การปรับปรุงกระบวนการผสมยางมาสเตอร์แบท EPDM ไม่มีน้ำมัน โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา

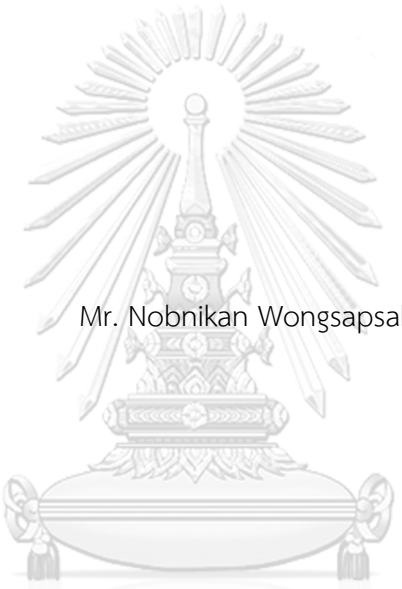
นายนภนิกันต์ วงศ์ทรัพย์สกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF NON-OIL EPDM MIXING PROCESS BY SIX SIGMA CONCEPT

Mr. Nobnikan Wongsapsakul



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงกระบวนการผสมยางมาสเตอร์แบท EPDM ไม่มีน้ำมัน โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา
โดย	นายนภนิกันต์ วงศ์ทรัพย์สกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นภนิกันต์ วงศ์ทรัพย์สกุล : การปรับปรุงกระบวนการผสมยางมาสเตอร์แบท EPDM ไม่มีน้ำมัน โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา. (IMPROVEMENT OF NON-OIL EPDM MIXING PROCESS BY SIX SIGMA CONCEPT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.ปารเมศ ชุติมา

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผสมซึ่งจะสื่อออกมาในรูปของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ของบริษัทกรณีศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผสม EPDM ที่ไม่ใช่น้ำมัน โดยใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักที่สำคัญที่เรียกว่า DMAIC ได้แก่ ขั้นตอนกำหนดปัญหา (Define phase) , ขั้นตอนการวัดเพื่อใช้หาสาเหตุของปัญหา (Measure phase) , ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase) ,ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase) และสุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control phase) หลังจากใช้ขั้นตอน DMAIC ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความหนืดมูนนี่เฉลี่ยที่ได้จากกระบวนการหลังปรับปรุง มีค่าเข้าใกล้ค่าที่คาดหวังหรือค่าเป้าหมายมากขึ้นและได้สะท้อนไปยังดัชนีความสามารถในกระบวนการที่เพิ่มขึ้น (Cpk) จาก -1.25 ถึง 3.92 นอกจากนี้ผลลัพธ์ของวิธี Response Surface Design เผยให้เห็นถึงการตั้งค่าสภาวะกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่เหมาะสมดังนี้: เวลาผสม ~ 14 (นาที), ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (nip gap) ~ 1.10 (มิลลิเมตร) และจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ~ 9 (รอบ) ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงจาก 0.45 เป็น 0.30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6170935021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Six Sigma Rubber mixing process Non-oil EPDM Response surface method

Nobnikan Wongsapsakul : IMPROVEMENT OF NON-OIL EPDM MIXING PROCESS BY SIX SIGMA CONCEPT. Advisor: Prof. PARAMES CHUTIMA, Ph.D.

This research aims to study the factors affecting the mixing efficiency of the case study company and to improve the non-oil EPDM mixing process by applying the Six Sigma concept. Five systematic steps are conducted to apply the Six Sigma approach, i.e., define, measure, analyze, improve and control. After applying the DMAIC steps, wastes occurred in the process are substantially reduced by shifting the Mooney viscosity mean to be near or on the target value as reflected from increased process capability index (Cpk) from -1.25 to 3.92. In addition, the result of the response surface method reveals the appropriate process parameter setting as follows: mixing time ~ 14 (min.), Nip gap ~ 1.10 (mm.) and Number of passes ~ 9 (pass.). The result also shows that the standard deviation is decreased from 0.45 to 0.30.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Industrial Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2019 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สาเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ของบุคคลที่มีความเกี่ยวข้องหลากหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงความใส่ใจและติดตามผลการดาเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยแนะนำ ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสในการทำงานวิจัยฉบับนี้ รวมทั้งให้การสนับสนุนในการเก็บรวบรวมข้อมูล และขอขอบคุณคณะทำงานที่ให้ ความร่วมมือ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะและความช่วยเหลือต่างๆเป็นอย่างดีซึ่งถือว่ามีประโยชน์ต่องานวิจัยมาก

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว ญาติพี่น้อง ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ รวมทั้งขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูปภาพ ..... ซ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา 1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 4
1.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 5
1.4 วิเคราะสาเหตุที่เกิดขึ้น 6
1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 9
1.6 ขอบเขตการวิจัย 9
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 10
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 13
2.1 แนวคิดและหลักการของซิกซ์ ซิกมา 13
2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา 15
2.1.2 กรอบแนวคิดสำหรับกระบวนการซิกซ์ ซิกมา 15
2.1.3 โมเดลของซิกซ์ ซิกมา 16
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมยาง 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 การผสมยาง (Mixing) 31
2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์เบื้องต้น 34
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
บทที่ 3 ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase) 38
3.1 บทนำ 38
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต 38
3.3 การกำหนดปัญหา 41
3.4 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด 44
3.5 การจัดตั้งคณะทำงาน 44
3.6 สรุประยะนิยามปัญหา 45
บทที่ 4 ระยะการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase) 46
4.1 บทนำ 46
4.2 การวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท 46
4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A (Lot by Lot) 47
4.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B (Lot by Lot) 49
4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัด 51
4.3.1 วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดเครื่องมือทางรีโอโลยี Mooney Viscometer 52
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม 59
4.4.1 การหาสาเหตุและปัจจัยโดยใช้ผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and EffectDiagram) 60
4.4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) 62
4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) 66
4.5 สรุประยะการตรวจวัดปัญหา 74
บทที่ 5 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase) 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1 บทนำ 76
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานของการออกแบบการทดลอง 76
5.3 ตัวแปรตอบสนอง 79
5.4 การออกแบบการทดลอง 79
5.5 ขั้นตอนการทดลอง 79
5.6 ผลการทดลอง 81
5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 83
5.9 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 84
บทที่ 6 ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) 85
6.1 บทนำ 85
6.2 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัย 85
6.3 ผลการทดลอง 86
6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 88
บทที่ 7 ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase) 89
7.1 บทนำ 89
7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต 89
7.3 แนวทางการควบคุมระดับของปัจจัย 92
7.4 สรุประยะการควบคุมการผลิต 93
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 94
8.1 บทนำ 94
8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา 94
8.3 บทสรุประยะการตรวจวัดปัญหา 95
8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 96
8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.6 บทสรุประยะการควบคุมการผลิต 96
8.7 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย 97
8.8 ข้อเสนอแนะ 97
ภาคผนวก 99
ภาคผนวก ก ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทใน Lot การผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผสม รวมไปถึงการทดสอบค่าความหนืดมูนนี่ตามมาตรฐานสากล 100
ภาคผนวก ข ค่าการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 103
บรรณานุกรม 109
ประวัติผู้เขียน 112

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยศึกษาเพื่อลดความผันแปรของผลผลิตจากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท 8

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 12

ตารางที่ 2.1 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ 25

ตารางที่ 2.2 เมทริกซ์การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ 25

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง 26

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการกาหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส 26

ตารางที่ 2.5 ผลการตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐาน 28

ตารางที่ 2.6 ค่า α กรณีของการทดลองแบบส่วนประสมกลางเมื่อมีจำนวนปัจจัยเป็น 2 – 6 29

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิต 41

ตารางที่ 3.2 คณะทำงานสำหรับวิจัยในหน่วยต่างๆ 44

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ Mooney Viscosity ของวัตถุดิบยางจากแหล่งที่มา A จำนวน 10 ล็อต 47

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ Mooney Viscosity ของวัตถุดิบยางจากแหล่งที่มา B จำนวน 10 ล็อต 49

ตารางที่ 4.3 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และประเมินระบบการวัดที่เหมาะสม 53

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าความหนืดซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างยางคอมพาวด์ จำนวน 15 สูตร ที่ได้จากการกระบวนการผสมยาง (หน่วย Mooney Unit: MU) 54

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการยอมรับระบบการวัด 58

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลถึงผลผลิตที่ได้ 63

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์อันดับทั้ง 7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil 64

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 เรียงลำดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA 73

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ FMEA เพื่อนำไปใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองต่อไป 74

ตารางที่ 5.1 ระดับของปัจจัยในการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) 78

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดและลำดับการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design 80

ตารางที่ 5.3 ผลของค่าความหนืดมูนนี่ที่ได้ผลผลิตของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) 82

ตารางที่ 6.1 ค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย 86

ตารางที่ 6.2 ผลของค่าความหนืดมูนนี่ที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ที่โรงงานกรณีศึกษาหลังจากปรับปรุง (ตั้งค่าระดับของปัจจัยใหม่ตามค่าเหมาะสมที่ได้) 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ต่างๆของโรงงานกรณีศึกษา 1

รูปที่ 1.2 แผนผัง Single-pass mixing 2

รูปที่ 1.3 แผนผัง Two-pass mixing or Multi-pass mixing 2

รูปที่ 1.4 การขึ้นรูปแบบ Compression molding 3

รูปที่ 1.5 การขึ้นรูปแบบ Injection molding 3

รูปที่ 1.6 การเกิด defect ในตัวของผลิตภัณฑ์ยางมาสเตอร์แบท 4

รูปที่ 1.7 การเกิด out of spec ของผลิตภัณฑ์ยางมาสเตอร์แบท 5

รูปที่ 1.8 Control chart X-MR ของค่า Mooney viscosity ที่ได้จากการทดสอบยางในแต่ละล็อตการผลิตด้วยเครื่อง Mooney viscometer ตามลำดับ 6

รูปที่ 1.9 แผนภาพแสดง สาเหตุและผลของปัญหา 7

รูปที่ 2.1 Six Sigma Graph 13

รูปที่ 2.2 วงจรการทำงานตามกระบวนการของ DMAIC 17

รูปที่ 2.3 แผนผังกระบวนการทำงานแบบ SIPOC 18

รูปที่ 2.4 Cause and Effect Diagram 20

รูปที่ 2.5 ประเภทของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานใดๆ 23

รูปที่ 2.6 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ 24

รูปที่ 2.7 ส่วนของการทดลองแบบส่วนประสมกลาง 28

รูปที่ 2.8 แบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนปัจจัย 2 – 10 ปัจจัย 29

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างของแผนภูมิควบคุม $\bar{x}-R$ 31

รูปที่ 2.10 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) 33

รูปที่ 2.11 เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader) 33

รูปที่ 2.12 เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.1 Flow Process of EPDM non-oil มาสเตอร์แบท 39

รูปที่ 3.2 Control chart - Mooney viscosity มีค่าเกินเกณฑ์ที่ทางโรงงานได้กำหนดไว้ 41

รูปที่ 3.3 สภาพของผลิตภัณฑ์ในล็อตที่เกิดความผิดปกติ (out of spec)..... 42

รูปที่ 3.4 Process Capability Sixpack Report หลังจากการปรับปรุงของทางโรงงาน..... 43

รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบจากค่า Mooney Viscosity ของแหล่งที่มา A..... 48

รูปที่ 4.2 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot 49

รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบจากค่า Mooney Viscosity ของแหล่งที่มา B..... 50

รูปที่ 4.4 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot 51

รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยีของยางคอมพาวด์ที่ได้จากกระบวนการผสม 55

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ของยางคอมพาวด์ที่ได้ (1)..... 55

รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ของยางคอมพาวด์ที่ได้ (2)..... 56

รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาที่สามารถส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท 61

รูปที่ 4.9 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับคะแนนจากความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix..... 64

รูปที่ 4.10 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA .. 73

รูปที่ 5.1 เครื่องผสมแบบปิดนีดเดอร์ (Kneader) ขนาด 5 ลิตรที่ใช้จำลองกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทในขั้นตอนที่ 1 (Lab scale)..... 77

รูปที่ 5.2 เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ที่ใช้จำลองกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทในขั้นตอนที่ 2 (Lab scale) 77

รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท..... 83

รูปที่ 6.1 ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ที่ได้จาก Response Optimizer 86

รูปที่ 7.1 ความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงานหลังปรับปรุงกระบวนการผสม 90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 7.2 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตคอมพาวด์ที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงานหลังปรับปรุงกระบวนการผสม 90

รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงสภาวะกระบวนการผสมในโรงงาน 91

รูปที่ 7.4 ความสามารถของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการ 92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยาง เป็นโรงงานยางสำหรับ รับผลิตยางมาสเตอร์แบท ยางคอมพาวด์ ยางอัดรูป วัสดุและเครื่องใช้สำหรับผู้ผลิตรองเท้า ยางแกะบล็อก และ ยางพื้นรองเท้าต่างๆ

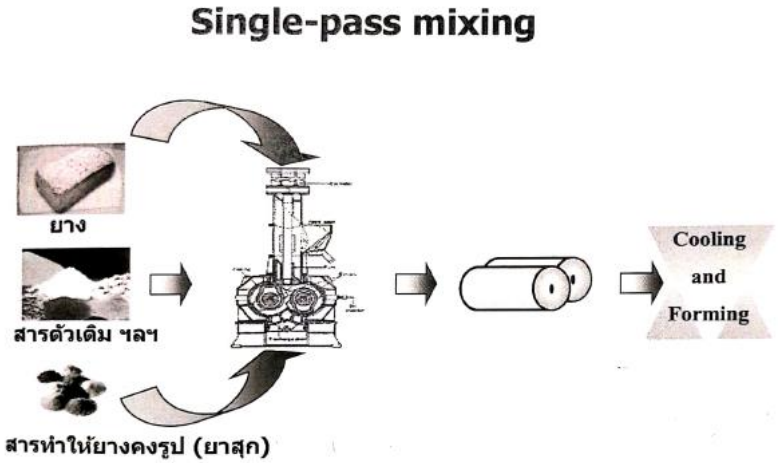
รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ต่างๆของโรงงานกรณีศึกษา
(แหล่งที่มา: เป็นภาพของทางบริษัทกรณีศึกษาที่ไว้ใช้สำหรับการนำเสนอเท่านั้น)

โดยมีกำลังการผลิตพื้นยางรองเท้าคู่ 288,000 คู่/ปี, กำลังการผลิตพื้นยางรองเท้าแผ่น 13,200 แผ่น/ปี อยู่ที่อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย

ซึ่งในกระบวนการผลิตหลักจะผ่านหน่วยการผลิต 3 หน่วยหลักดังนี้

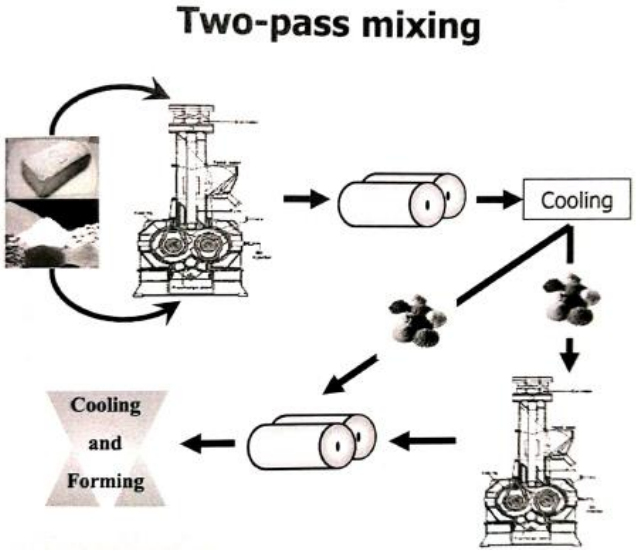
1. หน่วยกระบวนการผสมซึ่งกรรมวิธีในการผสมยาง มีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

   1.1 Single-pass mixing



รูปที่ 1.2 แผนผัง Single-pass mixing
(แหล่งที่มา: จากหนังสือการฝึกอบรมหลักสูตรการผสมยาง ของศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2561: 51)

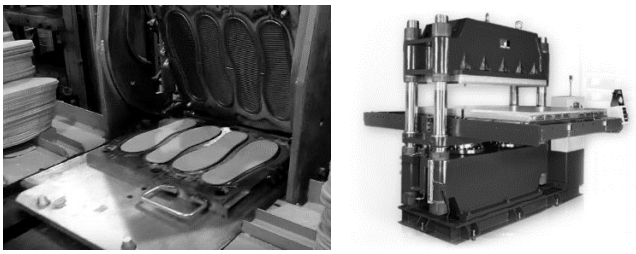
   1.2 Two-pass mixing or Multi-pass mixing



รูปที่ 1.3 แผนผัง Two-pass mixing or Multi-pass mixing
(แหล่งที่มา: จากหนังสือการฝึกอบรมหลักสูตรเทคโนโลยีการผสมยาง ของศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2561: 51)

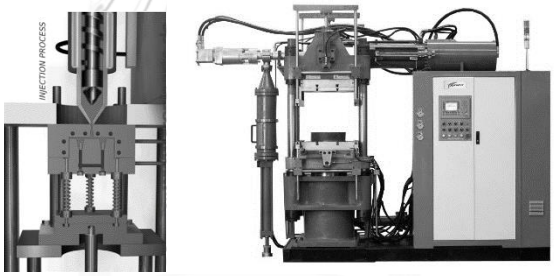
2. หน่วยกระบวนการขึ้นรูปซึ่งกรรมวิธีในการขึ้นรูปยาง มีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ

2.1 Compression molding



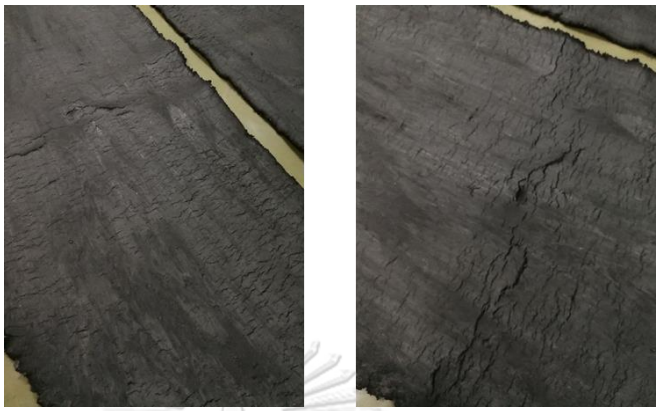
รูปที่ 1.4 การขึ้นรูปแบบ Compression molding
(แหล่งที่มา: https://www.panstone.com/en/product-352177/Large-Compression-Molding-MachineTwo-sides-operation.html)

2.2 Injection molding



รูปที่ 1.5 การขึ้นรูปแบบ Injection molding
(แหล่งที่มา: https://www.youtube.com/watch?v=b1U9W4iNDiQ และ https://huayijx.en.alibaba.com/product/60816249947-200609118/Factory_Price_CE_certificate_HYZ_200B_Rubber_Injection_Molding_Machine_HYZ_B_Series_Manufacturer_in_China.html)

3. หน่วยควบคุมคุณภาพการผลิต (Quality Control, Q.C.) เพื่อควบคุมผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามมาตรฐานของลูกค้า โดยมีการสุ่มตรวจจากการสังเกตด้วยตาเปล่าดูความผิดปกติที่ผิวของผลิตภัณฑ์ และการตรวจโดยใช้เครื่องมือทาง Rheology



รูปที่ 1.6 การเกิด defect ในตัวของผลิตภัณฑ์ยางมาสเตอร์แบท
(แหล่งที่มา: นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล, 2562)

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

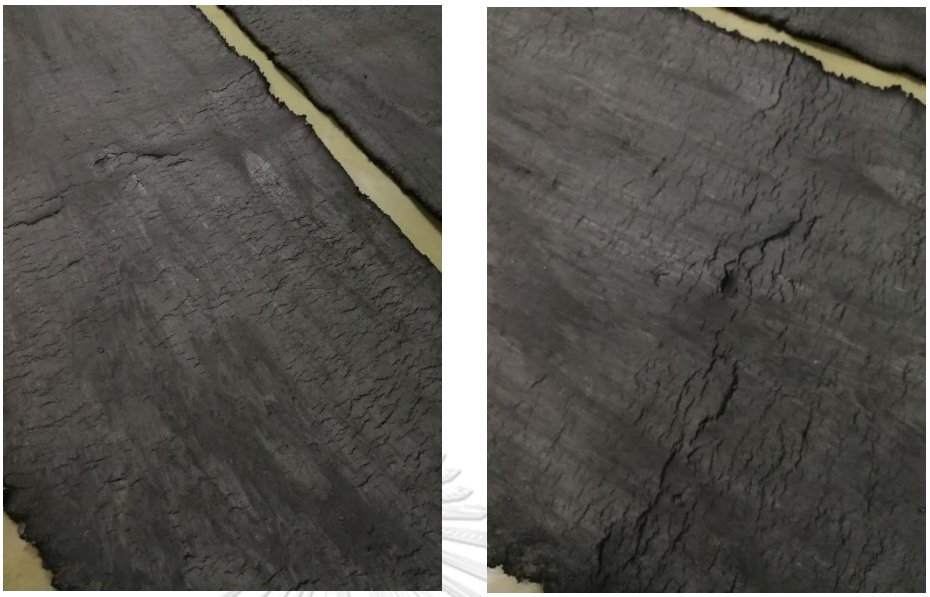
เนื่องด้วยโรงงานกรณีศึกษา ได้ประสบปัญหาเกี่ยวกับการผลิตยางมาสเตอร์แบท ในสูตรยาง EPDM non-oil ในเรื่องของความเข้ากันได้ระหว่างยาง และ สารตัวเติม (filler), ความเข้ากันได้ของยางและสารตัวเติมหลังการผลิต (การผสม) ส่งผลให้ความหนืดของยางมาสเตอร์แบทที่ผลิต มีค่าสูงผิดปกติ, เกิดรอยแยกและรอยแตก บนตัวของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เป็นที่มาของ งานวิจัยนี้

ที่จะศึกษา

- ปัจจัยในการบวนการผสม ที่ส่งผลถึงความเข้ากันได้ระหว่างยาง,สารตัวเติมและสารเคมี ซึ่งจะสื่อออกมาในรูปของค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ในแต่ละล็อต
- หาสภาวะที่เหมาะสมในการผสม
- นำสภาวะที่ได้ไปทำการผสมผลิตจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

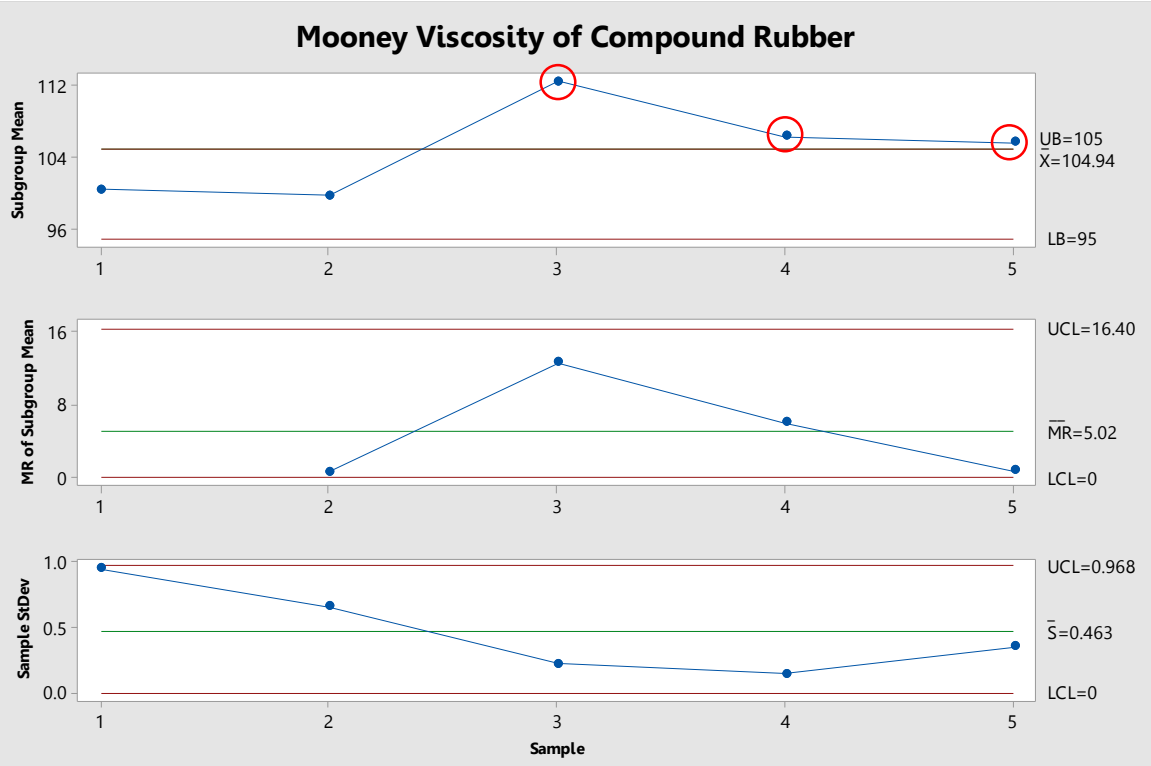


รูปที่ 1.7 การเกิด out of spec ของผลิตภัณฑ์ยางมาสเตอร์แบท
(แหล่งที่มา: นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล, 2562)

มีการเกิด out of spec ของค่า Mooney viscosity (ซึ่งใช้เป็นค่าสำหรับใช้ควบคุมคุณภาพ-QC ผลิตภัณฑ์ในแต่ละล็อตการผลิต) และ ผิวของผลิตภัณฑ์เกิดรอยแยกและแตก เนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างยาง EPDM non-oil และสารตัวเติม

โดยเกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในการผลิต EPDM non-oil มาสเตอร์แบท เมื่อผ่านขั้นตอนการผสมทั้ง 2 ขั้นตอนมาแล้วที่ทางโรงงานได้กำหนดไว้คือต้องมีค่าความหนืดอยู่ที่ 95-105 MU (Mooney Unit)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.8 Control chart X-MR ของค่า Mooney viscosity ที่ได้จากการทดสอบยางในแต่ละล็อตการผลิตด้วยเครื่อง Mooney viscometer ตามลำดับ

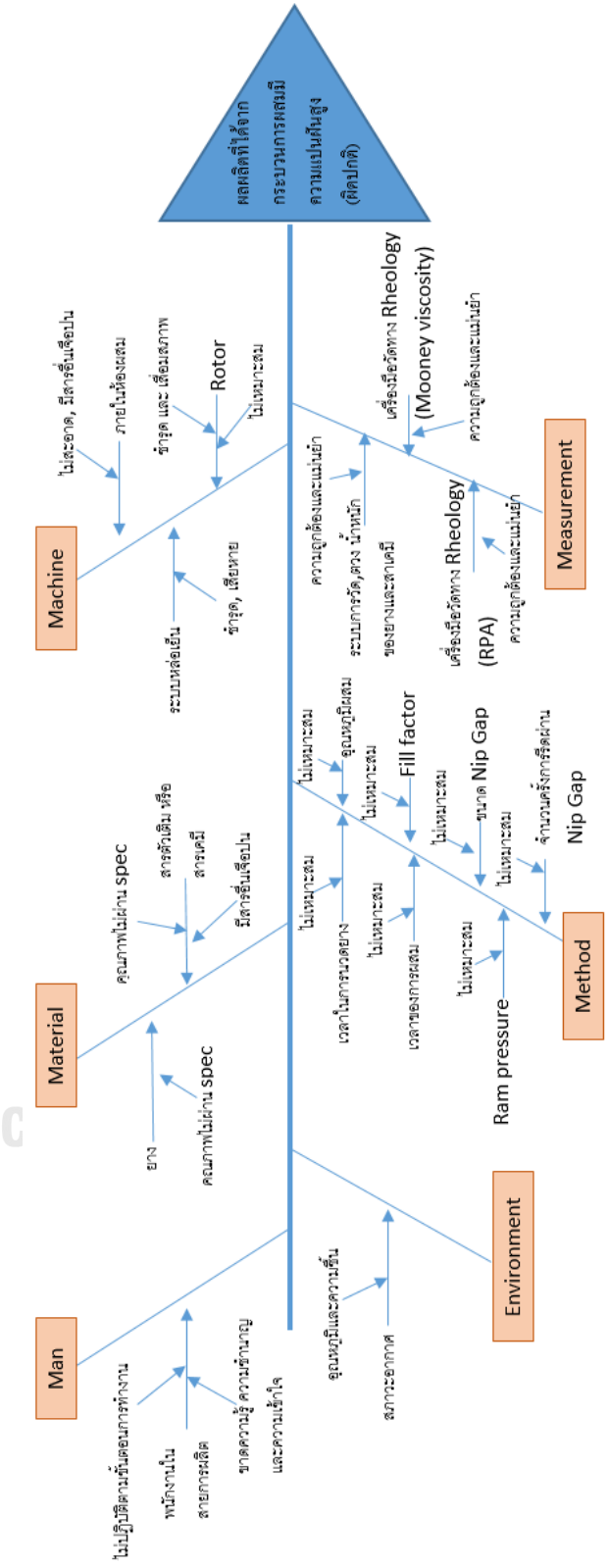
ทำให้ในล็อตการผลิต (EPDM non-oil มาสเตอร์แบท) หลังจากล็อตที่พบความผิดปกติ มีการใช้วิธีการปรับหลายปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อคุณภาพการผสมไปพร้อมๆกัน เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นให้ผลิตภัณฑ์เข้าสู่ Upper และ Lower spec อีกครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่ไม่ได้ศึกษาว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลมากสุด และควรปรับจากปัจจัยหลักนั้นซึ่งเป็นสาเหตุที่แท้จริง โดยอาจไม่จำเป็นต้องปรับทุกปัจจัย ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยใช่เหตุ แต่ด้วยโรงงานไม่มีหน่วยงานเฉพาะ ที่ค่อยศึกษาในเรื่องนี้เพราะเป็นโรงงานเล็กๆ ทรัพยากรมีจำกัด จะได้ข้อมูลมาก็ต่อเมื่อมีการผลิตจริงเท่านั้น

1.4 วิเคราะสาเหตุที่เกิดขึ้น

จากปัญหาเรื่องความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา โดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหา

จากรูปที่ 1.9 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลที่สามารถส่งผลต่อปัญหาความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท นั้นมีการวิเคราะห์ตามหลักของ 5M1E ซึ่งสามารถจำแนกการวิเคราะห์ปัจจัยออกได้เป็น ปัจจัยจากพนักงาน(Man) , วัตถุดิบตั้งต้นหรือวัตถุดิบนาเข้า (Material) , เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต (Machine), การวัดและเครื่องมือวัดผล (Measurement) , กระบวนการขั้นตอนวิธีในการทำงาน (Method) และสภาวะแวดล้อมต่างๆที่เกี่ยวข้องในการทำงาน (Environment) ทางผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลถึงปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ และพบปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท คือกระบวนการทำงานที่มีค่าควบคุมสภาวะการผสมที่ไม่เหมาะสมทั้งใน 2 ขั้นตอนของการผสม สำหรับในขั้นตอนแรก (Kneader) ค่าควบคุมสภาวะที่มีผลต่อการผสม เช่น ระยะเวลาในการผสม, Ram pressure, Fill Factor และ Rotor speed ใน 2 ขั้นตอน (Two-roll mill) คือ ขนาด Nip Gap, จำนวนครั้งของการรีดผ่านบน two-roll mill รวมไปถึง อุณหภูมิผสมในแต่ละขั้นตอน ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดนี้ทางผู้วิจัยได้สรุปดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยศึกษาเพื่อลดความผันแปรของผลผลิตจากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ปัจจัยที่จะศึกษาเพื่อลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม
1. สภาวะของกระบวนการผสมในขั้นที่ 1 (Kneader) 1.1 อุณหภูมิผสม 1.2 ระยะเวลาในการผสม 1.3 Fill Factor 1.4 Rotor speed 1.5 Ram pressure
2. สภาวะของกระบวนการผสมในขั้นที่ 2 (Two-roll mill) 2.1 อุณหภูมิผสม 2.3 ขนาด Nip Gap 2.3 จำนวนครั้งของการรีดผ่านบน two-roll 2.4 ขนาดความกว้างของ Guide bar

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในกระบวนการกระบวนการผสมยาง มีการตรวจวัดคุณภาพยางมาสเตอร์แบทและยางคอมพาวด์เบื้องต้น ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทาง Rheology จากเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า Mooney viscometer ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้วัดความหนืดของตัวยางที่ผลิต เพื่อให้แน่ใจได้ว่ายางคอมพาวด์ที่ผลิตได้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดด้านคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ นอกจากนี้การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์อย่างสม่ำเสมอยังเป็นการช่วยควบคุมความสม่ำเสมอทางคุณภาพของการผลิตอีกด้วย

ความหนืด (Viscosoty) เป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของยางคอมพาวด์ที่ต้องตรวจสอบ เพราะเป็นสมบัติที่บ่งชี้ความสามารถในการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางคอมพาวด์ขณะที่ถูกนำไปใช้งาน ยางที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่ายทำให้กระบวนการผลิต (การขึ้นรูป) เป็นไปได้โดยง่ายด้วยเช่นกัน ทำให้สามารถนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนได้ดี

1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยใช้หลักการซิกซ์ซิกมา

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท สำหรับบริษัทกรณีศึกษา
2. มีกระบวนการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทาง Rheology Property จากเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า Mooney viscometer
3. วิเคราะห์ผลการทดลองจากปัจจัยต่างๆโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติและมีการใช้โปรแกรม Minitab ร่วมด้วย ในการวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลองต่างๆ
4. ตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ความเป็นไปได้ของปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อกระบวนการผสม โดยวัดออกมาในรูปของค่าความหนืด เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของปัจจัยต่างๆ และเปรียบเทียบค่าความผันแปร (Variation) และค่าความหนืดในการผลิตเทียบกับกระบวนการเดิม
5. วิเคราะห์และทำการทดลองเพื่อหาค่าสถาวะที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการผสมเพื่อนำไปปรับใช้กับโรงงานได้จริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดความผันแปรของผลผลิตจากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท
2. สภาวะที่มีความเหมาะสมสาหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท
3. ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีคุณภาพดีขึ้น
4. มาตรฐานและแนวคิดในการพัฒนาคุณภาพสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil
5. นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้จากงานวิจัยไปปรับใช้ในการทำงานหลังจบการศึกษา

1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในกระบวนการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์และวิจัย ตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา โดยมีแนวทางและวิธีคิดแก้ปัญหา 5 วิธีการดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define phase: D)

- ศึกษาข้อมูลของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท อย่างละเอียด เพื่อสามารถทำความเข้าใจถึงปัจจัยและขั้นตอนของกระบวนการต่างๆ
- ศึกษาถึงสาเหตุที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม
- ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพและกระบวนการ , การลดความผันแปรของกระบวนการผสม ที่มีการนำแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถนาความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย
- ศึกษาขั้นตอนในการทดสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตเกี่ยวกับผลผลิตที่ได้ เพื่อหาข้อมูลที่มีอยู่มาใช้วิเคราะห์ตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา และเพื่อออกแบบการทดลองเพื่อทดลองในห้องปฏิบัติการ
- ศึกษาขั้นตอนและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องในเชิงต่างๆ ที่มีความสาคัญสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุและออกแบบการทดลอง รวมถึงการเก็บข้อมูลจากการทดลองและการวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลองในขั้นตอนสุดท้าย
- กำหนดปัญหา , จุดประสงค์ เป้าหมายของงานวิจัย และกำหนดตัวชี้วัดและระยะเวลาในการทำงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ขั้นตอนการวัด (Measure phase: M)

- วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับกระบวนการผสมในปัจจุบัน และเก็บข้อมูล
- วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสม
- วิเคราะห์กระบวนการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาผสม
- รวบรวมข้อมูลต่างๆที่ได้จากกระบวนการเก็บข้อมูลของกระบวนการผสมเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในขั้นตอนถัดไป

3. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase: A)

- ระดมความคิดและความเป็นไปได้ เพื่อหาปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

- วิเคราะห์เพื่อเลือกสาเหตุที่สำคัญของปัจจัย โดยพิจาณาจัดอันดับความสำคัญเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันแปรผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการภายใต้เงื่อนไขของเวลาและงบประมาณที่มีอยู่เป็นสำคัญ

4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase: I)

- ระดมแนวความคิดเพื่อหาข้อสรุปสำหรับแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา
- กำหนดปัจจัยและสภาวะในการทดลองเพื่อออกแบบการทดลอง
- วิเคราะห์เพื่อเลือกแนวทางในการทดลองในห้องปฏิบัติการ
- กำหนดขั้นตอนการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล
- ทำการทดลองตามแบบที่วางไว้ในห้องปฏิบัติการ
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- เก็บข้อมูลเพื่อวัดผลของข้อมูลหลังกระบวนการปรับปรุงแก้ไข เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5. ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ (Control phase: C)

- พิจารณาผลการทดลองเพื่อหาวิธีการควบคุมที่เหมาะสม
- กำหนดแนวทางและวิธีในการวัดผล รวมถึงกำหนดความถี่ในการวัดและเก็บข้อมูล
- เก็บข้อมูลจากกระบวนการหลังปรับปรุง
- กำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับกระบวนการผสมยางมาสเตอร์แบท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

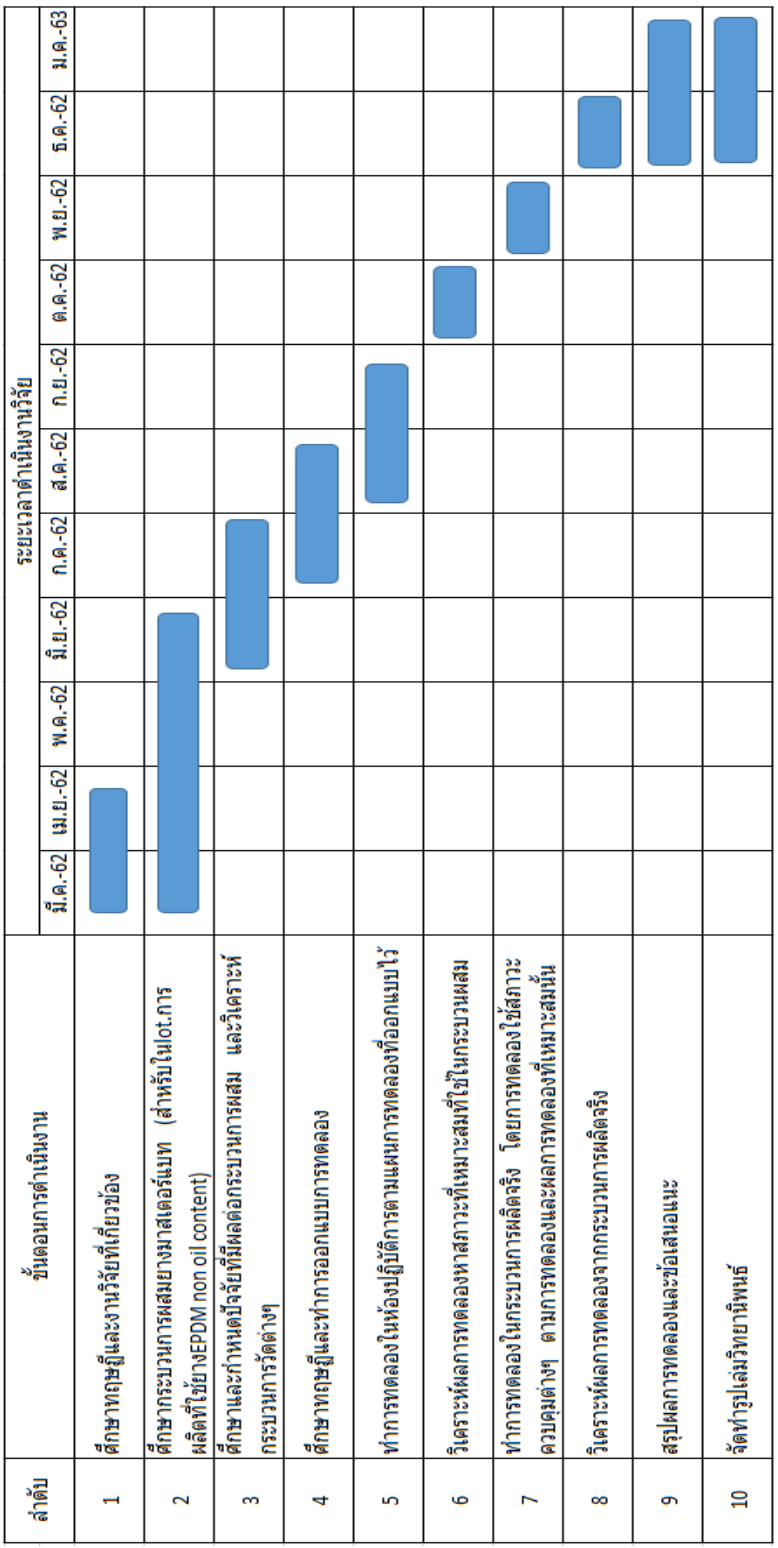
6. สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

8. ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยเริ่มเดือนมีนาคม 2562 ถึงมกราคม 2563

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

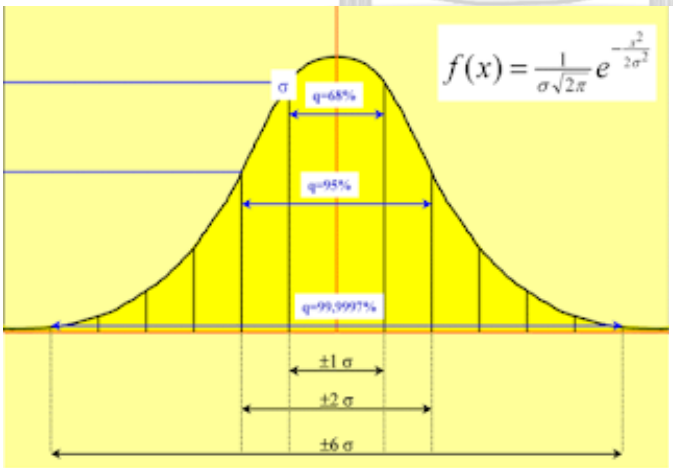


บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในบทนี้ทางผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำทฤษฎีที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยนำเอาเครื่องมือการปรับปรุงคุณภาพและแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อปรับปรุงและพัฒนางานอย่างเป็นระบบ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาที่ถูกต้องและเป็นไปตามความต้องการของบริษัทกรณีศึกษา รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมยาง, สารตัวเติม และสารเคมี เพื่อนำความรู้ต่างๆที่ได้จากการศึกษาทางทฤษฎีมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับงานวิจัย โดยรายละเอียดกระบวนการและแนวคิดต่างๆ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 แนวคิดและหลักการของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมาเป็นเครื่องมือและแนวคิดในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพ โดยเป้าหมายที่สำคัญคือการลดข้อบกพร่อง หรือ ความสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อสินค้า และบริการ รวมถึงจากกระบวนการผลิต ซึ่งคำว่า คุณภาพในที่นี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ มีการลดข้อบกพร่องหรือลดต้นทุนทางการผลิต โดยส่วนใหญ่แล้วมีการวิเคราะห์ข้อมูลและหาสาเหตุต่างๆเพื่อกำหนดปัญหาที่ถูกต้อง ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเข้ามาช่วยและปัจจัยที่สำคัญอีกประการคือมุ่งเน้นความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญ เพื่อสามารถแก้ไขปัญหา ปรับปรุงและพัฒนากระบวนการในการผลิตได้อย่างเหมาะสม โดยชื่อของ SixSigma (6σ) นั้นหมายถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6σ ซึ่งได้มาจากแนวความคิดที่ว่าโอกาสที่ของเสียเกิดขึ้น 3.4 ครั้งต่อการผลิตหรือการปฏิบัติงาน 1 ล้านครั้ง ระดับสมรรถนะขององค์กรโดยส่วนใหญ่จะอยู่ที่ 2 Sigma หรือ 3 Sigma



± 1σ มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 68.27 %

± 2σ มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 95.45 %

± 3σ มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.73 %

± 4σ มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.9937 %

± 5σ มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.999943 %

± 6σ มีค่าการยอมรับ เท่ากับ 99.9999996 %

รูปที่ 2.1 Six Sigma Graph
(แหล่งที่มารูป: http://kangjantarach.blogspot.com/2017/07/six-sigma.html)

จากความหมายโดยรวมของซิกซ์ ซิกมา ข้างต้นนั้น มีผู้เชี่ยวชาญมากมายให้ความหมายเพิ่มเติมของซิกซ์ ซิกมาไว้ดังนี้

ซิกซ์ ซิกมาถือเป็นกลยุทธ์ในการบริหารที่มีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายหลักในการมุ่งเน้นการพัฒนาส่งมอบผลิตภัณฑ์และบริการที่สมบูรณ์และมีคุณภาพสูงสุดให้ลูกค้าเพื่อความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า (Harry & Schroeder, 2005)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นโครงการที่มุ่งเน้นการใช้หลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่ทำงานอยู่ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพและลดความแปรปรวนในกระบวนการหรือระบบการผลิต ซึ่งจุดประสงค์และผลลัพธ์ที่สำคัญที่ได้คือของเสียนกระบวนการผลิตลดลง โดยส่งผลให้เกิดการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการรวมถึงการเพิ่มผลกำไรให้แก่บริษัท (ปรียาวดี ผลเอนก, 2558)

ซิกซ์ ซิกมาเป็นเครื่องมือและแนวทางในการบริหารจัดการคุณภาพ โดยมีเป้าหมายหลักอยู่ 3 ประการ คือ หนึ่งการสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า สองลดขั้นตอนและเวลาในกระบวนการ และสามลดข้อบกพร่องและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด (Pande & Holpp, 2001)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการคุณภาพระดับองค์กร ซึ่งต้องมีการดำเนินการและวางแผนงานเป็นทีมโดยขั้นตอนในการดำเนินการนั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน คือ ขั้นนิยามปัญหา (Define phase) , ขั้นตอนการวัด (Measure phase) , ขั้นวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyse phase) , ขั้นการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase) และขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ (Control phase) ซึ่งสามารถระบุเป็นตัวย่อหลักๆคือ DMAIC ซึ่งในขั้นตอน การดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมานั้น จะมีการนำเครื่องมือทางสถิติมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น แผนผังแสดงสาเหตุและผลหรือแผนภาพก้างปลา (Cause-Effect / Fish bone diagrams) , การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control : SPC) และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เป็นต้น (Schroeder, Linderman, Liedtke, & Choo, 2008)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกลยุทธ์ในการพัฒนาความสามารถเพื่อการทำกำไรสูงสุดให้กับธุรกิจ โดยมีจุดประสงค์เพื่อกาจัดหรือลดความแปรปรวน ลดของเสีย ลดต้นทุนในการผลิตสำหรับกระบวนการผลิต รวมไปถึงเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยใช้เครื่องมือและเทคนิคทางสถิติมาเป็นตัวช่วยที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ (Coronado & Antony, 2002)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการที่ให้ผลลัพธ์ด้านคุณค่าต่อลูกค้าและผู้เกี่ยวข้องในองค์กร โดยมีการมุ่งเน้นการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิผล (Productivity) ขององค์กรเป็นสำคัญ (Indrawati & Ridwansyah, 2015)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการและเครื่องมือในการลดต้นทุนในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพ รวมถึงพัฒนาผลกำไรและลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเพื่อขับเคลื่อนธุรกิจและเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับทุกกระบวนการผลิต โดยจุดประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า รวมถึงซิกซ์ ซิกมาถือเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญเพื่อยกระดับธุรกิจและใช้เป็นต้นแบบสำหรับการเกิดนวัตกรรมทางคุณภาพได้อีกประการหนึ่ง (Kim, Lee, Han, & Han, 2003)

2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

ต้นกาเนินของซิกซ์ ซิกมา มีต้นกำเนิดเมื่อปี 1980 โดยบริษัทโมโตโรลา (Motorola) จากการนำทีมของ Bill Smith ซึ่งเป็นวิศวกรในแผนกสื่อสารของทางบริษัท โดยมีการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งมีแนวคิดที่ว่าสามารถลดข้อผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ได้และสามารถแก้ไขได้ในระหว่างกระบวนการผลิตก็จะส่งผลให้สินค้าที่ไม่ผ่านคุณภาพหลุดถึงมือลูกค้าได้น้อยลง (ปรียาวดี ผลเอนก, 2558)

บริษัทโมโตโรลาเป็นบริษัทแรกในการเริ่มปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยบริษัทมุ่งเน้นไปที่กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์รวมไปถึงการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งการใช้ซิกซ์ ซิกมาของบริษัทโมโตโรลานั้น ได้มุ่งเน้นเพื่อแก้ไขและปรับปรุงการปฏิบัติการภาพรวมของกระบวนการผลิตด้วยการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตนี้เอง ทำให้โมโตโรลามีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดไปสู่เทคโนโลยีในการผลิตที่เป็นมาตรฐานและสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตไปได้ถึง 2.2 พันล้านบาทภายในระยะเวลา 4 ปี และส่งผลทำให้บริษัทได้รับรางวัลคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award จากรัฐบาลอเมริกาจากการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมามาปรับปรุงกระบวนการและการวิเคราะห์ข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.2 กรอบแนวคิดสำหรับกระบวนการซิกซ์ ซิกมา

แนวคิดหลักและจุดประสงค์ของซิกซ์ ซิกมาเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิต รวมไปถึงการลดความผันแปรของกระบวนการผลิตโดยความผันแปรของกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของซิกซ์ ซิกมาจะเป็นเครื่องมือและแนวคิดที่ทำให้สามารถลดต้นทุนที่เกิดจากความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตลงได้ ซึ่งสามารถสรุปเป็นประเด็นหลักๆได้ดังนี้ (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2557)

1. มุ่งเน้นที่จะปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อสามารถเข้าใจในความต้องการของลูกค้าและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกประเด็น กล่าวคือ กระบวนการซิกซ์ ซิกมามีส่วนเกี่ยวข้องกับการประเมินความพึงพอใจของลูกค้าเพื่อนำข้อมูลนั้นกลับมาปรับปรุงเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และบริหารเป็นสำคัญ
2. การปรับปรุงคุณภาพมีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบโดยมีการนำเครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาสนับสนุนการวิเคราะห์ผลเพื่อกำหนดปัญหาและเป้าหมาย

อย่างชัดเจน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ บริหารจัดการข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งถึงมือลูกค้า

3. เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆของกระบวนการ และความสัมพันธ์ของปัจจัยที่สามารถส่งผลถึงปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ หรืออาจเรียกว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง (Key Process Output Variables : KPOVs) หรือ Y และปัจจัยนำเข้า (KeyProcess Input Variables : KPIVs) หรือ X โดยความสัมพันธ์ของปัจจัย X , Y ส่วนมากจะถูกเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการแสดงความสัมพันธ์ Y=f(X)
4. การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้แนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ต้องมีการประสานงานระหว่างบุคลากรที่มีความพร้อมที่จะปรับปรุงคุณภาพ โดยต้องมีการดำเนินงานแบบจัดตั้งเป็นโครงการ กล่าวคือต้องมีการระบุระยะเวลาในการทำโครงการปรับปรุงคุณภาพที่ชัดเจน ในส่วนของเวลาในการเริ่มและสิ้นสุดโครงการ รวมถึงความร่วมมือและความสามารถของบุคลากรที่เข้ามาร่วมทีมในตำแหน่งต่างๆ ต้องมีการกำหนดให้ชัดเจนเพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการภายในระยะเวลาที่กำหนด

2.1.3 โมเดลของซิกซ์ ซิกมา

ขั้นตอนการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา ถูกสร้างมาเพื่อการดำเนินการเกี่ยวกับระบบการทำงานหรือระบบปฏิบัติงาน ซึ่งประเด็นสำคัญคือการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและสามารถพัฒนาสินค้าให้เกือบจะมีความสมบูรณ์แบบเพื่อส่งมอบให้แก่ลูกค้า รวมไปถึงการลดความผันแปรต่างๆที่เกิดจากกระบวนการผลิต บนพื้นฐานการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักทางสถิติเข้ามาสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อหาจุดบกพร่องของกระบวนการผลิต ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ถือเป็นส่วนสำคัญในการใช้เพื่อกาจัดข้อบกพร่องต่างๆที่พบจากกระบวนการ (ปรียาวดี ผลเอนก, 2558)

กระบวนการในการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมานั้นประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักที่สำคัญที่เรียกว่า DMAIC ได้แก่ ขั้นตอนกาหนดปัญหา (Define phase) , ขั้นตอนการวัดเพื่อใช้หาสาเหตุของปัญหา (Measure phase) , ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Analyze phase), ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase) และสุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control phase) โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานนำเสนอดังต่อไปนี้

รูปที่ 2.2 วงจรการทำงานตามกระบวนการของ DMAIC
(แหล่งที่มา: https://www.sixsigmadaily.com/what-is-dmaic/)

2.1.3.1 ขั้นตอนกาหนดปัญหา (Define phase: D)

การกำหนดปัญหาถือเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญเพื่อกาหนดเป้าหมายที่ถูกต้องและชัดเจนในการปรับปรุงกระบวนการหรือวิธีการขั้นตอนในการทำงานต่างๆ โดยในการกำหนดปัญหามองถึงความต้องการของลูกค้าเป็นหลักสำคัญ โดยการกำหนดปัญหาเพื่อปรับปรุงนั้นต้องเป็นเรื่องที่มีความสำคัญจริงๆ และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงจุด ซึ่งการกำหนดปัญหาต้องอาศัยการระดมความคิดจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพที่มาจากหลายส่วนงานเพื่อให้เห็นถึงปัญหาในหลากหลายรูปแบบและสามารถจัดประเด็นความสำคัญของปัญหาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในขั้นตอนการกำหนดปัญหานี้ได้มีเครื่องมือการดำเนินงานปรับปรุงคุณภาพมาช่วยในการดำเนินงาน ยกตัวอย่างเช่น

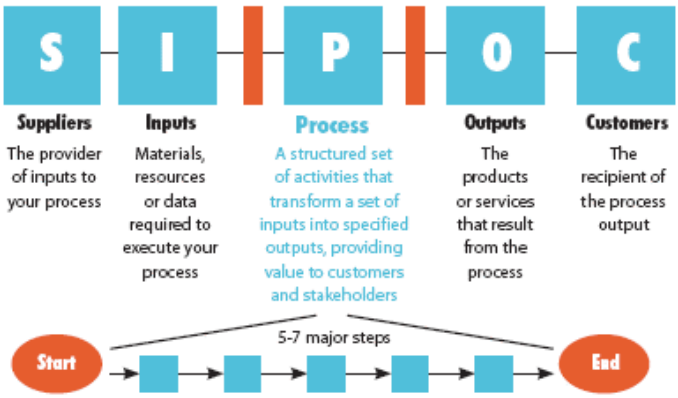
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- **การกำหนดวางแผนโครงการ (Project charter)**

การวางแผนโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อแก้ปัญหานั้นเป็นเอกสารโครงการที่ระบุวัตถุประสงค์ ,รายละเอียด , หน้าที่ของผู้ร่วมงาน รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินโครงการและขอบเขตในการปรับปรุงแก้ไขต่างๆ โดยในการทำเอกสารเพื่อวางแผนการดำเนินโครงการนี้ส่งผลทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้รับข้อมูลและวัตถุประสงค์ที่เข้าใจตรงกัน

- **ผังกระบวนการทำงาน (Process mapping)**

ผังกระบวนการทำงานเป็นเครื่องมือที่ทำให้เห็นระบบและกระบวนการทำงานทั้งหมดว่ามีปัจจัยอะไรบ้างมาเกี่ยวข้องกับกระบวนการหรือโครงการที่เลือกนำมาปรับปรุงและสามารถใช้เป็นตัวสื่อสารให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องเห็นรายละเอียดอย่างง่ายได้ด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น แผนผังกระแสดงกระบวนการทำงานแบบ SIPOC ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังกระบวนการทำงานแบบ SIPOC
(แหล่งที่มา: https://www.managementstudyguide.com/sipoc-matrix.htm)

2.1.3.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure phase: M)

ในขั้นตอนนี้จะมีการเก็บข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อใช้อธิบายถึงสาเหตุของปัญหาที่จะทำการปรับปรุงรวมไปถึงสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบอกถึงโอกาสความเป็นไปได้ของการเกิดปัญหา โดยการเก็บข้อมูลสามารถวัดผลการทำงานจากกระบวนการต่างๆได้ ยกตัวอย่างเช่นการเก็บข้อมูลเพื่อดูอัตราส่วนของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต หรือการวัดความสามารถของกระบวนการทำงาน เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานี้ อาจมีเครื่องมือในการวัดเพื่อเก็บข้อมูลที่แตกต่างกันไปขึ้นกับกระบวนการผลิตในสายการผลิตนั้นๆ เพื่อให้มั่นใจกับข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการวัดมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดก่อนโดยการทำ Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R) จากนั้นเข้าสู่ กระบวนการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลถึงปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาเลือกวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลกระทบรุนแรงที่สุดมาแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก ซึ่งในขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานี้ได้มีเครื่องมือการดำเนินงานปรับปรุงคุณภาพมาช่วยในการดำเนินงาน ยกตัวอย่างเช่น

- **ตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการ**

ตัวชี้วัดของกระบวนการมีหลากหลายโดยวัตถุประสงค์ที่สำคัญเพื่อศึกษาดูความผันแปรของผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนั้นๆ และหาวิธีการลดความผันแปรให้ได้มากที่สุด เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ยกตัวอย่างเช่น การวัดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นต่อหน่วยรอบเวลาของกระบวนการ (Cycle time) , การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process capability) เป็นต้น

- **การวิเคราะห์ระบบในการวัด (Measurement system analysis : MSA)**

ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นมีจุดประสงค์ที่สำคัญ คือ เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับการได้มาซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในเชิงของแหล่งข้อมูลและวิธีการวัด รวมไปถึงการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ จะเป็นการตรวจสอบดูความคลาดเคลื่อนของระบบว่ามีมากน้อยเพียงใดเพื่อยืนยันความถูกต้อง

และแม่นยำของชุดข้อมูลที่ได้มา โดยการวิเคราะห์การวัดเป็นส่วนสำคัญที่ต้องทำก่อนเริ่มกระบวนการปรับปรุงกระบวนการหรือระบบงานต่างๆตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งการพิจารณาระบบในการวัดนั้น มีการพิจารณาโดยดูจากค่าความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) โดยดูจากการวัดเปรียบเทียบผลที่ได้หลายๆครั้ง ที่ให้ค่าใกล้เคียงกันและมีความเบี่ยงเบนจากค่าจริงน้อยที่สุดซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบของการวัดนี้เรียกว่า Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R)

วิธีในการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เรียกว่า Gage R&R มีการพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

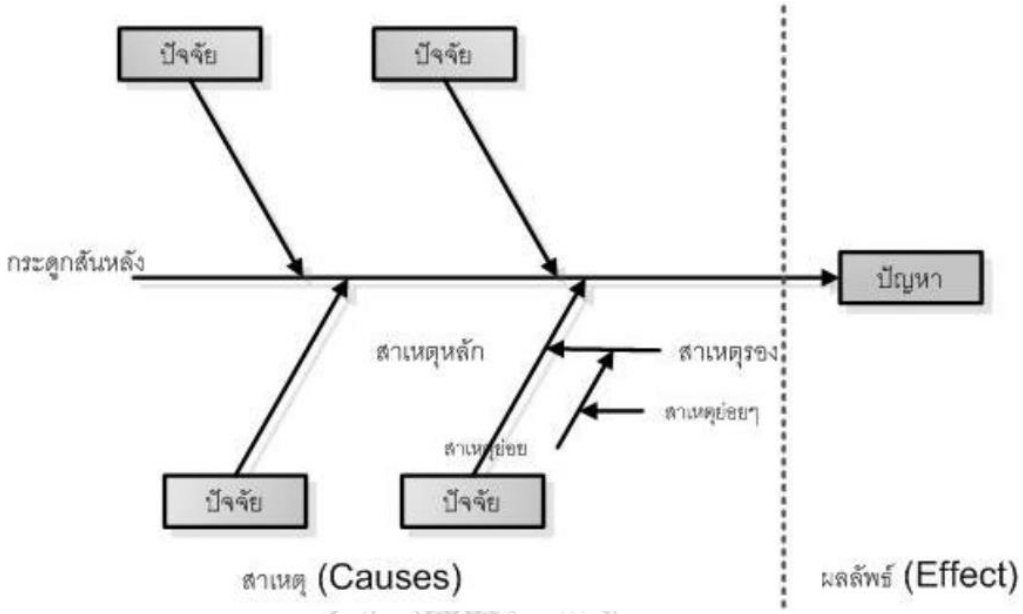
1. Repeatability แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกันซ้ำกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวัดโดยระบบการวัดที่ดีต้องสามารถให้ค่าการวัดที่มีความใกล้เคียงกันในการทำซ้ำ
2. Reproducibility แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกันแต่มีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การวัดชิ้นงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือวัดประเภทเดียวกัน แต่เปลี่ยนพนักงานวัดคนละคนกัน ซึ่งคุณสมบัตินี้จะแสดงให้เห็นถึงความผันแปรความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดโดยมีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน
3. Bias (ไบอัส) เป็นรูปแบบของค่าที่ใช้เรียกลักษณะของผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดที่มีความแตกต่างระหว่างค่าจริงที่วัดได้กับค่าเฉลี่ยของการวัดในขั้นตอนนั้น โดยมีข้อจำกัดที่ชิ้นงานที่วัดนั้นต้องวัดบนชิ้นงานประเภทเดียวกัน
4. Linearity หรือความผันแปรเชิงเส้นตรง เป็นการวิเคราะห์หรือพิจารณาค่า Bias ของการวัดข้อมูลที่เกิดจากผู้ทำการวัดเปลี่ยนแปลงขอบเขตหรือย่านของการวัดประเภทนั้นๆ
5. Stability (ความเสถียร)เป็นตัวที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า Bias เมื่อเวลาในการวัดเปลี่ยนแปลงไป

- **แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagrams)**

แผนผัง Cause and Effect Diagram หรือมีอีกชื่อเรียกหนึ่งว่า แผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) เป็นแผนฟังที่แสดงให้เห็นถึงปัจจัยแวดล้อมต่างๆที่มีความเป็นไปได้และส่งผลทำให้เกิดปัญหา รวมถึงสามารถแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุได้ด้วย โดยรูปแบบของแผนผังแสดงเหตุและผลจะช่วยให้การระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหามีระบบมากยิ่งขึ้น ซึ่งในกระบวนการวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆนั้น มีการวิเคราะห์พิจารณาแยกออกเป็น 6 ปัจจัยหรือที่เราเรียกว่า 5M1E ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงาน (Machine)

3. ปัจจัยที่เกิดจากระบบการวัด (Measurement)
4. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
5. ปัจจัยที่เกิดจากขั้นตอนและวิธีในการทำงาน (Method)
6. ปัจจัยที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมในการทำงาน (Environment)



รูปที่ 2.4 Cause and Effect Diagram

(แหล่งที่มา: http://www.psstainlessthailand.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538729227&Ntype=2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- **ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)**

ตารางแสดงเหตุและผลเป็นตารางที่มีจุดประสงค์หลักคือใช้เพื่อการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งหมด โดยการวิเคราะห์ใช้ความชำนาญและประสบการณ์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจเพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญ ซึ่งจะมีการให้คะแนนปัจจัยต่างๆดังรายละเอียดด้านล่างนี้

0 หมายถึง ปัจจัยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหา

1 หมายถึง ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหาน้อย

3 หมายถึง ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหาปานกลาง

9 หมายถึง ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหาสูง

จากการให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ข้างต้นเสร็จแล้วนั้น จะมีการนำคะแนนที่ประเมินให้ปัจจัยต่างๆมาเรียงลาดับตามรูปแบบของแผนภูมิพาเรโตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงลำดับของผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ทำให้สามารถพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลลำดับต้นๆได้โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้น (FMEA) ในขั้นตอนต่อไป

- **การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัจจัย (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)**

การวิเคราะห์รูปแบบนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้ระบุความเสี่ยงสัมพัทธ์ในขั้นตอนของการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยในกระบวนการดำเนินงานสิ่งแรกที่คำนึงถึงคือลดความเสี่ยงของปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบทำให้เกิดปัญหาขึ้นมากที่สุด และดำเนินการติดตามผลหรือแผนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการลดความเสี่ยงนั้นๆ ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัจจัยนั้นสามารถเริ่มทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ รวมไปถึงสามารถทำได้ในขั้นตอนของการคัดเลือกหาปัจจัยที่มีโอกาสส่งผล ทำให้เกิดปัญหาได้ด้วยเช่นกัน

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบสามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดหัวข้อในการพิจารณา
   - ความล้มเหลวที่สามารถเกิดขึ้นได้
   - ผลกระทบของความล้มเหลวนั้นๆ
   - สาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดความล้มเหลว
2. การประเมินให้คะแนนในหัวข้อดังต่อไปนี้
   - ประเมินระดับความรุนแรงของปัจจัย (Severity)
   - ประเมินความถี่ของการเกิดปัจจัยที่สามารถส่งผลทำให้เกิดความล้มเหลว (Occurrence)
   - ประเมินระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหาก่อนที่จะเกิดการส่งมอบ (Detection)
3. การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิดความล้มเหลวโดยเรียงลาดับตามตัวเลขความเสี่ยงที่สามารถเกิดได้ (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก S x O x D

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase: A)

ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้น เป็นขั้นตอนต่อจากการคัดเลือกปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิดปัญหา ซึ่งเป็นขั้นตอนการนำปัจจัยที่ให้ลาดับความสำคัญนั้นไปทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญที่จะส่งผลทำให้เกิดปัญหาจริงหรือไม่ และเป็นแนวทางเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการต่อไป โดยจุดประสงค์ที่สำคัญของขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหานี้เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องและตรงจุดมากยิ่งขึ้นนั่นเอง

ในขั้นตอนนี้จะมีการเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โดยการออกแบบการทดลองเพื่อนำไปสู่การทดลองและการเก็บผลการทดลอง เพื่อนำผลการทดลองนั้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติ ยกตัวอย่างเช่น กระบวนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการออกแบบการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ระดับนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่สามารถส่งผลให้เกิดปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางสถิติเช่น การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) เพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยแต่ละตัว

- **การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)**

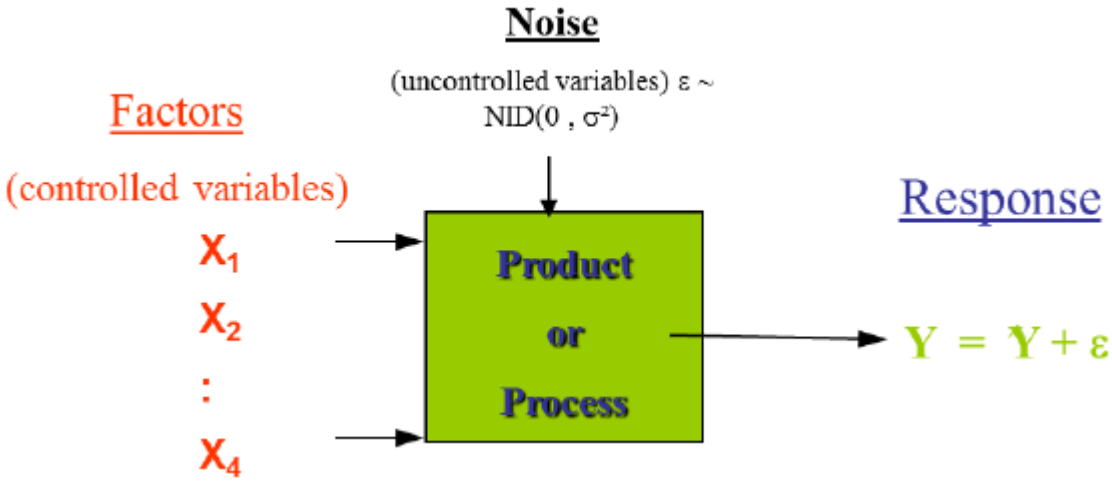
กระบวนการของการออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบการเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัยต่างๆมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างไร ซึ่งมีการดำเนินการโดยทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่นำเข้าสำหรับกระบวนการที่ต้องการศึกษาเพื่อดูว่าส่งผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากน้อยเพียงใด โดยตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัยนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ปัจจัยที่เราสามารถควบคุมได้ และไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้นั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีความเกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมในกระบวนการทำงาน เช่น อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมหรือความชื้น ส่วนปัจจัยที่เราสามารถควบคุมได้นั้น ยกตัวอย่างเช่น สภาวะในกระบวนการทำงาน (ระยะเวลาของกระบวนการผสม ,สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม, ความกว้างของ Nip Gap, จำนวนครั้งของการรีดผ่าน Two-row mill เป็นต้น), ที่มาของวัตถุดิบในกระบวนการผลิต , รูปแบบหรือชนิดเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมไปถึงความสามารถของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนและกระบวนการนั้นๆ เป็นต้น

คำศัพท์เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองมีดังนี้ (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ 2557)

- <u>ตัวแปรตอบสนอง (Responses)</u> หมายถึง ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดกระบวนการที่สนใจปรับปรุงซึ่งต้องสามารถวัดค่าได้ เช่น อัตราผลิตผลดี (yield) , สัดส่วนของเสีย เป็นต้น
- <u>ตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัย (Factors)</u> หมายถึง ตัวแปรที่สามารถควบคุมและสามารถกำหนดค่าได้ซึ่งได้มาจากการระดมสมอง โดยต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ทำการทดสอบว่ามีผลกระทบค่าตัวแปรตอบสนองที่เราสนใจหรือไม่ เช่น หากตัวแปรตอบสนอง (Y) เป็นอัตราผลิตผลดี ปัจจัยนำเข้าที่เราสนใจและจะทำการศึกษา (X) คือ อุณหภูมิ, ระยะเวลาในการทำงานของกระบวนการ, ความเข้มข้นของสารเคมี และประเภทของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น
- <u>ตัวแปรรบกวน (Noise variables)</u> หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้
- <u>ระดับของปัจจัย (Level)</u> หมายถึง ค่าที่เราวางแผนจะทำการทดสอบปัจจัยต่างๆ
- <u>สภาวะของการทดลอง (Test run)</u> หมายถึง เซ็ตหรือคอมบิเนชั่นของปัจจัยที่ระดับต่างๆ ในการทดลองแต่ละครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- แบบการทดลอง (Design) หมายถึง รูปแบบของแผนการทดลองที่กาหนดจานวนครั้งในการทดลอง เช่น แบบการทดลองแฟคทอเรียล และแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบ เป็นต้น
- เมทริกซ์การออกแบบ (Design Matrix) หมายถึง ตารางที่แสดงชุดการทดลองที่ประกอบ ไปด้วยรายละเอียดของกระบวนการTest run ต่างๆ
- ผลกระทบ (Effect) หมายถึง การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนองจะถูกวัดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนองเฉลี่ยภายใต้การทดสอบปัจจัยที่สองระดับขึ้นไป



รูปที่ 2.5 ประเภทของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานใดๆ
(แหล่งที่มา: จากเอกสารประกอบการสอนเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2557))

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง ได้แก่

1. ทดสอบผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Main Effects)
2. ทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Interaction Effects) ผลกระทบ
   ร่วมระหว่างปัจจัยมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอันตรกิริยา
3. หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองเพื่อใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ
4. สนับสนุนการปรับปรุงในเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบกระบวนการ การดำเนินงานของกระบวนการ

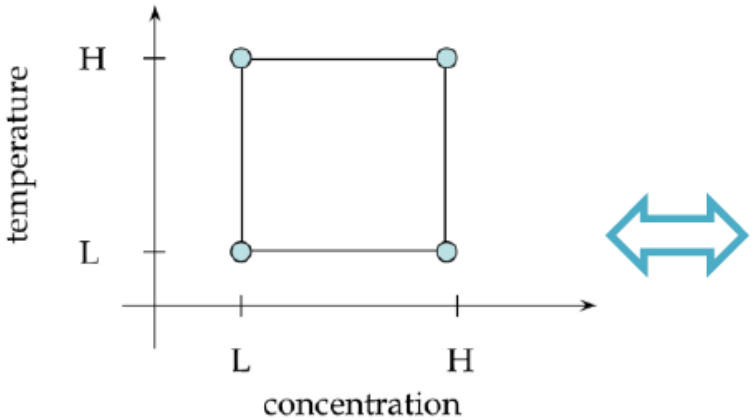
ประโยชน์ที่ได้รับจากการออกแบบการทดลอง: การออกแบบการทดลองจะเป็นการช่วยทำให้ประหยัดจำนวนครั้งในการทดลอง (Runs) ซึ่งการออกแบบการทดลองช่วยคัดเลือกรูปแบบในการทดลองเท่าที่จำเป็นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมและสามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ประเภทของรูปแบบในการออกแบบการทดลอง: รูปแบบในการออกแบบการทั้งลองนั้นมีหลากหลายประเภท แต่สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. เป็นประเภทของรูปแบบการทดลองที่ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ในข้อที่ 1 และข้อที่ 2 คือเพื่อทดลองหาตัวแปรที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ โดยในการทดสอบแต่ละปัจจัยนั้นจะมีรูปแบบในการทดสอบจำนวน 2 ระดับเพื่อประหยัดจำนวนครั้งในการทดลอง ซึ่งรูปแบบการทดลองแบบนี้ ได้แก่
   - การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ(Full Factorial design)
   - การทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial design)
2. เป็นประเภทของรูปแบบการทดลองที่ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ในข้อที่ 3 คือเพื่อทดสอบหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่สามารถส่งผลทำให้ตัวแปรตอบสนองให้ค่าที่ต้องการ โดยในการทดลองรูปแบบนี้ปัจจัยต่างๆจะมีรูปแบบในการทดสอบที่มากกว่า 2 ระดับ ซึ่งรูปแบบการทดลองแบบนี้ได้แก่
   - การทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite design : CCD)
   - การทดลองแบบ Box-Behnken

โดยในงานวิจัยนี้มีการเลือกใช้หลักการออกแบบ Central Composite design (CCD) เพื่อทดสอบหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่สามารถส่งผลทำให้ตัวแปรตอบสนองให้ค่าตามที่ต้องการ

การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป กรณีการวิเคราะห์ปัจจัยที่สองระดับ เป็นการออกแบบการทดลองวิเคราะห์ปัจจัยที่สองระดับ ที่ค่าระดับสูง (+1 หรือ high : H) และระดับต่ำ (-1 หรือ low : L) ยกตัวอย่างดังรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกรณีสองปัจจัย ซึ่งตัวอย่างในรูปเป็นการทดสอบสองปัจจัย คือ อุณหภูมิ (temperature : T) และความเข้มข้น (Concentration : C) ส่วนตัวแปรตอบสนองที่ต้องการศึกษาคือ ผลผลิต (yield: y)



Runs	Coded Values
L, L	-1,-1
L, H	-1, 1
H, L	1,-1
H, H	1, 1

รูปที่ 2.6 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ

จากรูปที่ 2.6 เมื่อทำการจัดทุกคอมบิเนชันของทั้งสองระดับของสองปัจจัยที่เลือกทดลองแล้ว จะได้แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบที่ประกอบไปด้วย 4 สภาวะการทดลองที่ระดับการทดลองแตกต่างกัน ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 แสดงเมทริกซ์การออกแบบ

ตารางที่ 2.1 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ

Run	T	C	Yield (%)
1	-	-	60
2	-	+	54
3	+	-	72
4	+	+	68

จากการออกแบบการทดลองข้างต้นนั้นควรมีการทดลองซ้ำในแต่ละระดับปัจจัยในการทดลองเพื่อทำให้ทราบถึงระดับความผิดพลาดอย่างสุ่มได้ อย่างน้อยในการออกแบบการทดลองควรมีการทดลองซ้ำสองครั้งในแต่ละระดับปัจจัย และลำดับของการทดลองนั้นควรมีการเรียงลาดับแบบสุ่มด้วยเช่นเดียวกัน เพื่อทำการลดความผิดพลาดของผลการศึกษาที่ได้รับผลกระทบจากตัวแปรรบกวน เช่น ทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิในเตาต่ำกว่าช่วงเช้า และทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิสูงในช่วงบ่าย ผลของอุณภูมิในเตาที่สามารถส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตที่ได้นั้นอาจมีการรบกวนของอุณหภูมิในอากาศในช่วงเวลาต่างๆได้ด้วยเช่นกัน ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างเมทริกซ์การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ และมีการทดลองซ้ำสองครั้งที่มีลำดับการทดลองแบบสุ่ม

ตารางที่ 2.2 เมทริกซ์การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ

Run order	Std order	T	C	Yield (%)
1	4	+	+	68
2	3	+	-	72
3	6	-	+	53
4	8	+	+	69
5	5	-	-	62
6	2	-	+	54
7	7	+	-	74
8	1	-	-	60

ขั้นตอนในการออกแบบการทดองแฟคทอเรียลเต็มรูปกรณีปัจจัยสองระดับ

1. การสร้างแบบจำลอง (Model Forming) แบบจำลองหรือสมการที่สร้างขึ้นจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของปัจจัยหรือค่าสังเกตต่างๆ
2. การกำหนดระดับให้ปัจจัย ในขั้นตอนของการกำหนดระดับของปัจจัยนั้นมี 2 แบบ คือ แบบหน่วยที่เป็นค่าจริง (Uncoded unit) ซึ่งเป็นค่าของระดับปัจจัยที่เป็นหน่วยจริง เช่น อุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส หรือความเข้มข้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง

Run	T (Celsius)	C (%)	Yield (%)
1	160	20	60
2	160	40	54
3	180	20	72
4	180	40	68

ส่วนการกำหนดปัจจัยแบบที่สอง คือ แบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded unit) ซึ่งในการกำหนดระดับของปัจจัยในรูปแบบนี้จะต้องมีการแปลงค่ารหัสจากสมการ เพื่อให้ได้ค่าดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส

Run	T	C	Yield (%)
1	-	-	60
2	-	+	54
3	+	-	72
4	+	+	68

โดยที่ - หรือ -1 คือค่าที่สอดคล้องกับระดับต่ำของปัจจัย
+ หรือ +1 คือค่าที่สอดคล้องกับระดับสูงของปัจจัย

3. การกำหนดรหัสสำหรับปัจจัยเชิงคุณภาพ ในการพิจารณาปัจจัยนั้นบางกรณีปัจจัยไม่ใช่ปัจจัยเชิงตัวเลข แต่เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา A และ B , เครื่องจักร 1 และ 2 เป็นต้นโดยที่ปัจจัยเชิงคุณภาพเหล่านี้จะต้องถูกเปลี่ยนและกำหนดให้เป็นค่ารหัส -1 หรือ +1 ก่อนนำไปวิเคราะห์

4. การทำการทดลอง (Run the Experiments) จากขั้นตอนการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้จำนวนการทดลองที่ระดับของปัจจัยต่างๆแล้วนั้น ขั้นตอนถัดไปคือการนำแบบการทดลองมาทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อเก็บข้อมูลผลขอตัวแปรตอบสนองที่ให้ค่าออกมาในช่วงการทดลองต่างๆ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองต่อไป

5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง สำหรับในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะมีขั้นตอนย่อยเบื้องต้นในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลสรุปที่ตรงกับจุดประสงค์ในการทดลองที่ตั้งไว้ ดังรูปแบบนี้

   - ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีลักษณะที่เหมาะสมและสามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอย (Analysis of Variance: ANOVA) สำหรับการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆได้หรือไม่
   - ทำการพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและกราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย
   - คำนวณค่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและผลกระทบหลักของปัจจัย
   - ทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบปัจจัยต่างๆด้วยวิธีการทางสถิติที่เรียกว่าการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing)

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ ซึ่งหลักการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างประชากรจากนั้นอาศัยการแจกแจงทางสถิติเพื่อทดสอบเกี่ยวกับสิ่งที่เราสนใจศึกษา ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) และ สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) โดยสมมติฐานหลักจะแทนด้วยสัญลักษณ์ H0 และสมมติฐานรองที่ตั้งขึ้นมาเพื่อแย้งกับสมมติฐานหลักนั้นจะแทนด้วยสัญลักษณ์ H1โดยสมมติฐานรองนี้จะถูกตั้งให้มีความสอดคล้องกับสิ่งที่อยากรู้เนื่องจากสมมติฐานที่จะทำการทดสอบนั้นเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลของประชากรทั้งหมดที่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจริงหรือเท็จ จนกว่าที่จะถูกพิสูจน์โดยการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์อย่างละเอียด แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลทั้งหมดของประชากรเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเป็นจริงหรือเท็จของสมมติฐานที่ตั้งขึ้นนั้นใช้เวลานานรวมถึงส่งผลทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นจำนวนมาก การวิจัยจึงสามารถทำได้โดยการสุ่มตัวอย่างของประชากรมาวิเคราะห์ โดยในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่เราตั้งขึ้นนั้นจะมีการพิจารณาจากค่าทางสถิติที่เรียกว่า P-value และมีการกำหนดระดับนัยสำคัญที่มีความสอดคล้องกันกับระดับความเชื่อมั่นในการทดสอบ ยกตัวอย่างเช่น กำหนดการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมัน 95% ดังนั้นระดับนัยสำคัญจะเท่ากับ 0.05 โดยการตัดสินใจการทดสอบนั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5 (Montgomery & Runger, 2010)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.5 ผลการตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ	ข้อเท็จจริงของ H0	
	H0 เป็นจริง	H0 ไม่เป็นจริง
ปฏิเสธ H0	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ตัดสินใจถูกต้อง
ไม่ปฏิเสธ H0	ตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

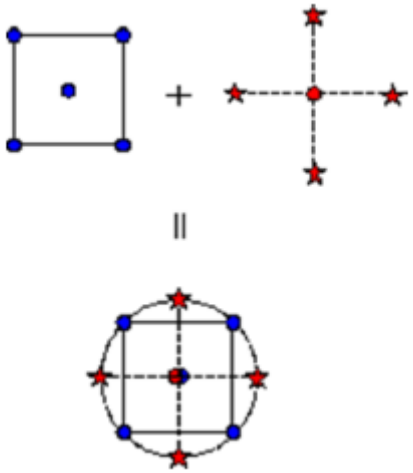
รูปแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ เป็นการออกแบบการทดลองโดยมีจุดประสงค์หลักคือเพื่อหาค่าที่เหมาะสม สำหรับแต่ละปัจจัยที่ส่งผลทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบการทดลองแบบนี้แต่ละปัจจัยจะถูกทดสอบในระดับที่มากกว่า 2 ระดับ การออกแบบการทดลองในรูปแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และ แบบการทดลองแบบ Box-Behnken

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้รูปแบบในการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ แบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ซึ่งเหมาะสมกับการสร้างตัวแบบที่มีลักษณะเป็นโพลิโนเมียลกำลังสอง (Second-order Model) ซึ่งจะประกอบด้วยกำรทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน ได้แก่

1) ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล 2^k (Factorial Runs) หรือแฟคทอเรียลบางส่วน 2^{k-p}

2) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs)

3) ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs)



รูปที่ 2.7 ส่วนของการทดลองแบบส่วนประสมกลาง
(แหล่งที่มา: จากเอกสารประกอบการสอนเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2557))

ส่วนการทดลองแฟคทอเรียลอยู่ที่ระดับ ± 1 หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลางที่ระดับ 0 ส่วนการทดลองที่ส่วนของจุดแกนจะอยู่ที่ระดับ ± α หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลาง โดยที่ $\alpha = (2^{k-p})^{1/4}$ ตารางที่ 2.6 แสดงค่า α ที่ใช้เมื่อจำนวนปัจจัยเป็นค่าต่างๆ

ตารางที่ 2.6 ค่า α กรณีของการทดลองแบบส่วนประสมกลางเมื่อมีจำนวนปัจจัยเป็น 2 – 6

จำนวนปัจจัย	ส่วนการทดลองแฟคทอเรียล	α
2	2^2	$2^{2/4}=1.414$
3	2^3	$2^{3/4}=1.682$
4	2^4	$2^{4/4}=2.000$
5	2^{5-1}	$2^{4/4}=2.000$
5	2^5	$2^{5/4}=2.378$
6	2^{6-1}	$2^{5/4}=2.378$
6	2^6	$2^{6/4}=2.828$

กรณีที่มีการศึกษาจำนวนของปัจจัยที่มีมากกว่า 4 ปัจจัยขึ้นไป สมการจากแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) จะให้ประสิทธิผลที่ดีกว่าสมการที่ได้จากการทดลองแบบ Box-Behnken

รูปที่ 2.8 แสดงแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนปัจจัย 2 – 10 ปัจจัย และจำนวนการทดลองที่สอดคล้องกับแบบการทดลองนั้นๆ

Available Response Surface Designs (with Number of Runs)

Design		Factors								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central Composite full	unblocked	13	20	31	52	90	152			
	blocked	14	20	30	54	90	160			
Central Composite half	unblocked				32	53	88	154		
	blocked				33	54	90	160		
Central composite quarter	unblocked							90	156	
	blocked							90	160	
Central Composite eighth	unblocked									158
	blocked									160
Box-Behnken	unblocked		15	27	46	54	62		130	170
	blocked			27	46	54	62		130	170

รูปที่ 2.8 แบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบที่เป็นไปได้สำหรับจำนวนปัจจัย 2 – 10 ปัจจัย
(แหล่งที่มา: จากเอกสารประกอบการสอนเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2557))

2.1.3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase: I)

สิ่งสำคัญที่ต้องทำในระยะขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้น เป็นสิ่งที่ทางทีมงานจะต้องกำหนดวิธีการปรับปรุงแก้ไขต่างๆ ดังนี้ (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2557)

1. กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงและทำการเลือกทางเลือก ที่จะนำไปปฏิบัติ
2. จากข้อมูลที่ได้จากการทำการออกแบบการทดลองและได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญนั้นแล้วนั้น จะต้องนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (KPIVs) กับตัวแปรตอบสนอง (KPOVs) จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ (Response Surface Design) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลทำให้ตัวแปรตอบสนองให้ค่าที่ต้องการหรือเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการปรับปรุง
3. ทดลองใช้วิธีการปรับปรุง (Pilot runs) หลังจากที่ได้วิธีการปรับปรุงแล้ว
4. ทำการประเมินวิธีการที่นำมาใช้ในการปรับปรุงว่าเป็นไปตามเป้าหมายในการปรับปรุงหรือไม่
5. หากวิธีการปรับปรุงนั้นให้ผลตามเป้าหมายของการปรับปรุง ให้จัดทำแผนกระบวนการและรูปแบบการทำงานใหม่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระบวนการทำงาน
6. ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อทำการตรวจสอบดูว่ารูปแบบการปรับปรุงที่ทำไปนั้นมีความคุ้มค่ามากน้อยเพียงใด

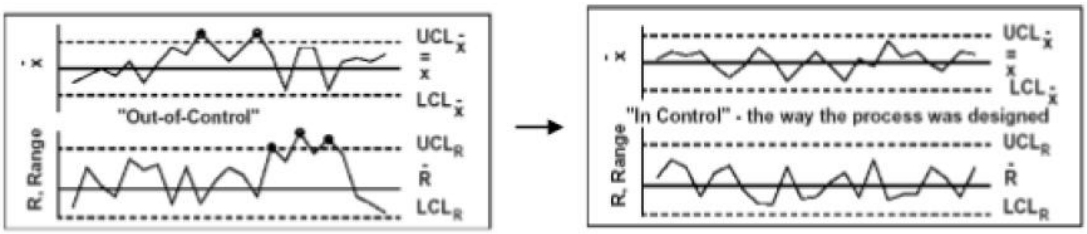
การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ (Response Surface Design) เป็นรูปแบบการรวบรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เกี่ยวของและมีประโยชน์เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อการปรับปรุง โดยที่ผลของตัวแปรตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับปัจจัยที่หลากหลาย โดยวัตถุประสงค์ของการออกแบบพื้นผิวตอบนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่สามารถส่งผลทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ (ปารเมศ ชุติมา 2545)

3.1.3.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุมกระบวนการ (Control Phase: C)

การติดตามควบคุมกระบวนการ เป็นการควบคุมกระบวนการที่ผ่านการปรับปรุงให้รักษาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยสิ่งสำคัญที่ต้องทำในขั้นตอนนี้คือการเขียนแผนควบคุมในรูปแบบต่างๆ โดยต้องระบุรายละเอียดของกระบวนการรวมไปถึงความถี่ในการตรวจติดตามและผู้รับผิดชอบให้ชัดเจน ซึ่งในกระบวนการตรวจติดตามควบคุมนั้นมีการนำเอาเครื่องมือคุณภาพพื้นฐานเข้ามาร่วมช่วยในกระบวนการทำงาน (QC 7 Tools) เช่น แผนภูมิควบคุม (Control Charts) (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ 2557)

แผนภูมิควบคุมมีจุดประสงค์สำคัญ คือ ตรวจติดตามกระบวนการและสามารถบอกให้เห็นถึงความผิดปกติของกระบวนการเมื่อมีการเกิดขึ้น เช่น มีค่าสูงหรือต่ำเกินกว่าแนวโน้มที่ควรจะเป็น โดยส่วนประกอบของแผนภูมิควบคุมประกอบไปด้วย เส้นกึ่งกลาง , ขีดควบคุมบน (Upper control limit :UCL) และขีดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) ซึ่งการกำหนด UCL และ LCL จะ

ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยและความผันแปรของข้อมูลสำหรับกระบวนการศึกษา ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างของแผนภูมิควบคุม $\bar{x}$–R

(แหล่งที่มา: จากเอกสารประกอบการสอนเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2557))

ซึ่งนอกจากแผนภูมิควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงแล้วนั้น ยังมีเครื่องมือที่นิยมใช้ในการควบคุมอีกหลากหลาย เช่น ระบบควบคุมการทำงาน 5 ส , เอกสารแสดงวิธีและรายละเอียดในการทำงาน WI และเครื่องมือคุณภาพพื้นฐานอื่นๆ

- แผ่นตรวจสอบ
- แผนผังพาเรโต
- แผนผังก้างปลา
- แผนผังการกระจาย
- แผนภูมิฮิสโตแกรม

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมยาง

2.2.1 การผสมยาง (Mixing)

เมื่อออกสูตรเคมียางเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือ การผสมยางกับสารเคมียางเข้าด้วยกัน โดยใช้เครื่องผสมซึ่งอาจจะเป็นเครื่องผสมระบบปิดหรือระบบเปิดก็ได้ ยางที่ผ่านการผสมสารเคมีแล้วจะเรียกว่า “ยางคอมพาวด์ (rubber compound)” การผสมยางนี้ก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากถ้าสารเคมีที่เติมลงไปในยางกระจายตัว (distribution) หรือแตกตัว (dispersion) ได้ไม่ดี ก็จะส่งผลโดยตรงต่อความสม่ำเสมอของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการใช้กระบวนการผสมที่แตกต่างกัน เช่น การใช้เครื่องผสมคนละชนิดกัน การใช้สภาวะการผสมที่แตกต่างกัน หรือแม้แต่การจัดลำดับการเติมสารเคมีลงไปในเครื่องผสมที่แตกต่างกัน ย่อมจะส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติที่แตกต่างกันด้วยแม้ว่าจะเป็นยางสูตรเดียวกันก็ตาม ดังนั้นผู้ผลิตจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของการผสมโดยนำยางคอมพาวด์ที่ได้จากการผสมแต่ละครั้ง (batch) ไปทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และสมบัติการคงรูปของยาง (cure characteristics) เพื่อควบคุมคุณภาพให้คงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื่องจากเทคโนโลยีการผสมยางให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่ตามที่ต้องการนั้น มีปัจจัยที่ต้องพิจารณามากมายและต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในกลไกการผสม อันได้แก่ การเข้าไปในเนื้อยางของสารตัวเติม (incorporation หรือ wetting) การกระจายตัวของสารตัวเติมในยาง (distribution) และการแตกตัวของสารตัวเติม (dispersion) รวมไปถึงปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณที่ผสม ตลอดจนลำดับการใส่สารเคมี ที่มีต่อการใช้เครื่องผสมยางต่างชนิดกัน (เครื่องผสมระบบปิด เครื่องผสมระบบเปิด หรือเครื่องผสมแบบต่อเนื่อง) ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงตัวอย่างเครื่องผสมยางแต่เพียงคร่าวๆ เพื่อให้พอทราบถึงลักษณะการทำงานของเครื่องผสมยาง

<u>เครื่องผสมยาง</u>

เครื่องผสมยางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เครื่องผสมยางแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบแบตช์ (batch mixer) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่

   (1.1) ระบบเปิด ได้แก่ เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)

   (1.2) ระบบปิด แบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ ออกเป็น 4 แบบ ได้แก่

   ก. เครื่องผสมระบบปิดแบนบูรี่ (banbury internal mixer)

   ข. เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (intermix internal mixer)

   ค. เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (variable intermeshing clearance internal mixer)

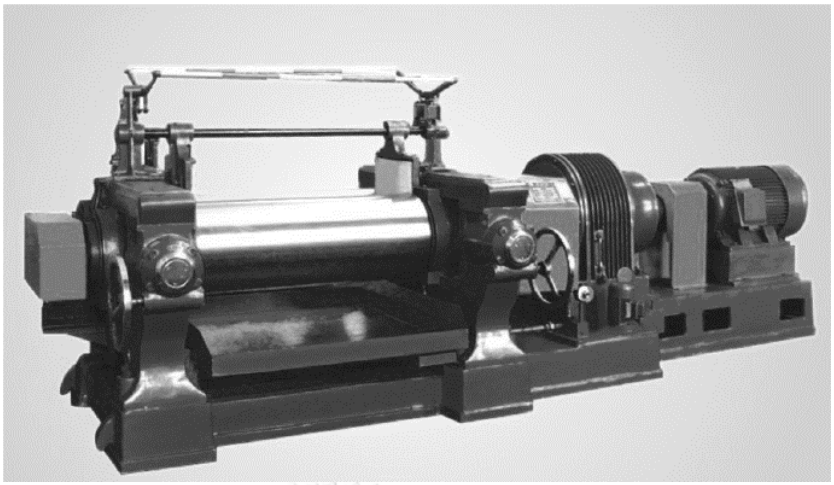
   ง. เครื่องผสมระบบปิดอื่นๆ ได้แก่ เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader)

2. เครื่องผสมยางแบบต่อเนื่อง (continuous mixer) ได้แก่ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (single screw) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (twin screw)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill)</u>

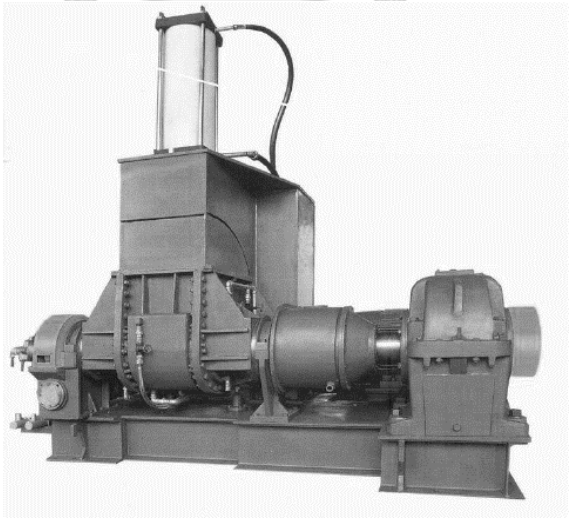
เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวนอนขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จาเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมียาง ในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้าจากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่นและพับไปมาในขณะที่เติมสารเคมีลงไปในยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญและกำลังคนในการผสม



รูปที่ 2.10 เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill)
(แหล่งที่มา: จากเอกสารให้ความรู้เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์ สถาบันพลาสติก (Plastics Institute of Thailand))

<u>เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader)</u>

เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์เป็นเครื่องผสมระบบปิดชนิดอื่นๆ ที่มีการจำหน่ายในเชิงการค้า และมีการผลิตในประเทศแถบเอเชีย แม้ว่าเครื่องนวดยางจะมีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมระบบปิดแบนบูรี แต่รูปแบบของโรเตอร์แตกต่างจากโรเตอร์ของเครื่องผสมระบบปิดแบนบูรีมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบนบูรีมาก อย่างไรก็ตามเครื่องนวดยางมีราคาต่ำกว่าเครื่องผสมระบบปิดแบนบูรีมาก จึงเป็นที่นิยมสำหรับผู้ประกอบการไทยปัจจุบัน



รูปที่ 2.11 เครื่องนวดยางหรือนีดเดอร์ (kneader)
(แหล่งที่มา: จากเอกสารให้ความรู้เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์ สถาบันพลาสติก (Plastics Institute of Thailand))

2.2.2 การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์เบื้องต้น

เมื่อผสมยางคอมพาวด์เรียบร้อยแล้ว ผู้ผลิตควรตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์เบื้องต้น เพื่อให้แน่ใจได้ว่ายางคอมพาวด์ที่ผลิตได้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดด้านคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ นอกจากนี้ การตรวจสอบคุณภาพของยางคอมพาวด์อย่างสม่ำเสมอยังเป็นการช่วยควบคุมความสม่ำเสมอทางคุณภาพของการผลิตอีกด้วย โดยทั่วไป ผู้ผลิตควรตรวจสอบสมบัติพื้นฐานต่างๆ ของยางคอมพาวด์ดังต่อไปนี้

1. ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity)

ความหนืดมูนนี่เป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของยางคอมพาวด์ที่ต้องตรวจสอบเพราะเป็นสมบัติที่บ่งชี้ความสามารถในการไหลหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยางคอมพาวด์ ยางที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่ายทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้โดยง่ายด้วยเช่นกัน และถือว่าเป็น Processability Test ที่สำคัญสำหรับยางคอมพาวด์ ทำให้สามารถคาดการณ์เบื้องต้นได้ว่ายางคอมพาวด์ที่ได้จะสามารถไหลในแม่พิมพ์หรือในกระบวนการขึ้นรูปอื่นๆได้อย่างไม่มีปัญหา

การวัดค่าความหนืดมูนนี่สามารถทำได้โดยใช้เครื่องทดสอบที่เรียกว่า “เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer)” ซึ่งมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.12 ตัวเครื่องทดสอบประกอบด้วยโรเตอร์ที่วางอยู่ภายในช่องว่างระหว่างดาย 2 อัน คือ ดายบน (upper die) และดายล่าง (lower die) โดยโรเตอร์มี 2 ขนาดให้เลือกใช้ตามระดับความหนืดของยาง กล่าวคือถ้ายางที่ทดสอบมีความหนืดสูงก็ใช้โรเตอร์ขนาดเล็ก แต่ถ้ายางที่ทดสอบมีความหนืดปานกลางหรือต่าก็ใช้โรเตอร์ขนาดใหญ่ ใส่ยางเข้าไปในช่องว่างระหว่างดายบนและดายล่าง ให้ความร้อนแก่ยาง (preheat time) 1 นาที เพื่อให้ยางมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่จะทดสอบ จากนั้นโรเตอร์จะเริ่มหมุนด้วยความเร็วประมาณ 2 รอบต่อนาทีทำให้เกิดแรงเฉือนระหว่างพื้นผิวของโรเตอร์และพื้นผิวของดาย แรงที่ใช้ในการหมุนโรเตอร์จะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนืดของยางคอมพาวด์ เครื่องจะบันทึกแรงบิดที่ต้องใช้ในการหมุนโรเตอร์ตามเวลาและแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปของ “Mooney units (MU) หรือ Mooney viscosity (MV) scale” โดยส่วนใหญ่นิยมอ่านค่าความหนืดของยางหลังจากที่โรเตอร์หมุนไป 4 นาที ยกเว้นในกรณีของยางบิวไทล์ (IIR) และยางฮาโลบิวไทล์ (XIIR) ซึ่งจะอ่านค่าความหนืดของยางหลังจากที่โรเตอร์ หมุนไป 8 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.12 เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer)
(แหล่งที่มา: จากเอกสารให้ความรู้เรื่อง เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์ สถาบันพลาสติก (Plastics Institute of Thailand))

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงผลการทดสอบค่าความหนืดมูนนี่คือ 40 ML 1+4 (100 °C)

เมื่อ 40 คือค่าความหนืดที่วัดได้ในหน่วยมูนนี่

M มาจาก Mooney

L หมายถึงโรเตอร์ขนาดใหญ่ (large) แต่ถ้าเป็นโรเตอร์ขนาดเล็กจะใช้ S (small) แทน

1 คือระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่ยางก่อนการทดสอบ

4 คือระยะเวลาที่อ่านค่าความหนืด (มีค่าเท่ากับ 8 สำหรับยางบิวไทล์)

100°C คืออุณหภูมิของการทดสอบ (มีค่าเท่ากับ 125°C สำหรับยาง EPDM เป็นต้น)

2. ลักษณะการวัลคาไนซ์ (Cure characteristics)

นอกจากสมบัติการไหลแล้ว ลักษณะการวัลคาไนซ์ เช่น ระยะเวลาสกอร์ช (Scorch time) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (Curing time) ก็จัดเป็นสมบัติสำคัญของยางคอมพาวด์ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต เพราะถ้ายางเกิดการวัลคาไนซ์เร็วเกินไปหรือมีระยะเวลาสกอร์ชที่สั้นเกินไปก็อาจก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างการไหลขึ้นรูปได้ เช่น ยางไหลได้ไม่เต็มแม่พิมพ์ ดังนั้น ในการออกสูตรเคมียาง จึงต้องออกสูตรให้ยางคอมพาวด์มีระยะเวลาสกอร์ชที่ยาวเพียงพอที่จะไม่ก่อให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิต และยางคอมพาวด์ก็ควรจะมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่สั้นเพื่อทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง และเพิ่มผลิตภาพการผลิต

Chulalongkorn University

ยิ่งไปกว่านั้น การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางยังเป็นหนึ่งในขั้นตอนของการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตอีกด้วย เช่น หากมีการชั่งน้ำหนักของสารเคมีในกลุ่มที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ผิด หรืออาจเติมสารเคมีดังกล่าวผิดขั้นตอนก็จะส่งผลทำให้ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางผิดปกติได้ ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางมี 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง (Osciilating disc rheometer, ODR) และเครื่องรีโอมิเตอร์แบบดายเคลื่อนที่ (Moving die rheometer, MDR)

3. การทดสอบความแข็ง

ความแข็ง (Hardness) ในที่นี้ หมายถึง การต้านทานการเปลี่ยนรูป (Deformation) ของวัสดุ ซึ่งค่าที่วัดได้จากการทดสอบจะไม่ใช่ค่าสัมบูรณ์แต่จะเป็นค่าในเชิงเปรียบเทียบ (Relative term) ค่าความแข็งที่กล่าวถึงนี้จะแตกต่างไปจากค่าความต้านทานการขัดสี (Abrasion resistance) หรือค่าความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) ของวัสดุ ยกตัวอย่างเช่น พอลิสไตรีนจัดเป็นวัสดุที่มีความแข็ง (Hardness) สูง แต่ขณะเดียวกันก็มีความต้านทานการขัดสีต่ำ

4. ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความหนาแน่น

โดยนิยามแล้วค่าความถ่วงจาเพาะ (Specific gravity) ของพอลิเมอร์จะหมายถึง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักของวัสดุพอลิเมอร์ที่ทดสอบเทียบกับน้ำหนักของน้าที่มีปริมาตรเท่าวัสดุ ณ อุณหภูมิที่กำหนด (เช่น 23 °C) ดังนั้น ค่าความถ่วงจำเพาะจึงเป็นค่าที่ไม่มีหน่วยในขณะที่ค่าความหนาแน่น (Density) จะหมายถึง น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัสดุนั้น ซึ่งจะเป็นค่าที่มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต จะเห็นได้ว่าค่าทั้ง 2 มีความหมายต่างกันแต่ค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมากและบางครั้ง มักจะมีการนำตัวเลขไปใช้อ้างอิงสลับกันค่าความถ่วงจำเพาะถือเป็นจุดเด่นของวัสดุพอลิเมอร์ เนื่องจากพอลิเมอร์จะมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทอื่น ๆ เช่น โลหะ หรือเซรามิกส์ นอกจากนั้นในบางกรณีผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์จะมีการเติมสารเติมแต่ง (Additive) ลงไปด้วยซึ่งจะส่งผลให้ค่าความถ่วงจาเพาะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การวัดความถ่วงจาเพาะหรือความหนาแน่นของพอลิเมอร์จึงมีความสำคัญในแง่ของการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำซิกซ์ ซิกมาเข้าไปใช้ในการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพในส่วนของกระบวนการสำหรับอุตสาหกรรมเคมี โดยซิกซ์ ซิกมาช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับกระบวนการทางเคมีในแง่ต่างๆ ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้ในกระบวนการประกอบไปด้วยเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพต่างๆ เช่น 5M1E , PLS และ DOE โดยหลังจากการปรับปรุงกระบวนการตามรูปแบบและแนวคิดของซิกซ์ซิกมา บริษัทกรณีศึกษาได้ประสบความสำเร็จในการวิเคราะห์เพื่อย่อยปัญหาต่างๆและแก้ปัญหาได้อย่างถูกจุดเพื่อจุดประสงค์ที่สำคัญ คือการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง (Kim et al., 2003)

การนำซิกซ์ ซิกมา เข้ามาปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพในส่วนของกระบวนการทำงานในห้องปฏิบัติการสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสุขภาพ โดยในงานวิจัยได้มีการนำแนวคิดของลีนมาพัฒนาร่วมกับซิกซ์ ซิกมา ซึ่งส่งผลให้กระบวนการทำงานในห้องปฏิบัติการมีประสิทธิภาพมากขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและปรับปรุงกระบวนการทำงานในห้องปฏิบัติการนี้มีการวิเคราะห์ในเรื่องของเวลา หรือการทำ Work process study เพื่อกำจัดเวลาที่เสียเปล่าในระหว่างกระบวนการทำงาน (Agarwal et al., 2016)

การนำซิกซ์ ซิกมา มาปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ประเภทกระดาษทิชชูม้วนใหญ่เพื่อลดความแปรปรวนของคุณสมบัติ 4 ประเภท โดยได้มีการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและผลตามกระบวนการทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งผลสรุปสาเหตุของความแปรปรวนสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต และการจัดมาตรฐานการทำงาน นอกจากนั้นผู้วิจัยได้มีการออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการทาง DOE เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ (ศิรเวทย์ อัศวไชยวงศ์, 2556)

การนำหลักการซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์และดำเนินการมีการวางแผนและดำเนินการตาม 5 ขั้นตอนหลักของซิกซ์ ซิกมา คือ DMAIC ซึ่งมีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญจากนั้นได้ทำการทดลองตามรูปแบบการทดลองที่ออกแบบไว้ หลังกระบวนการปรับปรุงค่าเฉลี่ยความชื้นของเม็ดพลาสติกลดลง 0.003% (รุจิรา อุไรพงษ์, 2552)

การนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์ โดยหลักการจะยึดการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ ซึ่งมีการวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดของเสียตามรูปแบบกระบวนการคิดของซิกซ์ ซิกมา หลังจากการดำเนินการตามแบบแผนที่วางไว้ได้มีการวัดผลเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงพบว่า ของเสียจากกระบวนการพิมพ์ลดลงจาก 11.68% เหลือ 1.53% ซึ่งสามารถลดของเสียได้ถึง 86.90% (วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554)

การนำทฤษฎีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) มาศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์และอันตรกิริยาของการผสมยางยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) และ เขม่าดำ (Carbon Black) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ (Narongthong, Sae-Oui, Sirisinha, & Technology, 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

3.1 บทนำ

ระยะการนิยามปัญหา ถือเป็นขั้นตอนแรกและเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับหลักการซิกซ์ ซิกมา เพื่อกำหนดจุดประสงค์และเป้าหมายที่ชัดเจนในการปรับปรุงคุณภาพหรือกระบวนการในการทำงานต่างๆ โดยการนิยามปัญหานั้นต้องเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ มีอิทธิพลต่อบริษัทหรือองค์กร และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงจุด ซึ่งการนิยามปัญหาต้องอาศัยการระดมความคิดจากทีมงานที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน เพื่อให้การนิยามปัญหามีมุมมองที่หลากหลายและสามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาได้อย่าง ถูกต้อง ในขั้นตอนการนิยามปัญหาประกอบไปด้วย การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย , การศึกษากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิต, การกำหนดปัญหา รวมถึงการกำหนดตัวชี้วัดในการปรับปรุงคุณภาพหรือกระบวนการที่ทำงานศึกษาวิจัย

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท อาศัยหลักการกลไกของการผสม โดยการผสมสารตัวเติมและสารเคมีต่างๆ ให้เข้ากับยาง เกิดผ่านกลไก 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การเข้าไปในเนื้อยางของสารเคมี (Incorporation)
2. การแตกตัวของสารเคมีหรือสารตัวเติมเสริมแรง (Dispersion)
3. การกระจายตัวของสารเคมี (Distribution)

โดยในแต่ละกระบวนการข้างต้น มีเป้าหมายหลัก คือ

- เพื่อให้ส่วนประกอบ (สารเติมแต่งและสารเคมีต่างๆ) ผสมเข้าไปในเนื้อยางได้อย่างทั่วถึงและมีการกระจายตัว (Distribution) และการแตกตัว (Dispersion) ที่ดีในเนื้อยาง
- เพื่อให้ยางคอมพาวด์มีคุณภาพที่สม่ำเสมอ ไม่เกิดความแปรปรวนระหว่างแบท (Batch) การผลิต

ซึ่งสภาวะที่ควบคุมและส่งผลต่อคุณภาพของการผสมสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทมีดังนี้

1. ชนิดของเครื่องผสม (Mixer type)
2. อุณหภูมิ (Temperature)
3. ความเร็วรอบของโรเตอร์ (Rotor speed)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. แรงดันของแท่งกด (Ram pressure)

5. สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม (Fill factor)

6. เวลาของการผสม (Mixing time)

7. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งสองลูก (Nip Gap)

8. จำนวนรอบที่รีดผ่าน Two-roll mill

กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 Flow Process of EPDM non-oil มาสเตอร์แบท
(แหล่งที่มา: นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล, 2562)

รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท สามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับที่จะใช้ผสม เช่น ยาง, สารเคมี และ สารตัวเติมต่างๆ
2. เตรียมเครื่องผสมแบบปิด Kneader (Step 1) ให้พร้อมใช้งานที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นใส่วัตถุดิบที่ได้เตรียมไว้จากขั้นแรก โดยเริ่มจาก การใส่ยางก่อน masticate เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ยางเริ่มไหลและสามารถ Incorporate สารต่างๆที่จะใส่ในลำดับถัดไปได้

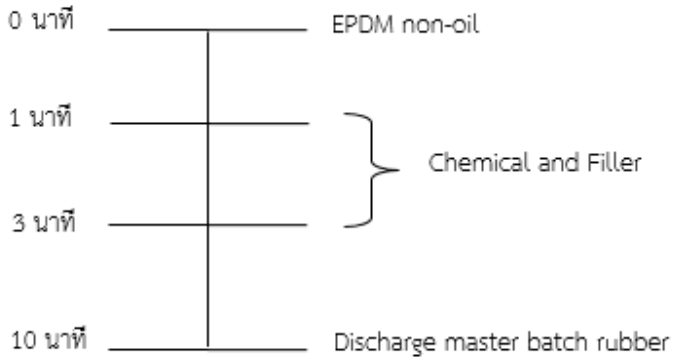
3. เมื่อใส่ยางและสารต่างๆครบหมดแล้ว ทำการจับเวลาของการผสมเป็นเวลา 10 นาที
4. จากนั้นนำไปรีดเก็บด้วย เครื่องผสมแบบเปิด Two-roll mill (Step 2) จำนวน 8 รอบ ที่ Nip Gap ~1.65 mm.
5. นำยางที่ได้จาก Step 2 ไปพึ่งทิ้งไว้จนเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง และตรวจสอบ defect ของผลิตภัณฑ์ ที่ได้เพื่อดูความเข้ากันได้เบื่องต้นด้วยตาเปล่า รวมไปถึงการตัด Sample หัว-กลาง-ท้าย ของแต่ละล็อตการผลิตไปทำการ QC ด้วยเครื่อง Mooney viscometer
6. เมื่อตรวจสอบเสร็จเรียบร้อย ทำการพับเก็บเพื่อรอการจัดส่งต่อไป

สภาวะในการควบคุมในแต่ละขั้นตอนสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

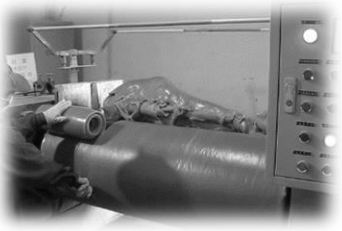
<u>การผสมขั้นตอนที่1 (Mixing in Kneader):</u>

- Set temperature : 80°C (Fix.)
- Fill factor : 0.80
- Rotor speed : rotor 30 rpm (ลูกหน้า), 23 rpm (ลูกหลัง) (Fix.)
- Mixing time : 10 นาที

<u>ลำดับการผสมของขั้นตอนที่1:</u>



<u>การผสมขั้นตอนที่2 (Milling by two-roll mill):</u>



- Set temperature : อุณหภูมิห้อง (Fix.)
- Mixing time : รีดชิ้นงานผ่าน mill 8 รอบ
- Nip Gap : 1.65 mm

หมายเหตุ : Fix หมายความว่า ไม่สามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขได้ เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือ

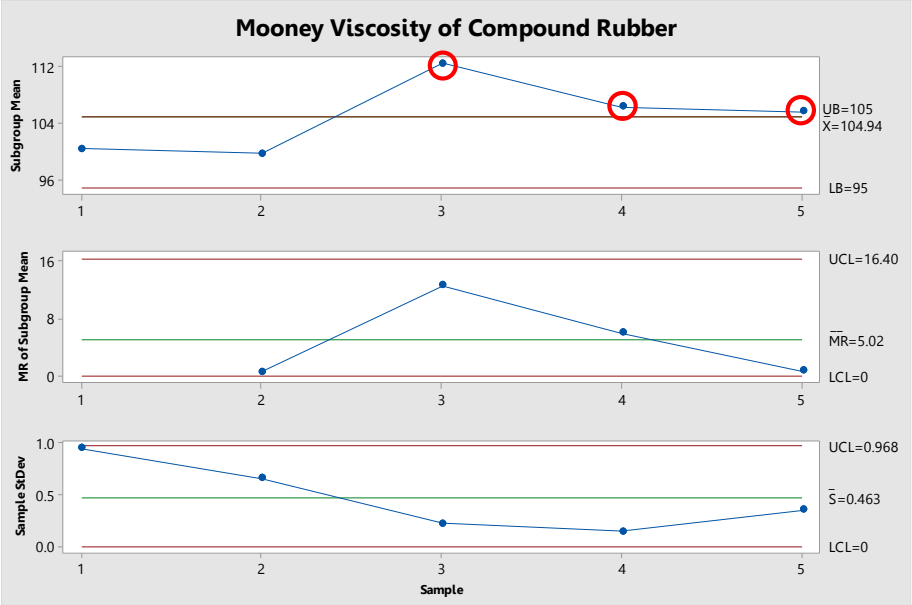
โดยเกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิตที่วัดผลจากเครื่องวิเคราะห์ทางรีโอโลยี (Mooney viscometer) ที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอน	หน่วย	ค่าที่ยอมรับได้
1	-	สังเกตด้วยตาเปล่า มาสเตอร์แบทที่ได้ต้องมีลักษณะเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แตกละเอียดเหมือนดินร่วน
2	MU (Mooney Unit)	ไม่มีรอยแยกหรือแตกที่ผิว, 95 > ความหนืด > 105

3.3 การกำหนดปัญหา

จากการศึกษาปัญหาในปัจจุบันพบว่ากระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ให้ผลผลิตที่มีความผันแปรสูง เกิดความผิดปกติ (out of spec) ของค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ซึ่งเป็นค่าสำหรับใช้ควบคุมคุณภาพ (QC) การผสมในแต่ละล็อตการผลิตยางคอมพาวด์และยางมาสเตอร์แบท ผิวของผลิตภัณฑ์ในล็อตที่มีความผันแปรสูง เกิดรอยแยกและแตก เนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่าง ยาง และ สารตัวเติม (Filler ไม่กระจายและแตกตัว) ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 Control chart - Mooney viscosity มีค่าเกินเกณฑ์ที่ทางโรงงานได้กำหนดไว้

Product from Step1 Product from Step2

รูปที่ 3.3 สภาพของผลิตภัณฑ์ในล็อตที่เกิดความผิดปกติ (out of spec)
(แหล่งที่มา: นภนิกันต์ วงศ์ทรัพย์สกุล, 2562)

จากความผันแปรที่เกิดขึ้นของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ทางผู้วิจัยได้มาคำนวณค่าใช้จ่ายของ material cost/batch ~8,200 บาท (ยังไม่รวมค่าใช้จ่ายอื่นๆ อาทิเช่น ค่าแรงงาน, ค่าไฟฟ้า และค่าเสื่อมต่างๆ) ที่ต้องสูญเสียไปหากสินค้าที่ผสมเสียหาย หรือ ไม่สามารถปรับแก้ได้ หรือ rework ได้

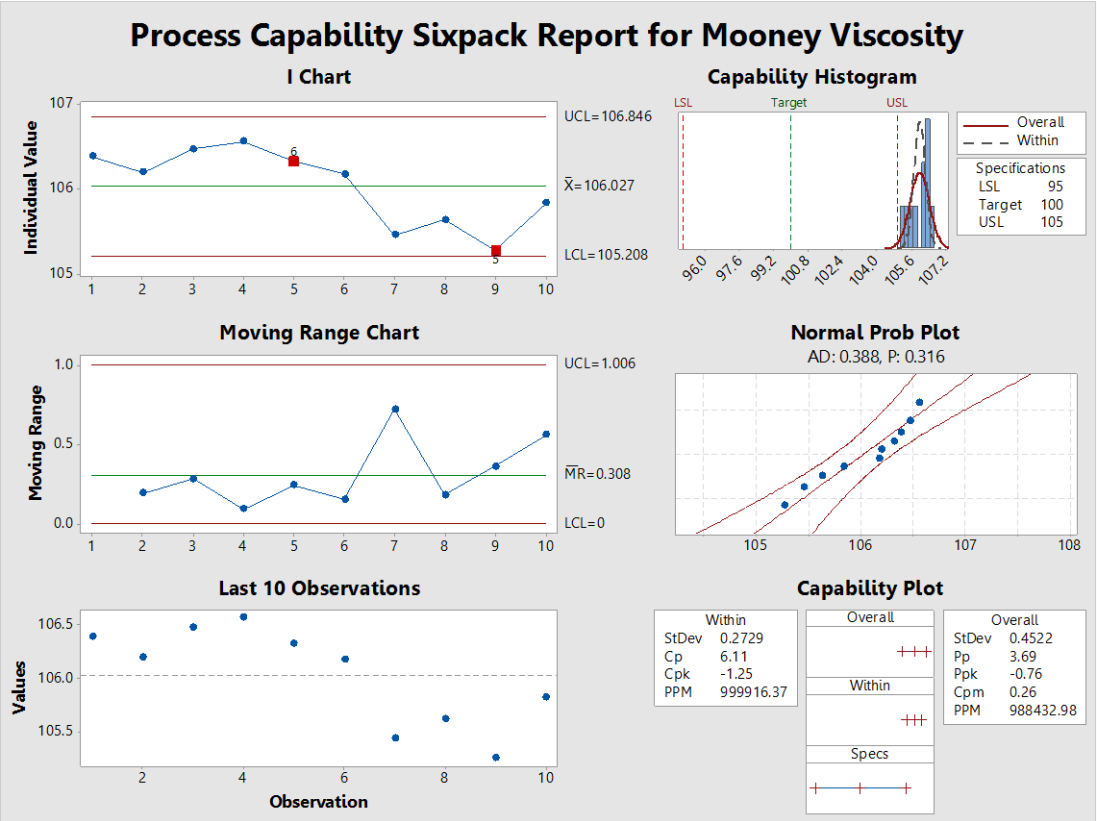
ในส่วนของ product cycle time ในล็อตการผลิตปกติ จะอยู่ที่ 27-30 min/batch ในล็อตการผลิตที่ผิดปกติ (เกิดความผันแปรของกระบวนการ) และต้องทำการปรับแก้ไข (rework) จะใช้เวลามากกว่า 40 min/batch จะเห็นได้ว่า ถึงแม้จะปรับแก้ด้วยการมาทำการ rework ได้ แต่ก็ทำให้ product cycle time เพิ่มสูงขึ้น และไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ เพราะไม่ได้ศึกษาว่า จริงๆแล้วปัจจัยใดเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลมากที่สุดต่อคุณภาพการผสม และทำการปรับปรุงแก้ไขจากปัจจัยหลักนั้น ไม่จำต้องปรับแก้ทุกปัจจัยก็ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้วยสาเหตุเหล่านี้ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปัญหาของบริษัทกรณีศึกษามานั้น พบว่าผลผลิตที่ได้มีความผันแปรสูง ซึ่งเกินค่า upper spec ที่ทางโรงงานได้ตั้งเอาไว้ และเมื่อนำผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท หลังจากการปรับปรุงของทางโรงงานโดยการปรับปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อคุณภาพการผสมหลายๆตัวพร้อมๆกัน พบว่าค่า Mooney viscosity (ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งบอกถึงคุณภาพการผสมได้เบื้องต้น) ที่ได้ยังคงมีค่าสูงอยู่และห่างจากค่าเป้าหมายเดิมอยู่มาก

เมื่อนำผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท หลังจากการปรับปรุงของทางโรงงานมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยแสดงดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 Process Capability Sixpack Report หลังจากการปรับปรุงของทางโรงงาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าผลผลิตหลังจากการปรับปรุงของทางโรงงานที่ได้จากกระบวนการผสมยางEPDM non-oil มาสเตอร์แบท นั้นมีการแจกแจงแบบปกติ และค่าเฉลี่ยของความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เท่ากับ 106.027 ซึ่งยังคงค่อนข้างสูง และมากกว่าค่า spec limit ที่ทางโรงงานคาดหวังหรือได้ตั้งเกณฑ์เอาไว้ แสดงให้เห็นว่าจากข้อมูลผลผลิตที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความสามารถของกระบวนการได้ โดยมีค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cp_k) เท่ากับ -1.25 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก เพราะความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยและค่าเป้าหมาย ดังนั้นปัญหาด้านคุณภาพสำหรับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท จึงถูกนำมาพิจารณาปรับปรุงในงานวิจัยนี้

3.4 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด

ปัญหาที่จะดำเนินการแก้ไข คือ ปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ **ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity)** ของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ซึ่งถูกวัดได้ด้วยเครื่อง Mooney viscometer ที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมยาง เนื่องด้วยราคาที่ถูกกว่าเครื่องวัดสมบัติทางรีโอโลยี (rheological property) ประเภทอื่นๆ ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน และใช้เวลาวัดไม่นานจึงเหมาะสำหรับงานควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ยางคอมพาวด์เบื่องต้นได้เป็นอย่างดี โดยผลผลิตของกระบวนการต้องมีค่าเฉลี่ย Mooney viscosity ลู่เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากยิ่งขึ้น โดยดูจากค่า Cp_k ของกระบวนการ (ควรมีค่ามากกว่า 1.33) ซึ่งปัจจุบันให้ค่าเฉลี่ยความหนืดผลผลิตอยู่ที่ 106.02 ซึ่งมากกว่าค่า spec limit (95-105 MU) และค่าเป้าหมาย (100 MU), ค่า Cp_k ของกระกระบวนการปัจจุบันอยู่ที่ -1.25

3.5 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในขั้นตอนการจัดตั้งคณะทำงานสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกคณะทำงานจากหลากหลายหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยพิจารณาจากตำแหน่งหน้าที่ ประสบการณ์ ความรู้ ความสามารถและความชำนาญในกระบวนการวิเคราะห์ผลและกระบวนการผลิต เพื่อเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการระดมความคิดในการแก้ปัญหาด้วยเครื่องมือต่างๆ เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 3.2 และภาคผนวก ข (ตาราง ข.3) ซึ่งผู้วิจัยทำงานอยู่ในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัยศูนย์วิจัยเทคโนโลยียางและเป็นที่ปรึกษาให้กับโรงงานกรณีศึกษาในด้านการพัฒนาสูตรและปรับปรุงกระบวนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 คณะทำงานสำหรับวิจัยในหน่วยต่างๆ

ตำแหน่ง	หน่วยงาน
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	ฝ่ายผลิต
หัวหน้าฝ่ายผลิต	ฝ่ายผลิต
วิศวกรฝ่ายผลิต	ฝ่ายผลิต
พนักงานฝ่ายผลิต	ฝ่ายผลิต
ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
นักวิจัยและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ยาง (ผู้วิจัย)	ที่ปรึกษาฝ่ายพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต

3.6 สรุประยะนิยามปัญหา

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท รวมถึงศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ได้กำหนดปัญหาและขอบเขตของงานวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท คือ จากการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจุบันพบว่า กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทให้ค่าความหนืดของผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยมีค่าเฉลี่ย Mooney viscosity (ค่าความหนืด) ของผลผลิตของกระบวนการแตกต่างจากค่าเป้าหมายอยู่มาก ซึ่งค่าเป้าหมายที่ 100 MU นั่นได้ถูกกำหนดขึ้นโดยทางโรงงานและทางผู้วิจัยและทีมงานก็คิดเห็นว่ามีความเหมาะสมอยู่แล้ว สาเหตุเพราะ 1. เป็นค่าที่ถูกพิสูจน์แล้วจากทางลูกค้าว่าให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี สามารถนำผลิตภัณฑ์มาสเตอร์แบทไปใช้ต่อในกระบวนการถัดไป ได้อย่างไม่มีปัญหาใดๆ 2. เป็นค่าที่ไม่สูงและไม่ต่ำจนเกินไปและอยู่กึ่งกลางของ spec limit ที่ทางลูกค้าได้กำหนดไว้สำหรับผลิตภัณฑ์ยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทสูตรดังกล่าว หากค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทมีค่าที่สูงเกินไป (สูงเกิน spec limit ที่กำหนด) นั้นเกิดได้จาก 2 สาเหตุ คือ 1. สภาวะในการผสมไม่ดี ทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันของสารตัวเติมในเนื้อยาง 2. มีการใส่ยางหรือสารตัวเติมมากเกินกว่าปริมาณที่กำหนดในแบทการผลิตนั้นหรืออาจมีสารอื่นเจือปนในระหว่างการผสม และในทางกลับกันถ้าหากค่าความหนืดมีค่าที่ต่ำผิดปกติก็สามารถเกิดได้จาก 2 สาเหตุเช่นเดียวกัน คือ 1. สภาวะในการผสมไม่เหมาะสม ผสมนานไปอาจทำให้เนื้อยางเกิดการเสียสภาพเนื่องจากสายโซ่ที่สั้นลง (chain scission) มาก ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพการผสมที่ได้และสมบัติของผลิตภัณฑ์สุดท้าย 2. ยางหรือสารตัวเติมบางตัวที่ใส่อาจมีปริมาณบางส่วนหายไป เป็นต้น ซึ่งการ Out of spec ของผลิตภัณฑ์ครั้งนี้ ส่งผลให้ค่า Cp_k ของกระกระบวนการอยู่ที่ -1.25 โดยปัจจัยหลักที่ได้ทำการวิเคราะห์ร่วมกับคณะทำงาน พบว่าปัจจัยที่มีความเป็นไปได้สูงที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ สภาวะการผสมที่ไม่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยในการผสมขั้นตอนที่ 1 ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature), ความเร็วรอบของโรเตอร์ (Rotor speed), แรงดันของแท่งกด (Ram pressure), สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม (Fill factor) และเวลาของการผสม (Mixing time) ในการผสมขั้นตอนที่ 2 ได้แก่ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งสองลูก (Nip Gap) และ จำนวนรอบที่รีดผ่าน Two-roll-mill ดังนั้นจุดประสงค์หลักสำหรับงานวิจัยนี้คือการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผสมยางเพื่อที่จะปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ซึ่งจะเป็นตัวที่บ่งบอกชี้และบอกเป็นนัยถึงคุณภาพการผสม ความถูกต้องของการผลิต และ ความสามารถในการไหลเมื่อถูกนำไปใช้งานต่อในกระบวนการถัดไปของยางมาสเตอร์แบท โดยต้องมีค่าเฉลี่ย Mooney viscosity ของผลผลิตของกระบวนการ ลู่เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากยิ่งขึ้น และมีค่า Cp_k ของกระบวนการ มากกว่า 1.33

บทที่ 4
ระยะการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

4.1 บทนำ

จากการนิยามปัญหาตามหลักการของ ซิกซ์ ซิกมา ที่ผ่านมาแล้วในบทที่ 3 ขั้นตอนถัดไป คือ ระยะการตรวจวัดปัญหา ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้หลักการวิเคราะห์และเครื่องมือทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆที่สามารถส่งผลถึงปัญหา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยและทีมเริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยวิเคราะห์ความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Supplier A และ B) รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาทำการทดลองมีคุณภาพที่ดี และไม่มีความแตกต่างหรือความผันแปรจากการเลือกใช้แหล่งที่มาของวัตถุดิบและล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของยางมาสเตอร์แบทที่ได้จากกระบวนการผสม ซึ่งได้แก่ เครื่องวัดสมบัติทางรีโอโลยี (rheological property) ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำ หลังจากการวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทและระบบการตรวจวัดค่าทางรีโอโลยีเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและรวบรวมข้อมูลต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผสมยางมาสเตอร์แบทและยางคอมพาวด์ ซึ่งเป็นการระดมสมองจากคณะทำงาน เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่สามารถเป็นไปได้ และส่งผลทำให้ผลผลิตที่ได้เกิดการ out of spec และการเกิด defect ที่ผิวของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากความไม่เข้ากันระหว่างยางและสารตัวเติมที่ถูกใส่เข้าไปตามที่ได้นิยามปัญหาไป โดยจุดประสงค์ในการระดมสมองจากคณะทำงานเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความถูกต้อง เหมาะสม และเกี่ยวข้อง ที่ส่งผลทำให้ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ คือ การวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) จากนั้นวิเคราะห์เพื่อให้คะแนนเรียงลำดับความสำคัญของสาเหตุและผลที่ได้มีการระดมสมองไว้ (Cause and effect matrix) และทำการคัดกรองปัจจัยนำเข้าด้วย FMEA เพื่อให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสมและมีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

4.2 การวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ในกระบวนการผสมผลิตภัณฑ์มาสเตอร์แบทยางหรือยางคอมพาวด์นั้น การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำมาเข้ากระบวนการผสมนั้นถือมีความสาคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ออกมา ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Supplier A และ B)

รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อตการผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย เพื่อให้แน่ใจถึงคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาทำการทดลองว่ามีคุณภาพที่ดี และไม่มีความแตกต่างหรือความผันแปรจากการเลือกใช้แหล่งที่มาของวัตถุดิบที่และล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน โดยในการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบนั้นผู้วิจัยได้นำค่าการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยีของยาง จากเครื่องมือวิเคราะห์Mooney Viscometer เป็นตัวหลักในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าที่วัดได้ออกมาก็คือ ค่าความหนืด (Mooney Viscosity) และเลือกจำนวนล็อตเพื่อนำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 10 ล็อตจากแหล่งที่มา A และ B ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับ (Specification) สำหรับคุณภาพของวัตถุดิบ คือ ต้องมีค่า Mooney Viscometer ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mooney viscometer มีค่าตรงตาม Spec Sheet ที่กำหนด เพื่อให้มั่นใจว่า วัตถุดิบมีคุณภาพตามมาตรฐานและความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของ Supplier และ ล็อตการผลิต จะไม่ส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

4.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A (Lot by Lot)

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

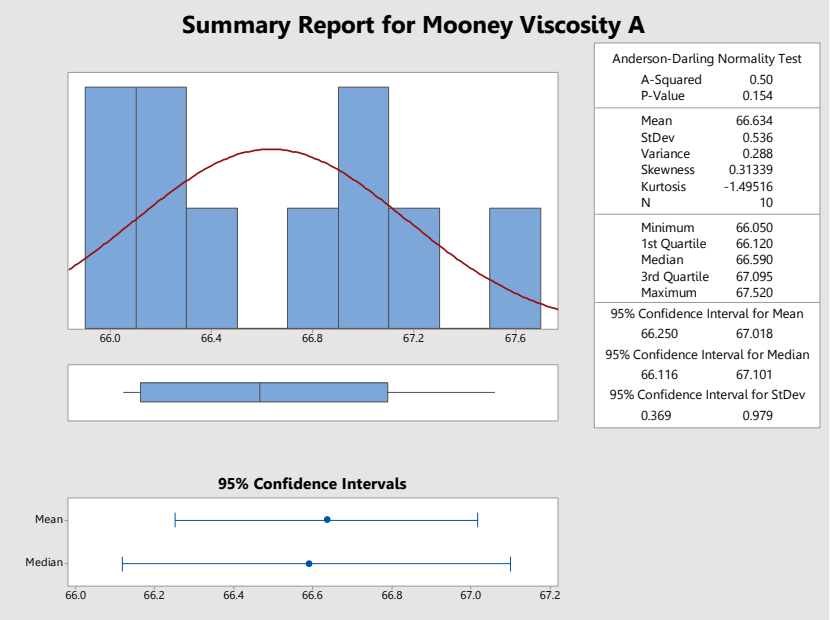
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ Mooney Viscosity ของวัตถุดิบยางจากแหล่งที่มา A จำนวน 10 ล็อต

Lot no.	Mooney Viscosity A (MU)
1	66.09
2	67.08
3	67.14
4	66.75
5	66.13
6	67.52
7	66.43
8	66.05
9	67.02
10	66.13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา A จำนวน 10 ล็อตจะเห็นว่า Mooney Viscosity มีค่าอยู่ระหว่างเกณฑ์ที่กำหนด คือ 65-70 MU (ASTM D1646) สำหรับในทุกล็อต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบจาก แหล่งที่มา A มีคุณภาพที่ดีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้ตั้งไว้ จากนั้นผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์ มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของล็อตการผลิตว่ามีมากน้อย เพียงใด เนื่องจากต้องการความมั่นใจในแง่ของความผันแปรของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนผสม ที่จะไม่ส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม

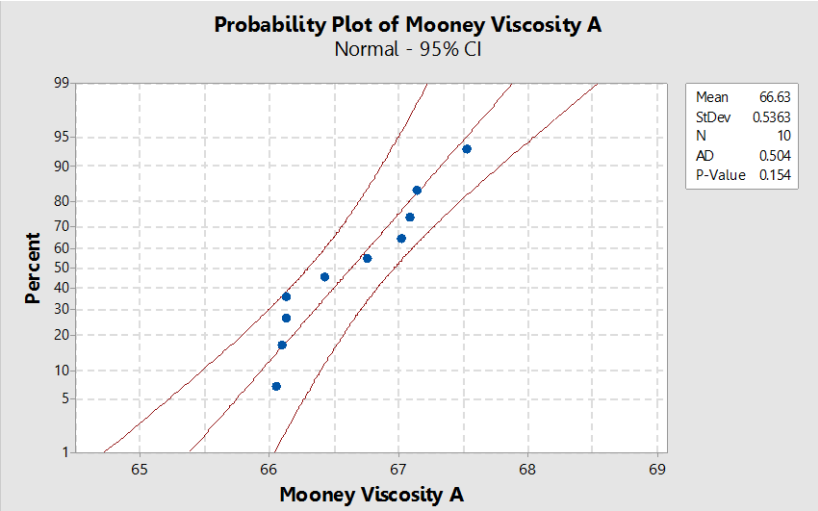
เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการปรับค่าสเปคของผลผลิตให้ลู่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย และลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม โดยผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแสดงดังรูป ที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบจากค่า Mooney Viscosity ของแหล่งที่มา A

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้อยู่ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.154 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างจากล็อตการผลิตของแหล่งที่มา A ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยี Mooney Viscometer โดยให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.634 และ ความผันแปร (S.D) เท่ากับ 0.536 ซึ่งได้มีการยืนยันว่าผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา A นั้นมีการแจกแจง ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยการวิเคราะห์ด้วย Probability plot ดังรูปที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.2 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot

รูปที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบกราฟ Probability plot จะเห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ภายใต้ขอบเขตช่วง 95% ความเชื่อมั่น ซึ่งสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal distribution

4.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B (Lot by Lot)

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

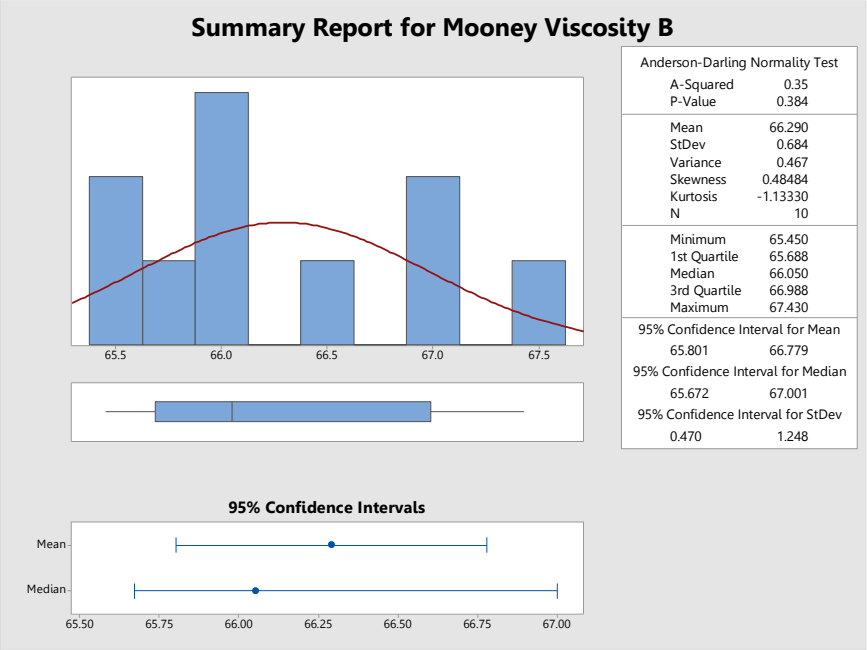
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ Mooney Viscosity ของวัตถุดิบยางจากแหล่งที่มา B จำนวน 10 ล็อต

Lot no.	Mooney Viscosity B (MU)
1	67.43
2	66.07
3	65.56
4	66.03
5	67.10
6	65.45
7	65.73
8	66.02
9	66.56
10	66.95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A (ตารางที่ 4.2) ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา B จำนวน 10 ล็อตการผลิต จะเห็นว่า Mooney Viscosity มีค่าอยู่ระหว่างเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ คือ 65-70 MU (ASTM D1646) สำหรับในทุกล็อต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B มีคุณภาพที่ดีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นผู้วิจัยได้นำ

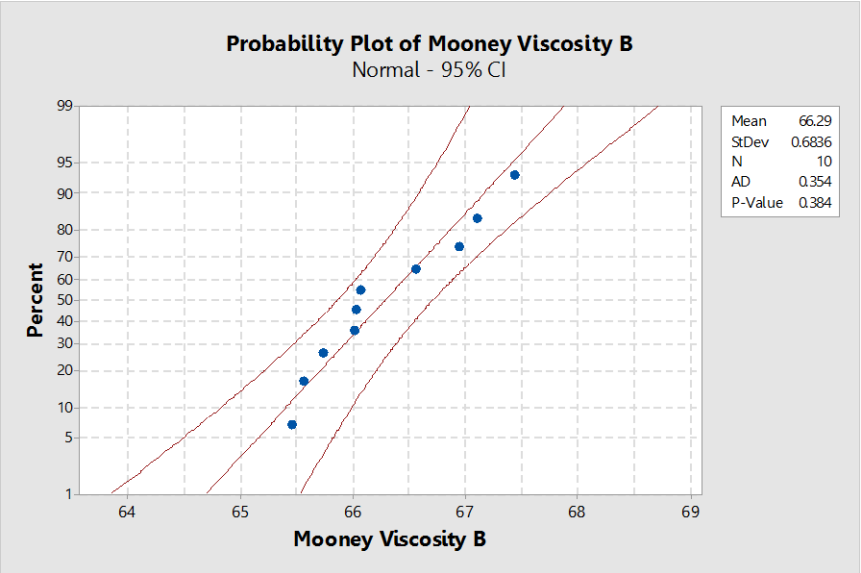
ผลที่ทำการเก็บมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของล็อตการผลิตมีมากน้อยเพียงใด เนื่องจากต้องการความมั่นใจในแง่ของความผันแปรของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผสม ที่จะไม่ส่งผลถึงความผันแปรของผลิตภัณฑ์ (ยางมาสเตอร์แบท) ที่ได้ จากกระบวนการผสมเนื่องจากงานวิจัยต้องการลดความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผสม โดยผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบจากค่า Mooney Viscosity ของแหล่งที่มา B

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้อยู่ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.384 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างจากล็อตการผลิตของแหล่งที่มา B ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยี Mooney Viscometer โดยให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.290 และ ความผันแปร (S.D) เท่ากับ 0.684 ซึ่งได้มีการยืนยันว่าผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา B นั้นมีการแจกแจง ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยการวิเคราะห์ด้วย Probability plot ดังรูปที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.4 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot

จากรูปที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟ Probability plot จะเห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ภายใต้ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal distribution

จากการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันและจากล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้ผู้วิจัยมั่นใจได้ว่า การเลือกใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่มาแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นแหล่งที่มา A หรือ B ให้คุณภาพของวัตถุดิบที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ รวมไปถึงการเลือกใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มาเดียวกันนั้น ให้คุณภาพที่ไม่แตกต่างกันและให้ความผันแปรน้อยโดยมีความผันแปรเท่ากับ 0.288 และ 0.467 สำหรับวัตถุดิบ Lot by Lot จากแหล่งที่มา A และ B ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัดนั้นเป็นสิ่งสาคัญและจำเป็นในกระบวนการทางเคมี ไม่น้อยไปกว่าการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ เนื่องจากการควบคุมการผลิตและการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยความมั่นใจและความถูกต้องของระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมไปถึงระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ต้องมีเสถียรภาพที่ดี ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบเครื่องมือวัดสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยีสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัดในงานวิจัยนี้ คือ วิเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยีหรือสมบัติการไหลของยางซึ่งวัดออกมาอยู่ในรูปของค่าความหนืดในขั้นตอนสุดท้ายหลังจากได้ ยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทมาจากกระบวนการผสมผลค่าความหนืดที่ได้จากเครื่อง Mooney Viscometer นั้น

ต้องให้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากเป็นสิ่งสาคัญในการวิเคราะห์คุณภาพของกระบวนการผสมและคุณภาพของวัตถุดิบว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer โดยห้องปฏิบัติการนั้น หลักการทำการวิเคราะห์มีวิธีการทำงานและปฏิบัติการอย่างเป็นขั้นตอน ตามรูปแบบขั้นตอนการทำงาน (Work instruction) ในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง, การใช้เครื่องมืออย่างถูกวิธี เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดตามหลักของ Gage R&R นั้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจในผลที่ได้จากระบบการวัด จึงต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับความผันแปรที่เกิดขึ้นจากระบบการวัดได้ 2 ด้านดังนี้

1. Reproducibility แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกัน แต่มีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การวัดชิ้นงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือวัดประเภทเดียวกัน แต่เปลี่ยนพนักงานวัดเป็นคนละคน ซึ่งคุณสมบัตินี้จะแสดงให้เห็นถึงความผันแปรความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดโดยมีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน
2. Repeatability แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกันซ้ำกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวัด โดยระบบการวัดที่ดีต้องสามารถให้ค่าการวัดที่มีความใกล้เคียงกันเมื่อการวัดซ้ำ

4.3.1 วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดเครื่องมือทางรีโอโลยี Mooney Viscometer

เครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของการผสมเบื้องต้นได้สำหรับขั้นตอนและกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยค่าที่ได้จากการวัดต้องมีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งในการทดสอบระบบการวัดของงานวิจัยนี้กำหนดจำนวนผู้ทำการทดสอบจำนวน 2 คน และเครื่องมือที่ใช้เป็นอุปกรณ์การวัดคือ เครื่องวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer จำนวน 1 เครื่อง ดังนั้นจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีจำนวน 15 ตัวอย่าง รวมไปถึงกำหนดการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง โดยจำนวนของตัวอย่างและจำนวนการวัดซ้ำเป็นไปตามทฤษฎีการเก็บขนาดตัวอย่างเพื่อการประเมินระบบการวัดที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และประเมินระบบการวัดที่เหมาะสม

จำนวนผู้ทดสอบ	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานอย่างน้อย	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	3 หรือมากกว่า	10	2

รูปแบบและขอบเขตของการวางแผนเพื่อวิเคราะห์ระบบการวัดเครื่องวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer มีดังนี้

1. เลือกผู้ทดสอบจำนวน 2 คนที่มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือ Mooney Viscometer และคุ้นเคยกับขั้นตอนการทำการวิเคราะห์หรือทดสอบตัวอย่าง
2. เตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จำนวน 15 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างของวัตถุดิบที่มีความแตกต่างกันในเชิงคุณภาพทั้ง 15 ตัวอย่าง
3. กำหนดขั้นตอนการทำงานให้พนักงานทำการวัดสมบัติทางรีโอโลยี (ค่าความหนืด) ของตัวอย่าง โดยในแต่ละคนทำการวัดทั้งหมด 15 ตัวอย่าง และทำการวัดซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง
4. ในการวัดตัวอย่างมีการออกแบบรูปแบบขั้นตอนลำดับในการวัดของตัวอย่าง โดยใช้ Minitab เพื่อให้เกิดการวัดตัวอย่างแบบสุ่ม (Randomization) ซึ่งจุดประสงค์ คือ เพื่อป้องกันและหลีกเลี่ยงความเอนเอียง (Bias) ขณะทำการวัดค่า
5. ทำการบันทึกผลการวัดผ่านคนกลางเมื่อผู้ทดสอบวัดค่าเสร็จเรียบร้อยในแต่ละตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ เพื่อลดความเอนเอียงระหว่างผู้วัดแต่ละคนได้
6. นำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัด โดยใช้ Minitab Program

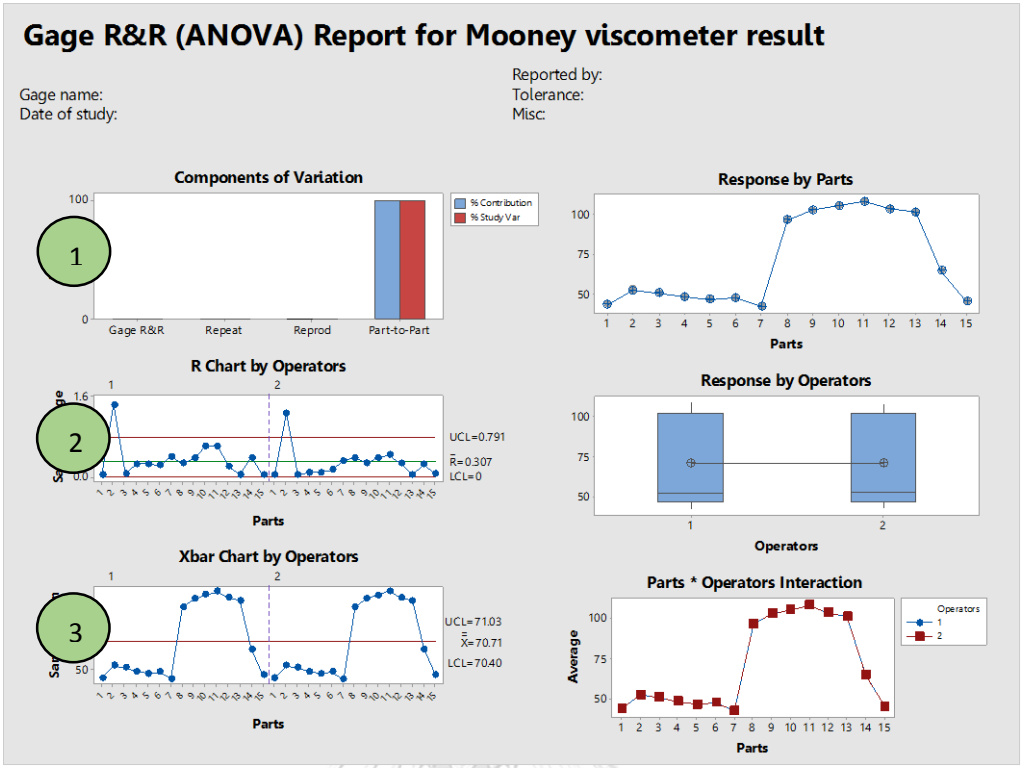
หลังจากการทดสอบตามวิธีการการดำเนินการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดค่าทางรีโอโลยี (ค่าความหนืด) ของตัวอย่างที่ได้จากการกระบวนการผสมยาง ด้วยเครื่องมือวัดทางรีโอโลยี Mooney Viscometer ตามที่กล่าวมาข้าต้น ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าความหนืดซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างยางคอมพาวด์ จำนวน 15 สูตร ที่ได้จากการกระบวนการผสมยาง (หน่วย Mooney Unit: MU)

ตัวอย่าง	ผู้ทดสอบคนที่ 1			ผู้ทดสอบคนที่ 2		
	วัดค่าครั้งที่ 1	วัดค่าครั้งที่ 2	วัดค่าครั้งที่ 3	วัดค่าครั้งที่ 1	วัดค่าครั้งที่ 2	วัดค่าครั้งที่ 3
1	43.65	43.63	43.68	43.66	43.63	43.65
2	53.42	52.00	52.04	53.41	52.15	52.45
3	50.85	50.86	50.92	50.85	50.88	50.87
4	48.40	48.15	48.39	48.33	48.42	48.35
5	46.83	46.84	46.59	46.75	46.66	46.72
6	47.58	47.66	47.80	47.77	47.64	47.63
7	42.34	42.59	42.74	42.35	42.67	42.50
8	96.75	96.48	96.67	96.71	96.33	96.49
9	102.91	102.67	102.54	102.92	102.65	102.70
10	105.84	105.6	105.23	105.24	105.47	105.62
11	108.66	108.05	108.18	108.29	108.11	108.54
12	103.61	103.41	103.52	103.67	103.55	103.40
13	101.43	101.47	101.42	101.37	101.42	101.40
14	64.69	64.87	65.07	64.87	64.73	64.97
15	45.38	45.35	45.35	45.35	45.41	45.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.4 ผลการวัดค่าความหนืด ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยีของตัวอย่างยางคอมพาวด์ จำนวน 15สูตร ที่ได้จากการกระบวนการผสมยาง นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แสดงผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดของตัวอย่างยางคอมพาวด์จากเครื่อง Mooney Viscometer ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยีของยางคอมพาวด์ที่ได้จากกระบวนการผสม

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	14	65211.3	4657.95	581126	0.000
Operators	1	0.0	0.00	0	0.826
Parts * Operators	14	0.1	0.01	0	1.000
Repeatability	60	3.4	0.06		
Total	89	65214.8			

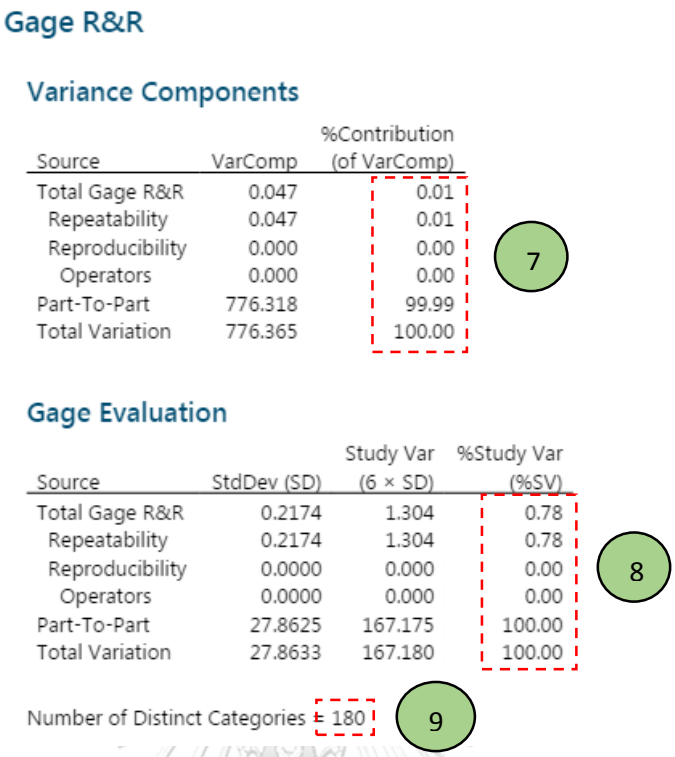
4-6

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	14	65211.3	4657.95	98542.1	0.000
Operators	1	0.0	0.00	0.0	0.927
Repeatability	74	3.5	0.05		
Total	89	65214.8			

รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ของยางคอมพาวด์ที่ได้ (1)



Gage R&R

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.047	0.01
Repeatability	0.047	0.01
Reproducibility	0.000	0.00
Operators	0.000	0.00
Part-To-Part	776.318	99.99
Total Variation	776.365	100.00

7

Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.2174	1.304	0.78
Repeatability	0.2174	1.304	0.78
Reproducibility	0.0000	0.000	0.00
Operators	0.0000	0.000	0.00
Part-To-Part	27.8625	167.175	100.00
Total Variation	27.8633	167.180	100.00

8

Number of Distinct Categories = 180

9

รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ของยางคอมพาวด์ที่ได้ (2)

จากผลการทดสอบระบบการวัดสามารถวิเคราะห์และสรุปผลระบบการวัดตามหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. จากกราฟที่ 1 Component of Variation ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่มาจากความแตกต่างกันของลักษณะตัวอย่าง (Part to Part) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 99.99% โดยเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนทั้งหมดของระบบการวัดแบบ Gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.01% จึงสามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่ของระบบที่ทำการทดสอบได้นั้น มาจากความแตกต่างกันของลักษณะตัวอย่างที่นำมาทำการวัด

2. จากแผนภูมิที่ 2 แผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart by Operators) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าของตัวอย่างที่นำมาทดสอบสำหรับการทดสอบด้วยพนักงานทั้ง 2 คนนั้นมีค่าพิสัยอยู่ในขอบเขตการควบคุม ซึ่งหมายความว่า ค่าที่ได้จากการวัดซ้ำของแต่ละคนให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

3. จากแผนภูมิที่ 3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (X-bar Chart by Operators) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าของตัวอย่างที่นำมาทดสอบสำหรับการทดสอบด้วยพนักงานทั้ง 2 คนนั้นมีค่าเฉลี่ยเกือบทุกค่าที่ออกนอกช่วงการควบคุมทั้งขอบเขตบน (UCL) และขอบเขตล่าง (LCL) ซึ่งหมายความว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความแปรปรวนที่มาจากความแตกต่างกันของลักษณะตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบระบบการวัดด้วยเครื่องมือ Mooney Viscometer แสดงดังผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) ที่ได้ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 เพื่อพิจารณาและวิเคราะห์ค่าทางสถิติซึ่งสะท้อนถึงสาเหตุของความแปรปรวนซึ่งมีปัจจัยของ ลักษณะที่แตกต่างกันของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ, พนักงานที่ทำการทดสอบ และรวมถึงอิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของตัวอย่างและพนักงานที่ทำการทดสอบซึ่งส่งผลต่อค่าการวิเคราะห์ทางรีโอโลยี (ความหนืด) ที่ได้จากระบบการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยมีการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยต่างๆ ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

4. การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของลักษณะตัวอย่าง (Parts)

H_0: ความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างไม่มีผลต่อความแปรปรวน

H_1: ความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างมีผลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value ความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่าความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างมีผลต่อความแปรปรวนของระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยี ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของพนักงานที่ทาการทดสอบ (Operators)

H_0: ความแตกต่างของพนักงานที่ทาการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวน

H_1: ความแตกต่างของพนักงานที่ทาการทดสอบมีผลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.826 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value ความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบมีค่ามากกว่าค่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่าความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวนของระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยี ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6. การทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบ (Parts * Operators)

H_0: อิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทาการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวน

H_1: อิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทาการทดสอบมีผลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 1.000 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบมีค่ามากกว่าค่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) อิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวนของระบบการวัดค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยีด้วยเครื่อง Mooney Viscometer ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

7. สัดส่วนองค์ประกอบของความแปรปรวน ดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นสัดส่วนขององค์ประกอบทั้งหมดที่มาจากปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด เมื่อเปรียบเทียบในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ร้อยละ พบว่าสัดส่วนของค่าความแปรปรวนส่วนใหญ่มาจากปัจจัยความแตกต่างของลักษณะตัวอย่าง (Part to Part) ถึง 99.99% และความแปรปรวนที่มาจากระบบเครื่องมือการวัด (Repeatability) มีค่าเท่ากับ 0.01%

8. ความแปรปรวนจากระบบการวัดเทียบกับความแปรปรวนที่มาจากความแตกต่างของลักษณะตัวอย่าง (%SV หรือ P/TV) ดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมดให้ค่า %SV หรือ P/TV เท่ากับ 0.78% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% โดยมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ เมื่ออ้างอิงจากตารางที่ 4.5 เกณฑ์การตัดสินใจสาหรับการยอมรับระบบการวัด (Automotive Industry Action Group : AIAG, 2002)

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการยอมรับระบบการวัด

ค่า Gage R&R	ความหมายในการตัดสินใจเพื่อยอมรับ
P/T หรือ P/TV < 10%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
10% ≤ P/T หรือ P/TV < 30%	อาจจะยอมรับได้ โดยพิจารณาปัจจัยอื่นๆร่วมด้วย เช่น ค่าใช้จ่าย
P/T หรือ P/TV ≥ 30%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องหาสาเหตุและทำการแก้ไข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9. ระบบการวัดที่มีความสามารถในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้นั้น การแสดงผลของ Number of Distinct Categories (ndc) ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 กลุ่มที่แตกต่างกัน โดยที่ ndc หมายถึง ตัวเลขที่แสดงประเภทของข้อมูลที่ได้จากการวัดที่มากจากลักษณะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าการทดสอบระบบการวัดให้ค่า ndc เท่ากับ 180 แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาสามารถแยกข้อมูลออกได้เป็น 180 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน และข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความแปรปรวนของกระบวนการวัดได้ด้วยเช่นกัน

สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติทางรีโอโลยี (Rheological property) โดย Mooney Viscometer ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงสถิติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบตามกระบวนการของ Gage R&R แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินระบบการวัดนี้ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม

หลังจากกระบวนการวิเคราะห์ระบบการวัดสาหรับเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลแล้วนั้น ขั้นตอนถัดไปคือขั้นตอนการระดมสมองจากทีมงานเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีความเหมาะสม เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีความผันแปรสูงและให้ค่าสูงกว่าค่าสเปกที่กำหนดไว้ โดยสำหรับการดำเนินงานในขั้นตอนนี้จะอาศัยการประชุมเพื่อระดมความคิดจากทีมงานที่ได้คัดเลือกไว้ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิต, หัวหน้าฝ่ายผลิต, วิศวกรฝ่ายผลิต, พนักงานฝ่ายผลิต, ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ, นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ, พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ และผู้วิจัยที่อยู่ในส่วนของนักวิจัยและพัฒนาสูตรยางและกระบวนการผลิต ซึ่งหน้าที่และประสบการณ์ทำงานของทีมงานทั้งหมดดังแสดงในภาคผนวก ข (ตาราง ข.3) โดยขั้นตอนในการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมนั้นมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่จะส่งผลถึงปัญหาในงานวิจัย โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งการใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผลจะช่วยให้รวบรวมสาเหตุและแยกแยะหมวดหมู่ของปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- หลังจากกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้จากแผนผังแสดงสาเหตุและผลเรียบร้อยแล้ว ทางทีมงานจะนำปัจจัยที่ได้มาคัดกรองปัจจัยด้วยตารางแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยมีการให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ซึ่งเป็นการให้คะแนนจากทีมงาน และนำคะแนนมาเรียงลำดับในขั้นตอนต่อไป
- จากนั้นนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองด้วยตารางแสดงสาเหตุและผล และการให้คะแนนจากทีมงานมาวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) โดยการระดมสมองจากทีมงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

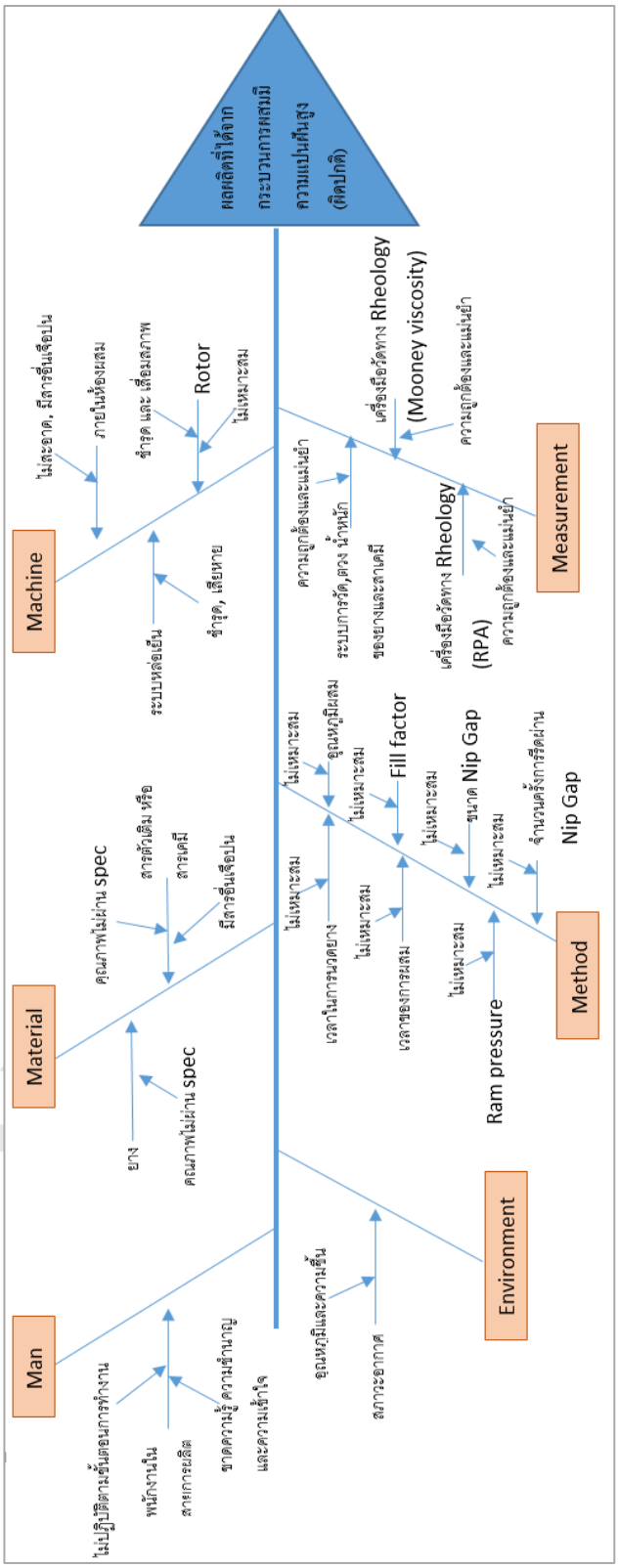
4.4.1 การหาสาเหตุและปัจจัยโดยใช้ผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and EffectDiagram)

ในขั้นตอนการหาสาเหตุและปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทนั้น จะมีการพิจารณาแยกสาเหตุที่เป็นไปได้ออกตามหมวดหมู่โดยแบ่งออกเป็น 6 หมวดหมู่ดังนี้

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุที่เกิดจากวิธีการวัด (Measurement)
- สาเหตุที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม (Environment)

จากทั้ง 6 หมวดหมู่ ทีมงานได้ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ดังแสดงในรูปที่ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาที่สามารถส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

4.4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากขั้นตอนการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยใช้ผังแสดงสาเหตุและผลได้สาเหตุและปัจจัยทั้งหมด 23 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลต่อ โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) มาวิเคราะห์และให้คะแนนสำหรับสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบมาก โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาถึงรายละเอียดของสาเหตุและปัจจัยที่หมดที่ได้จากการระดมสมองของทีมงาน

2. นำสาเหตุและปัจจัยที่ได้จากการระดมสมองของทีมงานทั้งหมด 23 ปัจจัยใส่ในตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลดังตารางที่ 4.6 จากนั้นให้ทีมงานทุกคนลงคะแนนให้กับทุกปัจจัย โดยการให้คะแนนขึ้นกับความรู้และความชำนาญของสมาชิกในแต่ละคนที่มีต่อสาเหตุและปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลถึงปัญหาที่พบ ซึ่งการลงคะแนนของทีมงานแต่ละคนเป็นอิสระต่อกัน และเกณฑ์ในการลงคะแนนจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 9 คะแนนดังนี้

0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง

1 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง น้อยมาก

3 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง ปานกลาง

9 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง มากที่สุด

3. หลังจากการลงคะแนนของทีมงานทุกคนครบแล้ว ทำการรวบรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละสาเหตุและปัจจัย เพื่อทำการพิจารณาผลแต่ละปัจจัยตามเกณฑ์ในการสรุปการให้คะแนนดังนี้

3.1 กรณีที่คะแนนที่ได้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ 0-1 , 1-3 และ 0-3 คะแนนให้สรุปโดยพิจารณาจากคะแนนที่มีจำนวนการลงคะแนนมากกว่า เช่น ข้อที่ 1 มีการให้คะแนน 0 จำนวน 4 คน ให้คะแนน 1 จำนวน 3 คน จะสรุปให้คะแนน ข้อ 1 เท่ากับ 0 คะแนน

3.2 กรณีที่คะแนนที่ได้ไม่เป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน เช่น 0-9 , 1-9 , 3-9 คะแนนให้สรุปพิจารณาโดยให้อภิปรายร่วมกันกับทีมงานทีละหัวข้อ และให้คะแนนสรุปร่วมกันทีละหัวข้อจนให้คะแนนครบทุกข้อ ดังแสดงในภาคผนวก ข (ตาราง ข.1 และ ข.2)

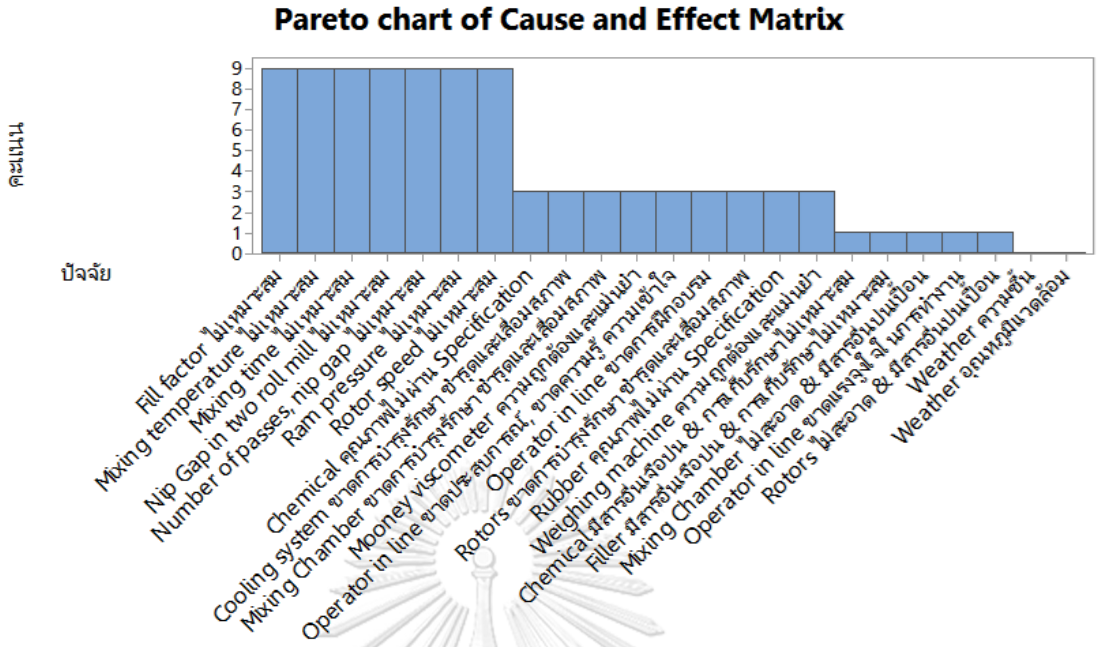
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4. ทำการสรุปผลการลงคะแนนในแต่ละปัจจัยลงในตารางแสดงสาเหตุและผล ดังตารางที่ 4.6 จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยเรียงลำดับปัจจัยที่ได้คะแนนมากไปน้อย ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลถึงผลผลิตที่ได้

ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัย (Cause and Effect Matrix)				
No.	Area cause	Process Input		ผลสรุปการให้คะแนน (Total)
1	พนักงาน	Operator in line	ขาดประสบการณ์, ขาดความรู้ ความเข้าใจ	3
2			ขาดการฝึกอบรม	3
3			ขาดแรงจูงใจในการทำงาน	1
4	วัตถุดิบ	Rubber	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	3
5		Filler	มีสารอื่นเจือปน & การเก็บรักษาไม่เหมาะสม	1
6		Chemical	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	3
7			มีสารอื่นเจือปน & การเก็บรักษาไม่เหมาะสม	1
8	เครื่องจักร	Mixing Chamber	ไม่สะอาด & มีสารอื่นปนเปื้อน	1
9			ขาดการบำรุงรักษา ชำรุดและเสื่อมสภาพ	3
10		Rotors	ไม่สะอาด & มีสารอื่นปนเปื้อน	1
11			ขาดการบำรุงรักษา ชำรุดและเสื่อมสภาพ	3
12		Cooling system	ขาดการบำรุงรักษา ชำรุดและเสื่อมสภาพ	3
13	วิธีการวัด	Weighing machine	ความถูกต้องและแม่นยำ	3
14		Mooney viscometer	ความถูกต้องและแม่นยำ	3
15	วิธีการทำงาน	Mixing time	ไม่เหมาะสม	9
16		Ram pressure	ไม่เหมาะสม	9
17		Mixing temperature	ไม่เหมาะสม	9
18		Fill factor	ไม่เหมาะสม	9
19		Nip Gap in two roll mill	ไม่เหมาะสม	9
20		Number of passes, nip gap	ไม่เหมาะสม	9
21		Rotor speed	ไม่เหมาะสม	9
22	สภาวะแวดล้อม	Weather	อุณหภูมิแวดล้อม	0
23			ความชื้น	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.9 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับคะแนนจากความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix

จากรูปที่ 4.9 แผนภูมิพาเรโตแสดงให้เห็นว่า มีทั้งหมด 7 ปัจจัยที่ทีมงานให้คะแนนความสัมพันธ์สูงที่สุดคือ 9 คะแนน ผู้วิจัยจึงได้นำทั้ง 7 ปัจจัยนี้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) ต่อในขั้นตอนถัดไป โดยปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์อันดับทั้ง 7 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

Area cause	ปัจจัย
วิธีการทำงาน	Mixing time
วิธีการทำงาน	Ram pressure
วิธีการทำงาน	Mixing temperature
วิธีการทำงาน	Fill factor
วิธีการทำงาน	Nip Gap in two roll mill
วิธีการทำงาน	Number of passes, nip gap
วิธีการทำงาน	Rotor speed

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัยที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีความผันแปรสูงและให้ค่าสูงกว่าค่าสเปกที่กำหนดไว้ โดย

จากการระดมสมองและให้อันดับคะแนนของทีมงานและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง สามารถสรุปรายละเอียดในแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

1. Mixing time (เวลาการผสม) มีผลต่อคุณภาพในการผสมโดยตรง เป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะในการผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันระหว่างยาง, ฟิลเลอร์ และสารเคมีต่างๆ ต้องอาศัยเวลาพอสมควรเพื่อให้เกิด กลไกในการกระจายตัวและเข้ากันได้โดยเริ่มจากการเข้าไปในเนื้อยางของสารเคมี (Incorporation) >> การแตกตัวของสารเคมีหรือสารตัวเติมเสริมแรง (Dispersion) >> การกระจายตัวของสารเคมีไปทั่วเนื้อยาง (Distribution) ซึ่งถ้าหากให้เวลาในการผสมสั้นเกินไปก็อาจทำให้เกิดการกระจายตัวของฟิลเลอร์และสารเคมีบนเนื้อยางที่ไม่ดี ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลผลิตที่ได้ แต่ถ้าให้เวลานานเกินไปก็อาจจะสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์
2. Ram pressure (ความดันแท่งกด) เป็นความดันหรือแรงดันที่ใช้ในการกดแท่งหัวเปิด-ปิดห้องผสม เพื่อให้เกิดการคลุกเคล้า ป้องกัน Back pressure ป้องกันไม่ให้ยางดันกลับออกมาจากห้องผสม รวมไปถึงป้องกันสารเคมีรั่วไหลออกจากห้องผสม หาก Ram pressure มีค่าที่ต่ำเกินไปอาจทำให้การผสมนั้นมีประสิทธภาพน้อยลง
3. Mixing temperature (อุณหภูมิการผสม) ถือว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยทำให้ยางหรือพอลิเมอร์สามารถอ่อนตัวลงและสามารถไหลเข้าไปครอบคลุมฟิลเลอร์ และสารเคมีต่างๆ ได้แต่หากใช้อุณหภูมิที่ใช้ผสมสูงเกินไปอาจทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ (Thermal degradation)
4. Fill factor (สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการผสม โดยที่ Fill factor สูงเกินไป (แน่นเกินไป) จะให้การผสมที่ไม่ดี เพราะไม่มีพื้นที่ให้ยางและสารเคมีได้เกิดการไหลเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้า แต่ถ้าหาก Fill factor ต่ำเกินไปจะต้องใช้เวลาผสมนานเพื่อให้ได้การผสมที่ดี ซึ่งโดยปกติใช้ในช่วง 0.6-0.8 (ขึ้นอยู่กับความหนืดของยางคอมพาวด์)
5. Nip Gap in two roll mill (ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง) บริษัทกรณีศึกษาได้ใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two roll mill) เป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมอีกขั้นหนึ่งและถือเป็นการขึ้นรูปร่างผลผลิตให้แผ่นเพื่อทำการพับเก็บต่อไป หลังจากได้ยางคอมพาวด์ออกมาจากเครื่องผสมแบบปิด (Kneader) โดยที่
    - Nip Gap ที่กว้างจะทำให้เกิดการกระจายตัวแบบ Incorporation พับเก็บได้ง่าย ใช้เวลาไม่นานในการรีดต่อแบทการผสม (เวลาที่ใช้ในการรีดจะนานไม่นานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการรีดผ่าน (Number of passes, nip gap) ด้วยเช่นกัน)
    - Nip Gap ที่แคบจะเพิ่มแรงฉือนทำให้เกิดการกระจายตัวแบบ Incorporation และDispersion ใช้เวลานานในการรีดต่อแบทการผสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. Number of passes, nip gap (จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap) โดยถ้าหากต้องการการผสมที่ดีจะต้องใช้ nip gap ที่แคบ และจำนวนรอบของการรีดผ่านที่มาก แต่ก็ต้องแลกมากับการที่ต้องใช้เวลานานในการรีดต่อแบทการผสม ซึ่งถ้ามากจนเกินไปจะเปลืองทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ ต้องให้อยู่ในค่าที่เหมาะสม ใช้เวลาให้น้อยแต่ได้ประสิทธิภาพการผสมที่ดี เป็นไปตาม Specification ที่กำหนดไว้

7. Rotor speed (ความเร็วรอบของโรเตอร์) ถือเป็นปัจจัยสำคัญอีกตัวหนึ่งที่มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผสม ซึ่งหากยิ่งมี ความเร็วรอบสูง >> จะทำให้เกิดการกระจายตัวแบบ Incorporation และ Dispersion ที่สูงขึ้น แต่การที่มีความเร็วรอบสูงๆต้องแลกมากับเครื่องผสมที่มีประสิทธิภาพสูง มีกำลังมาก ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมยางขนาดเล็กและขนาดกลางส่วนมากในประเทศไทย จะซื้อเครื่องผสมแบบ Kneader ที่ความเร็วรอบแบบ fix ถูกตั้งค่าที่เหมาะสมตามขนาดและปริมาตรของเครื่องมาแล้ว ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เอง อันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านราคาของเครื่อง ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาก็ได้ใช้เครื่องผสมเช่นนั้น

4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์กับปัจจัยทั้ง 7ปัจจัย ที่ผ่านการคัดกรองผ่านกระบวนการ Cause and Effect Matrix มาวิเคราะห์เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทอย่างแท้จริง เพื่อนำปัจจัยที่ได้เข้าสู่กระบวนการปรับปรุงแก้ไขต่อไป โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) โดยการวิเคราะห์และระดมสมองร่วมกันของทีมงานที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิต, หัวหน้าฝ่ายผลิต, วิศวกรฝ่ายผลิต, พนักงานฝ่ายผลิต, ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ, นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ, พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ และผู้ดำเนินงานวิจัยที่อยู่ในส่วนของนักวิจัยและพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต

2. ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการคัดกรองผ่านกระบวนการ Cause and Effect Matrix ทั้งหมด 7 ปัจจัยมาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและบันทึกผลการวิเคราะห์ตามกระบวนการ

3. ประเมินความร้ายแรงของผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย
   - Severity (S) ความรุนแรงของผลกระทบ
   - Occurrence (O) ระดับโอกาสในการเกิดปัญหา
   - Detection (D) ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา

ตารางที่ 4.7 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (AIAG, 2001)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ (เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก)	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนก ซ่อมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ขาดความสะดวกสบายและทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (sorting) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงใช้เวลาต่ำกว่า 1 ชั่วโมง	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบายแต่ระดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์ก หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลายแต่บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจได้รับการรีเวิร์ก	4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่งสามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์กในสายการผลิตแต่นอกจุดปฏิบัติงานที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์กในสายการผลิตที่จุดปฏิบัติงาน โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงานหรือตัวพนักงาน หรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

ตารางที่ 4.8 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (AIAG, 2001)

โอกาสในการเกิด	ความถี่ในการเกิดข้อบกพร่อง	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	≥ 100,000 (หรือ 10%)	10
	50,000(หรือ 5%)	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20,000(หรือ 2%)	8
	10,000 (หรือ 1%)	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	5,000 (หรือ 0.5%)	6
	2,000 (หรือ 0.2%)	5
	1,000 (หรือ 0.1%)	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	3
	100	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	≤ 10	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับปัญหาของระบบควบคุม (AIAG, 2001)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	คะแนน
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบการตรวจจับใดๆ	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุม แต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	4
สูง	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	3
สูงมาก	มีระบบการควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	2
สูงมาก	มีระบบการควบคุมตอนนี้ค่อนข้างแน่นอนที่จะป้องกันความผิดพลาดและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	1

เพื่อเป็นแนวทางให้กับคณะทำงาน สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่ทำให้เกิดปัญหาผลผลิตที่ได้มีค่าความหนืดสูงเกินกว่าค่าสเปกที่กำหนด และทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวของผลิตภัณฑ์เนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างยาง EPDM และสารตัวเติม ในการให้คะแนนจึงได้กำหนดระดับการให้คะแนนใหม่เพื่อใช้เป็นหลักการร่วมกัน 4 ระดับ เนื่องจากหากใช้เกณฑ์ 10 ระดับ สมาชิกของคณะทำงานมีความคิดเห็นตรงกันว่า ทำให้แยกความแตกต่างของระดับได้ยากเพราะระดับละเอียดและใกล้กันเกินไป โดยมีระดับเกณฑ์การให้คะแนนดังแสดงในข้อที่ 4

4. คำนวณหาค่า RPN (Risk Priority Number) ซึ่งเป็นการคำนวณโดยนำค่า S , O และ D มาคูณกันแล้วบันทึกลงในตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) โดยเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละหัวข้อเป็นดังนี้
   - Severity (S) ความรุนแรงของผลกระทบ
     - 1 = ไม่มีผลกระทบต่อค่าความหนืดของผลผลิต
     - 3 = มีผลกระทบต่อค่าความหนืดของผลผลิตน้อยมาก
     - 5 = มีผลกระทบต่อค่าความหนืดของผลผลิตปานกลาง ผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจต้องทำการรีเวิร์ก (ทำการผสมใหม่บางส่วน)
     - 9 = มีผลกระทบต่อค่าความหนืดของผลผลิตมากที่สุด ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดต้องทำการรีเวิร์ก (ทำการผสมใหม่ทั้งหมด)

- Occurrence (O) ระดับโอกาสในการเกิดปัญหา
  - 1 = เกิดน้อยมากหรือแทบไม่เกิด
  - 3 = เกิดน้อย
  - 5 = เกิดบ่อย
  - 9 = เกิดบ่อยมาก
- Detection (D) ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา
  - 1 = ตรวจสอบป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้เกือบทั้งหมด
  - 3 = ตรวจสอบป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ส่วนใหญ่
  - 5 = ตรวจสอบป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ส่วนน้อย
  - 9 = ตรวจสอบป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นเกือบไม่ได้เลย

จากการวิเคราะห์และให้คะแนนตามหลักการของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ทางทีมงานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานและหน้าที่ดังที่ได้แสดงในภาคผนวก ข (ตาราง ข.3) ได้ทำการระดมสมองและได้ผลลัพธ์ของคะแนนจากการวิเคราะห์ในแต่ละปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัยดังตารางที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของข้อบกพร่อง	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
1	Mixing time ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร ผิวของชิ้นงานไม่เรียบเนียน เกิดการแยกเฟสระหว่างเนื้อยางและสารตัวเติมที่เติมเข้าไป	9	เพราะต้องการ productivity ที่สูง ทำให้อาจลดเวลาในการผสมลง ทำให้เวลาในการผสมสั้นเกินไปเผื่อให้เกิดกลไกการผสมที่สมบรูณ์	3	สังเกตด้วยตาจากผลผลิตที่ได้ออกมาจากเครื่องผสมว่ามีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) หรือไม่	5	135
2	Ram pressure ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร	3	ตั้งค่า ram pressure ต่ำเกินไป ไม่เพียงพอต่อการเกิด back pressure ที่เกิดจากยางในระหว่างการผสม	3	สังเกตการถอยกลับของแท่งกดที่เกิดขึ้นขณะการผสม ว่ามากเกินจนผิดปกติหรอไม่ และตรวจสอบและซ่อมบำรุงตามรอบโดยทีมช่าง	5	45
3	Mixing temperature ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร	9	เนื่องจาก machine ที่ใช้ในการผสมไม่มี heater ในตัวจึงไม่สามารถตั้งอุณหภูมิได้ ต้องอาศัยความร้อนที่เกิดจาก ที่เกิดขึ้นขณะการผสมแทน (shear heating)	3	อาศัยความร้อนที่เกิดจากการผสม (shear heating) เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการจะใช้สำหรับการผสม	5	135
4	Fill factor ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร	9	ใช้ Fill factor สูงเกินไป (แน่นเกินไป) ทำให้การผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดี เพราะไม่มีพื้นที่ให้ยางและสารเคมีได้เกิดการไหลเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้า	3	ใช้ Fill factor น้อยลงจากเดิมหลังจากเกิดปัญหา	9	135

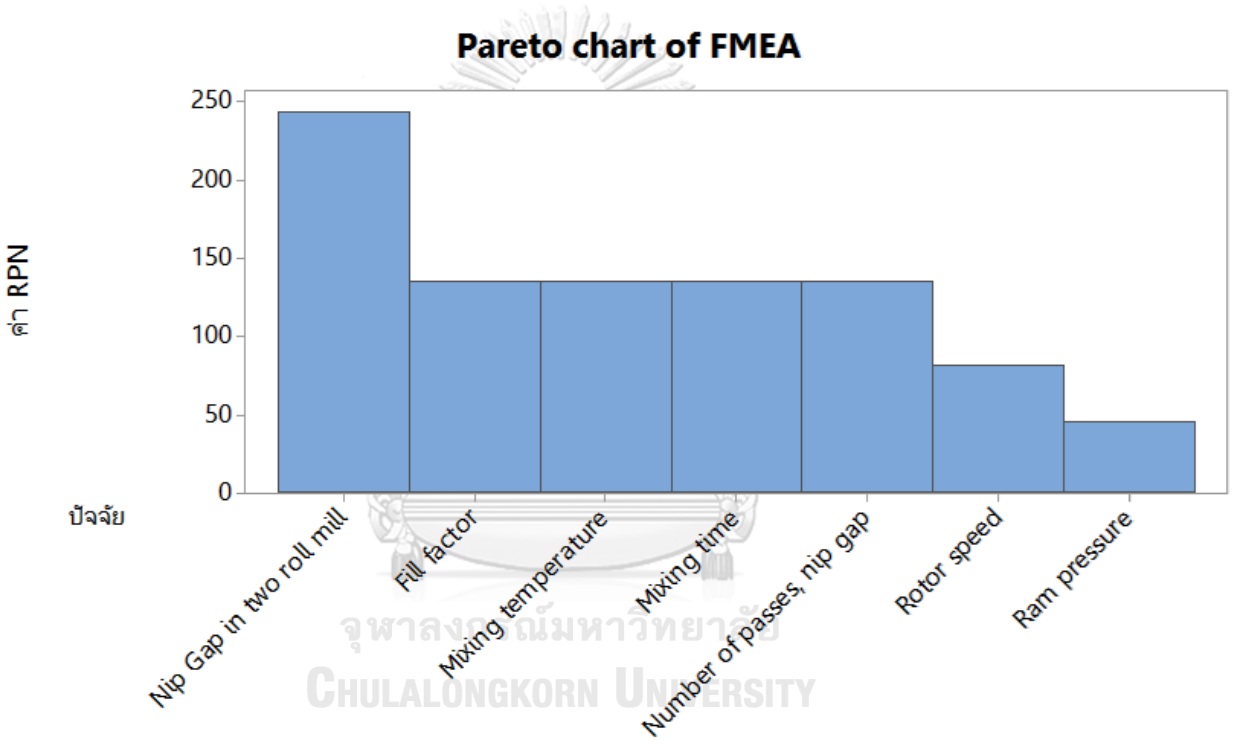
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของข้อบกพร่อง	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
5	Nip gap in two roll mill ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร	9	ใช้ nip gap ที่กว้างจนเกินไปทำให้เกิดให้เกิดการกระจายตัวแบบ Incorporation เท่านั้น แต่สารตัวเติมไม่เกิดการแตกตัว (Dispersion) และยังเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ที่กระจายตัวอยู่ใน matrix ยาง	3	ใช้ nip gap ต่ำลงจากเดิมหลังจากเกิดปัญหา แต่ต้องใช้เวลาในการรีดต่อแบทเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน เพราะขึ้นงานมีขนาดบาง	9	243
6	Number of passes, nip gap ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร	9	จำนวนครั้งที่ใช้ในการรีดผ่าน nip gap อาจน้อยเกินไป ทำให้ความกระจายตัวของสารตัวเติมต่างๆที่เติมเข้าไปในยางยังกระจายตัวได้ไม่ดี	3	เพิ่มจำนวนครั้งที่ใช้ในการรีดผ่าน nip gap มากขึ้น จากเดิม หลังจากเกิดปัญหา	5	135
7	Rotor speed ไม่เหมาะสม	ทำให้คุณภาพการผสมเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร	9	Rotor speed ที่ถูก set มาจากโรงงานอาจมีค่าต่ำเกิดไป ทำให้ประสิทธิภาพการผสมที่เกิดขึ้นอาจไม่ดีเท่าที่ควร แต่ก็ด้วยข้อจำกัดทางเครื่องจักรและงบประมาณ	3	ตรวจสอบและซ่อมบำรุง ให้คงสภาพเดิมโดยทีมช่าง	3	81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 เรียงลำดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ค่า RPN
1	Nip Gap in two roll mill	243
2	Fill factor	135
3	Mixing temperature	135
4	Mixing time	135
5	Number of passes, nip gap	135
6	Rotor speed	81
7	Ram pressure	45



รูปที่ 4.10 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA

จากการวิเคราะห์ FMEA ได้นำค่า RPN ที่ได้มาเรียงลำดับปัจจัยที่ได้ค่า RPN จากมากไปน้อย เพื่อดูปัจจัยที่มีความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 4.11 และแผนภูมิพาเรโตเรียงตามค่า RPN ตามลำดับของปัจจัย แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอยู่ 5 ปัจจัยที่มีคะแนนสูงและแตกต่างจากปัจจัยอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องผสมแบบปิดที่ใช้ในโรงงานไม่มี heater ในตัวและเนื่องด้วยข้อกำจัดทางด้านงบประมาณและความคุ้มค่า ทางผู้ดำเนินงานวิจัยและคณะผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ได้มีความคิดเห็นตรงกันที่จะตัดปัจจัยบางตัวออก คือ Fill factor และ Mixing temperature เพื่อให้ล้อไปกับการใช้งานจริงในโรงงานกรณีศึกษามากที่สุด สำหรับสูตรการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยได้กำหนด Fill factor ที่ 0.8 และ อุณหภูมิก่อนผสมไว้ที่ 80-

องศาเซลเซียส คงที่เท่ากันในทุกๆแบทการผสมแทน โดยจากตารางที่ 4.11 ค่า RPN รวมของทั้ง ปัจจัย 3 ที่เหลือมีค่าเท่ากับ 513 จากค่า RPN รวมทั้งหมด 909 คะแนนซึ่งสามารถคิดได้เป็น 56.44 % ของคะแนนรวมทั้งหมด โดยปัจจัยทั้ง 3 ถูกเลือกนำมาใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ปัจจัยที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ FMEA เพื่อนำไปใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองต่อไป

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ค่า RPN
1	Nip Gap in two roll mill	243
2	Mixing time	135
3	Number of passes, nip gap	135

4.5 สรุประยะการตรวจวัดปัญหา

สำหรับขั้นตอนของระยะการตรวจวัดปัญหาในงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยวิเคราะห์ความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกันจาก Supplier A และ B รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย (Lot by Lot) โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A มีค่า P-value เท่ากับ 0.154 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มา A ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบที่มาจากแหล่งที่มา B โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.384 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 จึงสามารถสรุปได้เช่นเดียวกับแหล่งที่มา A จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงตรงของระบบที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ได้แก่เครื่องวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer แสดงให้เห็นว่าจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมดให้ค่า %SV หรือ P/TV เท่ากับ 0.78% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าผลการประเมินระบบการวัดนี้ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกเหนือจากระบบการวัดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer แล้วนั้น ในระหว่างกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีระบบการวัดเพื่อควบคุมสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ระบบการวัดอุณหภูมิการผสมในหน่วยองศาเซลเซียส (thermocouple) เป็นต้น นอกเหนือจากนั้นมีการศึกษาหาสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยใช้การระดมสมองของทีมงานเพื่อหาสาเหตุด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผลซึ่งได้ปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 23 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาคัดกรองด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix เพื่อให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัย ทำให้คัดเหลือ 7 ปัจจัย เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และ ให้คะแนนเพื่อคำนวณค่า RPN ทำให้พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม

ยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ทั้งหมด 5 ปัจจัย ได้แก่ Nip Gap in two roll mill (ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง), Mixing time (เวลาการผสม), Mixing temperature (อุณหภูมิการผสม), Number of passes, nip gap (จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap) และ Fill factor (สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม) และได้ถูกคัดกรองอีกครั้งจากผู้วิจัยและคณะทำงานเพื่อให้ล้อไปกับการใช้งานจริงของทางบริษัทกรณีศึกษาและงบประมาณ โดยได้ตัดสินใจตัดปัจจัย Fill factor และ Mixing temperature ออก เหลือเพียง 3 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่เหลืออยู่นี้ทางคณะผู้ทำงานคาดว่ามีศักยภาพมากพอและสามารถปรับปรุงและแก้ไขได้ในโรงงานจริงอย่างแน่นอน และเป็นปัจจัยที่ถูกวิเคราะห์ว่าส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทอย่างแท้จริง โดยในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำปัจจัยทั้ง 3 ไปเป็นปัจจัยหลักในการใช้ออกแบบการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

5.1 บทนำ

ในส่วนของบทนี้เป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์ปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองมาในบทที่ 4 โดยการระดมความคิดจากทีมงานและใช้เครื่องมือต่างๆมาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งได้ปัจจัยที่ส่งผลอย่างแท้จริงต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท และมีศักยภาพที่ทางโรงงานสามารถจะปรับแก้ไข มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 ปัจจัย ซึ่งเป็นสภาวะในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ เวลาการผสมไม่เหมาะสม, ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม และ จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ไม่เหมาะสม โดยผู้วิจัยได้นำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้มาทดสอบสมมติฐานทางสถิติว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยในงานวิจัยนี้มีการเลือกใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) เพื่อใช้วิเคราะห์หาปัจจัย ที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานของการออกแบบการทดลอง

จากขั้นตอนการวัดการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงนั้น เมื่อได้วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัจจัยแล้ว สามารถสรุปปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อความหนืดของผลผลิตที่ได้จาก กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ที่มีค่าเกินกว่าค่าสเปกที่กำหนดไว้และมีความแปรปรวน ทั้งหมด 3 ปัจจัย แสดงดังนี้

1. เวลาการผสมไม่เหมาะสม

2. ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม

3. จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ไม่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยลักษณะการทดสอบในแต่ละปัจจัยนั้นใช้การจำลองกระบวนการผลิตสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งมีการทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยแยกตามลำดับขั้นตอนในกระบวนการผสม ดังนี้

- ทดสอบปัจจัย เวลาการผสม (Mixing time) ในขั้นตอนที่ 1 ของกระบวนการผสม ซึ่งใช้การผสมแบบปิดด้วยเครื่องนีดเดอร์ (Kneader) ขนาด 5 ลิตร ที่ Fill factor 0.8 และ อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียสคงที่เท่ากันในทุกแบทการผสม

รูปที่ 5.1 เครื่องผสมแบบปิดนีดเดอร์ (Kneader) ขนาด 5 ลิตรที่ใช้จำลองกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทในขั้นตอนที่ 1 (Lab scale)
(แหล่งที่มา: นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล, 2562)

- ทดสอบปัจจัย ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง , จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ในขั้นตอนที่ 2 ของกระบวนการผสมซึ่งใช้การผสมแบบเปิดด้วยแครื่องสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill)

รูปที่ 5.2 เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ที่ใช้จำลองกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทในขั้นตอนที่ 2 (Lab scale)
(แหล่งที่มา: นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล, 2562)

ในส่วนของการออกแบบการทดลองนั้นใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ซึ่งมีการกำหนดระดับของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระดับของปัจจัยในการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
				ต่ำ(-1)	กลาง(0)	สูง(+1)
1	เวลาการผสม	นาที	A	6	10	14
2	ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (nip gap)	มิลลิเมตร	B	1.00	1.65	2.30
3	จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap	ครั้ง	C	3	8	13

**Fill factor (0.8), Rotor speed (30 rpm/23 rpm) and Initial mixing temperature (80°C) 8 คงที่เท่ากันในทุกแบทการผสม

หลักการปรับค่าของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

หลักการปรับค่าของแต่ละปัจจัยได้จะกำหนดจากสภาพการผลิตจริงในปัจจุบันที่สามารถทำได้โดยไม่กระทบต่อปริมาณการผลิต โดยปรับระดับอ้างอิงตามค่าเดิมของปัจจัยที่ใช้อยู่ก่อนหน้านี้ โดยให้ค่าที่ใช้อยู่ก่อนหน้าเป็นระดับกลาง (0 หรือ Middle: M) ของแต่ละปัจจัย แล้วทำการเพิ่มค่าระดับ สูง-ต่ำ ตามความเหมาะสมของแต่ละปัจจัยโดยให้เริ่มจากการกำหนดค่าอ้างอิงระดับ สูง-ต่ำ ตามลิมิตของเครื่องจักรหรือค่าที่คิดว่ามากเกินพอ ที่จะทำให้ครอบคลุมค่าความหนืด (ตัวแปรตอบสนอง) เป้าหมายหรือค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดไว้ โดยที่ไม่กระทบต่อ productivity ของโรงงานกรณีศึกษา หรือหากมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นต้องอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับได้

ปัจจัยเวลาการผสม (A) กระบวนการผลิตเดิมใช้การจับเวลาการผสมอยู่ที่ 10 นาที จึงได้ทำการเพิ่มเวลาการผสมไปอีก 4 นาทีรวมเป็น 14 นาทีเป็นระดับสูง (+1 หรือ High: H) ซึ่งคาดว่าเป็นค่าที่มากเกินพอสำหรับสำหรับเวลาที่ใช้ในการผสม เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อการเสียสภาพของยาง เนื่องจากเกิดการตัดสายโซ่ (chain scission) ที่มากเกินไป และไม่ให้กระทบ productivity ของโรงงงาน

ปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งหรือที่ถูกเรียกว่า nip gap (B) กระบวนการผลิตเดิมใช้อยู่ที่ 1.65 มิลลิเมตร การตั้งค่าใช้เม็ดตะกั่วที่จะถูกนำมาใส่เข้าไปบริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งขณะที่เครื่องกำลังทำงาน เพื่อให้ถูกรีดออกมา แล้วทำการวัดความหนาของเม็ดตะกั่วที่ถูกรีดออกมา โดยความหนาที่วัดได้เปรียบเสมือนตัวแทนของระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง โดยเครื่องมือที่ใช้วัดความหนาคือ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ ซึ่งเป็นเครื่องวัดระยะที่มีความละเอียดและความแม่นยำสูง สามารถวัดค่าออกมาเป็นมิลลิเมตรได้ทศนิยมถึง 2 ตำแหน่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดโดยเวอร์เนียมีค่าเพียง 0.05 มม. เท่านั้น ทำให้สามารถตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งในสเกลระดับมิลลิเมตร ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ซึ่งเครื่องผสมสองลูกกลิ้งสามารถตั้งลูกกลิ้งให้เข้าใกล้กันมากที่สุด (ให้แคบที่สุด) วัดความหนาของเม็ดตะกั่วที่ถูกรีดออกมาได้ 1.00 มิลลิเมตร จึงถูกใช้เป็น

ระดับต่ำ (-1 หรือ Low: L) และระดับสูง (+1 หรือ High: H) จึงถูกใช้เป็น 2.30 มิลลิเมตรเพื่อให้สมมาตรของค่าที่ถูกเพิ่มและลด

ปัจจัยจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap (C) ใช้การนับจำนวนรอบของยางคอมพาวด์ที่ถูกรีดผ่านเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่เราได้ทำการตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไว้แล้วตามตารางที่ 5.1 โดยยางคอมพาวด์ที่ถูกรีดออกมาจะถูกม้วนเป็น roll เมื่อยางคอมพาวด์ถูกรีดออกมาจนหมดนับเป็น 1 รอบ จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ม้วนได้มานั้น ไปทำการรีดซ้ำแล้วม้วน วนไปแบบนี้เรื่อยๆจนครบจำนวนรอบที่กำหนด ซึ่งกระบวนการผลิตเดิมใช้อยู่ที่ 8 รอบ จึงได้ทำการเพิ่มรอบของการรีดผ่าน ไปอีก 5 รอบ รวมเป็น 13 รอบ เป็นระดับสูง (+1 หรือ High: H) ซึ่งคาดว่าเป็นค่าที่มากเกินพอสำหรับสำหรับจำนวนรอบที่ใช้ในการรีด เพื่อให้ได้ค่าความหนืดที่ครอบคลุมค่าเป้าหมายหรือค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดไว้ เพราะจำนวนรอบที่ใช้ในการรีดที่สูงมากเกินไปจะทำให้กระทบ productivity ของโรงงงาน เพราะในขั้นตอนนี้ใช้เวลามากพอสมควร และต้องใช้พนักงานที่มีความชำนาญสูง ประกอบกับจำนวนเครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่มีอยู่อย่างจำกัด

5.3 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองในการทดลองคือ ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ซึ่งป็นสมบัติทางรีโอโลยี (rheological property) ของยางคอมพาวด์ที่วัดได้จากเครื่อง Mooney Viscometer ของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม

5.4 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองใช้การออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยมีปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับโดยมีรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการทดลองดังนี้

1. ทำการทดลองโดยการตั้งค่าปัจจัยในขั้นตอนที่ 1 (การผสมในเครื่อง Kneader) และในขั้นตอนที่ 2 (การผสมแบบเปิดบนเครื่อง Two roll mill) ตามลำดับการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อลดผลกระทบของปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลต่อการทดลอง ซึ่งในการออกแบบการทดลองใช้จำนวนการทดลอง (runs) ทั้งสิ้น 40 แบทการทดลอง
2. ลำดับขั้นตอนในการทดลองมีการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) ในการออกแบบการทดลองนี้ใช้โปรแกรม Minitab

5.5 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้นนั้น ในแต่ละการทดลองมีการควบคุมปัจจัยอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ทำการศึกษาเพื่อควบคุมสภาวะในการทดลองให้เหมือนกันทุกๆแบทการทดลอง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่สามารถส่งผลต่อการทดลองได้ ทั้งนี้การเก็บข้อมูลการทดลองเริ่มเมื่อ วันที่ 5 – 30 สิงหาคม 2562 ที่ผ่านมาซึ่งรายละเอียดในการควบคุมปัจจัยอื่นๆ มีดังนี้

- ใช้พนักงานคนเดียวในกระบวนการผสมยางตามรูปแบบการทดลองที่ออกแบบไว้
- ใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการผสมจากแหล่งผลิตเดียวกันในทุกๆแบทการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- วัดค่าความหนืด ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยี (rheological property) ของยางคอมพาวด์ที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer เครื่องเดียวกันทุกการทดลอง
- ใช้อุปกรณ์ เช่น เครื่องชั่งและเครื่องวัดอุณหภูมิ เหมือนกันทุกการทดลอง

โดยในแต่ละการทดลองมีรายละเอียดการทดลองในแต่ละปัจจัยและระดับของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.2 และลำดับในการดำเนินการทดลองทำตามลำดับที่แสดงในช่อง StdOrder

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดและลำดับการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A : Mixing time, min	B : Nip Gap, mm	C : No.of passes, pass	Y : Mooney Viscosity (MU)
27	1	1	1	6	2.3	13	105.69
13	2	-1	1	10	1.65	3	105.34
30	3	-1	1	14	1.65	8	102.1
21	4	1	1	6	1	3	106.03
35	5	0	1	10	1.65	8	102.91
22	6	1	1	14	1	3	104.05
24	7	1	1	14	2.3	3	103.84
16	8	0	1	10	1.65	8	102.67
39	9	0	1	10	1.65	8	102.54
36	10	0	1	10	1.65	8	102.65
8	11	1	1	14	2.3	13	101.06
26	12	1	1	14	1	13	96.99
5	13	1	1	6	1	13	96.77
19	14	0	1	10	1.65	8	102.53
20	15	0	1	10	1.65	8	102.76
3	16	1	1	6	2.3	3	108.24
14	17	-1	1	10	1.65	13	100.94
17	18	0	1	10	1.65	8	102.64
9	19	-1	1	6	1.65	8	104.43
2	20	1	1	14	1	3	104.38
25	21	1	1	6	1	13	96.48
28	22	1	1	14	2.3	13	101.74
23	23	1	1	6	2.3	3	108.34
37	24	0	1	10	1.65	8	102.9
11	25	-1	1	10	1	8	100.75
32	26	-1	1	10	2.3	8	105.84

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A : Mixing time, min	B : Nip Gap, mm	C : No.of passes, pass	Y : Mooney Viscosity (MU)
15	27	0	1	10	1.65	8	102.83
31	28	-1	1	10	1	8	100.69
6	29	1	1	14	1	13	97.46
38	30	0	1	10	1.65	8	102.66
40	31	0	1	10	1.65	8	102.67
18	32	0	1	10	1.65	8	102.75
10	33	-1	1	14	1.65	8	102.1
33	34	-1	1	10	1.65	3	104.57
1	35	1	1	6	1	3	106.01
29	36	-1	1	6	1.65	8	104.05
34	37	-1	1	10	1.65	13	100.87
12	38	-1	1	10	2.3	8	105.6
4	39	1	1	14	2.3	3	103.99
7	40	1	1	6	2.3	13	104.87

ในขั้นตอนการทดลองตามรูปแบบการออกแบบการทดลองสำหรับกระบวนผสมทั้ง 2 ขั้นตอนมีการตั้งค่าปัจจัยตามตารางที่ได้ออกแบบการทดลองมา และมีการควบคุมสภาวะอื่นๆ นอกเหนือจากตัวแปรที่เราสนใจ ให้มีค่าตามเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะในการทดลองใดๆ เนื่องจากต้องการดูผลของการทดลองสำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาวะการผสมของปัจจัยที่สนใจเท่านั้น

ในกระบวนการผสมยางคอมพาวด์นั้น การปรับปรุงหรือการทดลองจะต้องมีการทดลองไปทีละขั้นตอนโดยกำหนดให้ขั้นตอนอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนที่สนใจเป็นขั้นตอนควบคุม เพื่อให้สามารถรู้ถึงผลกระทบจากการทดลองในขั้นตอนที่เราสนใจได้อย่างถูกต้องและตรงตามจุดประสงค์

5.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยี (rheological property) ของยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ที่ได้จากกระบวนการผสมทั้ง 2 ขั้นตอน แสดงผลดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลของค่าความหนืดมูนนี่ที่ได้ผลผลิตของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A : Mixing time, min	B : Nip Gap, mm	C : No.of passes, pass	Y : Mooney Viscosity (MU)
27	1	1	1	6	2.3	13	105.69
13	2	-1	1	10	1.65	3	105.34
30	3	-1	1	14	1.65	8	102.1
21	4	1	1	6	1	3	106.03
35	5	0	1	10	1.65	8	102.91
22	6	1	1	14	1	3	104.05
24	7	1	1	14	2.3	3	103.84
16	8	0	1	10	1.65	8	102.67
39	9	0	1	10	1.65	8	102.54
36	10	0	1	10	1.65	8	102.65
8	11	1	1	14	2.3	13	101.06
26	12	1	1	14	1	13	96.99
5	13	1	1	6	1	13	96.77
19	14	0	1	10	1.65	8	102.53
20	15	0	1	10	1.65	8	102.76
3	16	1	1	6	2.3	3	108.24
14	17	-1	1	10	1.65	13	100.94
17	18	0	1	10	1.65	8	102.64
9	19	-1	1	6	1.65	8	104.43
2	20	1	1	14	1	3	104.38
25	21	1	1	6	1	13	96.48
28	22	1	1	14	2.3	13	101.74
23	23	1	1	6	2.3	3	108.34
37	24	0	1	10	1.65	8	102.9
11	25	-1	1	10	1	8	100.75
32	26	-1	1	10	2.3	8	105.84
15	27	0	1	10	1.65	8	102.83
31	28	-1	1	10	1	8	100.69
6	29	1	1	14	1	13	97.46
38	30	0	1	10	1.65	8	102.66
40	31	0	1	10	1.65	8	102.67
18	32	0	1	10	1.65	8	102.75
10	33	-1	1	14	1.65	8	102.1
33	34	-1	1	10	1.65	3	104.57
1	35	1	1	6	1	3	106.01

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A : Mixing time, min	B : Nip Gap, mm	C : No.of passes, pass	Y : Mooney Viscosity (MU)
29	36	-1	1	6	1.65	8	104.05
34	37	-1	1	10	1.65	13	100.87
12	38	-1	1	10	2.3	8	105.6
4	39	1	1	14	2.3	3	103.99
7	40	1	1	6	2.3	13	104.87

ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการผสมทั้ง 2 ขั้นตอนค่าความหนืด ซึ่งเป็นสมบัติทางรีโอโลยี (rheological property) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นควรผ่านค่ามาตรฐาน (Specification) ที่ทางบริษัทได้กำหนดไว้ซึ่งอยู่ที่ 95-105 MU โดยผลการทดลองที่ได้ดังแสดงดังตารางผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของยางคอมพาวด์มีทั้งผ่านและไม่ผ่านมาตรฐานที่ทางบริษัทตั้งไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะในการทดลองหรือการตั้งค่าปัจจัยที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อความหนืดของยางคอมพาวด์ที่ได้ โดยในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง , การวิเคราะห์ผลการทดลองและการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนต่อไป

5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ จะนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 5.4 ซึ่งเป็นผลของค่าความหนืดมูนนี่ของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ Minitab ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	284.117	47.353	242.25	0.000
Linear	3	240.104	80.035	409.45	0.000
Mixing time	1	26.912	26.912	137.68	0.000
Nip Gap	1	78.408	78.408	401.12	0.000
No.of passes	1	134.784	134.784	689.54	0.000
2-Way Interaction	3	44.013	14.671	75.05	0.000
Mixing time*Nip Gap	1	12.426	12.426	63.57	0.000
Mixing time*No.of passes	1	2.102	2.102	10.76	0.002
Nip Gap*No.of passes	1	29.485	29.485	150.84	0.000
Error	33	6.451	0.195		
Lack-of-Fit	8	5.088	0.636	11.67	0.000
Pure Error	25	1.363	0.055		
Total	39	290.568			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.442121	97.78%	97.38%	96.40%

รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดของยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่ได้จากกระบวนการผสม ซึ่งพิจารณาจากค่า P-value ซึ่งถ้าหากค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าความหนืดของยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่ได้จากกระบวนการผสมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยจากรูปจะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความหนืดมูนนี่ คือปัจจัยหลัก เวลาการผสม (Mixing time) , ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip Gap) , จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap (Number of passes) และปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยได้แก่ เวลาการผสมกับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง, เวลาการผสมกับจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap และ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งกับจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ซึ่งต่างก็มีผลกระทบต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญด้วยกันทั้งสิ้น เพราะมีว่าต่างก็มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 กันทั้งหมด จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยและร่วมไปถึงปัจจัยร่วมของปัจจัยหลัก ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะนำปัจจัยหลักที่ส่งผลเหล่านี้ไปหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าในการออกแบบการทดลองในขั้นตอนถัดไป

5.9 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์เพื่อสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนนี่ที่ได้จากกระบวนการผสมโดยการนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองจากเครื่องมือทางสถิติต่างๆมาทดสอบสมมติฐานโดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยมีการนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ เวลาการผสม (Mixing time) , ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip Gap) และจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap (Number of passes) มาออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 40 การทดลอง จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติพบว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยและร่วมไปถึงปัจจัยร่วมของปัจจัยหลักส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าความหนืดมูนนี่) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในขั้นตอนถัดไปปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกพิสูจน์แล้วว่าส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จะถูกนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมกับค่าเป้าหมายและให้อยู่ในขอบเขตค่ามาตรฐาน (Specification) ที่ทางบริษัทได้กำหนดไว้

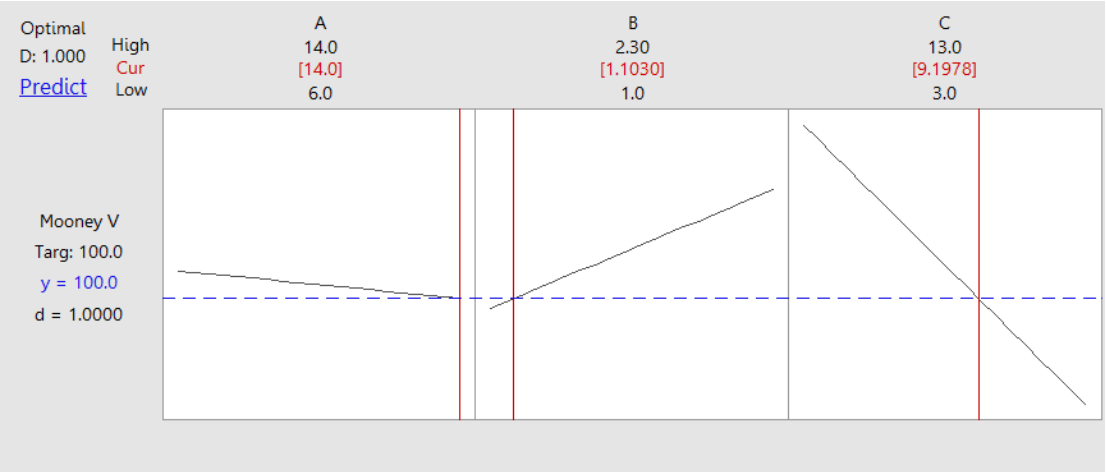
บทที่ 6
ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

6.1 บทนำ

จากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในบทก่อนหน้านี้ ทำให้รู้ถึงได้ปัจจัยที่แท้จริงที่มีผลต่อ ค่าความหนืดมูนนี่ ซึ่งใช้ในการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตของยางคอมพาวด์ที่ได้จากกระบวนการผสม และนำปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญมาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยใช้การออกแบบการทดลองเดิมกับที่ใช้ในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้เลย เพราะจากการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้พบว่าปัจจัยหลักทุกตัวส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง รวมไปถึงปัจจัยร่วมของปัจจัยหลักด้วยเช่นกัน จึงไม่จำเป็นต้องออกแบบการทดลองใหม่เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออก การหาระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัย จะช่วยให้สามารถลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสม ซึ่งระดับที่ใช้ในการกำหนดของแต่ละ ปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลนั้น จะทำการหาค่าที่เหมาะสมของสภาวะการผสม ถูกนำมาใช้เป็นค่ากำหนดระดับในแต่ละปัจจัยใหม่ แล้ววัดผลของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้ จากนั้นทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ , วิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ และ สรุปค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมโดยรวมเพื่อนำไปสู่การใช้ตั้งเป็นสภาวะในการผลิตจริงต่อไป

6.2 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

นำทั้ง 3 ปัจจัยที่ผ่านการทดลอง และทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและหาปัจจัยที่แท้จริง คือ เวลาการผสม (Mixing time) , ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip Gap) , จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap (Number of passes) มาหาค่าที่เหมาะสมโดยการใช้โปรแกรม Minitab (Response Optimizer) โดยกำหนดค่าตัวแปรตอบสนอง (ความหนืดมูนนี่) ให้มีค่าตามมาตรฐาน (Specification) ที่ทางลูกค้าได้กำหนดไว้ โดยกำหนดค่าเป้าหมาย ที่ 100 MU (Mooney Unit) ซึ่งเป็นค่าที่ถูกพิสูจน์มาแล้วจากทางลูกค้าว่าให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางมาสเตอร์แบทที่ดี ไม่มีรอยแตกที่ผิวอันเนื่องมาจากความเข้ากันได้ไม่ดีระหว่างยางและสารตัวเติมปรากฏให้เห็นและสามารถนำผลิตภัณฑ์มาสเตอร์แบทไปใช้ต่อในกระบวนการถัดไป ได้อย่างไม่เกิดปัญหาใดๆ และเป็นค่าที่อยู่กึ่งกลางของ spec limit (95-105 MU) ที่ถูกกำหนดโดยทางลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์ EPDM non-oil มาสเตอร์แบท เมื่อกำหนดค่าเป้าหมายให้กับตัวแปรตอบสนองได้แล้ว จะใช้คำสั่ง Response Optimizer โดยโปรแกรม Minitab เพื่อหาจุดที่มีความเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ที่ได้จาก Response Optimizer

จากรูปที่ 6.1 สรุปผลได้ว่าระดับของปัจจัยที่มีค่าเหมาะสม คือ A: เวลาการผสม ที่ 14 นาที, B: ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 1.1 มิลลิเมตร และ C: จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ที่ 9 รอบ ให้ค่าพยากรณ์ (y) ของค่าความหนืดมูนนี่เท่ากับ 100 ซึ่งได้ตามค่าเป้าหมายคือ 100 MU (Mooney Unit) ที่ความพึงพอโดยรวม (composite desirability) เท่ากับ 1.00 ซึ่งหมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากนั้นได้นำค่าที่เหมาะสมของทั้งหมด 3 ปัจจัยข้างต้นมาทำการตั้งค่าตามตารางที่ 6.1 ในกระบวนการผลิตจริงของทางโรงงาน (Upscale) เพื่อพิสูจน์ค่าระดับเหมาะสมของปัจจัยที่ได้ ทั้งนี้การเก็บข้อมูลการผลิตจริง เริ่มเก็บเมื่อวันที่ 2 – 27 กันยายน 2562 เป็นจำนวน 30 แบทการผลิต

ตารางที่ 6.1 ค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
เวลาการผสม	A	14	นาที
ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง	B	1.1	มิลลิเมตร
จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap	C	9	รอบ

6.3 ผลการทดลอง

หลังจากาการตั้งค่าปัจจัยตามค่าระดับที่เหมาะสมที่ได้จากการใช้ Response Optimizer โดยโปรแกรม Minitab สำหรับกระบวนการผสมจริงในโรงงานกรณีศึกษา พบว่าได้ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท แสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลของค่าความหนืดมูนนี่ที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่โรงงานกรณีศึกษาหลังจากปรับปรุง (ตั้งค่าระดับของปัจจัยใหม่ตามค่าเหมาะสมที่ได้)

Sample no.	Mooney viscosity (MU)
1	100.87
2	100.74
3	100.54
4	100.69
5	100.57
6	100.19
7	100.47
8	101.16
9	100.97
10	100.78
11	100.73
12	100.23
13	100.86
14	100.34
15	100.75
16	100.12
17	100.93
18	100.06
19	100.72
20	100.43
21	100.63
22	100.94
23	100.38
24	101.19
25	100.47
26	100.27
27	100.83
28	100.17
29	100.45
30	100.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากการออกแบบการทดลองในบทที่ 5 ต่อเนื่องมาเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในบทนี้ โดยการใช้โดยการใช้โปรแกรม Minitab (Response Optimizer) ได้ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ เวลาการผสม ที่ 14 นาที, ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 1.1 มิลลิเมตร และจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ที่ 9 รอบ จากนั้นได้นำไปตั้งค่าเพื่อ Upscale ใช้จริงในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงาน ผลผลิตที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.2 ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ซึ่งผลผลิตจริงทั้ง 30 แบทการผลิตหลังจากปรับปรุง มีค่าเฉลี่ยความหนืดมูนนี่อยู่ที่ 100.61 MU ซึ่งใกล้เคียงค่าเป้าหมายและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางลูกค้าตั้งไว้ (95-105 MU) สำหรับผลิตภัณฑ์ยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

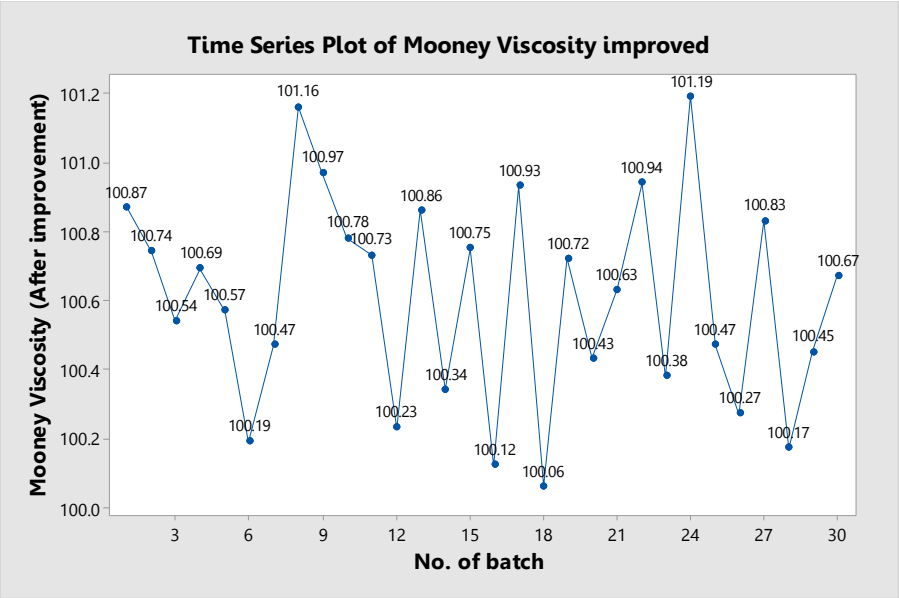
บทที่ 7
ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

7.1 บทนำ

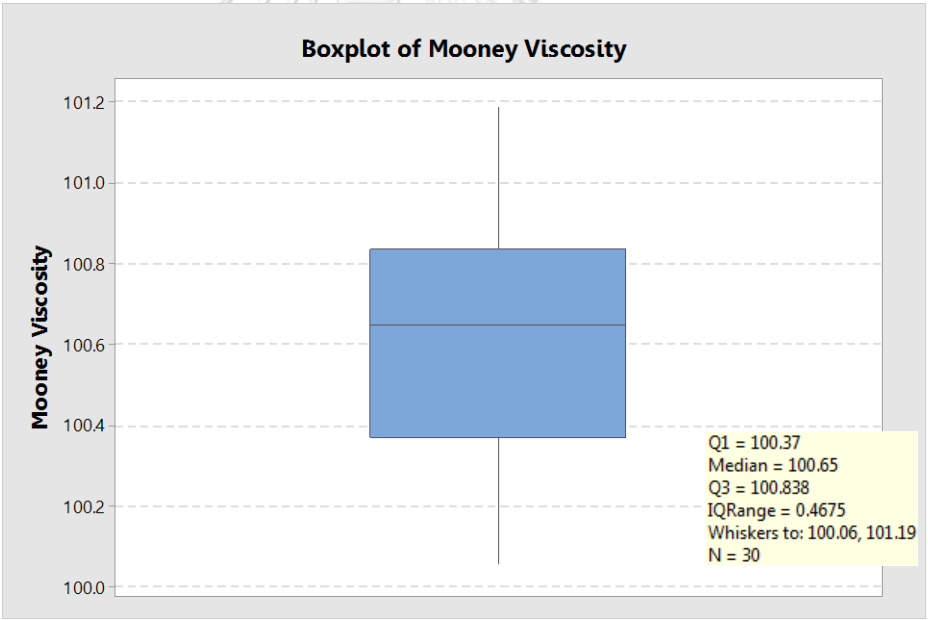
ระยะการควบคุมกระบวนการผลิตถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับกระบวนการ ซิกซ์ ซิกมา โดยในขั้นตอนนี้เป็นการนำแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหามาใช้ในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งนำระดับของปัจจัยที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์และทดลองได้ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้งหมดมาใช้ควบคุมในการผลิตจริงเพื่อยืนยันและวิเคราะห์ผลหลังการปรับปรุง พร้อมทั้งควบคุมกระบวนการในการปฏิบัติงานให้กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการนำค่าที่เหมาะสมหรือระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทุกตัวมากำหนดเป็นแบบแผนเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตจริง โดยการนัดประชุมกันอย่างพร้อมเพียงระหว่างทีมงานในแผนกที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ และออกเอกสารในการผลิตโดยอ้างอิงตามสภาวะ ควบคุมของระดับปัจจัยที่เหมาะสมใหม่ ได้แก่ เวลาการผสม เท่ากับ 14 นาที, ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง เท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร และจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap เท่ากับ 9 รอบ รวมถึงการอธิบาย รายละเอียดสภาวะควบคุมอื่นๆให้กับพนักงานในหน่วยปฏิบัติงานจริงได้รับทราบ หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงานโดยเริ่มเก็บเมื่อวันที่ 2 – 27 กันยายน 2562 จากการผลิตจริงทั้งหมด 30 แบทการผลิต เพื่อนำไปใช้ในการเปรียบเทียบผลกับผลผลิตที่ได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผสมของทางโรงงาน โดยค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการผสมแสดงดังรูปที่ 7.1 และรูปที่ 7.2 แสดงความผันแปรของผลผลิตที่ได้



รูปที่ 7.1 ความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงานหลังปรับปรุงกระบวนการผสม



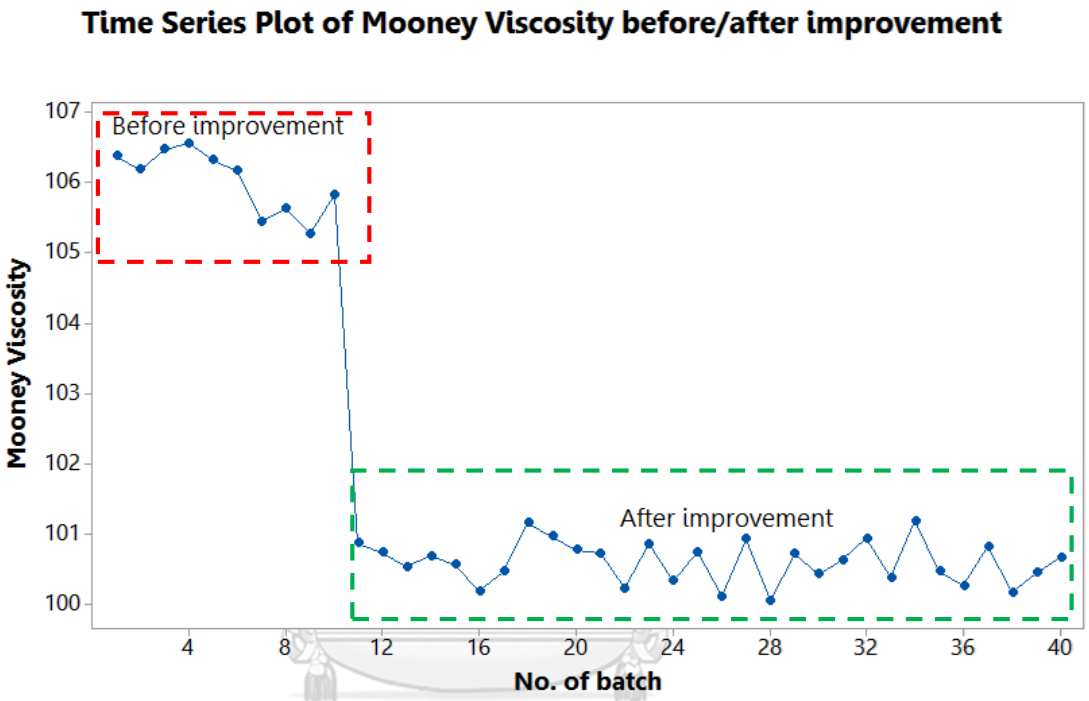
Statistics

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Mooney Viscosity	30	0	100.60	0.0553	0.303	100.06	100.37	100.65	100.84	101.19

รูปที่ 7.2 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตคอมพาวด์ที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงานหลังปรับปรุงกระบวนการผสม

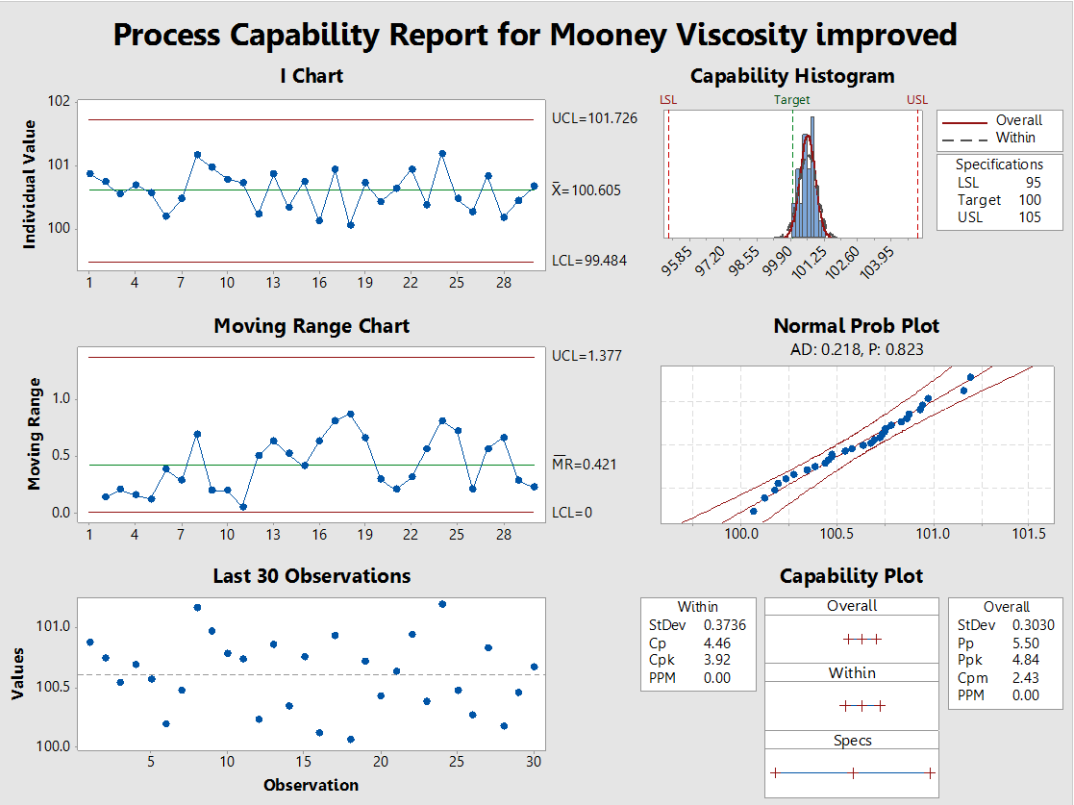
จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7.1 และ 7.2 ให้ค่าความหนืดมูนนี่ของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทของโรงงานอยู่ในช่วง 100.06 – 101.19 (S.D.

เท่ากับ 0.30) และให้ค่าความหนืดของผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 100.60 ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้ ก่อนการปรับปรุงกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 7.3 โดยค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผสม มีค่าความหนืดของผลผลิตอยู่ในช่วง 105.27 – 106.56 (S.D. เท่ากับ 0.45) และค่าความหนืดของผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 106.03 ซึ่งมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด (spec limit 95-105 MU) และทำให้เกิด defect ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ที่ได้อันเนื่องมาจากความเข้ากันได้ไม่ดีระหว่างยาง EPDM และสารตัวเติม



รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงสภาวะของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในโรงงาน

สำหรับข้อมูลความหนืดของผลผลิตที่ได้หลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการ ได้นำข้อมูลผลผลิตที่ได้จาก กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท หลังการปรับปรุงสภาวะกระบวนการผสมในโรงงานมาวิเคราะห์ ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยแสดงดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 ความสามารถของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 7.4 จะเห็นได้ว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ทำให้ค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cp_k) เท่ากับ 3.92 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่มี (Cp_k) เท่ากับ -1.25 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ส่งผลให้กระบวนการในการผลิตยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทมีการพัฒนาดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.3 แนวทางการควบคุมระดับของปัจจัย

จากผลของการนำแนวทางหลักการปรับปรุงกระบวนการเข้าไปใช้ในหน่วยผลิตจริงของโรงงานและพบว่าความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีค่าลดลง และค่าเฉลี่ยความหนืดของผลผลิตมีค่าเข้าใกล้ค่าที่เป้าหมายมากขึ้นและมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด จึงมีแนวทางในการควบคุมกระบวนการผสมเพื่อให้ค่าระดับของปัจจัยสภาวะควบคุมในขั้นตอนการผลิตต่างๆเป็นไปตามแนวทางที่ได้ศึกษามาแล้ว ซึ่งปัจจัยที่ต้องมีการควบคุมได้แก่ เวลาการผสม , ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง, จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ที่ Fill factor 0.8 และ อุณหภูมิเริ่มต้น 80 องศาเซลเซียสคงที่เท่ากันในทุกแบทการผสม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สภาวะในการควบคุมของปัจจัยต่างๆ ทางผู้ดำเนินงานวิจัยได้กำหนดแนวทางเพื่อให้พนักงานทุกคนเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนได้อย่างถูกวิธีและไปในทิศทางความเข้าใจเดียวกันดังนี้

1. จัดทำเอกสารในการปฏิบัติงาน (Operating Instruction) โดยระบุค่าสภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการผสมต่างๆ ให้ชัดเจนและง่ายต่อการปฏิบัติตาม

2. พนักงานควบคุมกระบวนการผสมทำความเข้าใจกระบวนการผสมและค่าสภาวะควบคุมชุดใหม่ก่อนเริ่มการปฏิบัติงาน

3. พนักงานควบคุมกระบวนการผสมบันทึกข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผสม รวมถึงขั้นตอนและสภาวะควบคุมต่างๆ พร้อมทั้งลงเวลาและลงชื่อกำกับในแต่ละขั้นตอนการผสมอย่างชัดเจน

4. จัดฝึกอบรมพนักงานในการควบคุมกระบวนการผสมทุกคนให้เข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญในการควบคุมสภาวะกระบวนการผสมซึ่งจะส่งผลลัพธ์ผลผลิตที่ได้

7.4 สรุประยะการควบคุมการผลิต

หลังจากการนำแนวทางการแก้ปัญหาไปปฏิบัติจริงในกระบวนการผสมของโรงงาน โดยนำค่าที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมตามที่มีการกำหนดไว้ มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติจริงในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จำนวน 30 แบทการผลิต พบว่าผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการผสม ให้ค่าความหนืดของผลผลิตเฉลี่ยลดลงจาก 106.03 เป็น 100.60 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ค่าที่เป้าหมายมากขึ้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดและลูกค้าสามารถยอมรับได้ นอกจากนี้ยังให้ค่าความผันแปรที่ลดลง จาก 105.27 – 106.56 (S.D. เท่ากับ 0.45) ลดเหลือ 100.06 – 101.19 (S.D. เท่ากับ 0.30) และในการปรับปรุงกระบวนการนี้ให้ค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cp_k) เท่ากับ 3.92 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่มี (Cp_k) เท่ากับ -1.25 พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติงานในการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นและปรับปรุงไว้ โดยมีการจัดทำเอกสารการปฏิบัติงาน (Operating Instruction) และการจัดอบรมเพื่อให้เกิดความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการควบคุมการผสมให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทสำหรับ บริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทอุตสาหกรรมยางขนาดกลางที่ดำเนินธุรกิจในประเทศไทย โดยมุ่งเน้นในการปรับปรุงความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ซึ่งไม่เพียง แค่ลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้เท่านั้น งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นถึงลดค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทร่วมด้วย เพื่อให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่โรงงานกำหนดไว้และลดปัญหา defect ที่เกิดขึ้นบนผิวของผลิตภัณฑ์เนื่องจากการผสมที่ไม่มีคุณภาพ โดยการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผสมมีการนำแนวทาง ซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในปัจจุบันให้ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่มี ค่าความหนืดสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดซึ่งสื่อถึงคุณภาพการผสมที่ไม่ดี โดยให้ค่าความหนืดของผลผลิตอยู่ระหว่าง 105.27 – 106.56 (S.D. = 0.45 และ Cp_k = -1.25) รวมถึงค่าเฉลี่ยค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 106.03 ซึ่งมีค่าเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามที่บริษัทตั้งไว้

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำตามขั้นตอนของ ซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน (DMAIC) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ ซึ่งจากการวิเคราะห์ตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา ให้ผลลัพธ์หลังปรับปรุงกระบวนการพบว่า ค่าความหนืดของผลผลิตมีค่าลดลงเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้น ซึ่งสื่อถึงการผสมที่ดีขึ้นและความผันแปรของค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้มีค่าลดลง ซึ่งให้ค่าหนืดอยู่ระหว่าง 100.06 – 101.19 (S.D. = 0.30 และ Cp_k = 3.92) โดยค่าความหนืดเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้ลดลงมาอยู่ที่ 100.60 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดและมีบทสรุปในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา

ขั้นตอนการนิยามปัญหา ได้กำหนดปัญหาและขอบเขตของงานวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท รวมถึงศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ได้กำหนดปัญหาและขอบเขตของงานวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทคือ จากการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจุบันพบว่า กระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทให้ค่าผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยมีค่าเฉลี่ย Mooney viscosity (ค่าความหนืด) ของผลผลิตของกระบวนการแตกต่างจากค่าเป้าหมายเดิมอยู่มาก ทำให้เกิดการ Out of spec ของผลิตภัณฑ์ และค่า Cpk ของกระกระบวนการอยู่ที่ -1.25 โดยปัจจัยหลักที่ได้ทำการวิเคราะห์ร่วมกับคณะทำงานและพบว่าส่งผลต่อคุณภาพของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลผลิต คือ สภาวะในการผสมในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ในขั้นตอนที่ 1 ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature), ความเร็วรอบของโรเตอร์ (Rotor speed), แรงดันของแท่งกด (Ram pressure), สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม (Fill factor) และเวลาของการผสม (Mixing time) ในขั้นตอนที่ 2 ได้แก่ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งสองลูก (Nip Gap) และ จำนวนรอบที่รีดผ่าน Two-roll mill ดังนั้นจุดประสงค์หลักสำหรับงานวิจัยนี้คือการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผสมยางเพื่อที่จะปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ซึ่งจะเป็นตัวที่บ่งบอกเป็นนัยถึงคุณภาพการผสม ความถูกต้องของการผลิต และ ความสามารถในการไหลเมื่อถูกนำไปใช้งานในกระบวนการถัดไป โดยต้องมีค่าเฉลี่ย Mooney viscosity ของผลผลิตของกระบวนการ ลู่เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากยิ่งขึ้น และมีค่า Cpk ของกระบวนการ มากกว่า 1.33

8.3 บทสรุประยะการตรวจวัดปัญหา

ระยะการตรวจวัดปัญหาเป็นขั้นตอนในการหาสาเหตุของปัญหา โดยงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยวิเคราะห์ความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกันจาก Supplier A และ B รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย (Lot by Lot) โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A มีค่า P-value เท่ากับ 0.154 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มา A ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบที่มาจากแหล่งที่มา B โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.384 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 จึงสามารถสรุปได้เช่นเดียวกับแหล่งที่มา A จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงตรงของระบบที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ได้แก่เครื่องวิเคราะห์ทางรีโอโลยี Mooney Viscometer แสดงให้เห็นว่าจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมดให้ค่า %SV หรือ P/TV เท่ากับ 0.78% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าผลการประเมินระบบการวัดนี้ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกเหนือจากระบบการวัดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mooney Viscometer แล้วนั้น ในระหว่างกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท มีระบบการวัดเพื่อควบคุมสภาวะในกระบวนการผสมด้วยเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ระบบการวัดอุณหภูมิการผสมในหน่วยองศาเซลเซียส (thermocouple) เป็นต้น นอกเหนือจากนั้นมีการศึกษาหาสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท โดยใช้การระดมสมองของทีมงานเพื่อหาสาเหตุด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผลซึ่งได้ปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 23 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาคัดกรองด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix เพื่อให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัย ทำให้คัดเหลือ 7 ปัจจัย เพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และ ให้คะแนนเพื่อคำนวณค่า RPN ทำให้พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ทั้งหมด

5 ปัจจัย ได้แก่ Nip Gap in two roll mill (ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง), Mixing time (เวลาการผสม), Mixing temperature (อุณหภูมิการผสม), Number of passes, nip gap (จำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap) และ Fill factor (สัดส่วนปริมาตรเนื้อสารทั้งหมดต่อปริมาตรของห้องผสม) และได้ถูกคัดกรองอีกครั้งจากผู้ดำเนินงานวิจัยและคณะทำงานเพื่อให้ล้อไปกับการใช้งานจริงของทางบริษัทกรณีศึกษาและงบประมาณ โดยได้ตัดปัจจัย Fill factor และ Mixing temperature ออก เหลือเพียง 3 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่เหลืออยู่นี้ทางคณะผู้ดำเนินงานวิจัยคาดว่ามีศักยภาพมากพอและสามารถปรับปรุงและแก้ไขได้จากการทำงานวิจัยนี้อย่างแน่นอน และเป็นปัจจัยที่ถูกวิเคราะห์ว่าส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทอย่างแท้จริง โดยในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำปัจจัยทั้ง 3 ไปเป็นปัจจัยหลักในการใช้ออกแบบการทดลอง

8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์เพื่อสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนนี่ที่ได้จากกระบวนการผสมโดยการนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองจากเครื่องมือทางสถิติต่างๆมาทดสอบสมมติฐานโดยการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) โดยมีการนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ เวลาการผสม (Mixing time) , ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Nip Gap) และจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap (Number of passes) มาออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 40 การทดลอง จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติพบว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยและร่วมไปถึงปัจจัยร่วมของปัจจัยหลักส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าความหนืดมูนนี่) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ในขั้นตอนถัดไปปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกพิสูจน์แล้วว่าส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จะถูกนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมกับค่าเป้าหมายและให้อยู่ในขอบเขตค่ามาตรฐาน (Specification) ที่ทางบริษัทได้กำหนดไว้

8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากการออกแบบการทดลองในบทที่ 5 ต่อเนื่องมาเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในบทนี้ โดยการใช้โดยการใช้โปรแกรม Minitab (Response Optimizer) ได้ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ เวลาการผสม ที่ 14 นาที, ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งที่ 1.1 มิลลิเมตร และจำนวนรอบของการรีดผ่าน nip gap ที่ 9 รอบ จากนั้นได้นำไปตั้งค่าเพื่อ Upscale ใช้จริงในกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ของโรงงาน ผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 6.2 ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง ซึ่งผลผลิต 30 แบทการผลิต หลังจากปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยความหนืดมูนนี่อยู่ที่ 100.61 MU ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางบริษัทตั้งไว้ (95-105 MU) สำหรับผลิตภัณฑ์ยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

8.6 บทสรุประยะการควบคุมการผลิต

ระยะสการติดตามและควบคุมกระบวนการผลิต หลังจากการนำแนวทางการแก้ปัญหาไปปฏิบัติจริงในกระบวนการผสมของโรงงาน โดยนำค่าที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมตามที่มีการกำหนดไว้ มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติจริงในกระบวนการผสมยาง EPDM

non-oil มาสเตอร์แบท จะเห็นได้ว่าค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จำนวน 30 แบทการผลิต พบว่าผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการผสม ให้ค่าความหนืดของผลผลิตเฉลี่ยลดลงจาก 106.03 เป็น 100.60 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ค่าที่เป้าหมายมากขึ้น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดและลูกค้าสามารถยอมรับได้ นอกจากนี้ยังให้ค่าความผันแปรที่ลดลง จาก 105.27 – 106.56 (S.D. เท่ากับ 0.45) ลดเหลือ 100.06 – 101.19 (S.D. เท่ากับ 0.30) และในการปรับปรุงกระบวนการนี้ให้ค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cp_k) เท่ากับ 3.92 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่มี (Cp_k) เท่ากับ -1.25 พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติงานในการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ตามแนวทางที่ถูกพัฒนาขึ้นและปรับปรุงไว้ โดยมีการจัดทำเอกสารการปฏิบัติงาน (Operating Instruction) และการจัดอบรมเพื่อให้เกิดความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการควบคุมการผสมให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

8.7 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยและคณะได้พบข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือที่ใช้จริงอยู่ในโรงงาน ค่อนข้างมีฟังก์ชั่นที่จำกัด ทำให้การปรับระดับของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการผสมค่อนข้างปรับลำบาก ทำให้ปัจจัยที่น่าสนใจและส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองบางปัจจัยถูกตัดออกไป
2. งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เพราะในแต่ละแบทการผสม ใช้ยางและสารเคมีจำนวนมากพอสมควร
3. ในกระบวนการเก็บข้อมูลหลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการผสมในหน่วยการผลิตจริงนั้น ในระดับโรงงานต้องรอรอบการผลิตสำหรับยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท จึงส่งผลต่อระยะเวลาในการทำงานวิจัย
4. ในกระบวนการผสมในระดับปฏิบัติการต้องมีการทำการทดลองหลายการทดลองต่อวันและใช้เวลาหลายวันอาจได้ข้อมูลในการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อย

8.8 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะของงานวิจัยมีดังนี้

1. ในงานวิจัยการปรับปรุงกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทนี้ สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพการผสมให้ดีขึ้น ลดค่าความหนืดลงมาสู่ค่าเป้าหมายและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่โรงงานกำหนด และยังลดความผันแปรค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้ ดังนั้นหากมีการศึกษาในผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นของทางบริษัทก็สามารถใช้แนวทางการศึกษาเช่นเดียวกันนี้ จะเป็นประโยชน์มากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ในงานวิจัยนี้หากมีการศึกษาถึงปัจจัยนำเข้าอื่นสำหรับขั้นตอนการผสมอื่นๆ ที่สามารถส่งผลทำให้คุณภาพในการผสมดีขึ้น ความหนืดของผลผลิตที่ได้ลดลง และความผันแปรลดลงจากเดิม จะเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3. ในงานวิจัยนี้พบว่า Fill factor และ Mixing temperature ล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท ซึ่งจะสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพการผสมให้ดีขึ้นได้นอกเหนือจากปัจจัยที่ถูกนำเข้าในการออกแบบการทดลองของงานวิจัยนี้ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือและงบประมาณ ทำให้ไม่สามารถเก็บปัจจัยทั้งหมดได้ ซึ่งถ้าหากในอนาคต มีเวลา มีงบประมาณ และเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากพอ ก็ควรที่จะศึกษาปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อกระบวนการผสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก ค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) ของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทใน Lot การผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผสม รวมไปถึงการทดสอบค่าความหนืดมูนนี่ตามมาตรฐานสากล

ตาราง ก.1 ข้อมูลค่าความหนืดมูนนี่ของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทใน Lot การผลิตก่อนการปรับปรุงกระบวนการผสมโดยใช้หลักการ ซิกซ์ ซิกมา

Sample no.	Mooney viscosity (MU)
Lot 1	106.38
Lot 2	106.19
Lot 3	106.47
Lot 4	106.56
Lot 5	106.32
Lot 6	106.17
Lot 7	105.45
Lot 8	105.63
Lot 9	105.27
Lot 10	105.83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ก.2 ข้อมูลค่าความหนืดมูนนี่ของกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบทใน Lot การผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการผสมโดยใช้หลักการ ซิกซ์ ซิกมา

Sample no.	Mooney viscosity (MU)
Lot 1	100.87
Lot 2	100.74
Lot 3	100.54
Lot 4	100.69
Lot 5	100.57
Lot 6	100.19
Lot 7	100.47
Lot 8	101.16
Lot 9	100.97
Lot 10	100.78
Lot 11	100.73
Lot 12	100.23
Lot 13	100.86
Lot 14	100.34
Lot 15	100.75
Lot 16	100.12
Lot 17	100.93
Lot 18	100.06
Lot 19	100.72
Lot 20	100.43
Lot 21	100.63
Lot 22	100.94
Lot 23	100.38
Lot 24	101.19
Lot 25	100.47
Lot 26	100.27
Lot 27	100.83
Lot 28	100.17
Lot 29	100.45
Lot 30	100.67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทดสอบค่าความหนืดมูนนี่ตามมาตรฐานสากล

ตาราง ก.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบยาง /ISO 289, ASTM D1646

ชนิดของยาง	**อุณหภูมิที่ทดสอบ (°C)**	**ระยะเวลาในการหมุนแท่งหมุน (นาที)**
NR, BR, CR, IR, NBR และ SBR	100 ± 0.5	4
BIIR, CIIR และ IIR	100 ± 0.5 หรือ 125 ± 0.5*	8
EPDM และ EPM	125 ± 0.5	4
*ใช้อุณหภูมิในการทดสอบที่ 125 ± 0.5 สำหรับยางที่มีความหนืดสูงกว่า 60 - ML 1+8 (100 °C)		

ตัวอย่างสัญลักษณ์โดยทั่วไปที่ใช้แสดงผลการทดสอบค่าความหนืดมูนนี่

60 - ML 1+4 (125 °C)

โดยที่

60 คือ ค่าความหนืดที่วัดได้ในหน่วยมูนนี่

M แสดงให้เห็นว่าเป็นการทดสอบแบบมูนนี่

L หมายถึงแท่งหมุนขนาดใหญ่ (ถ้าเป็นแท่งหมุนขนาดเล็กจะใช้เป็น S)

1 คือระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่ยางก่อนการทดสอบ (preheat time) เพื่อให้ความร้อนหลังปิด chamber เป็นเวลา 1 นาที จนถึงเวลาที่เริ่มเปิดแท่งหมุน (แท่งหมุนเริ่มทำงาน)

4 คือระยะเวลาที่อ่านค่าความหนืด (ในกรณียางบิวไทล์จะมีค่าเท่ากับ 8) แสดงระยะเวลาที่ก็บผลหลังจากเริ่มเปิดแท่งหมุน

(125 °C) เป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบในหน่วยองศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเหตุ ในงานวิจัยนี้ อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 125 ± 0.5 °C ระยะเวลาในการหมุนแท่งหมุน 4 นาที เนื่องจากมาสเตอร์แบทที่ทำการผลิต ผลิตมาจากยาง EPDM 7602 (เกรดไม่มีน้ำมัน)

ภาคผนวก ข ค่าการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ตาราง ข.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลต่อคุณภาพการผสมซึ่งสะท้อนให้เห็นจากค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ตาราง ข.2 ผลสรุปการให้คะแนนปัจจัยที่มีโอกาสส่งต่อคุณภาพการผสมซึ่งสะท้อนให้เห็นจากค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ตาราง ข.3 ประวัติการทำงานของคณะทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลต่อคุณภาพการผสมซึ่งสะท้อนให้เห็นจากค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัย (Cause and Effect Matrix)				**ผู้จัดการฝ่ายผลิต**	**หัวหน้าฝ่ายผลิต**	**วิศวกรฝ่ายผลิต**	**พนักงานฝ่ายผลิต**
No.	Area cause	Process Input					
1	Man	Operator in line	Lack of experience	3	3	3	3
2			Lack of training	3	3	3	1
3			Lack of motivation	3	3	1	1
4	Material	Rubber	Under standard	3	3	3	3
5		Filler	Contaminate & Improper storage	1	3	1	3
6		Chemical	Under standard	3	3	9	3
			Contaminate & Improper storage	1	3	1	3
7	Machine	Mixing Chamber	Unclean & Contaminate	1	1	3	1
			Lack of maintenance	3	3	3	3
8		Rotors	Unclean & Contaminate	1	1	1	1
			Lack of maintenance	3	3	3	1
9		Cooling system	Lack of maintenance	3	3	9	1
10	Measurement	Weighing machine	Accurate & Precise	1	3	3	3
11		Mooney viscometer	Accurate & Precise	1	3	3	3
12	Method	Mixing time	Improper use	9	9	9	9
13		Ram pressure	Improper use	9	9	9	1
14		Mixing temperature	Improper use	9	9	9	9
15		Fill factor	Improper use	9	9	9	3
16		Nip Gap in two roll mill	Improper use	9	9	9	9
17		Number of passes, nip gap	Improper use	9	9	9	9
18		Rotor speed	Improper use	9	9	9	9
19	Environment	Weather	Temperature	0	0	0	1
20			Humidity	0	0	0	0

ตาราง ข.1 (ต่อ) แบบฟอร์มการให้คะแนนปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลต่อคุณภาพการผสมซึ่งสะท้อนให้เห็นจากค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัย (Cause and Effect Matrix)				ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ	นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	นักวิจัยและพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิต
No.	Area cause	Process Input					
1	Man	Operator in line	Lack of experience	3	3	3	9
2			Lack of training	3	3	3	9
3			Lack of motivation	1	3	1	1
4	Material	Rubber	Under standard	1	3	3	3
5		Filler	Contaminate & Improper storage	1	1	1	1
6		Chemical	Under standard	1	3	3	9
			Contaminate & Improper storage	1	1	1	1
7	Machine	Mixing Chamber	Unclean & Contaminate	3	1	1	9
			Lack of maintenance	3	3	3	3
8		Rotors	Unclean & Contaminate	3	3	3	1
			Lack of maintenance	3	1	1	3
9		Cooling system	Lack of maintenance	3	3	3	9
10	Measurement	Weighing machine	Accurate & Precise	1	3	3	3
11		Mooney viscometer	Accurate & Precise	1	3	0	0
12	Method	Mixing time	Improper use	9	9	9	9
13		Ram pressure	Improper use	3	3	3	9
14		Mixing temperature	Improper use	9	9	9	9
15		Fill factor	Improper use	9	9	9	9
16		Nip Gap in two roll mill	Improper use	9	9	9	9
17		Number of passes, nip gap	Improper use	9	9	9	9
18		Rotor speed	Improper use	9	9	9	9
19	Environment	Weather	Temperature	0	1	1	0
20			Humidity	0	1	0	0

ตาราง ข.2 ผลสรุปการให้คะแนนปัจจัยที่มีโอกาสส่งต่อคุณภาพการผสมซึ่งสะท้อนให้เห็นจากค่าความหนืดของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผสมยาง EPDM non-oil มาสเตอร์แบท

ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัย (Cause and Effect Matrix)				
No.	Area cause	Process Input		ผลสรุปการให้คะแนน
1	Man	Operator in line	Lack of experience	3
2			Lack of training	3
3			Lack of motivation	1
4	Material	Rubber	Under standard	3
5		Filler	Contaminate & Improper storage	1
6		Chemical	Under standard	3
			Contaminate & Improper storage	1
7	Machine	Mixing Chamber	Unclean & Contaminate	1
			Lack of maintenance	3
8		Rotors	Unclean & Contaminate	1
			Lack of maintenance	3
9		Cooling system	Lack of maintenance	3
10	Measurement	Weighing machine	Accurate & Precise	3
11		Mooney viscometer	Accurate & Precise	3
12	Method	Mixing time	Improper use	9
13		Ram pressure	Improper use	9
14		Mixing temperature	Improper use	9
15		Fill factor	Improper use	9
16		Nip Gap in two roll mill	Improper use	9
17		Number of passes, nip gap	Improper use	9
18		Rotor speed	Improper use	9
19	Environment	Weather	Temperature	0
20			Humidity	0

ตาราง ข.3 ประวัติการทำงานของคณะทำงาน

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ประสบการณ์ทำงาน	หน้าที่
1	ผู้จัดการฝ่ายผลิต	มีประสบการณ์ทำงานในโรงงานผลิตยางและพอลิเมอร์ 17 ปี	วางแผนการใช้ทรัพยากรการผลิต ควบคุมและดำเนินงานตามแผนการผลิต ให้คำปรึกษาด้านเทคนิค ตรวจสอบและปรับปรุงกระบวนการผลิต ควบคุมดูแลสายการผลิตในโรงงาน ให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้
2	หัวหน้าฝ่ายผลิต	มีประสบการณ์ทำงานในโรงงานผลิตยางและพอลิเมอร์ 10 ปี	บริหารจัดการและวางแผนการทำงาน พร้อมให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนการตัดสินใจแก้ไขปัญหาเบื้องต้นให้กับพนักงาน เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย ดูแลด้านงานผสมยางคอมพาวด์ และการขึ้นรูปให้ส่งมอบเป็นไปตามเป้าหมายและตามที่ลูกค้าต้องการ
3	วิศวกรฝ่ายผลิต	มีประสบการณ์ทำงานในโรงงานผลิตยางและพอลิเมอร์ 3 ปี	ควบคุมดูแลกระบวนการผลิต พัฒนาปรับปรุงคุณภาพของการผลิต แก้ปัญหาเฉพาะหน้ารวมกับพนักงานฝ่ายผลิต จัดทำรายงานวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อปรับปรุงด้านการผลิต รวบไปถึงหน้าที่อื่นๆ ที่ได้รับมอบหมายจาผู้บังคับบัญชา
4	พนักงานฝ่ายผลิต	มีประสบการณ์ทำงานในโรงงานผลิตยางและพอลิเมอร์ 5 ปี	ผลิตงานตาม order ที่ได้รับมอบหมาย ตามเงื่อนไขที่กำหนด ควรคุมปัจจัยต่างๆหน้าเครื่องจักรและดูแลอุปกรณ์เครื่องจักรเครื่องมือให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์สะอาดเรียบร้อยตลอดเวลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข.3 (ต่อ) ประวัติการทำงานของคณะทำงาน

ลำดับที่	ตำแหน่ง	ประสบการณ์ทำงาน	หน้าที่
5	ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ	มีประสบการณ์ทำงานในด้านตรวจสอบคุณภาพและวัตถุดิบในโรงงาน 12 ปี	วางแผนการตรวจสอบคุณภาพและวัตถุดิบ เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพและตรงตามมาตรฐานที่ลูกค้าและทางโรงงานกำหนด รายงานผลการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดของเสียของผลิตภัณฑ์ที่ได้ รวมถึงประสานงานกับผู้ผลิต, จัดซื้อหรือฝ่ายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
6	นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ	มีประสบการณ์ทำงานในด้านงานตรวจสอบคุณภาพและวัตถุดิบในโรงงานยาง 4 ปี	สนับสนุนข้อมูลด้านคุณภาพ ร่วมถึงเก็บข้อมูลทางสถิติและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดของเสีย ดูแลการเลือกใช้วัตถุดิบและเทคนิคการผสมยางคอมพาวด์ต่างๆ
7	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	มีประสบการณ์ทำงานในด้านงานตรวจสอบคุณภาพและวัตถุดิบในโรงงานยาง 3 ปี 5 เดือน	ปฏิบัติงานตามคู่มือระบบคุณภาพ ตรวจสอบขั้นตอนของการควบคุมการบันทึกคุณภาพให้ครบถ้วน ชัดเจน ตรวจสอบการควบคุมกระบวนการผลิต การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือ ต้องอยู่ภายใต้มาตรฐานที่กำหนดโดยลูกค้า หรือทางราชการหรือตามมาตรฐานทั่วไป
8	นักวิจัยและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ยางและกระบวนการผลิต (ผู้วิจัย)	มีประสบการณ์ทำงานในด้านงานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยาง 3 ปี	ค้นคว้า และเรียนรู้สิ่งต่างๆที่เป็นประโยชน์มาปรับใช้กับโรงงาน และนำความรู้มาปรับปรุงสินค้าที่มีอยู่แล้ว ให้มีคุณภาพหรือมูลค่ามากขึ้น และสามารถแข่งขันในตลาดได้ รวมไปถึงการศึกษาเพื่อสร้างสินค้าใหม่ๆ ออกสู่ตลาดเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Agarwal, S., Gallo, J. J., Parashar, A., Agarwal, K. K., Ellis, S. G., Khot, U. N., . . . Kapadia, S. R. J. C. R. M. (2016). Impact of lean six sigma process improvement methodology on cardiac catheterization laboratory efficiency. *17*(2), 95-101.

Coronado, R. B., & Antony, J. J. T. T. m. (2002). Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations.

Harry, M., & Schroeder, R. (2005). *Six Sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*: Crown Business.

Indrawati, S., & Ridwansyah, M. J. P. M. (2015). Manufacturing continuous improvement using lean six sigma: An iron ores industry case application. *4*, 528-534.

Kim, M., Lee, Y.-H., Han, I.-S., & Han, C. (2003). Quality improvement in the chemical process industry using Six Sigma technique. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 15, pp. 244-249): Elsevier.

Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2010). *Applied statistics and probability for engineers*: John Wiley & Sons.

Narongthong, J., Sae-Oui, P., Sirisinha, C. J. R. C., & Technology. (2018). Effects of mixing parameters and their interactions on properties of carbon black filled styrene-butadiene rubber. *91*(3), 521-536.

Pande, P. S., & Holpp, L. (2001). *What is six sigma?* : McGraw-Hill Professional.

Schroeder, R. G., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. S. J. J. o. o. M. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *26*(4), 536-554.

นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ. (2557). การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา.

ปรียาวดี ผลเอนก. (2558). การจัดการคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร: สานักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รุจิรา อุไรพงษ์. (2552). การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวคิดทางซิกซ์ ซิกมา [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

วิทยา เจนจิวัฒนกุล. (2554). การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ศิรเวทย์ อัศวไชยวงศ์. (2556). การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชู่ประเภทกระดาษชาระม้วนใหญ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นภนิกันติ์ วงศ์ทรัพย์สกุล
วัน เดือน ปี เกิด	7 สิงหาคม 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดพิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาปริญญาตรี จาก คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขา ปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	กรุงเทพมหานคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University