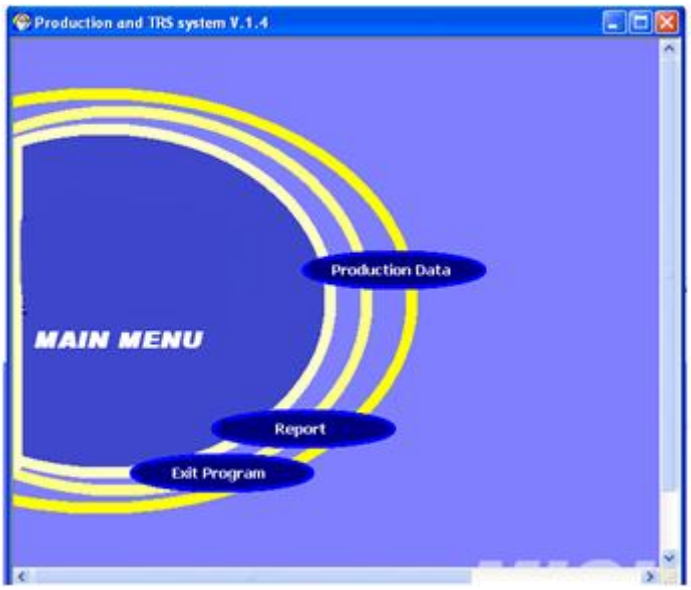


รูปที่ 5.4 แสดงวัตถุดิบของยางสูตร A

3) ยางมาสเตอร์แบช สูตร A

4) เครื่องชั่งน้ำหนักยางมาสเตอร์แบช (Weight Scale)

5) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกค่าน้ำหนักของยาง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ของโรงงานกรณีศึกษา มีไว้สำหรับพนักงานป้อนรายงานการผลิตประจำกะในแต่ละวัน และสามารถใช้แทน Working Report ได้ โดยโปรแกรมนี้จะบันทึกค่าน้ำหนักของยางอัตโนมัติ



รูปที่ 5.5 หน้าแรกของโปรแกรมสำหรับป้อนรายงานการผลิต

5.2.6 ปัจจัยควบคุม

การควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยที่ทำการศึกษามีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะส่งส่งผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งปัจจัยที่ทำการควบคุมในการออกแบบการทดลองนี้ ได้แก่

1) ยางมาสเตอร์แบชสูตร A จะต้องใช้วัตถุดิบคือ ซิลิกา ที่มาจาก Supplier เดียวกัน ล็อตเดียวกัน ตลอดการทดลอง เพื่อควบคุมความผันแปรที่เกิดจากวัตถุดิบ

2) ในการปรับตั้งค่า Ram pressure จะต้องใช้เท่ากับ 2 bar ตลอดการทดลอง

3) การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในการทดลองแต่ละครั้ง จะต้องปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน ซึ่งก่อนดำเนินการทดลองจะต้องปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรตาม Spec. ที่ระบุไว้ในเอกสาร ในระหว่างการดำเนินการทดลองจะไม่มีการปรับตั้ง

ค่าพารามิเตอร์ใหม่ แต่จะควบคุมค่าพารามิเตอร์ให้ได้เหมือนกันตลอดการทดลอง ยกเว้น ค่าพารามิเตอร์ ที่เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองที่กำลังศึกษา

5.2.7 แผนและลำดับการทดลอง

หลักการที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง ได้แก่

1. การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่ลำดับการเลือกปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และลำดับการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม ซึ่งทำให้ผลของการทดลองมีการกระจายอิสระ และสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

2. การทำซ้ำ (Replication) เป็นการกำหนดจำนวนครั้งของการทดลอง ซึ่งจะใช้เท่ากับ 1 เรพลิเคต เนื่องจาก ทำการทดลอง แล้วอาจจะกลายเป็น NCF และในการ set up parameter ของเครื่องจักรค่อนข้างทำยาก ประกอบกับการทดลองต้องทำไปพร้อมกับการผลิตจริง ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อ output ของการผลิตในแต่ละวัน

สำหรับแผนและลำดับการทดลองสร้างโดยอาศัยโปรแกรม MINITAB ซึ่งจะทำการสร้างเมตริกซ์สำหรับการออกแบบเชิงเศษส่วนแฟกทอเรียล โดยลำดับการทดลองได้จาก RunOrder ที่โปรแกรมสร้างขึ้น ซึ่งมีทั้งหมด 16 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E
4	1	1	1	-1	-1	1
5	2	-1	-1	1	-1	-1
8	3	1	1	1	-1	-1
11	4	-1	1	-1	1	1
13	5	-1	-1	1	1	1
3	6	-1	1	-1	-1	-1
9	7	-1	-1	-1	1	-1
6	8	1	-1	1	-1	1
1	9	-1	-1	-1	-1	1
7	10	-1	1	1	-1	1
14	11	1	-1	1	1	-1
12	12	1	1	-1	1	-1
15	13	-1	1	1	1	-1
2	14	1	-1	-1	-1	-1
10	15	1	-1	-1	1	1
16	16	1	1	1	1	1

5.2.8 ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามแผนตารางที่ 5.4 จนครบได้ผลการทดลองเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{5-1} ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงผลค่าน้ำหนักของยางที่ได้จากการทดลอง

StdOrder	RunOrder	A	B	C	D	E	Batche Weight
4	1	1	1	-1	-1	1	277.42
5	2	-1	-1	1	-1	-1	278.18
8	3	1	1	1	-1	-1	277.98
11	4	-1	1	-1	1	1	279.15
13	5	-1	-1	1	1	1	278.98
3	6	-1	1	-1	-1	-1	276.58
9	7	-1	-1	-1	1	-1	278.1
6	8	1	-1	1	-1	1	278.56
1	9	-1	-1	-1	-1	1	276.95
7	10	-1	1	1	-1	1	278.6
14	11	1	-1	1	1	-1	278.68
12	12	1	1	-1	1	-1	278.98
15	13	-1	1	1	1	-1	278.26
2	14	1	-1	-1	-1	-1	277.12
10	15	1	-1	-1	1	1	279.36
16	16	1	1	1	1	1	278.98

5.2.9 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

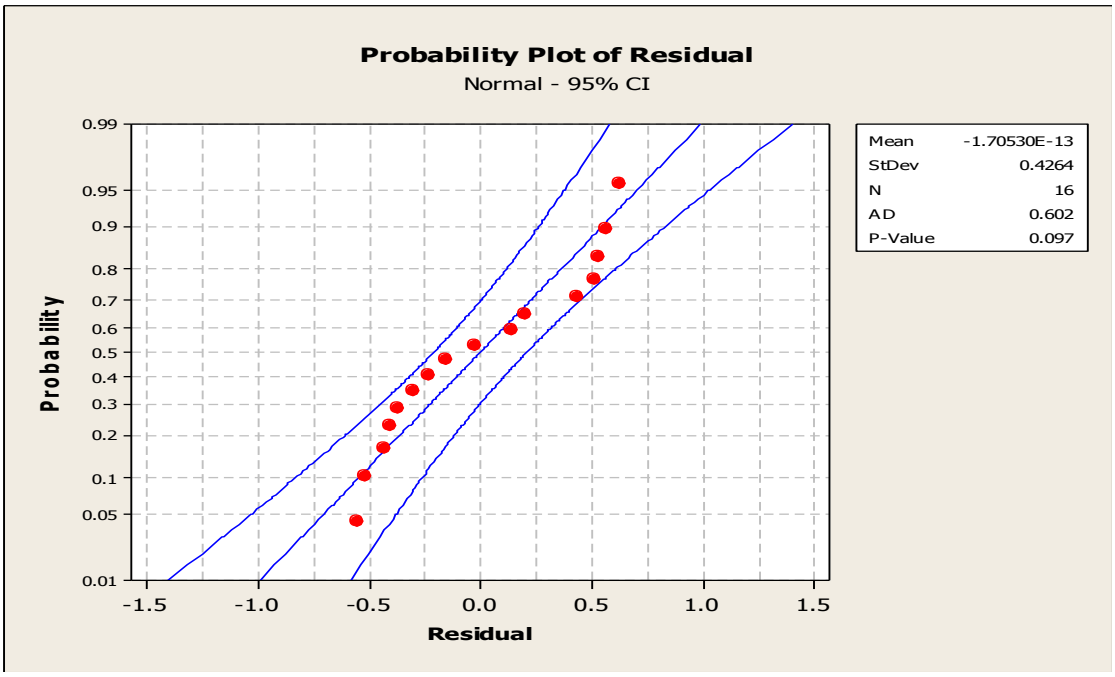
ในการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ ซึ่งหมายถึง เงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นแบบสุ่มและมีการกระจายแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยการตรวจสอบเงื่อนไขทั้ง 3 ประการ มีดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สามารถทดสอบได้โดยการพล็อตค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าน้ำหนักของยาง: Batch Weight) ที่เรียกว่า Normality probability plot ซึ่งเป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม P_k = (k-1/2)/n โดย $P_k \times 100$ อยู่บนแกน y และแกน x คือค่าส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 Normal probability plot ของส่วนตกค้างน้ำหนักของยาง

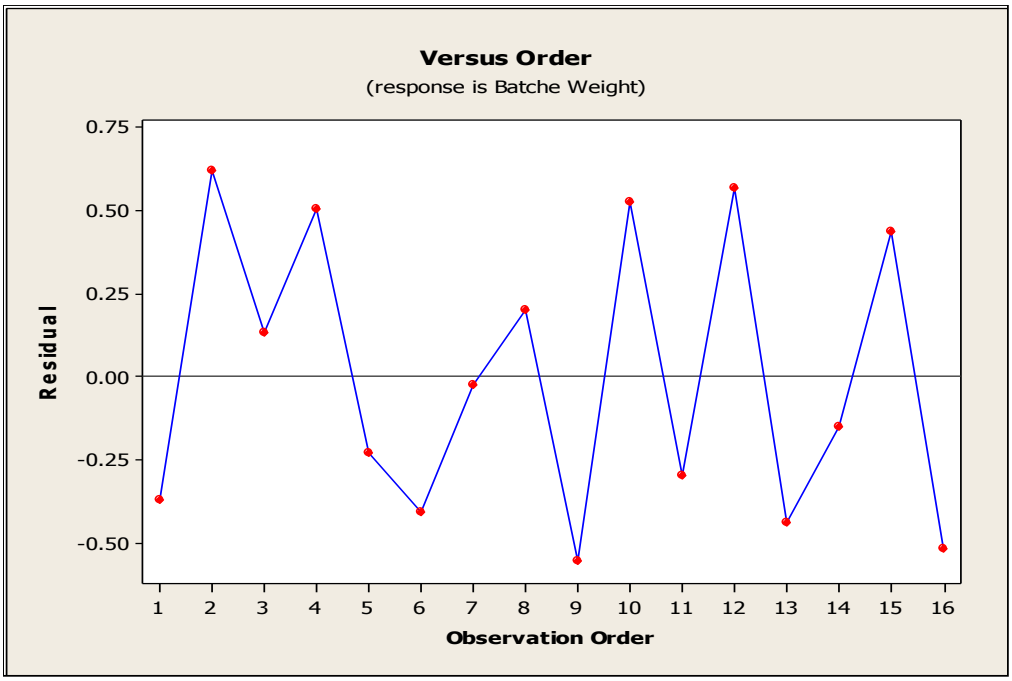
จากรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่า กราฟ มีลักษณะเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นตรงเพียงเล็กน้อย และค่า P-Value = 0.097 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่า สถิติทดสอบ Anderson-Darling (AD) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.602 ถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าวิกฤต หมายความว่าจุดต่างๆ ที่แสดงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

สามารถทดสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูล

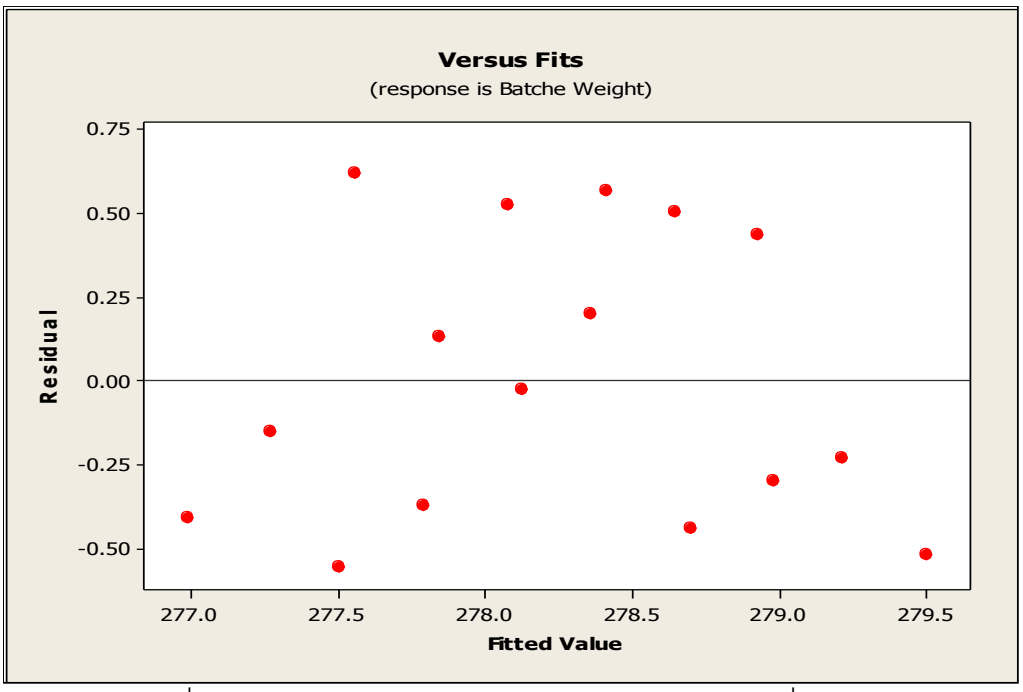
จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่า ค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามลำดับการเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบคือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร

สามารถทดสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ของข้อมูลน้ำหนักยาง ดังแสดงในรูปที่ 5.8

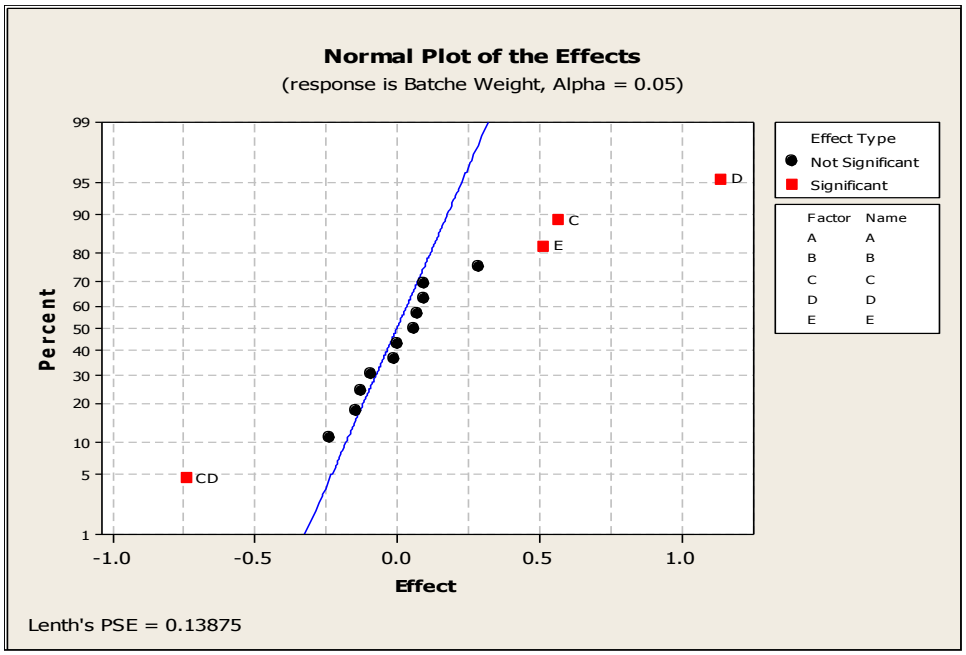


รูปที่ 5.8 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

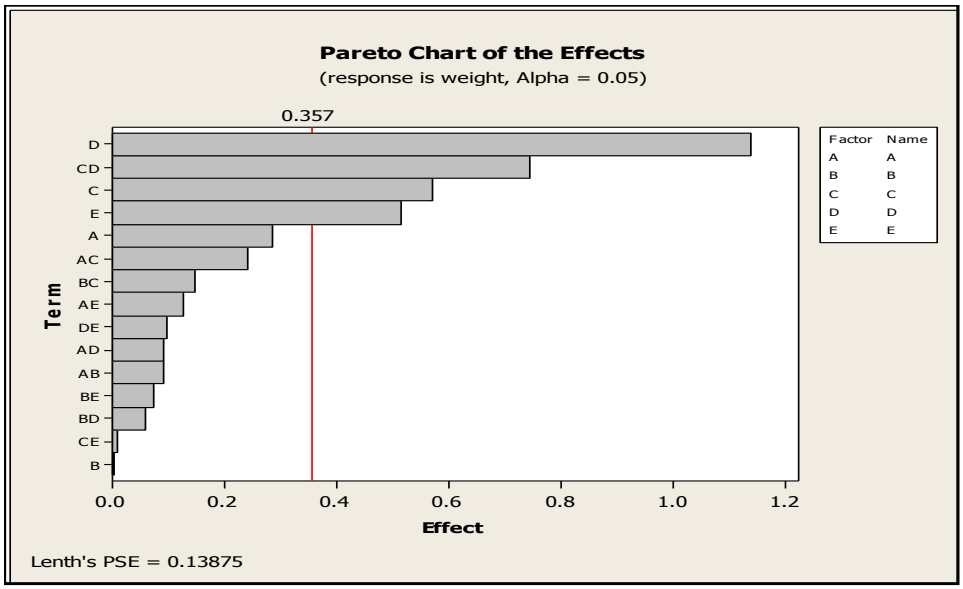
จากรูปที่ 5.8 ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

5.2.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อช่วยในการประมวลผล ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการพล็อต Normal Probability Plot และ Pareto Chart ของปัจจัยหลัก (Effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อค่าตอบสนอง คือ ค่าน้ำหนักของยาง (Batch Weight) โดยแสดงดังรูปที่ 5.9 และ 5.10



รูปที่ 5.9 Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.10 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 5.9 และ 5.10 จะสามารถสรุปได้ในเบื้องต้นว่ามีปัจจัยหลัก C, D และ E และอันตรกิริยา CD จะส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าน้ำหนักของยาง (พิจารณาได้จากจุดที่ไม่เรียงอยู่บนเส้นตรงในรูปที่ 5.9 อย่างชัดเจน หรือปัจจัยซึ่งมีค่าผลกระทบที่อยู่ทางด้านขวาของเส้นแนวตั้งในรูปที่ 5.10) อย่างไรก็ตาม จำเป็นจะต้องทำการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความ

แปรปรวนสำหรับปัจจัยที่มีศักยภาพทั้ง 4 ตัว จึงจะสามารถสรุปได้ว่า มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลของการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนอง

Factorial Fit: Batche Weight versus C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for Batche Weight (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		278.243	0.06938	4010.51	0.000
C	0.570	0.285	0.06938	4.11	0.002
D	1.138	0.569	0.06938	8.20	0.000
E	0.515	0.258	0.06938	3.71	0.003
C*D	-0.743	-0.371	0.06938	-5.35	0.000

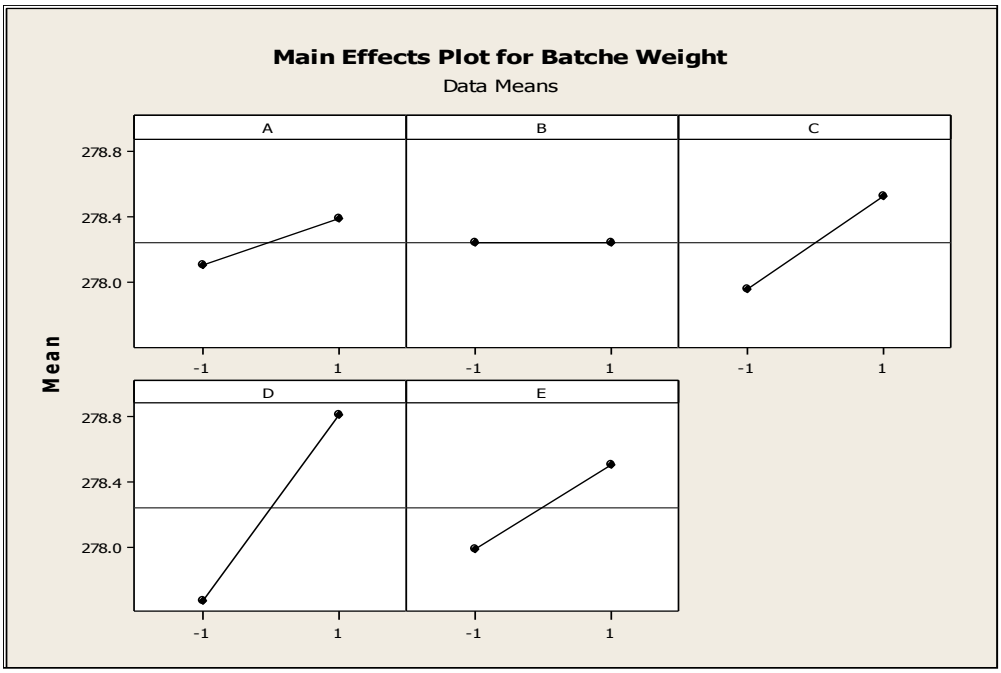
S = 0.277513 PRESS = 1.79232
R-Sq = 92.00% R-Sq(pred) = 83.07% R-Sq(adj) = 89.09%

Analysis of Variance for Batche Weight (coded units)

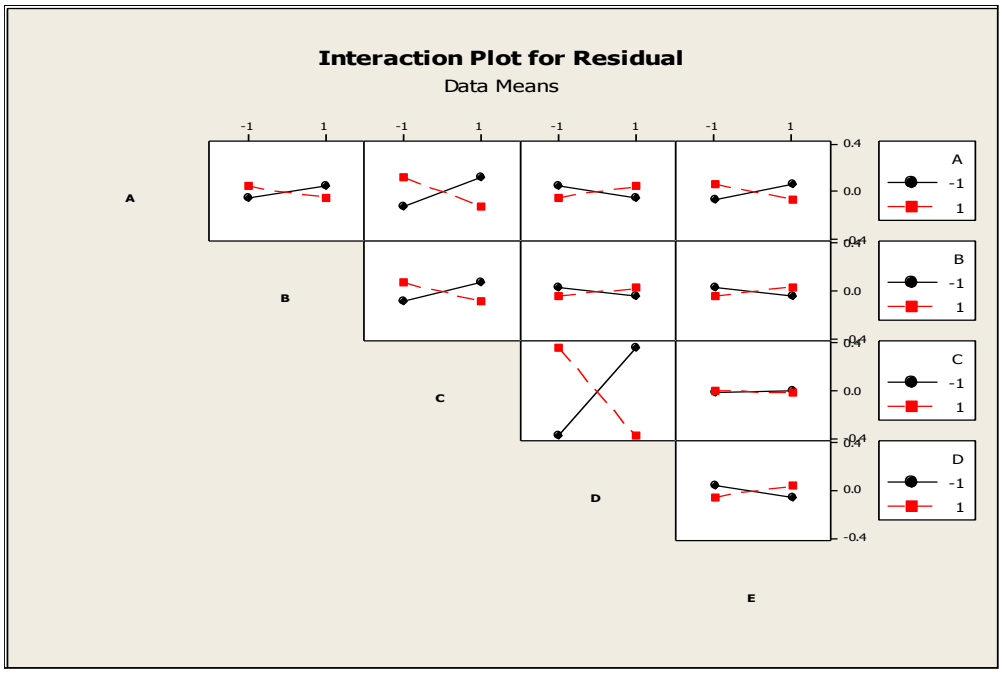
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	7.5361	7.53613	2.51204	32.62	0.000
C	1	1.2996	1.29960	1.29960	16.87	0.002
D	1	5.1756	5.17563	5.17563	67.20	0.000
E	1	1.0609	1.06090	1.06090	13.78	0.003
2-Way Interactions	1	2.2052	2.20523	2.20523	28.63	0.000
C*D	1	2.2052	2.20523	2.20523	28.63	0.000
Residual Error	11	0.8472	0.84715	0.07701		
Lack of Fit	3	0.0726	0.07265	0.02422	0.25	0.859
Pure Error	8	0.7745	0.77450	0.09681		
Total	15	10.5885				

จากตารางที่ 5.6 จะพบว่า ปัจจัยหลักที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 กล่าวคือ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ความเร็วโรเตอร์ (D) เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 1 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิประตูปล่อยยางกับความเร็วโรเตอร์ (CD)

นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab ยังสามารถแสดงแผนภาพของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองและผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนักยาง



รูปที่ 5.12 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนักยาง

5.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่มีนัยสำคัญต่อปัญหายางติดประตูปล่อยยางที่เกิดขึ้นในกระบวนการผสมยาง สามารถสรุปประเด็นสาเหตุของปัญหาได้ 2 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านคนและวิธีการ

สาเหตุจากปัจจัยคนและวิธีการ พบว่า มีสาเหตุหลักมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ไม่ชัดเจน สำหรับแนวทางในการแก้ไข คือ จัดทำมาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยางในกรณีที่เครื่องหยุด จักร (Break down) เมื่อเกิดยางติดประตูปล่อยยาง และตามแผนการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง และกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน โดยจะมีการ กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องผสมยาง พร้อมทำแบบประเมินผลหลังการอบรม สำหรับการวางแผนการผลิตที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า ยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาจะมีความเหนียวมากกว่ายางที่มีส่วนผสมของคาร์บอน ดังนั้นจึงต้องมีการจัดลำดับการผลิตแบบใหม่ โดยการจัดกลุ่มของสูตรยางที่ทำการผลิตที่เครื่องจักร 1 ออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก 2) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่มีปัญหายางติด 3) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่ไม่มีปัญหายางติด และ 4) ยางไฟนอลมิกซ์ (Final mix) ของยางที่มีส่วนผสมซิลิกา โดยหลักการคือ ต้องวางแผนการผลิตให้ยางกลุ่มที่ 1 ผลิตก่อนยางกลุ่มที่ 2 เสมอ และจะต้องหาจำนวน Maximum lot size ที่ไม่ทำให้ยางติดประตูปล่อยยางเพื่อกำหนดเป็นวิธีการมาตรฐาน

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร

ผลจากการใช้ วิธีการทางสถิติในการทดสอบปัจจัยที่เลือกมาว่ามีผลต่อยางติดประตูปล่อยยาง ซึ่งวัดค่าตัวแปรตอบสนองจากค่าน้ำหนักของยางหลังจากผสมยางเสร็จและถูกปล่อยออกจากประตูปล่อยยางมายังเครื่องชั่งน้ำหนัก อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบที่เลือก คือ การออกแบบการทดลองแบบเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{k-1} แบบ 1 เรพลิเคต (2^{k-1} Fractional Factorial Design Single Replicate) เพื่อใช้ในการหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยแต่ละระดับที่มีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยจากระดับต่ำ (-1) ไปยังระดับสูง (+1) จำนวนการทดลองทั้งหมด 5

ปัจจัยนำเข้าจะเท่ากับ 2^{5-1} ประกอบไปด้วย 16 การทดลองร่วมปัจจัย ซึ่งการทดลองนี้จะทำให้ทราบผลกระทบหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นต่ำ เพื่อ คัดกรองปัจจัยก่อนที่จะทำการออกแบบทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

เมื่อได้ผลการทดลองจากโปรแกรม Minitab สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้น ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ความเร็วโรเตอร์ (D) เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 1 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิประตูปล่อยยางกับความเร็วโรเตอร์ (CD)

บทที่ 6
ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากค้นพบสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A แล้ว ในระยะนี้จะเป็นการระดมสมองจากทีมงานกำหนดวิธีการแก้ปัญหาที่ได้สรุปแล้วในบทที่ 5 ประกอบด้วยปัจจัยด้านคนและวิธีการ ซึ่งแนวทางการแก้ไขคือ สร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงาน และในส่วนปัจจัยด้านเครื่องจักร หลังจากได้มีการหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{k-1} แบบ 1 เรพลิเคต จากการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อการรั่วลม โดยใช้ตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนักของยางหลังยางถูกปล่อยออกจากประตูปล่อยยาง ผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้นปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ความเร็วโรเตอร์ (D) เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 1 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิประตูปล่อยยางกับความเร็วโรเตอร์ (CD) โดยในระยะปรับปรุงนี้จะนำปัจจัยที่ได้จากการคัดกรองไปทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม ด้วยวิธีพื้นผิวตอบ (Response Surface Methodology, RMS) เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งพารามิเตอร์ที่ไม่ทำให้ยางติดประตูปล่อยยาง ซึ่งให้ค่าน้ำหนักของยาง (Batch Weight) ที่สูงสุด

6.1 การสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงาน

1) ขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อเกิดการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง

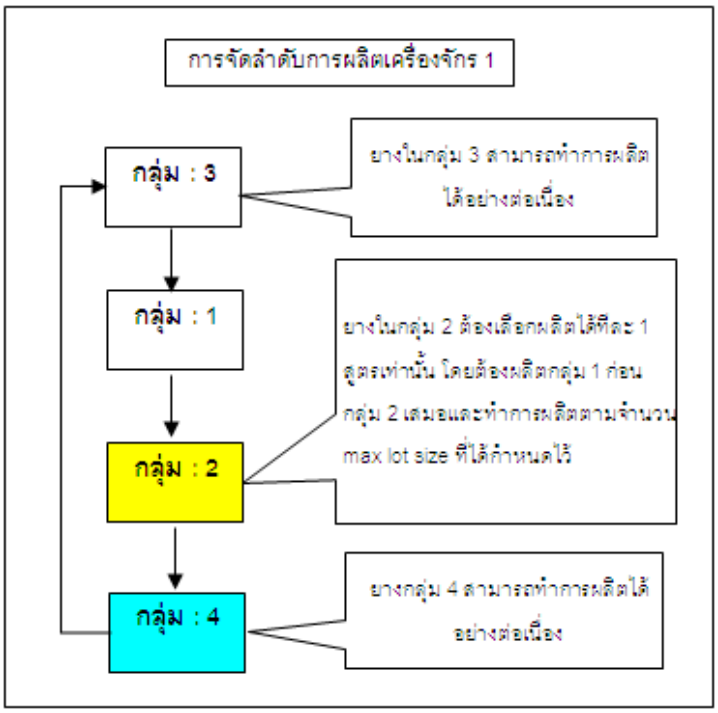
ขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อพนักงานพบว่า เครื่องจักรหยุดทำงาน (Breakdown) เนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.

2) จัดทำมาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยางในกรณีที่เครื่องหยุดจักร (Break down) เมื่อเกิดยางติดประตูปล่อยยาง และตามแผนการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค.

3) การกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน แสดงในตารางภาคผนวก ค.

4) กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องผสมยาง พร้อมทำแบบประเมินผลหลังการอบรม

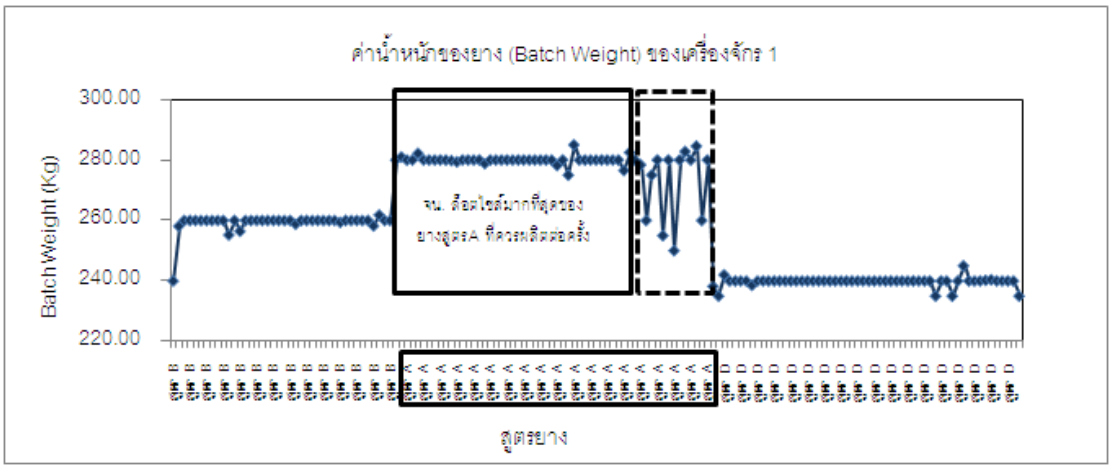
5) จัดลำดับการผลิตแบบใหม่ โดยการจัดกลุ่มของสูตรยางที่ทำการผลิต ที่เครื่องจักร 1 ออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก 2) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่มีปัญหายางติด 3) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่ไม่มีปัญหายางติด และ 4) ยางไฟนอลมิกซ์ (Final mix) ของยางที่มีส่วนผสมซิลิกา โดยหลักการคือ ต้องวางแผนการผลิตให้ยางกลุ่มที่ 1 ผลิตก่อนยางกลุ่มที่ 2 เสมอ เนื่องจากยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนจะไม่มีความเหนียวเท่ายางที่มีส่วนผสมของซิลิกาจึงไม่มีปัญหายางติดประตูปล่อยยางจึงสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องไม่ต้องจำกัดจำนวนแบช สำหรับยางสูตร A ถูกจัดอยู่ในยางกลุ่ม 2 ต้องผลิตต่อจากยางกลุ่ม 1 เสมอ และต้องจำกัดจำนวนในการผลิตต่อเครั้งไม่สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่อง เพราะยิ่งผลิตต่อเนื่องจะยิ่งทำให้ยางมีการติดประตูปล่อยยางมากยิ่งขึ้น ส่วนยางกลุ่ม 3 และ กลุ่ม 4 จะไม่มีปัญหาการติดประตูปล่อยยาง และสามารถสลับลำดับในการผลิตได้ แต่จะต้องผลิตหลังจากผลิตยางกลุ่ม 2 เสร็จแล้วเท่านั้น โดยลำดับการผลิตแสดงดังรูปที่ 6.1 ซึ่งวิธีการนี้จะถูกนำไปใส่ไว้ในคู่มือการวางแผนการผลิตยางของแผนกผสมยาง รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.



รูปที่ 6.1 รูปแบบการจัดลำดับการผลิตแบบใหม่

6) ทำการผลิตตามแผนการจัดลำดับแบบใหม่ และหาจำนวนล็อตไซส์มากที่สุดที่สามารถผลิตได้ต่อครั้ง (Maximum lot size) เนื่องจากกลุ่มที่ 2 ที่มีปัญหายางติดประตูปล่อยยางจะไม่สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องเหมือนยางกลุ่มอื่นๆ เพราะเมื่อเกิดการติดของยางที่ประตูปล่อยยางแล้ว ยางแบชต่อไปก็จะติดมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการจำกัดจำนวนแบชในการผลิตในแต่ละครั้งเพื่อหยุดการผลิตยางกลุ่ม 2 และทำความสะอาดประตูปล่อยยางจากนั้นจึงผลิตยางกลุ่ม 3 หรือกลุ่ม 4 ต่อไป สำหรับการหาจำนวนล็อตไซส์ที่มากที่สุดในการผลิตแต่ละครั้งจะทำการหาจากค่ากราฟของน้ำหนักยางหลังจากได้มาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรแล้ว โดยพิจารณาจากค่าน้ำหนักของยางเมื่อการผลิตผ่านไป ถ้ากราฟมีลักษณะนิ่งอยู่ที่ค่ากลางดังกรอบเส้นทึบ แสดงว่าไม่มีปัญหาเรื่องยางติดประตูปล่อยยาง แต่ถ้ากราฟมีลักษณะขึ้นลง (ค่าน้ำหนักมีการแกว่ง) ดังกรอบเส้นประ (รูปที่ 6.3) แสดงว่า ยางเริ่มติดประตูปล่อยยาง ดังนั้นในการผลิตแต่ละครั้งจึงควรเลือกจำกัดจำนวนแบชในกรอบทึบเป็นค่าจำนวนล็อตไซส์ที่มากที่สุดที่ควรจะผลิตในแต่ละครั้งที่จะไม่ทำให้ยางติดประตูปล่อยยางตลอดจนปัญหาเรื่องค่าน้ำหนักของยางไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งหลังจากปรับตั้งค่าเครื่องจักรตามผลการทดลอง (หัวข้อที่ 6.2) และจัดลำดับการผลิตใหม่แล้วพบว่า จำนวนล็อตไซส์ที่มากที่สุดของยางสูตร A ในการผลิตแต่ละครั้ง คือ 40 แบช ต่อ การผลิต 1

ครั้ง แล้วเปลี่ยนไปผลิตยางกลุ่ม 4 ส่วนยางกลุ่ม 1, 3 และ 4 สามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องตามแผนความต้องการยอดการผลิตของโรงงาน



รูปที่ 6.2 แสดงการหาจำนวนล็อตไซส์มากที่สุดในการผลิตแต่ละครั้งของยางสูตร A

6.2 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

ผลการทดลองใน บทที่ 5 ทำให้ได้ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ความเร็วโรเตอร์ (D) เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 1 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิประตูปล่อยยางกับความเร็วโรเตอร์ (CD) ซึ่งในระยะนี้จะนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองไปทำการทดลองเพิ่มเต็มด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) แบบ Box-Behnken Design เนื่องจากเป็นการทดลองที่กำหนดให้มีการทดสอบที่ระดับของปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่าระดับที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งพารามิเตอร์เครื่องผสมยางที่ทำให้ค่าน้ำหนักของยาง (Batch Weight) มากที่สุด

หลักการที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง ได้แก่

1. การสุ่ม (Randomization) หมายถึง การทดลองที่ลำดับการเลือกปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และลำดับการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม ซึ่งทำให้ผลของการทดลองมีการกระจายอิสระ และสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

2. การทำซ้ำ (Replication) เป็นการกำหนดจำนวนครั้งของการทดลอง ซึ่งจะใช้เท่ากับ 1 เรพลิเคต เนื่องจากข้อจำกัดของทรัพยากรและระยะเวลาในการทำการทดลอง

สำหรับแผนและลำดับการทดลองสร้างโดยอาศัยโปรแกรม MINITAB ซึ่งจะทำการสร้างเมตริกซ์สำหรับการออกแบบการทดลอง ด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) แบบ Box-Behnken Designโดยลำดับการทดลองได้จาก RunOrder ที่โปรแกรมสร้างขึ้น ซึ่งมีทั้งหมด 15 การทดลอง

โดยการทดลองสามารถสรุปรายละเอียดการปรับตั้งค่าในแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 6.1 และแสดงรูปแบบการทดลองแบบสุ่มดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 ค่าที่ใช้ในการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

ปัจจัย	ระดับ			หน่วย
	1	2	3	
อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C)	85	93	100	℃
ความเร็วโรเตอร์ (D)	45	53	60	RPM
เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E)	20	30	40	CMIN

ตารางที่ 6.2 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	C	D	E	Batch Weight
14	1	0	1	0	0	0	279.12
6	2	2	1	1	0	-1	279.56
11	3	2	1	0	-1	1	278.75
13	4	0	1	0	0	0	280.25
1	5	2	1	-1	-1	0	277.20
12	6	2	1	0	1	1	282.20
2	7	2	1	1	-1	0	279.50
8	8	2	1	1	0	1	282.12
7	9	2	1	-1	0	1	277.98
15	10	0	1	0	0	0	280.05
3	11	2	1	-1	1	0	280.94
5	12	2	1	-1	0	-1	277.54
9	13	2	1	0	-1	-1	277.10
4	14	2	1	1	1	0	282.15
10	15	2	1	0	1	-1	279.65

6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

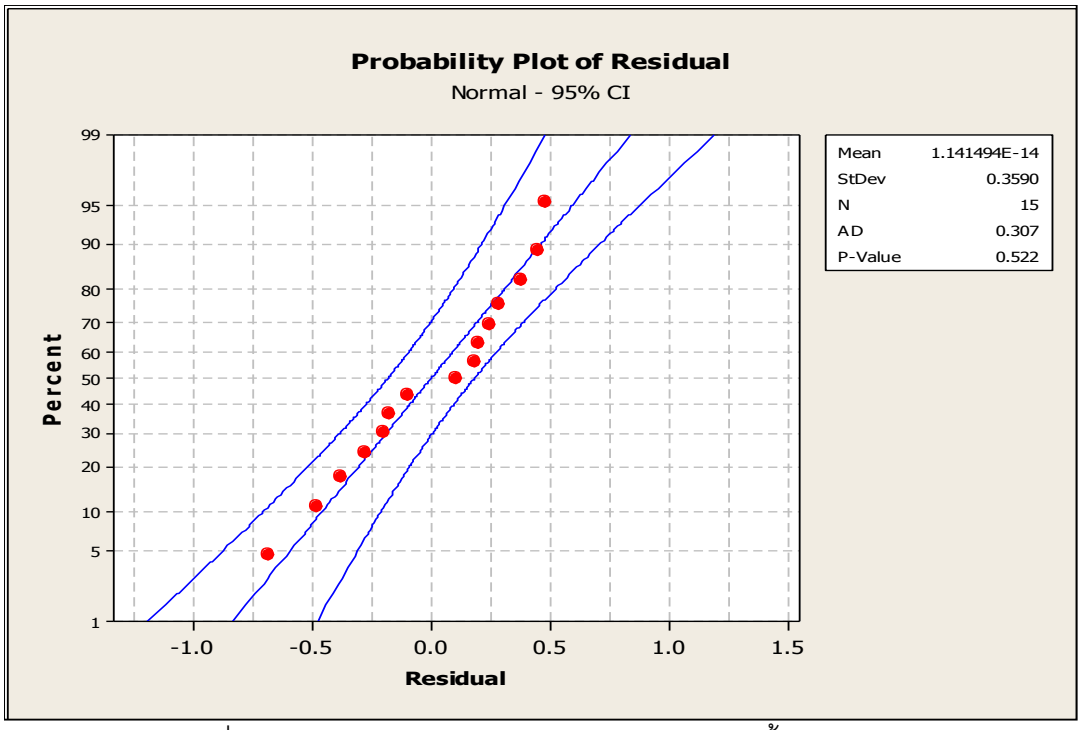
ในการออกแบบการทดลองจำเป็นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ ซึ่งหมายถึง เงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นแบบสุ่มและมีการกระจายแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยการตรวจสอบเงื่อนไขทั้ง 3 ประการ มีดังนี้

1) การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สามารถทดสอบได้โดยการพล๊อตค่าส่วนตกค้างของตัวแปรตอบสนอง (ค่าน้ำหนักของยาง: Batch Weight) ที่เรียกว่า Normality probability plot ซึ่งเป็นการพล็อตค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม P_k = (k-1/2)/n โดย $P_k \times 100$ อยู่บนแกน y และแกน x คือค่าส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 Normal probability plot ของส่วนตกค้างน้ำหนักของยาง

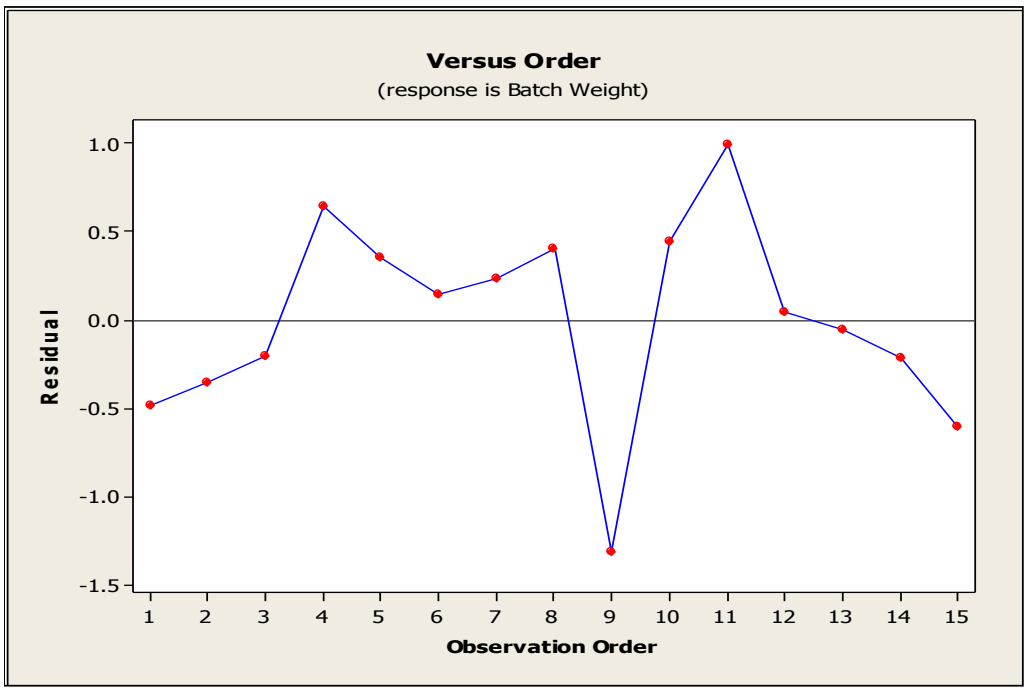
จากรูปที่ 6.3 แสดงให้เห็นว่า กราฟ มีลักษณะเบี่ยงเบนออกไปจากเส้นตรงเพียงเล็กน้อย และค่า P-Value = 0.522 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่า สถิติทดสอบ Anderson-Darling (AD) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.307 ถือว่ามีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าวิกฤต หมายความว่าจุดต่างๆ ที่แสดงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การทดสอบสมมติฐานของการสุ่มข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลไม่ได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

สามารถทดสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูล

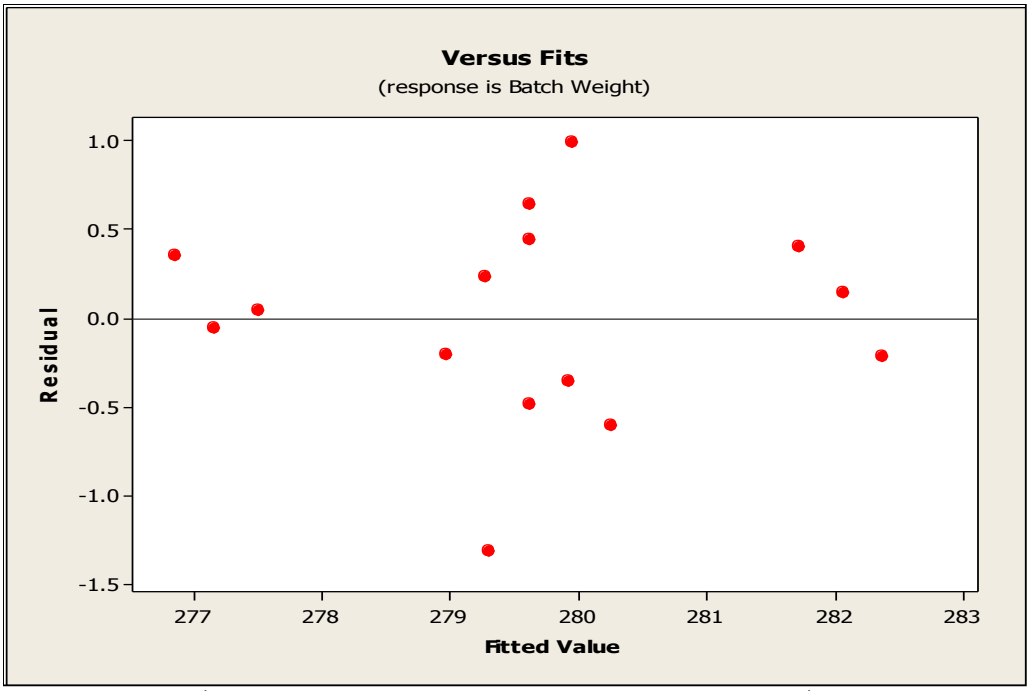
จากรูปที่ 6.4 จะเห็นว่า ค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามลำดับการเก็บข้อมูลที่ไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม

3) การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบคือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร

สามารถทดสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ของข้อมูลน้ำหนักยาง ดังแสดงในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 แผนภาพการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต

จากรูปที่ 6.5 ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวไม่เป็นรูปแบบใดๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

6.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการตรวจสอบความเพียงพอของข้อมูลของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) แล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบ โดย Minitab

Response Surface Regression: Batch Weight versus C, D, E

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Batch Weight

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	279.807	0.3468	806.816	0.000
C	1.209	0.2124	5.692	0.002
D	1.549	0.2124	7.293	0.001
E	0.900	0.2124	4.238	0.008
C*C	0.008	0.3126	0.025	0.981
D*D	0.133	0.3126	0.425	0.688
E*E	-0.515	0.3126	-1.646	0.161
C*D	-0.273	0.3003	-0.907	0.406
C*E	0.530	0.3003	1.765	0.138
D*E	0.225	0.3003	0.749	0.487

S = 0.600682 PRESS = 18.8655
R-Sq = 95.69% R-Sq(pred) = 54.95% R-Sq(adj) = 87.94%

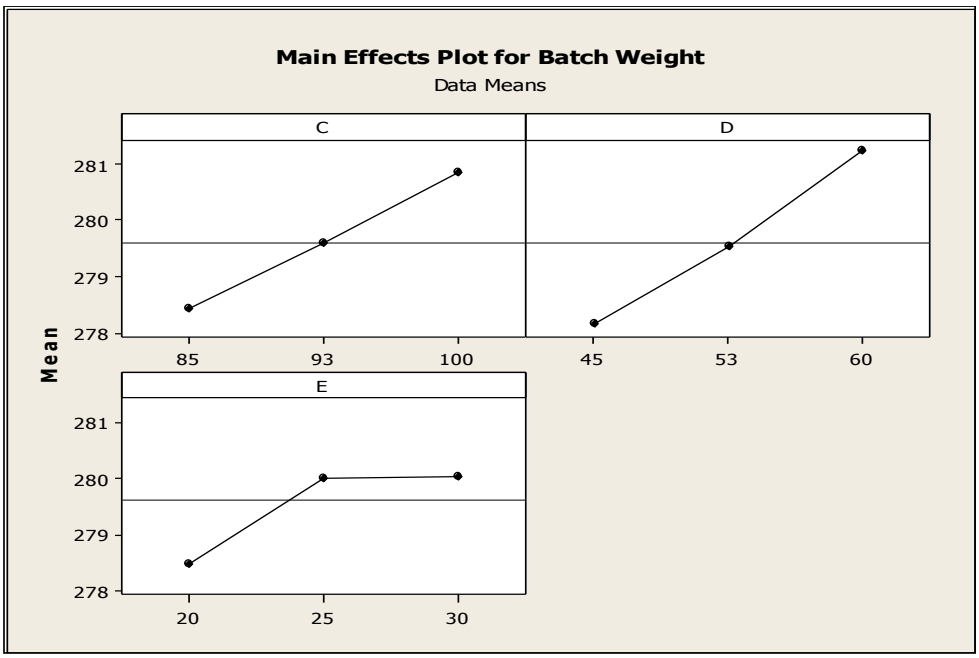
Analysis of Variance for Batch Weight

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	40.0736	40.0736	4.4526	12.34	0.006
Linear	3	37.3576	37.3576	12.4525	34.51	0.001
C	1	11.6886	11.6886	11.6886	32.39	0.002
D	1	19.1890	19.1890	19.1890	53.18	0.001
E	1	6.4800	6.4800	6.4800	17.96	0.008
Square	3	1.0929	1.0929	0.3643	1.01	0.461
C*C	1	0.0046	0.0002	0.0002	0.00	0.981
D*D	1	0.1105	0.0652	0.0652	0.18	0.688
E*E	1	0.9777	0.9777	0.9777	2.71	0.161
Interaction	3	1.6231	1.6231	0.5410	1.50	0.322
C*D	1	0.2970	0.2970	0.2970	0.82	0.406
C*E	1	1.1236	1.1236	1.1236	3.11	0.138
D*E	1	0.2025	0.2025	0.2025	0.56	0.487
Residual Error	5	1.8041	1.8041	0.3608		
Lack-of-Fit	3	1.0768	1.0768	0.3589	0.99	0.539
Pure Error	2	0.7273	0.7273	0.3636		
Total	14	41.8777				

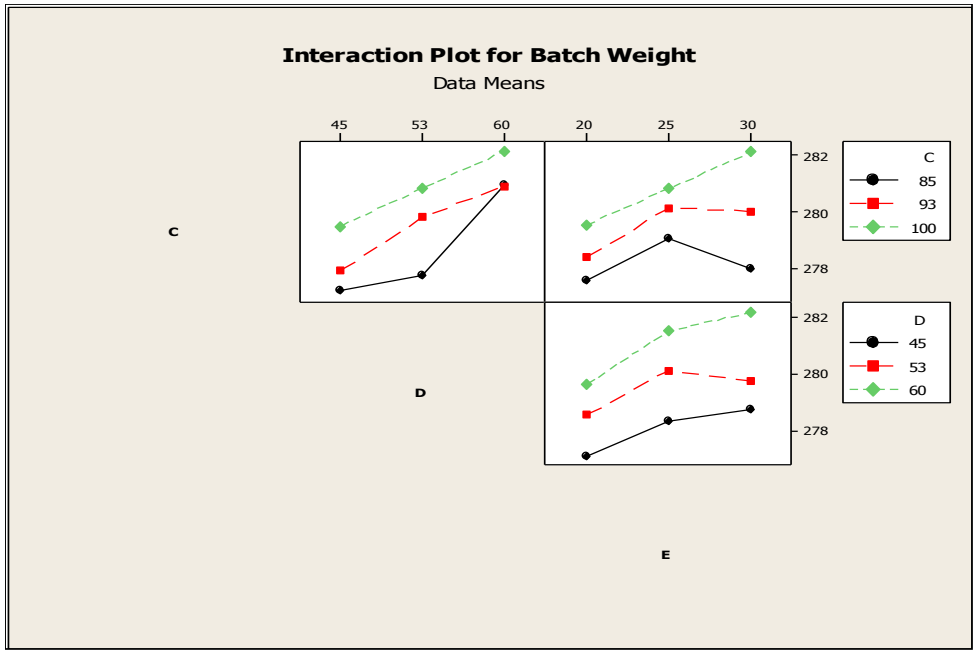
จากตารางที่ 6.3 ผลการทดลองนี้มีค่า R^2(adj) เท่ากับ 87.94% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้และจากผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนอง ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.002 ความเร็วโรเตอร์ (D) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 และ เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E)มีค่า P-Value

เท่ากับ 0.008 และพบว่าพจน์กำลังสองของทั้ง 3 ปัจจัย และพจน์ของอันตรกิริยาไม่มีผลต่อค่าตอบสนองจึงอาจจะตัดพจน์เหล่านี้ออกจากสมการได้

และเมื่อทำการวิเคราะห์ ผลหลักและอันตรกิริยาของปัจจัยทั้งสาม จากผลของโปรแกรม Minitab ซึ่งสามารถแสดงแผนภาพผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองและผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.6 และ 6.7 ตามลำดับ



รูปที่ 6.6 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนัก



รูปที่ 6.7 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าน้ำหนัก

จากรูปที่ 6.6 และ 6.7 แสดงผลของการทดลองจากโปรแกรม Minitab สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้น ปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ คือ ปัจจัยหลัก (Main Effect) จากอุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ความเร็วโรเตอร์ (D) เวลาเปิด -ปิด ประตูปล่อยยาง (E) และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) ใดๆ ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

ในการหาระดับปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย สามารถใช้หลักการ Optimization โดยใช้โปรแกรม Minitab สรุปผลได้ว่า ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ที่ 98.4610 ℃ ความเร็วโรเตอร์ (D) ที่ 45.8230 RPM เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) ที่ 30 CMIN ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ (y) ค่าน้ำหนักของยาง เท่ากับ 280 Kg. ที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 1.00 โดยผล (Response Surface Equation) แสดงได้ตามสมการที่ 6.1

$$Y=279.807+1.209X_C+1.549X_D+0.900X_E \quad \text{..... (6.1)}$$

และสามารถแสดงรายละเอียดจากโปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 6.4 และผล Optimization Plot และรูปที่ 6.10

ตารางที่ 6.4 ผลการหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimizer)

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Batch Weight	Target	277.2	280	282.8	1	1

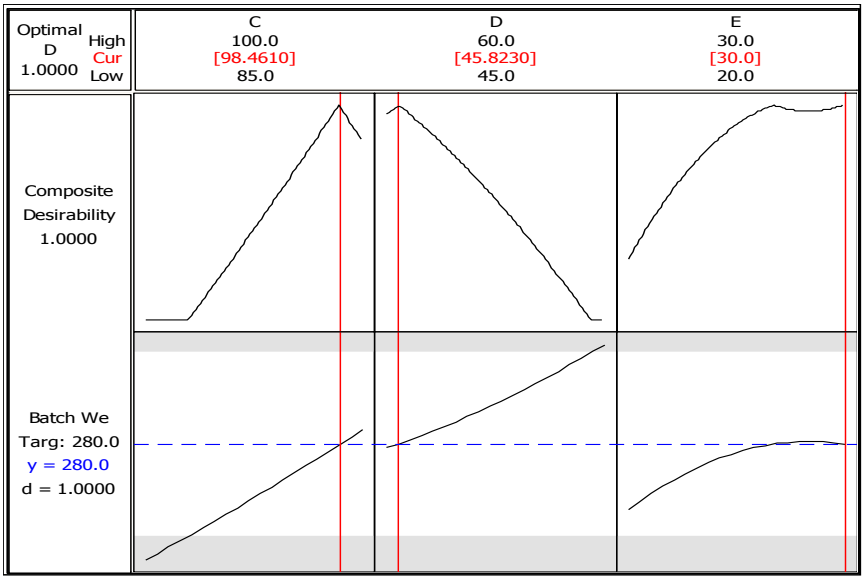
Global Solution

C = 98.4610
D = 45.8230
E = 30

Predicted Responses

Batch Weight = 280.000 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000



รูปที่ 6.8 Optimization Plot จากโปรแกรม Minitab

จากตารางที่ 6.4 สำหรับค่าปรับตั้งที่จะนำไปปรับตั้งที่เครื่องจักรนั้นไม่สามารถปรับตั้งเป็นค่าทศนิยมได้ ดังนั้นจึงต้องปรับตั้งเครื่องจักรดังนี้ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ที่ 98 ℃ ความเร็วโรเตอร์ (D) ที่ 46 RPM เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) ที่ 30 CMIN

6.3 การนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ

จากขั้นตอนการหาวิธีการแก้ปัญหาก็จะเป็นขั้นตอนของการนำวิธีแก้ปัญหาไปปฏิบัติจริง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ คือ เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียเครื่องผสมยางที่เกิดจากยางติดประตูปล่อยยางมีอัตราลดลง โดยทีมงานได้สร้างแผนการดำเนินงานสำหรับแก้ปัญหา พร้อมด้วยผู้รับผิดชอบและกำหนดเวลาของแผนเป็นดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 แผนการดำเนินงานแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A

ลำดับ	ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	กำหนดเวลา
1	จัดทำคู่มือการวางแผนการผลิตแบบใหม่	วิศวกรฝ่ายวางแผนการผลิต	1 พ.ค. 55
2	การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงาน	วิศวกรกระบวนการผลิต	1 พ.ค. 55
3	การฝึกอบรมขั้นตอนระเบียบวิธีปฏิบัติงานในการทำความสะอาดเครื่องผสมยาง	วิศวกรกระบวนการผลิต วิศวกรความปลอดภัย	1 พ.ค. 55
4	การฝึกอบรมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการปรับตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร	วิศวกรผู้ดูแลเครื่องจักร	1 ก.ค. 55
5	สร้างแผนภูมิควบคุมกระบวนการ	วิศวกรกระบวนการผลิต	30 ก.ค. 55
6	แผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม	วิศวกรกระบวนการผลิต	30 ก.ค. 55
7	การประเมินผลการปฏิบัติงาน	ทีมงาน	30 ส.ค. 55

6.3.1 การจัดทำคู่มือการวางแผนการผลิตแบบใหม่

ในส่วนนี้เป็นการนำคู่มือการวางแผนการผลิตแบบใหม่ ซึ่งรูปแบบการวางแผนการผลิตต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้ทำการปรับปรุงไว้แล้ว ตามรูปที่ 6.2 โดยมีขั้นตอนการจัดทำคู่มือ ดังนี้

1) เรียกประชุมทีมงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต วิศวกรฝ่ายวางแผนการผลิต วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ และหัวหน้าฝ่ายผลิตไลน์ 1

2) จัดทำคู่มือการวางแผนการผลิตยางในกระบวนการผสมยาง (Work Instruction of Mixing Planning) ซึ่งเป็นเอกสารที่มีอยู่แล้ว แต่ทางทีมงานทำการปรับปรุงเพิ่มเติมในส่วนที่ทางทีมงานได้ระดมสมองสำหรับการแก้ไขยางติดประตูปล่อยยาง ของเครื่องจักร 1

3) วิศวกรฝ่ายวางแผนการผลิต จัดทำแผนการผลิต และออกการผลิตตามความถี่ที่ได้กำหนดไว้แล้ว

4) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตรวจสอบความถูกต้องของแผนการผลิต หากไม่เป็นไปตามกำหนด ให้แจ้งไปยังวิศวกรวางแผนการผลิต ทำการดำเนินแก้ไขต่อไป

6.3.2 การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงาน

การฝึกอบรมพนักงานที่ปฏิบัติงานดำเนินการโดยวิศวกรกระบวนการผลิต มีวัตถุประสงค์เพื่อให้พนักงานทราบถึงรายละเอียดต่างๆและงานที่ตนเองรับผิดชอบ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตทำความเข้าใจในรายละเอียดของกระบวนการต่างๆ ที่ต้องดำเนินการ และงานที่จะต้องมอบหมายให้กับพนักงานแต่ละคน

2) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต อธิบายและชี้แจงข้อมูลงานทั้งหมดอย่างละเอียดให้พนักงานทุกคนรับทราบ

3) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตมอบหมายหน้าที่ให้กับพนักงานทุกคน

4) พนักงานทุกคนทำความเข้าใจในหน้าที่ของตน ถ้าเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยให้สอบถามกับวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต

6.3.3 การฝึกอบรมขั้นตอนระเบียบการปฏิบัติงานในการทำความสะอาดเครื่องจักร

ในส่วนนี้เป็นการนำระเบียบวิธีปฏิบัติงานในการทำความสะอาดเครื่องจักรเมื่อเกิดกรณียางติดประตูปล่อยยาง โดยในส่วนของการฝึกอบรมได้เชิญทั้งวิศวกรฝ่ายความปลอดภัยและอาชีวอนามัย มาให้การฝึกอบรมพนักงาน เพื่อให้พนักงานตระหนักถึงความปลอดภัย

1) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตและวิศวกรฝ่ายความปลอดภัยและอาชีวอนามัยทำความเข้าใจในรายละเอียดของกระบวนการทำความสะอาดเครื่องจักร และงานที่จะต้องมอบหมายให้กับพนักงานแต่ละคน

2) วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิตและวิศวกรฝ่ายความปลอดภัยและอาชีวอนามัย อธิบายและชี้แจงข้อมูลงานทั้งหมดอย่างละเอียดให้พนักงานทุกคนรับทราบ

4) พนักงานทุกคนทำความเข้าใจในหน้าที่ของตน ถ้าเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยให้สอบถามวิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการผลิต หรือ หัวหน้างาน

6.3.4 การฝึกอบรมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการปรับตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร

การฝึกอบรมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการติดตั้ง ปรับตั้งค่า และซ่อมบำรุงเครื่องจักร ดำเนินการโดยวิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ช่างที่ทำหน้าที่ในการปรับตั้งค่าและซ่อมบำรุงเครื่องจักรทราบรายละเอียดของกระบวนการต่างๆ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งเครื่องจักร ตลอดจนวิธีการแก้ปัญหาเมื่อพบปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) วิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร ทำความเข้าใจในรายละเอียดของงาน ที่มีผลมาจากการติดตั้ง ปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ และซ่อมบำรุงเครื่องจักร ตลอดจนงานที่จะต้องมอบหมายให้ช่างแต่ละคน

2) วิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักรอธิบายข้อมูลทั้งหมดอย่างละเอียดให้ช่างที่ต้องทำหน้าที่ในการติดตั้ง ปรับตั้งพารามิเตอร์ ซ่อมบำรุงเครื่องจักร รับทราบ รวมทั้งมอบหมายงานให้แต่ละคนอย่างชัดเจน

3) ช่างแต่ละคนทำความเข้าใจหน้าที่ของตนเอง ถ้าเกิดปัญหาหรือข้อสงสัยให้สอบถามกับวิศวกรฝ่ายติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องจักร

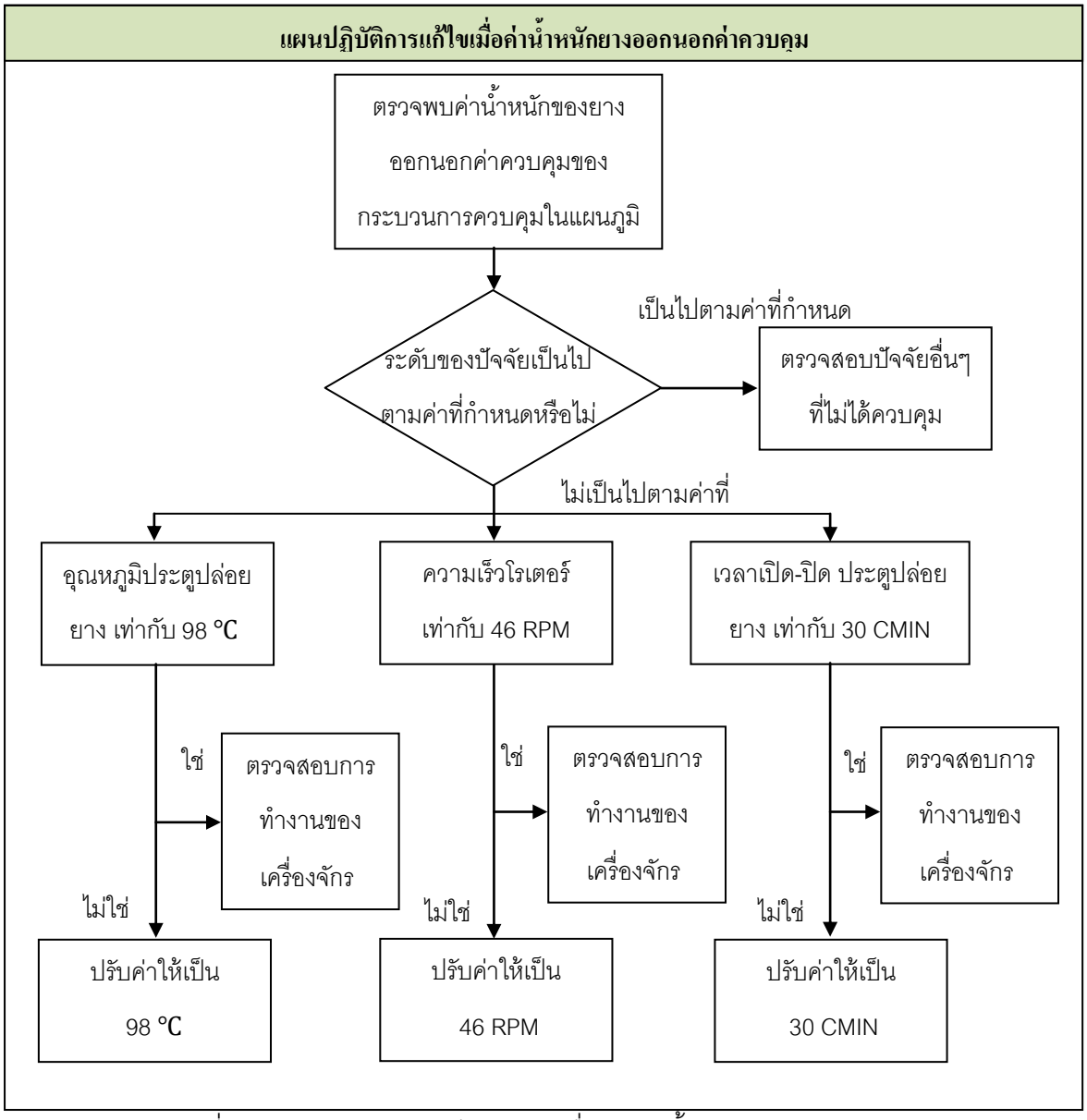
6.3.5 การสร้างแผนภูมิควบคุมกระบวนการ

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีรูปแบบในการเก็บข้อมูลของการควบคุมค่าตอบสนองคือ น้ำหนักของยางทุกแบช อยู่แล้ว ซึ่งเป็นข้อมูลชนิดต่อเนื่อง ดังนั้นผู้จัดทำ

วิทยานิพนธ์จึงทำการเลือกแผนภูมิที่มีความเหมาะสมสำหรับวิทยานิพนธ์นี้คือ แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ในการควบคุมกระบวนการ สำหรับการตรวจสอบกระบวนการผลิตยางมาสเตอร์แบช

6.3.6 แผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม

การใช้แผนภูมิควบคุม ในกระบวนการนั้น จะช่วยให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติของค่าควบคุมที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยหากพบว่าค่าออกนอกการควบคุมต้องทำการแก้ไข ตามแผนปฏิบัติการ ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 แผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาเมื่อพบค่าน้ำหนักยางออกนอกค่าควบคุม

6.3.7 การประเมินผลการปฏิบัติงาน

หลังจากที่ได้นำวิธีการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ วิศวกรกระบวนการผลิตเป็นผู้รวบรวมข้อมูลของเวลาสูญเสียประสิทธิภาพเครื่องผสมยาง เครื่อง 1 ของยางสูตร A ประกอบกับแผนภูมิควบคุมค่าน้ำหนักยางที่สร้างขึ้นสำหรับประเมินผลจากการนำขั้นตอนการแก้ไขปัญหาไปปฏิบัติ และทำการสรุปผลข้อมูลที่ได้จากการประชุมทีมงาน

6.4 **สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ**

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยเริ่มจากปรับปรุงค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อยางติดประตูปล่อยยางตามที่ได้สรุปในบทที่ 5 ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยด้านคนและวิธีการ ต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1) จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อเกิดการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง

2) จัดทำมาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง เพื่อให้พนักงานปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง

3) การกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน

4) กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องผสมยาง พร้อมทำแบบประเมินผลหลังการอบรม เพื่อให้ทั้งพนักงานเก่า และพนักงานใหม่ปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง

5) จัดลำดับการผลิตแบบใหม่ โดยการจัดกลุ่มของสูตรยางที่ทำการผลิต ที่เครื่องจักร 1 ออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก 2) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่มีปัญหายางติด 3) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่ไม่มีปัญหายางติด และ 4) ยางไฟนอลมิกซ์ (Final mix) ของยางที่มีส่วนผสมซิลิกา โดยหลักการคือ ต้องวางแผนการผลิตให้ยางกลุ่มที่ 1 ผลิตก่อนยางกลุ่มที่ 2 เสมอ

6) หาจำนวนล็อตไซส์ที่มากที่สุด (Maximum Lot Size) ของยางสูตร A สำหรับการผลิตในแต่ละครั้ง

ส่วนปัจจัยด้านเครื่องจักรจะถูกปรับปรุงโดยวิธีการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าระดับในการปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีพื้นผิวตอบ (Response Surface Methodology, RSM) แบบ Box-Behnken Design เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าน้ำหนักยาง (Batch Weight) มากที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Minitab ได้ว่าค่าที่เหมาะสมคือ คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ที่ 98.4610 ℃ ความเร็วโรเตอร์ (D) ที่ 45.8230 RPM เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) ที่ 30 CMIN ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ (y) ค่าน้ำหนักของยาง เท่ากับ 280 Kg. ที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 1.00

จากนั้นจัดทำแผนการทำดำเนินงานเพื่อแก้ไขปัญหายางติดประตูปล่อยยางโดยมีการกำหนดรายละเอียดของแผนต่างๆ ผู้รับผิดชอบแต่ละแผนงาน ตลอดจนระยะเวลาแล้วเสร็จ

บทที่ 7
ระยะการควบคุมและติดตามผล

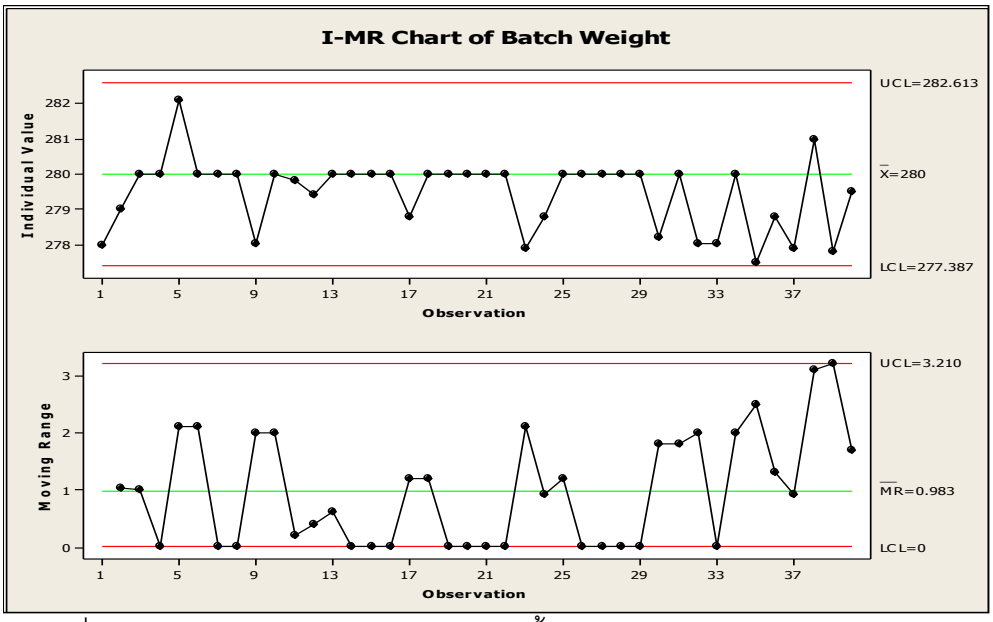
หลังจากนำขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหา (บทที่ 5) และ ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (บทที่ 6) แล้ว สำหรับระยะนี้เป็นการควบคุมกระบวนการและติดตามผลการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการนำวิธีแก้ปัญหาไปปฏิบัติ ซึ่งข้อมูลที่ได้ประกอบไปด้วยข้อมูลหลังการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ ซึ่งข้อมูลที่ได้ประกอบไปด้วยข้อมูลหลังการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ และนำมาประเมินผล

7.1 ข้อมูลหลังการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ

หลังจากที่ได้นำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติตามแผนการดำเนินงานแล้ว ได้ข้อมูลดังนี้

7.1.1 แผนภูมิควบคุม

หลังจากนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติได้ทำการสร้างแผนภูมิควบคุมดังรายละเอียดในบทที่ 6 ในการตรวจสอบกระบวนการผสมยาง โดยมีการเก็บข้อมูลของน้ำหนักยางทุกแบชอย่างต่อเนื่องอยู่แล้ว จากการนำข้อมูลค่าน้ำหนักยางสูตร A ทั้งหมด 40 แบช มาแสดงผลการควบคุมด้วยแผนภูมิ I-MR Chart ดังรูปที่ 7.1

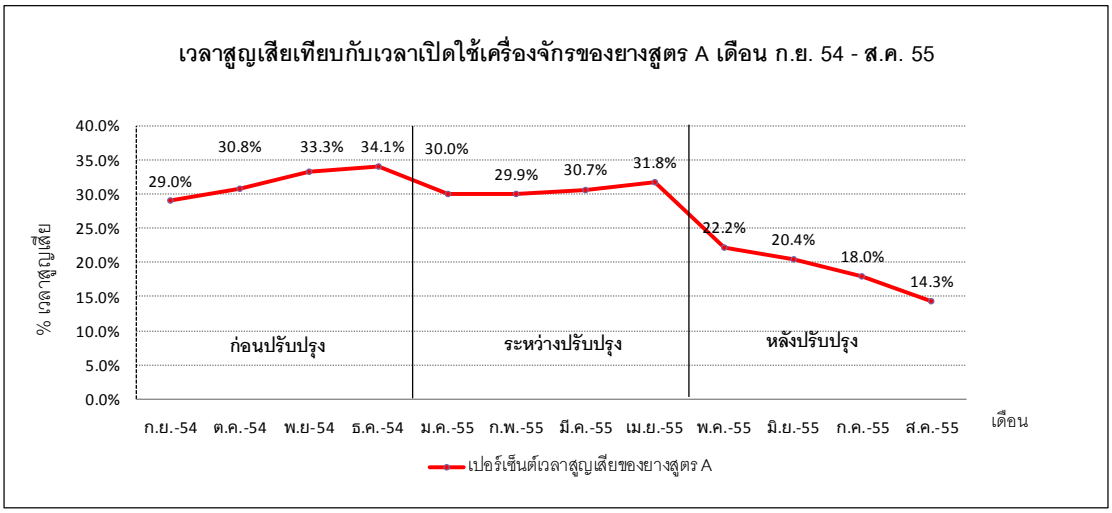


รูปที่ 7.1 แผนภูมิควบคุมสำหรับควบคุมค่าน้ำหนักของยางในกระบวนการผสมยาง

จากแผนภูมิควบคุม I-MR Chart สรุปได้ว่า กระบวนการผลิตนี้ไม่มีสิ่งผิดปกติ (Special cause variation) อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติสำหรับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องผสมยางที่เหมาะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่า เส้นกลาง (Center line: CL) คือค่าเฉลี่ยของน้ำหนักยางต่อ 1 แบช เท่ากับ 280 Kg. ที่อยู่ภายใต้ค่าขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL) และค่าขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL) คือ อยู่ระหว่างค่า 277.387 kg และ 282.613 kg ตามลำดับ ส่วนค่าเส้นกลางของพิสัยแบบเคลื่อนที่ เท่ากับ 0.983 ก็อยู่ภายใต้ค่าขีดจำกัดควบคุมล่างและบนคือระหว่าง 0 ถึง 3.210 ตามลำดับเช่นกัน ดังนั้น ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะของจุดที่ปรากฏบนแผนภูมิ พบว่า ลักษณะจุดที่ปรากฏ ไม่มีความผิดปกติเกิดขึ้นในแผนภูมิ แสดงว่า สามารถควบคุมความผันแปรของการผลิตให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตามค่าในเส้นกลางของแผนภูมิควบคุม ซึ่งถือว่า ค่าที่เส้นกลางของแผนภูมิควบคุมคือค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการผลิตนี้ทำได้อยู่ภายใต้การควบคุม

7.1.2 เวลาสูญเสียเทียบกับเวลาเปิดใช้เครื่องจักร 1 ของยางสูตร A

ผลของการปรับปรุง สามารถลด อัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง เทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรของยางสูตร A ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 โดยแสดงดังรูปที่

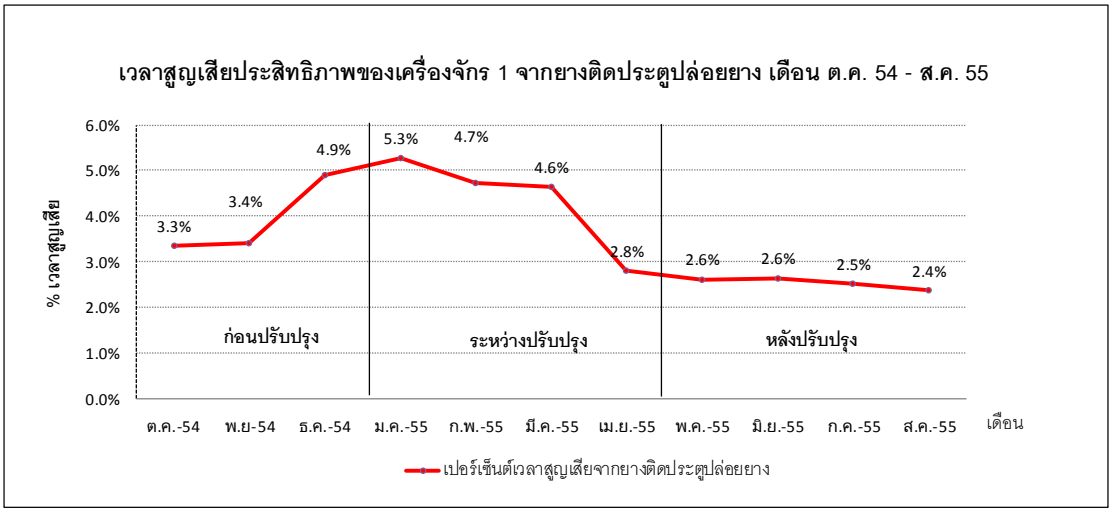


รูปที่ 7.2 อัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง เทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรของยางสูตร A ในเดือน ก.ย. 2554 – ส.ค. 2555

จากรูปที่ 7.2 อัตราร้อยละประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางเมื่อเทียบกับเวลาที่เปิดใช้เครื่องจักรของยางสูตร A ก่อนปรับปรุง มีค่าเฉลี่ยของเวลาสูญเสีย อยู่ที่ประมาณ 31.9% หลังจากปรับปรุงสามารถลดเวลาสูญเสียลงได้เป็น 14.3% ในเดือน สิงหาคม 2555

7.1.3 เวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางเทียบกับเวลาเปิดใช้ของเครื่องผสมยาง (M/C 1) ของโรงงานกรณีศึกษา

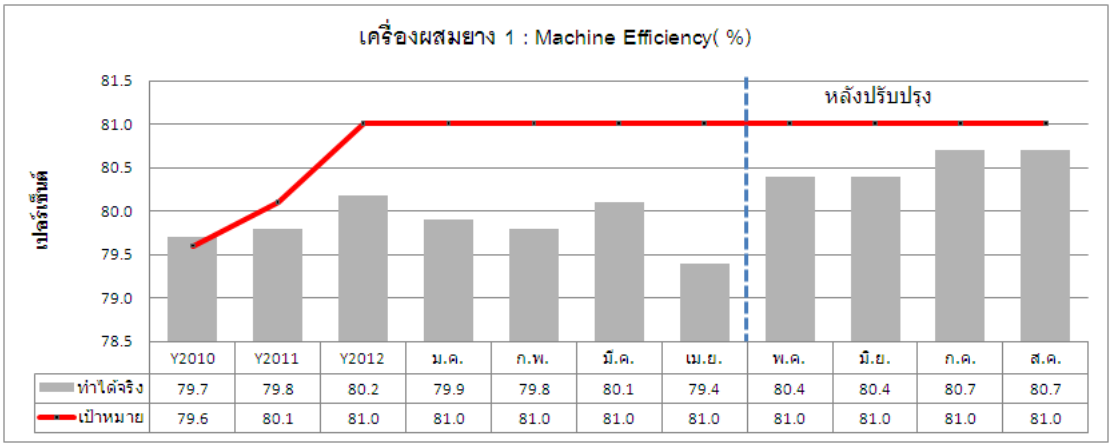
ผลของการปรับปรุง ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางมีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 เวลาสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่เกิดจากยางติดประตูปล่อยยาง ในเดือน ต.ค. 2554 – ส.ค. 2555

จากรูปที่ 7.3 แสดงถึงเวลาสูญเสียของเครื่องจักร 1 ที่สูญเสียไปเนื่องจากปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ก่อนปรับปรุง มีค่าเฉลี่ยของเวลาสูญเสีย อยู่ที่ประมาณ 3.0 % หลังจากเริ่มการปรับปรุงในเดือนมกราคม 2555 และ หลังจากปรับปรุงในเดือน สิงหาคม 2555 สามารถลดเวลาสูญเสียของเครื่องจักร 1 ลงได้ โดยอยู่ที่ประมาณ 2.4%

นอกจากนี้ประสิทธิภาพโดยรวม (Machine Efficiency) ของเครื่องจักร 1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากปรับปรุงกระบวนการโดยมีค่าเข้าใกล้กับค่าเป้าหมายมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงประสิทธิภาพโดยรวม (Machine Efficiency) ของเครื่องจักร 1 เทียบกับเป้าหมาย

จากรูปที่ 7.4 จะเห็นว่า หลังจากปรับปรุงกระบวนการผลิต ทำให้เครื่องจักร 1 มีเวลาสูญเสียเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยางลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวม (Machine Efficiency %) เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มจากปี 2554 จาก 79.8% เป็น 80.7% ในเดือน สิงหาคม 2555 (ค่าเฉลี่ยจากเดือนมกราคม -สิงหาคม 2555 เท่ากับ 80.2%) โดยมีแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นและใกล้กับเป้าหมายมากขึ้น ดังนั้น จึงต้องนำวิธีการนี้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับยางสูตรอื่นๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

7.2 การประเมินผล

ผลจากการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติอันประกอบไปด้วย การนำผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองมาใช้กำหนดการปฏิบัติงานในส่วนของการปรับค่า อุณหภูมิประตูปล่อยยาง ความเร็วโรเตอร์ เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง ร่วมกับการวางแผนการผลิตแบบใหม่ ข้อปฏิบัติเมื่อเกิดยางติดประตูปล่อยยาง ตลอดจนการสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานในขั้นตอนการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง ในกระบวนการผลิตยางมาสเตอร์แบชของยางสูตร A จากนั้นกำหนดแผนในการนำไปใช้งานจริง โดยผลของการนำวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวไปใช้ในการปฏิบัติงานในช่วงระยะเวลาที่ดำเนินงานวิจัยแสดงอยู่ในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ผลของการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ

ผลจากการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ	หน่วยวัด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การปรับปรุง
1. เวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางเทียบกับเวลาเปิดใช้เครื่องจักร 1 ของยางสูตร A	เปอร์เซ็นต์	31.9%	14.3%	ลดลง 17.6%
2. เวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางเทียบกับเวลาเปิดใช้ของเครื่องผสมยาง (M/C 1)	เปอร์เซ็นต์	3.0%	2.4%	ลดลง 0.6%
3. ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร 1 (Machine Efficiency)	เปอร์เซ็นต์	79.8%	80.7%	เพิ่มขึ้น 1.9 %

7.3 **สรุประยะการควบคุมและติดตามผล**

จากการประเมินผลการปฏิบัติงานในที่ประชุมทีมงานพบว่า ทีมงานมีความพึงพอใจในผลของการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติตามแผนงานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งส่งผลให้สามารถลดเวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A ลงได้ 17.6% ลดเวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางของเครื่องผสมยาง 1 ลงได้ 0.6% และทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องผสมยาง 1 เพิ่มขึ้น 1.9 %

บทที่ 8
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากรายละเอียดภายในงานวิจัยที่ได้ดำเนินการมาทั้งหมด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

8.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานการวิจัยดังกล่าว ซึ่งได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ให้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการศึกษาเพื่อนิยามปัญหา (Define Phase) ขั้นตอนศึกษาระบบการวัดและเก็บข้อมูลสภาพปัญหา (Measure Phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และขั้นตอนควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control Phase) เพื่อใช้ในการลดเวลาสูญเสียจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A ที่เครื่องผสมยาง เครื่องที่ 1

ผลจากการปรับปรุงดังกล่าว สามารถลดเวลาสูญเสียจากปัญหายางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A จาก 31.9% เหลือ 14.3% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร 1 จาก 79.8% เป็น 80.7% ในเดือนสิงหาคม 2555

นอกจากนี้ยังได้ผลสรุป ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ กับโรงงานกรณีศึกษา และผลที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะ

8.1.1 สรุปผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ

งานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ของวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ภายในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่ งผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลของการปฏิบัติงาน โด ย ใช้ เครื่ององมือดังกล่าวจากประสบการณ์ตรงของผู้วิจัยในรายละเอียด ดังนี้

1. ความยาก1ง่ายในการนำไปปฏิบัติ
2. ความเหมาะสมของการนำไปใช้
3. ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติ
4. การนำไปประยุกต์ใช้ต่อหลังสิ้นสุดงานวิจัย

โดยผลการวิเคราะห์การประยุกต์ใช้ เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ในรายละเอียดดังกล่าวแสดงได้ในตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆในงานวิจัย

เครื่องมือ/เทคนิคที่ใช้	**ความยาก-ง่ายในการนำไปปฏิบัติ**	**ความเหมาะสมของการนำไปใช้**	**ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติ**	**การนำไปประยุกต์ใช้ต่อหลังสิ้นสุดงานวิจัย**
แผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Process flow chart)	มีความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	มีความเหมาะสม	ลำดับขั้นตอนการเชื่อมโยงของกระบวนการที่ชัดเจน	สามารถทำได้
กราฟ(Graph)	มีความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	มีความเหมาะสม	รูปแบบและแนวโน้มของข้อมูล	สามารถทำได้
การระดมสมอง (Brainstorming)	มีความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	มีความเหมาะสม	การทำงานร่วมกันเป็นทีม และการเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากหลายๆคนเข้าด้วยกัน	สามารถทำได้
แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram)	มีความยากในระดับปานกลางเนื่องจากต้องอาศัยความเข้าใจในหลักการและการคำนวณเข้ามาช่วย	มีความเหมาะสม	สัดส่วน 80-20 ของข้อมูล ที่ทำให้สามารถสรุปต้นเหตุที่สำคัญในเรื่องที่พิจารณาได้	สามารถทำได้
การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบวัด (Gauge R&R)	มีความยากในระดับปานกลางเนื่องจากต้องอาศัยความเข้าใจในหลักการและการคำนวณเข้ามาช่วย	มีความเหมาะสม	ทราบถึงข้อจำกัดของเครื่องมือวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน	สามารถทำได้
แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)	มีความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	มีความเหมาะสม	สาเหตุในด้านต่างๆที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ในเรื่องที่พิจารณา	สามารถทำได้

ตารางที่ 8.1 ผลการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆในงานวิจัย (ต่อ)

เครื่องมือ/เทคนิคที่ใช้	**ความยาก-ง่ายในการนำไปปฏิบัติ**	**ความเหมาะสมของการนำไปใช้**	**ผลที่ได้รับจากการปฏิบัติ**	**การนำไปประยุกต์ใช้ต่อหลังสิ้นสุดงานวิจัย**
การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)	มีความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	มีความเหมาะสม	คัดเลือกสาเหตุหลักของปัญหาตามความรุนแรงของผลกระทบเพื่อแก้ปัญหาตามลำดับ	สามารถทำได้
แผนผังต้นไม้ (Tree diagram)	มีความง่ายในการนำไปปฏิบัติ	มีความเหมาะสม	แนวคิดในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ	สามารถทำได้
การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	มีความยากมากในการปฏิบัติ เนื่องจากต้องอาศัยความรู้และเครื่องมือทางสถิติในการออกแบบวิเคราะห์	มีความเหมาะสม	ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการและค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งปัจจัยนั้น	อาจไม่สามารถทำได้ เนื่องจากต้องใช้บุคคลที่มีความรู้ทางสถิติ
แผนภูมิควบคุมกระบวนการ (I-MR Chart)	มีความยากในระดับปานกลาง ต้องอาศัยความเข้าใจในหลักการ และการวิเคราะห์ข้อมูล	มีความเหมาะสม	ผลของการปฏิบัติงานในการแก้ไขปัญหาเป็นการประเมินผลงานหลังปรับปรุง	สามารถทำได้

8.2 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะ

ในการปฏิบัติตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ในบทที่ 1 ได้แก่ ระยะกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และการควบคุมและติดตามผล (Control Phase) ได้สรุปผลดังต่อไปนี้

1) สรุประยะกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ระยะนี้ได้เริ่มจาก การจัดตั้งคณะทำงาน ศึกษาขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผสมยาง การนิยามปัญหาโดยแสดงวิธีการคำนวณเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง รวมถึงอธิบายวิธีการเก็บข้อมูล และความสูญเสียของเครื่องผสมยางที่เกิดจากยางติดประตูปล่อยยางในแต่ละเดือน โดยเครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้ มีดังนี้ คือ

- แผนภาพกระบวนการผลิต
- กราฟ (Graph)
- แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

ผลจากการศึกษา พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องจักร 1 ที่มีประสิทธิภาพต่ำสุด คือ 79.8% ต่ำกว่าเป้าหมาย 1.2% (เป้าหมาย 81%) มีสาเหตุหลักของปัญหาความสูญเสียประสิทธิภาพ มาจากปัญหาด้านคุณภาพ (Quality Rate) คือปัญหาจากยางติดประตูปล่อยยาง จากข้อมูลเดือนมิถุนายน ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 เครื่องจักรมีการสูญเสียโดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.2% โดยยางสูตร A ซึ่งเป็นยางที่มีส่วนผสมของซิลิกา มีปัญหายางติดประตูปล่อยยางมากที่สุด จากข้อมูลเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ยางสูตร A มีเวลาสูญเสียประสิทธิภาพของเครื่องเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง เฉลี่ย 31.9%

2) สรุประยะการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ในระยะนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูล สภาพปัญหาเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยเครื่องมือที่นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและหลักการทางสถิติที่นำมาใช้มีดังนี้คือ

- การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด(Gauge R&R)
- การระดมสมอง (Brainstorming)
- แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)
- การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis: FMEA
- แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

จากการวิเคราะห์ข้อมูล จากตาราง ANOVA หรือ จากแผนภูมิในแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า เครื่องจักรไม่มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรได้ เพราะความละเอียดของเครื่องมือวัดยังไม่พอ เนื่องจากจุดทศนิยมในการวัดมีเพียงตำแหน่งเดียว

จาก การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นได้นั้นเริ่มจากการใช้แผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) มาเพื่อสรุปสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดปัญหายางติดประตูปล่อยยาง หลังจากนั้นนำสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และจัดลำดับความสำคัญตามคะแนน RPN จากมากไปน้อย และแสดงผลด้วยแผนภูมิพาเรโต โดยได้ทำการคัดเลือกสาเหตุที่มีค่า S มากที่สุดเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข ต่อไป ซึ่งมีปัจจัยรวมทั้งหมด 8 ปัจจัย โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ คือ 1) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านคนและวิธีการ ได้แก่ พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอน และจำนวน lot size 2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร ประกอบด้วย อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp) อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber) อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (Drop door) เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง และ ความเร็วของโรเตอร์ในการเปิดของประตูปล่อยยาง

3) สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมสมองเพื่อหาวิธีแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านคนและวิธีการ และ 2) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร สำหรับเครื่องมือและหลักการทางสถิติที่นำมาใช้มีดังนี้คือ

- แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram)
- การออกแบบการทดลอง 2^{k-1} 1 เรพลิเคต

ในการวิเคราะห์สาเหตุจากปัจจัยคนและวิธีการ พบว่า มีสาเหตุหลักมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ไม่ชัดเจน สำหรับแนวทางในการแก้ไข คือ จัดทำมาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยางในกรณีที่เครื่องหยุด จักร (Break down) เมื่อเกิดยางติดประตูปล่อยยาง และตามแผนการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง และ กำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน โดยจะมีการ กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องผสมยาง พร้อมทำแบบประเมินผลหลังการอบรม สำหรับการวางแผนการผลิตที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า ยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาจะมีความเหนียวมากกว่ายางที่มีส่วนผสมของคาร์บอน ดังนั้นจึงต้องมีการจัดลำดับการผลิตแบบใหม่ โดยการจัดกลุ่มของสูตรยางที่ทำการผลิต ที่เครื่องจักร 1 ออกเป็น 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของคาร์บอนเป็นหลัก 2) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่มีปัญหายางติด 3) กลุ่มยางที่มีส่วนผสมของซิลิกาที่ไม่มีปัญหายางติด และ 4) ยางไฟนอลมิกซ์ (Final mix) ของยางที่มีส่วนผสมซิลิกา โดยหลักการคือ ต้องวางแผนการผลิตให้ยางกลุ่มที่ 1 ผลิตก่อนยางกลุ่มที่ 2 เสมอ และจะต้องหาจำนวน Maximum lot size ที่ไม่ทำให้ยางติดประตูปล่อยยางเพื่อกำหนดเป็นวิธีการมาตรฐาน

ในส่วนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร ผลจากการใช้วิธีการทางสถิติในการทดสอบปัจจัยที่เลือกมาว่ามีผลต่อยางติดประตูปล่อยยาง ซึ่งวัดค่าตัวแปรตอบสนองจากค่าน้ำหนักของยางหลังจากผสมยางเสร็จและถูกปล่อยออกจากประตูปล่อยยางมายังเครื่องชั่งน้ำหนัก อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งรูปแบบที่เลือก คือ การออกแบบการทดลองแบบเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล 2^{k-1} แบบ 1 เรพลิเคต (2^{k-1} Fractional Factorial Design Single Replicate) เพื่อใช้ในการหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยแต่ละระดับที่มีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยจากระดับต่ำ (-1) ไปยังระดับสูง (+1) จำนวนการทดลองทั้งหมด 5 ปัจจัยนำเข้าจะเท่ากับ 2^{5-1} ประกอบไปด้วย 16 การทดลองร่วมปัจจัย ซึ่งการทดลองนี้จะทำให้ทราบผลกระทบหลักและ

อันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นต่ำ เพื่อ คัดกรองปัจจัยก่อนที่จะทำการออกแบบทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

เมื่อได้ผลการทดลองจากโปรแกรม Minitab สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ ซึ่งผลที่ได้พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้น ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ความเร็วโรเตอร์ (D) เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จำนวน 1 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิประตูปล่อยยางกับความเร็วโรเตอร์ (CD)

4) สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

- จัดทำขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อเกิดการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง
- จัดทำมาตรฐานการทำงาน การกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน
- กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรม
- จัดลำดับการผลิตแบบใหม่
- จำนวนล็อตไซส์ที่มากที่สุด (Maximum Lot Size) ในแต่ละครั้งการผลิต

ส่วนปัจจัยด้านเครื่องจักรจะถูกปรับปรุงโดยวิธีการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าระดับในการปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีพื้นผิวตอบ (Response Surface Methodology, RSM) แบบ Box-Behnken Design เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าน้ำหนักยาง (Batch Weight) มากที่สุด ซึ่งผลที่ได้จากการใช้โปรแกรม Minitab ได้ว่าค่าที่เหมาะสมคือ คือ อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (C) ที่ 98.4610 ℃ ความเร็วโรเตอร์ (D) ที่ 45.8230 RPM เวลาเปิด-ปิด ประตูปล่อยยาง (E) ที่ 30 CMIN ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ (y) ค่าน้ำหนักของยาง เท่ากับ 280 Kg. ที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 1.00

5) สรุประยะการควบคุมและติดตามผล (Control Phase)

ระยะนี้เป็นการควบคุมกระบวนการและติดตามผลการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และมีการประเมินผลงานหลังจากนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ สำหรับเครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้คือ

- I-MR Chart
- กราฟ (Graph)

จากการประเมินผลการปฏิบัติงานในที่ประชุมทีมงานพบว่า ทีมงานมีความพึงพอใจในผลของการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติตามแผนงานที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งส่งผลให้สามารถลดเวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A ลงได้ 17.6% ลดเวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางของเครื่องผสมยาง 1 ลงได้ 0.6% และทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องผสมยาง 1 เพิ่มขึ้น 1.9 %

โดยการดำเนินงานวิจัยทีกล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่กล่าวไว้ในบทที 1 ได้ดังตารางที 8.2

ตารางที่ 8.2 ผลการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

วัตถุประสงค์	เนื้อหาบทที่	การดำเนินงาน	ผลลัพธ์ที่ได้
เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานของเครื่องผสมยางในการลดเวลาสูญเสียของยางสูตร A จากเดิม 31.9%	3	■ กำหนดปัญหาที่จะนำไปพิจารณาหาสาเหตุหลักของปัญหา	■ ประเด็นปัญหาที่พิจารณาคือ เวลาสูญเสียของเครื่องผสมยาง จากยางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A
	4	■ หาสาเหตุหลักของปัญหา	■ สาเหตุหลักของปัญหามีสองส่วนคือ 1) ปัญหาจากปัจจัยด้านคนและวิธีการ ได้แก่ พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องจักรตามมาตรฐานในช่วงเวลาที่กำหนด ลำดับในการผลิตยางระหว่างยางผสมซิลิกาและคาร์บอน และจำนวน lot size 2) ปัญหาจากปัจจัยด้านเครื่องจักร ประกอบด้วย อุณหภูมิของโรเตอร์ (Rotor temp) อุณหภูมิของผนังเครื่องผสมยาง (Chamber) อุณหภูมิประตูปล่อยยาง (Drop door) เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง และความเร็วของโรเตอร์ในการเปิดของประตูปล่อยยาง
	5	■ หาสาเหตุที่จะดำเนินการแก้ไข ■ พัฒนาวิธีแก้ปัญหา	■ สาเหตุที่จะนำไปแก้ไข ได้แก่สาเหตุหลักของปัญหาทั้งหมด ■ ออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยหลัก
	6	■ นำวิธีการแก้ปัญหาไปดำเนินการปฏิบัติจริง	■ ออกแบบการทดลองเพิ่มเติมและสร้างระเบียบขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 8.2 ผลการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ (ต่อ)

วัตถุประสงค์	เนื้อหาบทที่	การดำเนินงาน	ผลลัพธ์ที่ได้
เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานของเครื่องผสมยางในการลดเวลาสูญเสียของยางสูตร A จากเดิม 31.9%	7	การประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ	■ เวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางเทียบกับเวลาเปิดใช้เครื่องจักร 1 ของยางสูตร A ลดลง17.6% ■ เวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางเทียบกับเวลาเปิดใช้ของเครื่องผสมยาง (M/C 1) ลดลง0.6% ■ ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร 1(Machine Efficiency) เพิ่มขึ้น1.9 %

8.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

ข้อจำกัดของงานวิจัยมีดังนี้

1) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นแก้ปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ซึ่งส่งผลต่อเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางในกระบวนการผสมยางของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น

2) ผลิตภัณฑ์ที่คัดเลือกมาศึกษามีเพียงรายการเดียวเท่านั้น คือ ยางมาสเตอร์แบช สูตร A

3) เครื่องจักรไม่สามารถตรวจวัดความผันแปรของระบบการวัดได้ เนื่องจากทศนิยมไม่เพียงพอในการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่า เครื่องมือวัดมีความแม่นยำหรือไม่ แต่จะใช้ความเที่ยงตรง (Accuracy) เป็นตัวกำหนดความถูกต้องของเครื่องมือวัดเพียงอย่างเดียว

4) เนื่องจากข้อจำกัดด้านทรัพยากรและเวลา ในการทำการทดลองต้องทำไปพร้อมกับการผลิตในแต่ละวัน จึงใช้เพียงแค่ 1 เรพพลิเคต ทำให้ข้อมูลในการวิเคราะห์ยังไม่ดีพอ

8.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1) การทดลองต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตในสายการผลิตปกติ ประกอบกับยางสูตร A ไม่ได้มีการผลิตทุกวัน จะมีการผลิตตามแผนของความต้องการใช้ ทำให้ต้องหาช่วงเวลาเพื่อแทรกการทดลอง ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการทดลองค่อนข้างนาน

2) เนื่องจากการทดลองใช้ระยะเวลานาน ไม่ใช่การทดลองแบบต่อเนื่อง ทำให้มีหลายตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น วัตถุดิบในการผลิตยางสูตร A ในแต่ละการทดลองไม่ได้มาจากล็อตเดียวกัน

3) การปรับตั้งค่าระดับของปัจจัยที่วิเคราะห์ได้จากผลการทดลองในการปฏิบัติงานจริง อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเนื่องจากความผันแปรของเครื่องจักรหรือขั้นตอนในการปรับตั้ง ซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อผลที่ได้จากการนำวิธีการแก้ปัญหาไปปฏิบัติ

4) เนื่องจากเครื่องจักรเป็นเครื่องขนาดใหญ่ และมีพารามิเตอร์อีกมากมายที่ไม่ได้เลือกมาทำการทดลองและไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งอาจทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อนได้

8.5 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยมีความเห็นว่า โรงงานกรณีศึกษาควรมีการดำเนินการเพิ่มเติมในบางประเด็น ดังนี้

1) การดำเนินการเพื่อแก้ปัญหาเวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางของเครื่องจักร 1 โดยทำการปรับปรุงยางสูตร A ที่มีส่วนผสมของซิลิกาเป็นหลักนั้น วิธีการดังกล่าวนี้ควรนำไปใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับปัญหายางติดประตูปล่อยยาง ของยางสูตรอื่นๆที่มีส่วนผสมของซิลิกาเป็นหลัก เช่นกัน รวมทั้งสามารถนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องผสมยางอื่นๆ อีกด้วย

2) ในกระบวนการแก้ไขปัญหาที่ผ่านมาจะมุ่งเน้นที่การแก้ปัญหาด้านคน วิธีการทำงานและการปรับตั้งเครื่องจักรเป็นหลัก แต่อีกปัจจัยหนึ่งที่ผลต่อการติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A คือ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ซึ่งความแปรปรวนของวัตถุดิบอาจจะส่งผลต่อการติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A ดังนั้น จึงควรเข้าไปศึกษาและควบคุมกระบวนการตรวจรับวัตถุดิบ เพื่อให้วัตถุดิบแต่ละล็อต มีความแปรปรวนน้อยๆ

3) โรงงานกรณีศึกษายังขาดผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีการเก็บข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูลเป็นอย่างดี แต่ยังไม่ได้นำออกมาใช้ให้เกิดประโยชน์

รายการอ้างอิง

กันยรัตน์ คมวัชระ. การนำ Six Sigma มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษา . วารสารประกันคุณภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.1 (มกราคม – มิถุนายน 2547): 21.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ .หลักการการควบคุมคุณภาพ . กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.

จุฑาทิพย์ ทะประสพ .การลดของเสียในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และคณะ. Six Sigma เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์กร .พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เอ็กซปอร์เน็ท, 2546.

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย .การควบคุมคุณภ าพสำหรับนักบริหารและ กรณีศึกษา . พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนด์อี, 2553.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ .การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง . กรุงเทพมหานคร: ท้อป, 2551

ปารเมศ ชุติมา .การออกแบบทดลองทางวิศวรรม .กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย, 2545.

พรเทพ เหลือทรัพย์สุข. สถิติสำหรับ Six Sigma ง่ายนิดเดียว. กรุงเทพมหานคร : อี.ไอ.สแควร์ , 2553.

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์.ประวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma.กรุงเทพมหานคร: ศิริวัฒนาอินเตอร์พริ้นท์ (มหาชน), 2548.

ศุภชัย นาทะพันธ์.การควบคุมคุณภาพ.กรุงเทพมหานคร:ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2551.

ศูนย์สารสนเทศยานยนต์ .ข้อมูลการขยายตัวของตลาดยานยนต์ .[ออนไลน์].2554 แหล่งที่มา : http://data.thaiauto.or.th. [2 มกราคม 2554]

ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์. สมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย .[ออนไลน์].2524 แหล่งที่มา : http://www.taia.or.th.[2 มกราคม 2555]

สิทธิศักดิ์ พฤกษ์ปิติกุล. การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดดด้วยวิธี Six Sigma.กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.

สาโรช บัวบูชา. การพัฒนาระบบการประกันคุณภาพการผลิตสำหรับกระบวนการผสมยางในอุตสาหกรรมผลิตยางรถ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สิริพร เต็งรัง.การศึกษาการเตรียมมาสเตอร์แบทจากน้ำยางเพื่อใช้ในการผลิตยางธรรมชาติผสมซิลิกา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

Da Costa, H.M., and Furtado, C.R.G. Design and Analysis of Experiment in Silica filled natural rubber compounds – effect of Castor oil : Instituto de Macromoleculas Professora Eloisa Mano,Universidade, 2003.

Duncan Manual .Six Sigma methodology: reducing defects in business processes. Filtration & Separation (January-February 2006): 34-36.

POH, B.T., and NG, C.C. Effect of Silane coupling agents on the Mooney scorch time of Silica-Filled Natural rubber compound. School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, 1997.

Suhaida, S., and Ismail, H. Study of the effect of different shape of Ultrafine Silica as fillers in natural rubber compounds: School of Materials and Mineral Resources Engineering, Engineering Campus, University Sains Malaysia, 2010.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รหัสของเวลาสูญเสียของเครื่องจักรแต่ละประเภท

ตารางที่ ก.1 แสดงรหัสของปัญหาเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางตามสาเหตุต่างๆ

รหัสปัญหา	ปัญหา	รายละเอียดปัญหา
01	Rubber stuck at drop door	ยางติดประตูปล่อยยาง
02	Run out rubber during size change	เดินเครื่องจักรปล่อยยางออกเพื่อเปลี่ยนสูตรยาง
03	Preventive Maintenance	ซ่อมบำรุงเครื่องจักร
04	Run cleaning rubber, physical clean during size change	เดินเครื่องจักรเพื่อทำความสะอาดยางระหว่างเปลี่ยนสูตร
05	Cleaning mixer(quality)_manual by operator	ทำความสะอาดเครื่องจักร โดยพนักงาน
06	Rubber stuck at HA/BM/SCW/Drop mill/SPM	ยางติดที่ HA/BM/SCW/Drop mill/SPM
07	Non-conform incoming products	NCF ช่วงเริ่มเปลี่ยนสูตรยาง
08	Rubber stuck at SPM/BC/PR/UCC/TRIM/SM	ยางติดที่ SPM/BC/PR/UCC/TRIM/SM
09	Mixer	มิกเซอร์มีปัญหา
10	Sticky compound	ยางเหนียว
11	Forklift /Hand lift	โฟล์คลิฟท์ / ยกยาง
12	Rubber stuck at take away/input BO conveyer	ยางติดที่ Take away/input BO conveyer
13	Rubber stuck at wigwag	ยางติดที่ wigwag

ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์การทดลองจากโปรแกรม MINITAB

ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์การทดลองแบบเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียลโดยใช้โปรแกรม MINITAB

Run Order	อุณหภูมิโรเตอร์	อุณหภูมิแชมเบอร์	อุณหภูมิประตูปล่อยยาง	ความเร็วโรเตอร์	เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง	Batche Weight	Fit	Residual
1	75	75	85	45	40	277.420	277.790	-0.370000
2	65	65	100	45	20	278.180	277.558	0.622500
3	75	75	100	45	20	277.980	277.845	0.135000
4	65	75	85	60	40	279.150	278.643	0.507500
5	65	65	100	60	40	278.980	279.210	-0.230000
6	65	75	85	45	20	276.580	276.990	-0.410000
7	65	65	85	60	20	278.100	278.125	-0.025000
8	75	65	100	45	40	278.560	278.358	0.202500
9	65	65	85	45	40	276.950	277.503	-0.552500
10	65	75	100	45	40	278.600	278.075	0.525000
11	75	65	100	60	20	278.680	278.980	-0.300000
12	75	75	85	60	20	278.980	278.413	0.567500
13	65	75	100	60	20	278.260	278.698	-0.437500
14	75	65	85	45	20	277.120	277.273	-0.152500
15	75	65	85	60	40	279.360	278.925	0.435000
16	75	75	100	60	40	278.980	279.498	-0.517500

ตารางที่ ข.2 ค่าความน่าจะเป็นและค่าส่วนตกค้าง (Residual) ในการสร้าง Normal probability plot ของการทดลองแบบเชิงเศษส่วนแฟคทอเรียล

Order (k)	Pk=(k-1/2)/n x100	Residual
1	3.125	-0.5525
2	9.375	-0.5175
3	15.625	-0.4375
4	21.875	-0.4100
5	28.125	-0.3700
6	34.375	-0.3000
7	40.625	-0.2300
8	46.875	-0.1525
9	53.125	-0.0250
10	59.375	0.1350
11	65.625	0.2025
12	71.875	0.4350
13	78.125	0.5075
14	84.375	0.5250
15	90.625	0.5675
16	96.875	0.6225

ตารางที่ ข.3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบ โดย MINITAB

Run Order	อุณหภูมิประตูปล่อยยาง	ความเร็วโรเตอร์	เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อยยาง	Batch Weight	Fit	Residual
1	93	53	30	279.120	279.807	-0.686667
2	100	53	20	279.560	279.079	0.481250
3	93	45	30	278.750	278.551	0.198750
4	93	53	25	280.250	279.807	0.443333
5	85	45	25	277.200	276.918	0.282500
6	93	60	30	282.200	282.099	0.101250
7	100	45	25	279.500	279.880	-0.380000
8	100	53	30	282.120	281.939	0.181250
9	85	53	30	277.980	278.461	-0.481250
10	93	53	25	280.050	279.807	0.243333
11	85	60	25	280.940	280.560	0.380000
12	85	53	20	277.540	277.721	-0.181250
13	93	45	20	277.100	277.201	-0.101250
14	100	60	25	282.150	282.433	-0.282500
15	93	60	20	279.650	279.849	-0.198750

ตารางที่ ข.4 ค่าความน่าจะเป็นและค่าส่วนตกค้าง (Residual) ในการสร้าง Normal probability plot ของการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบ

Order (k)	Pk=(k-1/2)/n x100	Residual
1	3.3333	-0.686667
2	10.0000	-0.481250
3	16.6667	-0.380000
4	23.3333	-0.282500
5	30.0000	-0.198750
6	36.6667	-0.181250
7	43.3333	-0.101250
8	50.0000	0.101250
9	56.6667	0.181250
10	63.3333	0.198750
11	70.0000	0.243333
12	76.6667	0.282500
13	83.3333	0.380000
14	90.0000	0.443333
15	96.6667	0.481250

ภาคผนวก ค
การสร้างระเบียบวิธีปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต

ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อเกิดการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง

2) จัดทำมาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง

3) การกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดประตูปล่อยยางและแบบบันทึกการปฏิบัติงาน

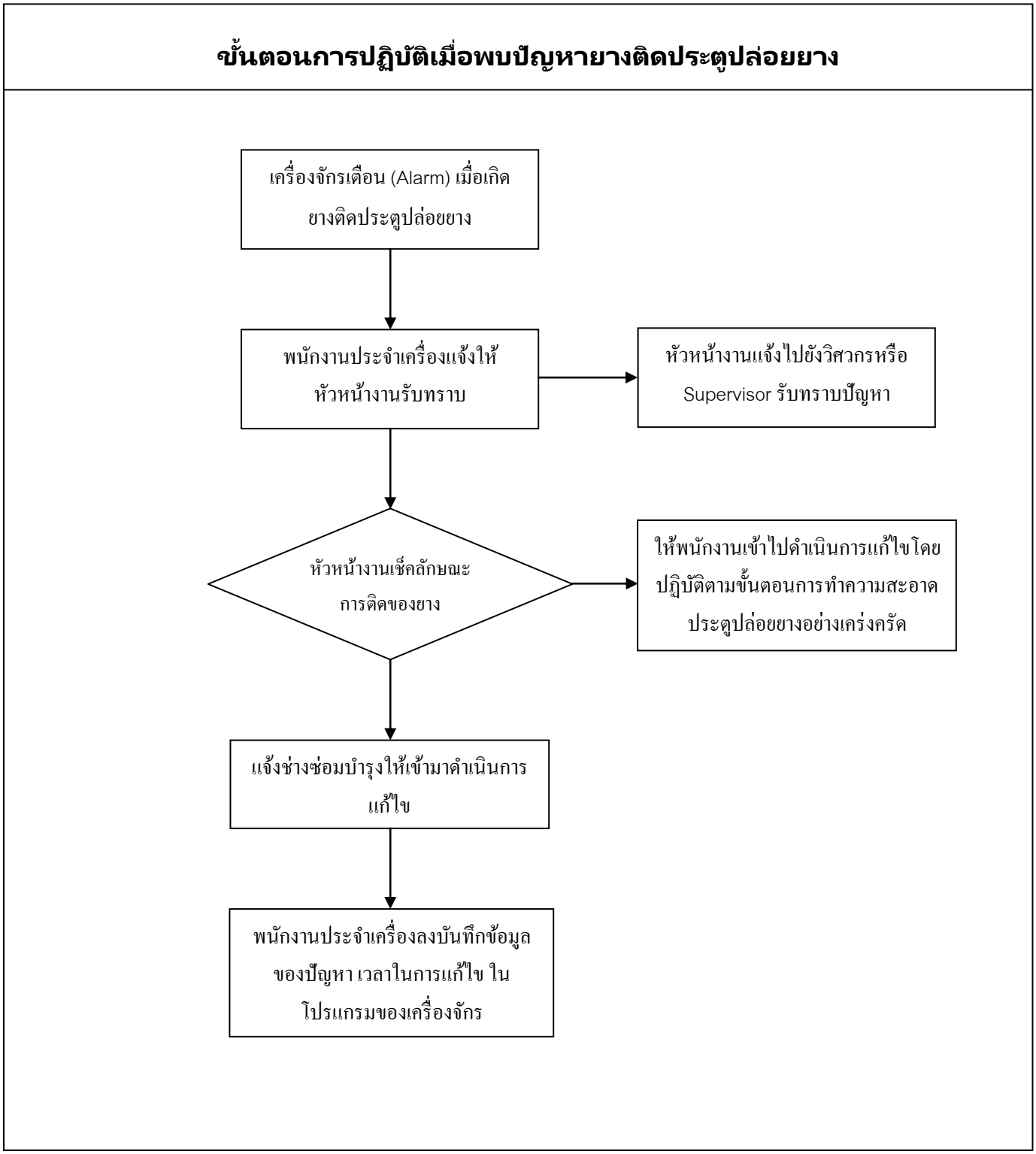
4) กำหนดหลักสูตร การฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องผสมยาง พร้อมทำแบบประเมินผลหลังการอบรม

5) คู่มือการจัดลำดับการผลิตแบบใหม่

6) แผนการตรวจตราและควบคุม (Monitoring & Control Plan) ค่าปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อป้องกันสภาวะออกนอกการควบคุม และใบรายงานแผนการแก้ไขปัญหา

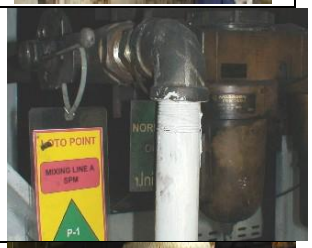
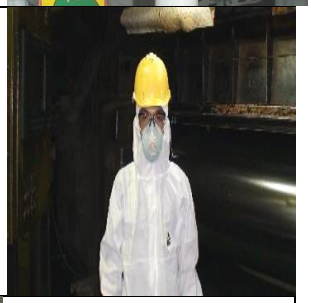
7) ตัวอย่างแบบฟอร์มการสอบเทียบเครื่องมือวัด (เครื่องชั่งน้ำหนักยาง) และ ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อเครื่องมือวัดออกนอกการควบคุม (Action rules)

ขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อเกิดการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากยางติดประตูปล่อยยาง



มาตรฐานการทำงานสำหรับวิธีการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง

ชื่อเรื่อง : การเข้าไปแก้ไขกรณียางติดใน DROP DOOR

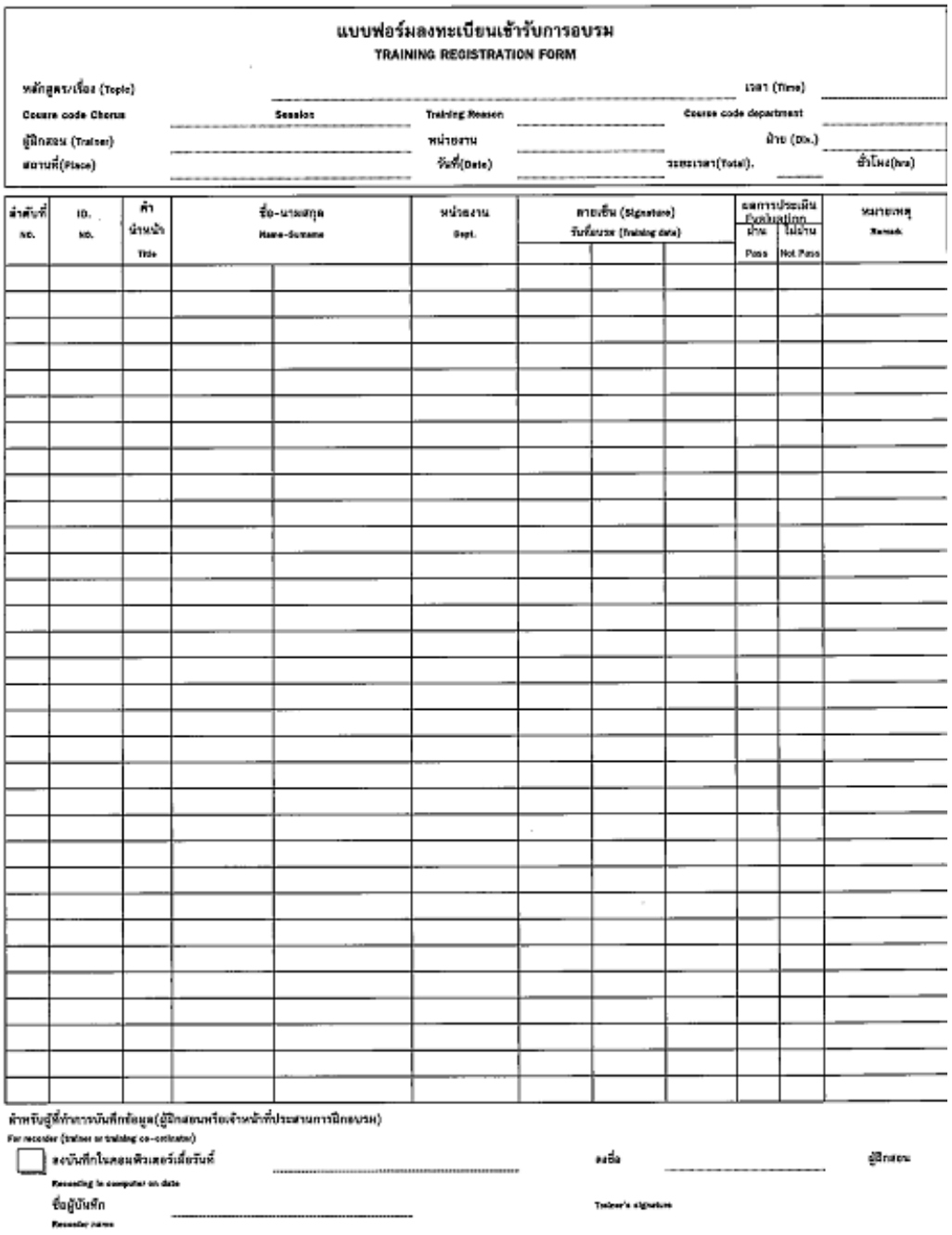
ขั้นตอนการทำงาน	ภาพประกอบ	ภาพประกอบ	หมายเหตุ
1. ในกร ณีที่ยางติดไม่แน่น ให้เข้าโหมด Manual แล้วเข้าโหมด MR ที่หน้า Panal View ที่ Mixer มอเตอร์ต้องหยุดนิ่ง หรือ ใช้กล่องควบคุมที่ชั้นลอย เปิด DROP DOOR ให้สุด แล้วล็อค นำตะขอเกี่ยวยางที่ติดออก ห้ามยื่นมือเลยการ์ดกั้น			
2. กรณีที่ยางติดแน่น (ให้แจ้งช่าง SF Maintenance) (ทำตามข้อ 1.)เลือกเข้าระบบ ACCESS KEY เท่านั้น ปิดระบบลม ปิดระบบไฟ ปิดระบบไฮดรอลิค ทั้งหมดแขวนป้ายแล้วทำการ Lockout Tagout			
3.กรณีที่จะต้องเข้าไปแก้ไขใน GO (ทำตามข้อ 1 และ 2) เปิดประตู GO แขวนป้ายแล้วล็อค ให้ทำงานลักษณะ 2 คน เพราะเป็นจุดอับ			
4. จัดท่าทางการทำงาน และ หาอุปกรณ์ที่ใช้ให้เหมาะสมกับงาน			
5. เมื่อ ปฏิบัติงาน เสร็จแล้ว เช็คจำนวนพนักงานให้ครบ ให้ทำย้อนกลับ ตามขั้นตอนเดิม ให้เครื่องจักรอยู่ในโหมด AUTO พร้อมที่จะปฏิบัติงาน และ จัดเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย			

ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัด

ตัวอย่างแบบบันทึกการปฏิบัติงานในการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง

ตารางตรวจสอบและบันทึกการทำความสะอาดประตูปล่อยยาง								เดือน ____
วันที่	เวลา	กะ	ชื่อพนักงาน	การตรวจสอบยางติด		การทำการแก้ไข		ลายเซ็นต์หัวหน้างาน
				ติด	ไม่ติด	O.K.	Not O.K.	

ตัวอย่างแบบฟอร์มการจัดการฝึกอบรมและประเมินผลหลังการอบรม



แบบฟอร์มลงทะเบียนเข้ารับการอบรม
TRAINING REGISTRATION FORM

หลักสูตร/เรื่อง (Topic) _____ เวลา (Time) _____

Course code Chorus _____ Session _____ Training Reason _____ Course code department _____

ผู้ฝึกสอน (Trainer) _____ หน่วยงาน _____ ฝ่าย (Div.) _____

สถานที่(Place) _____ วันที่(Date) _____ รวมเวลา(Total). _____ ชั่วโมง(hrs)

ลำดับที่ NO.	ID. NO.	คำนำหน้า Title	ชื่อ-นามสกุล Name-Surname		หน่วยงาน Dept.	ลายเซ็น (Signature) วันที่อบรม (training date)			ผลการประเมิน Evaluation ผ่าน Pass	ไม่ผ่าน Not Pass	หมายเหตุ Remark

สำหรับผู้ที่ทำการบันทึกข้อมูล(ผู้ฝึกสอนหรือเจ้าหน้าที่ประสานการฝึกอบรม)
For recorder (trainer or training co-ordinator)

☐ ลงบันทึกในคอมพิวเตอร์เมื่อวันที่ _____ ลงชื่อ _____ ผู้ฝึกสอน
Recording in computer on date Trainer's signature

ชื่อผู้บันทึก _____
Recorder name

คู่มือการจัดลำดับการผลิตแบบใหม่

คู่มือการวางแผนการผลิตยางใน Mixing shop
(Work Instruction of Mixing Planning)

1 – สถานที่

- ฝ่าย : ผลิต (P roduction)

- สถานที่ทำงาน : แผนกผสมยาง (M ixing shop)

- สถานีทำงาน : Mixing Planning

2 – วัตถุประสงค์ของสถานีทำงาน

- เพื่อวางแผนงานการผลิตยางในส่วน Mixing Shop ให้ได้ทันตามความต้องการของแผนกเตรียม ชิ้นส่วน (Rubber Shop, Fabric Shop, PTD, PPD, NKE)
- เพื่อประสานงานการตรวจนับ Stock Inventony Compound และจัดยางให้กับลูกค้าภายนอก และให้ข้อมูล Inventony กับผู้เกี่ยวข้อง

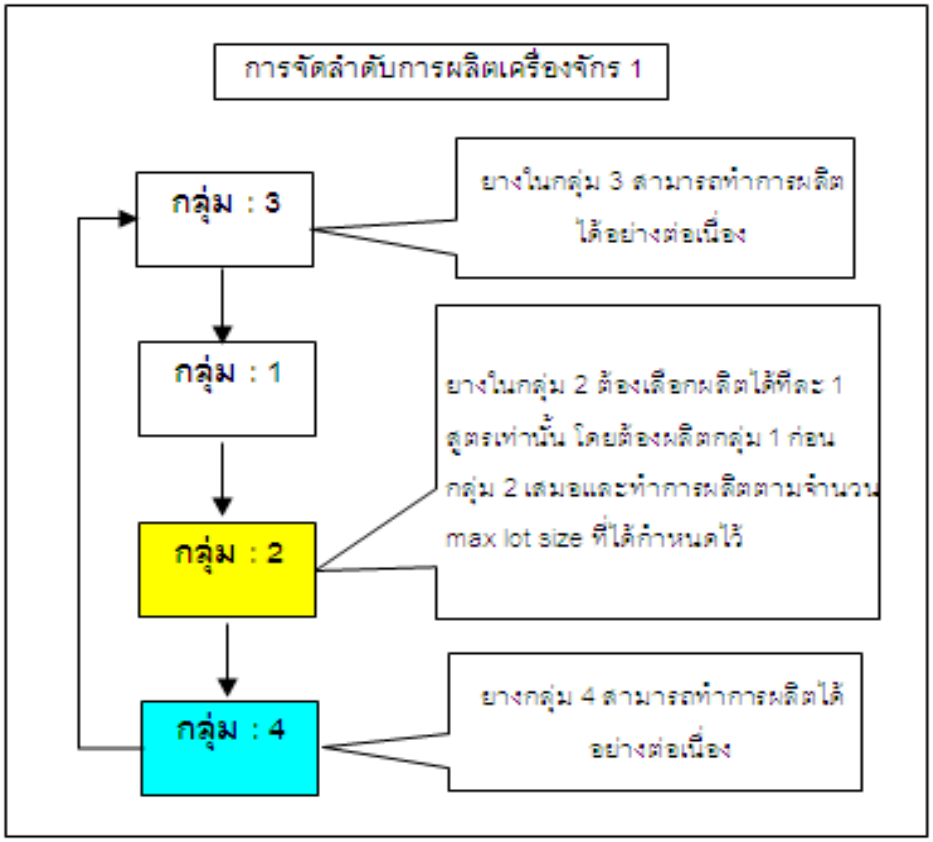
3 – เงื่อนไขการทำงาน

- การวางแผนการผสมยาง โดย Mixing Planner จะเป็นผู้รับผิดชอบในการวางแผนงาน ในการจัดลำดับการผสมยาง, การเตรียมเคมี, Raw material ให้กับทาง Mixing Shop โดยแยกตาม Line ผลิต
- Mixing planner จะ Update ตามเอกสารของ QGA (Mixing step) ในfile Schedule ทุกครั้ง เมื่อมีสูตรยางเพิ่ม และมีการตรวจสอบการ Update ทุกครั้งโดย ZE
- Mixing planner จะควบคุม Stock Compound (Min-Max) โดยทำตามคำแนะนำของ IE
- ทำรายการส่งของให้กับ Store USC ในกรณีมี Compound ส่งไปลูกค้าภายนอก
- ทำรายงาน Inventory Compound ทุกวันทำงาน
- ติดตามปัญหาในกรณีการจัดเตรียมยางให้กับลูกค้าภายนอกมีปัญหา และไม่เป็นไปตามข้อกำหนด
- แจ้งให้จัดเก็บยางที่เหลือใช้จากลูกค้าไว้ใน Refirgeration และจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ QG
- ประสานงาน และรายงานยางที่มีปัญหาต่อลูกค้าให้กับผู้เกี่ยวข้องเพื่อทำการปรับแผนการผลิต

4 – อุปกรณ์

- อุปกรณ์สำนักงาน
- คอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์
- โทรศัพท์ภายในสำหรับประสานงานกับทีมงานในการวางแผนการผลิต
- ตู้เก็บเอกสาร

5 – เงื่อนไขของการจัดลำดับการผลิตของไลน์การผลิต 1



6 – วิธีการทำงาน

6.1 แผนการผลิต ทางหน่วยงานวางแผนส่วนกลาง (DSC) จะส่งแผนการผลิต (PdP) และความต้องการยางในแต่ละสูตร เป็นรายสัปดาห์ (BNR weekly + 8 weeks)

6.2 การหาปริมาณการใช้ยางต่อวัน

6.2.1 ลูกค้าภายใน Service O, ZP, และ PTD และลูกค้าภายนอก PPD, NKE จะต้องแจ้งความต้องการ Compound โดยส่ง BNR ทุกๆวัน พฤหัสก่อน 15.00 น. เพื่อยืนยันความต้องการ Compound ในสัปดาห์ถัดไป ถ้าไม่มีการส่งแผนใหม่มาให้ในวันที่กำหนด ให้ยึดแผนเก่าในการทำงาน

6.2.2 Mixing planner จะต้อง Update BNR ใน file Inventory ทุกวันศุกร์ เพื่อทราบข้อมูลความต้องการของลูกค้าในสัปดาห์ถัดไปเพื่อใช้ในวางแผนการ

6.2.3 นำข้อมูลปริมาณการใช้ยางต่อวันไปประกอบการออก Production Schedule โดย ควบคุม Stock ไม่ให้เกินความจำเป็น รวมทั้งแจกจ่าย Schedule ให้ผู้เกี่ยวข้อง

6.3 การ Up date ข้อมูลของสูตรยาง Current ทุก Line

6.3.1 เอกสาร Mixing Step เมื่อถูก Updateทุกครั้งโดย QGA ทาง QGA จะต้องแจกจ่ายเอกสารให้กับ Mixing planner

6.3.2 Mixing planner ต้องตรวจเช็คสูตรและ Step mix ที่ได้รับจาก QGA ว่ามีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบ หรือ Update Step อะไร

6.3.3 นำสูตรและ Step mix ที่เปลี่ยนแปลงหรือ Update Step จาก QGA ทำการ Update เข้า File Schedule และให้ ZE ตรวจสอบการ Update ทุกครั้งก่อนใช้ข้อมูลในการออก Production Schedule

6.4 การ Update ข้อมูลของ Cycle Time ทุก Line ต้อง Update และแก้ไข Cycle Time ใน File Production Schedule ทุกๆ 2 เดือน โดยใช้ Cycle Time ของแต่ละ Line ใน File Debit ที่ ZE Update ไว้

6.5 การออก Production Schedule Line

6.5.1 แผนการผลิตทุก Line จะแสดงชื่อ สูตรยาง, เคมี, ชื่อ Raw material ที่ใช้ และจำนวนที่ต้องการ โดยการวางแผนจะวางแผนล่วงหน้าอย่างน้อย 3 - 4 กะ

6.5.2 นำข้อมูลของ Inventory ณ วันนั้นๆ มาเปรียบเทียบกับปริมาณยางที่ต้องใช้ ต่อวันในแต่ละสูตร

6.5.3 จัดลำดับความเร่งด่วนว่าจะต้องผลิตยางสูตรใดบ้างที่ต้องการ จำนวนเท่าใดของแต่ละสูตร เพื่อผลิตให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า (ทำ Final Mix, Master Batch บางสูตร)

6.5.4 พิมพ์ข้อมูล Production Schedule ทุก Line และถ่ายเอกสารแจกจ่ายให้พนักงาน และผู้เกี่ยวข้อง และทำการผลิตตามผลการผลิตต่อไปตามลำดับ

6.6 แผนการสั่งยาง และส่งยาง

6.6.1 ในกรณีที่มีแผนสั่งยาง หรือ ส่งยาง จะต้องมีการประชุมของกลุ่ม และ IE ต้องนำข้อมูลไป คำนวณ Capacity ด้วย

6.6.2 Mixing planner จะต้องทำแผนผลิตให้กับลูกค้าภายนอก และทางแผนกต้องนำผลิตภัณฑ์ไปวางไว้ที่ท่าส่งของ เพื่อรอการจัดส่งต่อไป

6.6.3 ถ้ามีแผนส่งยางไปภายนอกโรงงาน Mixing planner จะต้องทำรายการส่งยางให้กับ Team store เพื่อทำการจัดส่ง

6.6.4 ในกรณีที่ต้องขอใช้ยางก่อนผลด้านคุณภาพออก ทางผู้ขอใช้ต้องดำเนินการติดต่อกับ QG เพื่อขอส่งยางเร่งด่วน (Non Approve Tag)

6.6.5 การจัดส่งยางต้องอยู่ในข้อกำหนด CdC กับลูกค้า แต้ถ้าไม่อยู่ในข้อกำหนดจะต้องแจ้งลูกค้ารับทราบก่อน

แผนการตรวจตราและควบคุม (Monitoring & Control Plan) ค่าปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อป้องกันสภาวะออกนอกการควบคุม

ตรวจเมื่อไร		ตรวจอะไร	ความถี่การตรวจ	ตรวจที่ไหน	ตรวจอย่างไร	การแก้ไขปัญหา	ผู้รับผิดชอบ
เมื่อเริ่มเข้ากะ	1	อุณหภูมิประตูปล่อย	เริ่มเข้ากะ และทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสูตร	ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องจักร	เช็คว่า มีค่าเท่ากับ 98 ℃ หรือไม่	แจ้งหัวหน้างานเพื่อปรับตั้งค่าใหม่และทำการตรวจสอบซ้ำ	พนักงานประจำเครื่อง
	2	ความเร็วโรเตอร์	เริ่มเข้ากะ และทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสูตร	ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องจักร	เช็คว่ามีค่าเท่ากับ 46 RPM หรือไม่	แจ้งหัวหน้างานเพื่อปรับตั้งค่าใหม่และทำการตรวจสอบซ้ำ	พนักงานประจำเครื่อง
	3	เวลาเปิด-ปิดประตูปล่อย	เริ่มเข้ากะและทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสูตร	ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องจักร	เช็คว่ามีค่าเท่ากับ 30 CMIN หรือไม่	แจ้งหัวหน้างานเพื่อปรับตั้งค่าใหม่และทำการตรวจสอบซ้ำ	พนักงานประจำเครื่อง
ขณะปฏิบัติงาน	4	ความผิดปกติของระบบชั่งน้ำหนักยาง	ทุกแบชที่มีปัญหา	ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องจักร	ดูว่าระบบชั่ง น.น. มีปัญหาส่วนไหน	1. ในบางกรณีพนักงานสามารถแก้ปัญหาได้ทันที เช่น Relative zero 2. แต่ในกรณีที่เกิดซึ่งบ่อยๆ ต้องแจ้งหัวหน้างาน	พนักงานประจำเครื่อง

ตัวอย่างใบรายงานแผนการแก้ไขปัญหา

แผนการแก้ไข						เดือน : .....หน้า:..../.....		
ลำดับ	ผู้แจ้งปัญหา วันที่	ปัญหา	สาเหตุของปัญหา	ผู้รับผิดชอบแก้ไข	แนวทางการแก้ไข	วันที่กำหนดเสร็จ	ผลที่ได้หลังการแก้ไข (ประเมินโดยผู้แจ้งปัญหา)	สถานะ
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
								⊕
1	2	3	4	5	6	7	8	9

⊕ *ผู้รับผิดชอบปัญหาถูกระบุ (กรอกข้อความตั้งแต่ 1-5 เสร็จสิ้นแล้ว)*

◐ *แนวทางการแก้ไขถูกระบุ (กรอกข้อความตั้งแต่ 1-8 เสร็จสิ้นแล้ว)*

◔ *ดำเนินการแก้ไขเสร็จสิ้น(การแก้ไขในข้อ 7 ถูกดำเนินการแล้ว)*

● *ดำเนินการแก้ไขเสร็จสิ้น(การแก้ไขในข้อ 7 ถูกตรวจสอบผลสัพธ์ไม่เกิดปัญหาขึ้นอีก ถูกส่งต่อถึงผู้รับผิดชอบเรียบร้อยในกรณีเป็น long term action หรือถูกแจ้งกลับถึงผู้แจ้งปัญหาในกรณีเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้)*

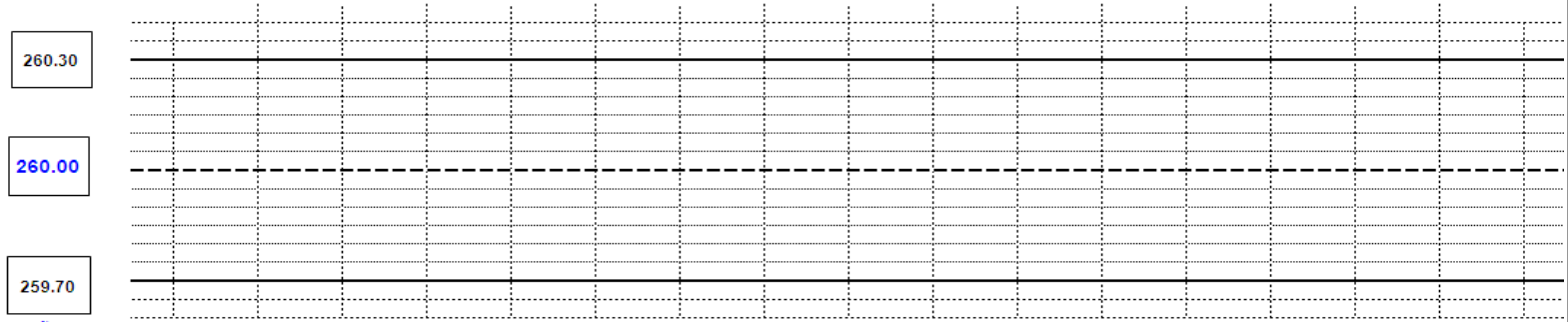
ตัวอย่างแบบฟอร์มการสอบเทียบเครื่องมือวัด (เครื่องชั่งน้ำหนักยาง) โดยมีความถี่ในการตรวจสอบ 1 ครั้ง/สัปดาห์

VERIFICATION CHART OF BM SCALE / MIXING SHOP

MIX/LMC	SCALE NAME : BM SCALE	BALANCE Id No. :	Std. Weight : 260 Kg

Week No.																		
Date																		
Operator name																		
Result: 0 kg+/-100 g.																		

STD. WT : 260 kg.(Tolerance +/- 300 g.)



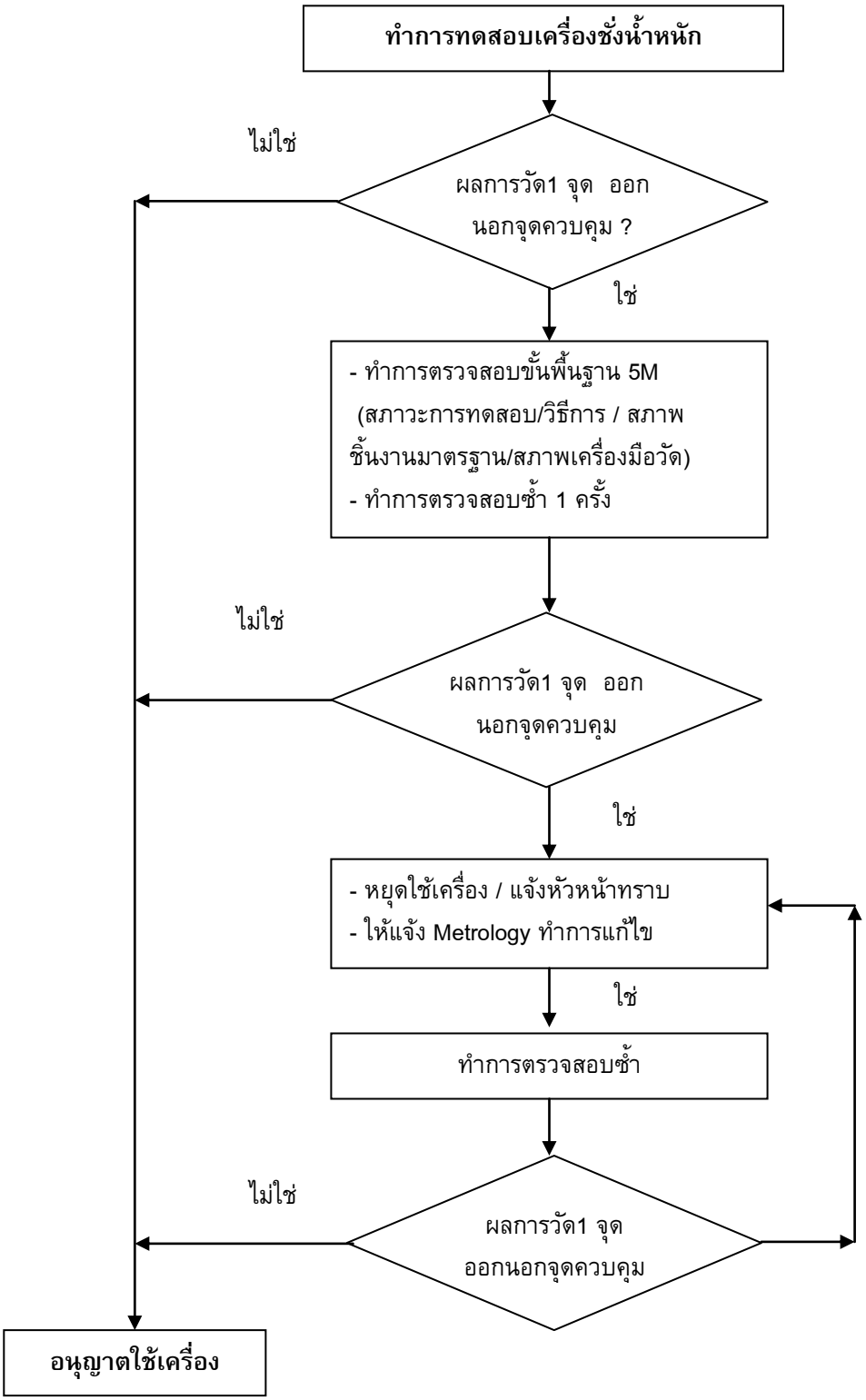
1 ช่อง = 50 กรัม

Result :260+/-300g.																		
Calibration status Std. WT. and Scale	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.	☐ Yes ☐ No.
Due Date																		
Corrective action																		
PV2 By Promanager																		

ข้อกำหนด :

1.ความถี่ในการตรวจสอบ 1 ครั้ง/สัปดาห์ โดยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ที่กำหนดให้
2.ตรวจสอบน้ำหนักที่ 0 กิโลกรัม เปรียบเทียบกับ limit
3.วางตุ้มมาตรฐาน 1 ครั้ง ในตำแหน่งที่กำหนด บันทึกค่าที่อ่านได้
4.เปรียบเทียบค่าที่ได้กับ limit , ถ้าค่าเกิน limit ให้ติดต่อหัวหน้างาน หรือผู้เกี่ยวข้อง เพื่อดำเนินการแก้ไข
5.ตรวจสอบสถานะการสอบเทียบ ของเครื่องชั่ง และตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน
6.ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ให้เก็บในกล่องเฉพาะที่กำหนดให้

ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อเครื่องมือวัดออกนอกการควบคุม (Action rules)



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววาสนา ช่อมะลิ เกิดเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดมุกดาหาร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2549 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกร บริษัทแห่งหนึ่ง และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคต้นปี พ.ศ. 2553