การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมาในการลดเวลาการผลิตเคมีป้องกันสนิม

นายศุภเดช กุลบรรเจิดสุข

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

The Application of Six Sigma technique in reducing production time of rust-prevention chemical production

Mr. Supadech Kulbanjerdsuk

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมาในการลดเวลาการผลิตเคมีป้องกันสนิม
โดย	นายศุภเดช กุลบรรเจิดสุข
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศุภเดช กุลบรรเจิดสุข : การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมาในการลดเวลาการผลิตเคมีป้องกันสนิม (The Application of Six Sigma technique in reducing production time of rust-prevention chemical production) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, 100 หน้า.

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตเคมีป้องกันสนิมชนิดพีวีซีพลาสติซอลแบบ Batch ที่แตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้า โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะลดเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อรอบ โดยกระบวนการเริ่มจากการกำหนดสูตรผลิตในห้องทดลองที่มีการใช้เครื่องผสมที่มีห้องผสมสะอาดเพื่อทำการผลิต ในขณะที่การผลิตจริงก่อนเริ่มการผลิตแต่ละ Batch จะมีคงค้างของผลิตภัณฑ์จากการผลิตรอบก่อนหน้า ซึ่งส่งผลให้การผลิตไม่สามารถใช้สูตรผลิตและขั้นตอนการผลิตเดียวกันกับในห้องทดลอง จำเป็นต้องใช้เวลาในการปรับสูตรการผลิตหลายครั้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดจากห้องทดลอง

งานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคซิกซ์ซิกมาเข้ามาแก้ปัญหาการทำงานซ้ำของการปรับสูตรการผลิตในการผลิตจริง ด้วยขั้นตอน DMAIC ทำให้มีขั้นตอนการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ จนสามารถค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตได้แก่ ความหนืดผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า และปริมาณสารปรับความหนืด ในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้น ทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการผสมวัตถุดิบลดลงจาก 2.2 ครั้งต่อBatch เหลือเพียง 1.1 ครั้งต่อBatch มีวิธีการทำงานแบบใหม่ ส่งผลให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 17.1% ของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2559		

5670969621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: SIX SIGMA / TIME REDUCTION / RUST PREVENTION CHEMICAL

SUPADECH KULBANJERDSUK: The Application of Six Sigma technique in reducing production time of rust-prevention chemical production. ADVISOR: ASSOC. PROF.JEERAPAT NGAOPRASERTWONG, 100 pp.

This research was conducted for improvement of batch production of rust-prevention chemical for PVC Plastisol type according to customer requirements. The aim is to reduce cycle time per batch production. The process starts with the formulation in a laboratory by using a mixer which has a clean mixing room while as real production will have remaining of material of previous batch production which effect to next batch production that can not produce product with formulation and sequence as in a laboratory and use more time to adjust formula to get qualify products as same with a laboratory.

This research utilizes the Six Sigma technique to solve the recurrence production of formula adjustment in real production. The DMAIC procedure provides a systematic solution which can specify factors that influence to the production as viscosity of previous batch product and the quantity of raw material for viscosity adjustment in term of Linear Regression equation. As a result, the average number of raw material mixing decreased from 2.2 times per batch to 1.1 times per batch and have new working method which be available to increase average 17.1% of production capacity of improved products.

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ต้องขอขอบคุณ รศ.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้แนะแนวทางพร้อมให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณบริษัท และโรงงานกรณีศึกษาที่ให้โอกาสและการสนับสนุนงานวิจัยนี้ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยใน ระดับปริญญาโทจนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณครอบครัว และรวมถึงเพื่อนที่ช่วยเหลือ สนับสนุน และเป็นกำลังใจให้โดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.... จ

กิตติกรรมประกาศ.... ฉ

สารบัญ.... ช

สารบัญตาราง.... 1

สารบัญรูป 1

บทที่ 1 1

บทนำ.... 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา 1

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.... 7

1.3 หลักการและแนวคิดในการแก้ปัญหา.... 10

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.... 15

1.5 ขอบเขตงานวิจัย.... 16

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 16

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.... 17

บทที่ 2 18

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

2.1 ซิกซ์ซิกมา 18

2.1.1 ทั่วไป 18

2.1.2 โครงสร้างผู้ปฏิบัติงานซิกซ์ซิกมา.... 20

2.1.3 การดำเนินงานกิจกรรมซิกซ์ซิกมา.... 22

2.1.4 เครื่องมือของซิกซ์ซิกมา.... 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.2 การทบทวนบทวรรณกรรม.......... 24
2.2.1 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงการผลิตด้วยซิกซ์ซิกมา.......... 24
2.2.2 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการลดเวลาการผลิตด้วยซิกซ์ซิกมา.......... 26
บทที่ 3.......... 28
การยืนยันปัญหาและเป้าหมาย.......... 28
3.1 การจัดตั้งทีมงาน.......... 28
3.2 แผนผังกระบวนการ.......... 29
3.3 การยืนยันปัญหา.......... 33
3.4 การยืนยันเป้าหมาย.......... 35
บทที่ 4.......... 36
การเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหา.......... 36
4.1 การประเมินระบบการวัด.......... 36
4.2 การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิต.......... 57
บทที่ 5.......... 63
การระบุต้นเหตุของปัญหา.......... 63
5.1 การหาปัจจัยที่มีผลกระทบ.......... 63
5.2 การคัดกรองปัจจัย.......... 65
บทที่ 6.......... 70
การสร้างวิธีการแก้ปัญหา.......... 70
6.1 การทำ Response Optimization.......... 70
6.2 การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis).......... 70
บทที่ 7.......... 85
การติดตามผลการปรับปรุง.......... 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

7.1 ความสามารถของกระบวนการ 85
7.2 จำนวนครั้งการกวนผสมวัตถุดิบ 90
บทที่ 8 91
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 91
8.1 สรุปผลผลงานวิจัย 91
8.2 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอน 92
8.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย 96
8.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย 96
8.5 ข้อเสนอแนะ 97
รายการอ้างอิง 98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 การคาดการณ์แนวโน้มการผลิตรถยนต์ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (LMC Automotive, 2015) 7

ตารางที่ 2 การคาดการณ์แนวโน้มการผลิตรถยนต์ในประเทศไทย (LMC Automotive, 2015) 8

ตารางที่ 3 แผนธุรกิจปี 2015 – 2018 ของโรงงานกรณีศึกษา 8

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบกำลังการผลิตทั้งปีในปัจจุบันกับแผนธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษา 9

ตารางที่ 5 มาตรฐานเวลาในแต่ละขั้นตอนการผลิตและการควบคุมคุณภาพ 13

ตารางที่ 6 กิจกรรมการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิตและควบคุมคุณภาพ 13

ตารางที่ 7 จำนวน batch ผลิตรายเดือนและจำนวนกวนผสมต่อ batch ของผลิตภัณฑ์ w1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 14

ตารางที่ 8 จำนวน batch ผลิตรายเดือนและจำนวนกวนผสมต่อ batch ของผลิตภัณฑ์ b1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 14

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sigma Level กับ DPMO ภายใต้การแจกแจงปกติ 19

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sigma Level กับ DPMO ภายใต้ทฤษฎีซิกซ์ซิกมา 20

ตารางที่ 11 รายชื่อทีมงานโครงการลดเวลามาตรฐานการผลิตเคมีป้องกันสนิม 29

ตารางที่ 12 แผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล 30

ตารางที่ 13 เงื่อนไขและความแตกต่างระหว่างการผสมสูตรการผลิตในทดลองและในการผลิตจริง 34

ตารางที่ 14 ผลการวัดค่าความหนืด (viscosity) ตัวอย่างชิ้นงาน b2 37

ตารางที่ 15 ปัจจัยที่มีผลกระทบและการควบคุมปัจจัยในการใช้งาน Brook field 43

ตารางที่ 16 ผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแกนแนวนอน 45

ตารางที่ 17 ผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแกนแนวตั้ง 49

ตารางที่ 18 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทำงานการวัดค่าความหนืดแบบเดิมกับวิธีการทำงานใหม่..... 53

ตารางที่ 19 ผลการวัดค่าความหนืด (viscosity) ตัวอย่างชิ้นงาน w1 54

ตารางที่ 20 ค่าความหนืด (viscosity) จากการผลิตผลิตภัณฑ์ w1... 58

ตารางที่ 21 ค่าความหนืด (viscosity) จากการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 60

ตารางที่ 22 สรุปค่าความสามารถของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 และ ผลิตภัณฑ์ b1 ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ 62

ตารางที่ 23 หลักเกณฑ์คะแนนในการประเมินผลกระทบแต่ละปัจจัย 65

ตารางที่ 24 แผนภาพสาเหตุและผลของปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์................ 66

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบปัจจัยกับการควบคุมในกระบวนการ 68

ตารางที่ 26 ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ w1 ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนตุลาคม 2559 71

ตารางที่ 27 ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ b1 ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนตุลาคม 2559 73

ตารางที่ 28 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w1 ต่อด้วย w1...................................... 75

ตารางที่ 29 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w2 ต่อด้วย w1...................................... 76

ตารางที่ 30 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w3 ต่อด้วย w1...................................... 77

ตารางที่ 31 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w4 ต่อด้วย w1...................................... 77

ตารางที่ 32 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w5 ต่อด้วย w1...................................... 78

ตารางที่ 33 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w6 ต่อด้วย w1...................................... 79

ตารางที่ 34 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b1 ต่อด้วย b1 79

ตารางที่ 35 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b2 ต่อด้วย b1 80

ตารางที่ 36 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b3 ต่อด้วย b1 81

ตารางที่ 37 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b4 ต่อด้วย b1 82

ตารางที่ 38 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b5 ต่อด้วย b1 82

ตารางที่ 39 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b6 ต่อด้วย b1 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 40 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b7 ต่อด้วย b1 84

ตารางที่ 41 ข้อมูลค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ w1 จากการผลิตจำนวน 30 batch ล่าสุด ณ.สิ้นเดือน พฤษภาคม 2560 86

ตารางที่ 42 ข้อมูลค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ b1 จากการผลิตจำนวน 30 batch ล่าสุด ณ.สิ้นเดือน พฤษภาคม 2560 88

ตารางที่ 43 สรุปค่าความสามารถของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 และ ผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุงกระบวนการ 90

ตารางที่ 44 สรุปจำนวนครั้งการกวนผสมวัตถุดิบการผลิตจำนวน 30 batch ล่าสุด ณ.สิ้นเดือน พฤษภาคม 2560 90

ตารางที่ 45 สมการคำนวณหาปริมาณโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับค่าความหนืดในการผลิต w1 94

ตารางที่ 46 สมการคำนวณหาปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ปรับค่าความหนืดในการผลิต b1 95

ตารางที่ 47 ตารางเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ w1 และ b1 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ขั้นตอนหลักในโรงงานประกอบรถยนต์ 3

รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลของโรงงานกรณีศึกษา 3

รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซียางของโรงงานกรณีศึกษา 4

รูปที่ 4 เครื่องผสมแบบริบบอน (Ribbon Mixer) 4

รูปที่ 5 เครื่องผสมแบบซิกม่าเบลด (Sigma Balde Mixer) 5

รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีขาว กับสีเทาดำ ช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2558 11

รูปที่ 7 กราฟปริมาณรวมสะสมการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีขาวของแต่ละสูตรที่ทำการผลิต ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 11

รูปที่ 8 กราฟปริมาณรวมสะสมการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำของแต่ละสูตรที่ทำการผลิต ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 12

รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch รายเดือน กับกระบวนการมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ w1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 14

รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch รายเดือน กับกระบวนการมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ b1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 15

รูปที่ 11 การกระจายของซิกมาภายใต้การแจงแจงปกติ 19

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของข้อมูลการวัดผลิตภัณฑ์ b2 39

รูปที่ 13 Run Chart ของค่าความหนืดกับลำดับตัวอย่างและผู้วัด 40

รูปที่ 14 เครื่อง Brook field สำหรับวัดค่าความหนืด 42

รูปที่ 15 แนวแกนนอน (XY) สำหรับทิศทางการขยับตำแหน่งการวัดค่าความหนืด 44

รูปที่ 16 กราฟ Normal Test by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนนอน 45

รูปที่ 17 กราฟ Graphical Summary by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนนอน 46

รูปที่ 18 ผลการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนนอน 47

รูปที่ 19 แนวแกนตั้ง (Z) สำหรับทิศทางการขยับตำแหน่งการวัดค่าความหนืด 48

รูปที่ 20 กราฟ Normal Test by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนตั้ง 50

รูปที่ 21 กราฟ Graphical Summary by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนตั้ง 50

รูปที่ 22 ผลการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนตั้ง 51

รูปที่ 23 รูปภาชนะบรรจุตัวอย่างสำหรับวัดค่าความหนืดของโรงงานกรณีศึกษา 52

รูปที่ 24 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของข้อมูลการวัดผลิตภัณฑ์ w1 56

รูปที่ 25 Process Capability Analysis by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 59

รูปที่ 26 Process Capability Sixpack by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 59

รูปที่ 27 Process Capability Analysis by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 61

รูปที่ 28 Process Capability Sixpack by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 61

รูปที่ 29 ผังก้างปลา (Fishbone diagram) ระบุปัจจัยด้วย 5M1E ที่มีผลกระทบต่อค่าความหนืดในการผลิต 64

รูปที่ 30 กราฟพาเรโตของปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ 67

รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์ Regression ของข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 72

รูปที่ 32 ผลการวิเคราะห์ Regression ของข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 74

รูปที่ 33 Process Capability Analysis ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 หลังการปรับปรุง 87

รูปที่ 34 Process Capability Sixpack ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 หลังการปรับปรุง 87

รูปที่ 35 Process Capability Analysis ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุง 89

รูปที่ 36 Process Capability Sixpack ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุง...... 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไปโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เคมีป้องกันสนิมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตและประกอบยานยนต์ ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาประกอบด้วย 2 ชนิดได้แก่ ชนิดที่ 1 คือ พีวีซีพลาสติซอล (PVC Plastisol) เป็นผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานกรณีศึกษาโดยคิดเป็นสัดส่วน 99%ของปริมาณการผลิตทั้งหมดในโรงงาน เพื่อนำไปใช้สำหรับพ่นเคลือบ ยาแนว บนชิ้นส่วนยานยนต์ที่เป็นโลหะเพื่อป้องกันความชื้นที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยากับโลหะจนเกิดเป็นสนิม และชนิดที่ 2 คือ พีวีซียาง (PVC Elastomer) เป็นสัดส่วนที่เหลือ 1% เป็นผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในการซ่อมแซมจุดที่การพ่นหรือยาแนวไม่สามารถทำได้โดยการป้ายหรือ การประยุกต์ใช้ในการป้องกันการกระทบกันของชิ้นโลหะสองชิ้น โดยการนำพีวีซียางไปติดตรงกลางระหว่างโลหะทั้งสองชิ้น

การบริหารงานและการดำเนินธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษาถูกบริหารจัดการภายใต้กลุ่มบริษัทต่างประเทศที่เข้ามาลงทุนในประเทศไทย และมีโรงงานแห่งเดียวในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อจำหน่ายผลิตภัณฑ์ภายใต้เครื่องหมายการค้าของบริษัทให้กับลูกค้าที่เป็นผู้ผลิตและประกอบยานยนต์ในประเทศไทยและส่งออกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และโรงงานกรณีศึกษามีการทำธุรกิจในลักษณะร่วมค้าอีกด้วย คือการออกแบบสูตรการผลิตให้กับบริษัทในท้องถิ่นบางประเทศในพื้นที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อดำเนินการผลิตตามสูตรและวิธีการผลิตที่กำหนดเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เป็นผู้ผลิตยานยนต์ในบางประเทศที่ต้องการซื้อสินค้าจากผู้ผลิตภายในประเทศ

พีวีซีพลาสติซอล (PVC Plastisol) คือ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการผสมสารพีวีซีผง กับ ของเหลวที่เป็นน้ำมันชนิด พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสองส่วนผสมหลัก และมีการปรับแต่งคุณภาพโดยมีการเติม สารปรุงแต่งคุณสมบัติจำเพาะ (additives) ฟิลเลอร์ (filler) สี (pigment) สารเพิ่มการยึดเกาะ (adhesive) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลที่เป็นสินค้าสำเร็จรูปจะมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่น โดยมีคุณสมบัติความหนืด คุณสมบัติการไหลตัว สีของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติอื่นๆ แตกต่างกันออกไปตามความข้อกำหนดของลูกค้า ปัจจุบันทางโรงงานกรณีศึกษาผลิตสีของผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลเพียงแค่ 2 สีเท่านั้น คือ ขาวและเทาดำ หลังการนำผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลไปใช้

งานในการเคลือบ จำเป็นต้องผ่านขบวนการอบเพื่อให้ พีวีซีพลาสติซอลเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นของแข็ง

การใช้งานผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลในโรงงานผลิตและประกอบยานยนต์ จะอยู่ในสายการผลิตที่เป็นส่วนการพ่นสี (paint shop) โดยมีขั้นตอนการใช้งาน ดังนี้

1. ขั้นตอนการเคลือบ มี 2 วิธี คือ

1.1 การพ่น

ผู้ใช้งานจะให้เครื่องพ่นที่เป็นแบบพ่นด้วยมือ หรือการใช้หุ่นยนต์ (robot) ทำการพ่นผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลด้วยแรงดันตามมาตรฐานผ่านหัวฉีด (nozzle) ซึ่งระบบนี้จะใช้กับพื้นที่ที่ต้องการเคลือบที่มีความกว้างและเรียบหรือโค้งของแผ่นโลหะที่เป็นแผ่นเดียวกัน โดยควบคุมคุณภาพความหนาของฟิล์มเคลือบเป็นหน่วยไมครอน (µ)

1.2 การทา

ผู้ใช้งานจะใช้เครื่องรีด/หยอดผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล ออกมาเป็นเส้น เพื่อใช้ในการทาไปตามแนวพื้นที่ที่เป็นตะเข็บรอยต่อของแผ่นโลหะ โดยควบคุมคุณภาพของความหนาของฟิล์มเป็นหน่วยมิลลิเมตรและต้องไม่มีอากาศตกค้างตามรอยตะเข็บที่มีการทาผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการบวมของฟิล์มเคลือบจากอากาศที่ตกค้างแล้วขยายตัวเมื่อผ่านขั้นตอนการอบสีในสายการผลิตพ่นสี

2. ขั้นตอนการอบ

หลังจากผ่านขึ้นตอนการเคลือบแล้ว ชิ้นงานที่เคลือบด้วยพีวีซีพลาสติซอล จะถูกส่งเข้าตู้อบความร้อนภายใต้อุณหภูมิและระยะเวลาที่กำหนด เพื่อเปลี่ยนสภาพผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล จากของเหลวเป็นของแข็ง

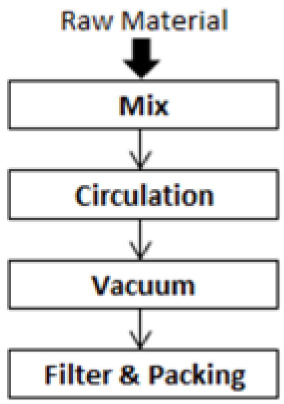
พีวีซียาง (PVC Elastomer) คือ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการผสมสารพีวีซีผง กับ ยางสไตรีนบิวทาไดอีน หรือยาง SBR (Styrene-Butadiene Rubber) เป็นสองส่วนผสมหลัก และมีการปรับแต่งคุณภาพโดยมีการเติม สารปรุงแต่ง (additives), ฟิลเลอร์ (filler), สี (pigment), สารเพิ่มการยึดเกาะ (Adhesive) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์พีวีซียางที่เป็นสินค้าสำเร็จรูปจะมีลักษณะตั้งแต่ข้นเหนียวคล้ายจารบีไปจนถึงข้นเหนียวมากคล้ายดินน้ำมัน โดยมีความข้นเหนียว, สีของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติอื่นๆแตกต่างกันออกไปตามข้อกำหนดของลูกค้า ปัจจุบันทางโรงงานกรณีศึกษาผลิตสีของผลิตภัณฑ์พีวีซียางเพียงแค่ 2 สีเท่านั้น คือ ขาวและดำ หลังการนำผลิตภัณฑ์พีวีซียางไปใช้งานในการป้าย, อุดหรือแปะ จำเป็นต้องผ่านขบวนการอบเพื่อให้ พีวีซียางเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง

การใช้งานผลิตภัณฑ์พีวีซียางในโรงงานผลิตและประกอบยานยนต์ จะอยู่ในสายการผลิตของโรงงานประกอบรถยนต์ที่เป็นส่วนการประกอบตัวถัง (body shop) และส่วนการพ่นสี (paint shop)

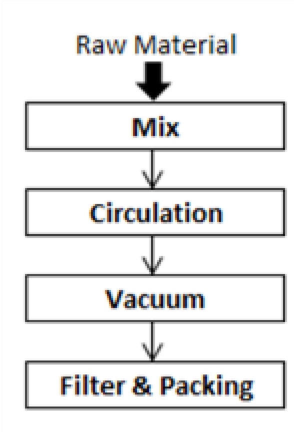
รูปที่ 1 ขั้นตอนหลักในโรงงานประกอบรถยนต์

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษามีส่วนสำคัญในโรงงานผลิตและประกอบยานยนต์ โดยมีการใช้งานผลิตภัณฑ์ในส่วนประกอบตัวถังและส่วนการพ่นสีเพื่อป้องกันสนิมที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนโลหะที่เป็นตัวถังรถยนต์เป็นหลัก

การผลิตผลิตภัณฑ์เคมีป้องกันสนิมของโรงงานกรณีศึกษามีขั้นตอนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล ดังรูปที่ 2 และ ขั้นตอนการผลิตพีวีซียาง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลของโรงงานกรณีศึกษา

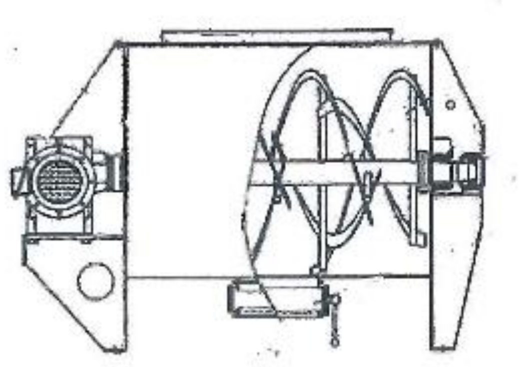


รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซียางของโรงงานกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 การผสม (Mix)

คือ ขั้นตอนการนำวัตถุดิบตามสูตรที่ทางโรงงานกรณีศึกษาคิดค้นขึ้นตามข้อกำหนดของลูกค้าแต่ละรายมาผสมกันในเครื่องจักรสำหรับผสมวัตถุดิบให้วัตถุดิบกระจายตัวอย่างทั่วถึง โดยในโรงงานกรณีศึกษามีการใช้เครื่องจักรผสมวัตถุดิบอยู่ 2 ชนิดคือ

ชนิดที่ 1 : เครื่องผสมแบบ ริบบอน (Ribbon Mixer)



รูปที่ 4 เครื่องผสมแบบริบบอน (Ribbon Mixer)

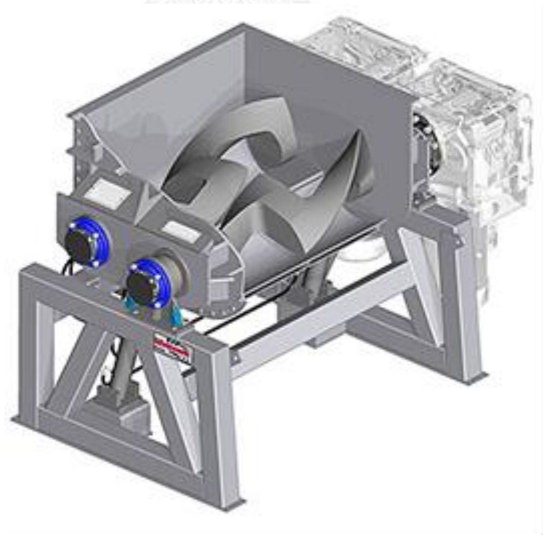
เครื่องผสมแบบริบบอน เป็นเครื่องผสมที่มีห้องผสมที่ออกแบบเป็นรูปตัวยู โดยแกนกวนผสมอยู่ในแนวนอน และติดตั้งใบกวนที่มีลักษณะแบนคล้ายแถบริบบิ้น ประกอบเป็นใบกวนวงนอกกับใบกวนวงใน โดยใบกวนวงนอกทำหน้าที่กวนให้ของผสมเคลื่อนเข้าสู่แกนกลาง ในขณะที่ใบกวนวงในทำหน้าที่กวนให้ของผสมเคลื่อนออกจากแกนกวน จะทำให้เกิดการผสมกันของของผสมจากการเคลื่อนที่

เข้าหากัน ซึ่งปริมาณการผสมในห้องผสมของเครื่องผสมแบบริบบอนโดยทั่วไปอยู่ที่ระดับ 40%-100% ของความจุเครื่องผสม

เครื่องผสมแบบริบบอนมีการใช้งานในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ยา และเคมีภัณฑ์ ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องเช่น ความเร็วในการหมุน กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ การทนต่อสารเคมีหรือการสัมผัสกับอาหาร (food grade) จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งาน ผลิตภัณฑ์ที่จะผสม และมาตรฐานการผลิตเครื่องจักรของแต่ละผู้ผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้เครื่องผสมแบบริบบอนจะมีความหนืด (viscosity) ไม่สูงมาก

โรงงานกรณีศึกษามีเครื่องผสมแบบ ริบบอน จำนวน 2 ตัว โดยมีกำลังการผลิตต่อครั้ง (batch size) อยู่ที่ 3,000 กิโลกรัม เท่ากันทั้ง 2 ตัว เพื่อใช้ในการผลิตพีวีซีพลาสติซอลโดยแบ่งออกเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ สีเทาดำ จำนวน 1 ตัว และ การผลิตผลิตภัณฑ์สีขาว จำนวน 1 ตัว โดยเครื่องผสมแบบริบบอนของโรงงานกรณีศึกษานี้มีคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม คือ สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องผสมได้โดยมีผนังสองชั้นและมีน้ำหล่อเลี้ยงระหว่างผนังเพื่อควบคุมอุณหภูมิของของผสมระหว่างการผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน และสามารถรองรับการลดความดันเป็นสุญญากาศ (Vacuum) ได้ที่ระดับ -0.9 บาร์ในห้องผสม ซึ่งการ Vacuum เป็นขั้นตอนหนึ่งในการผลิต

ชนิดที่ 2 : เครื่องผสมแบบ ซิกม่าเบลด (Sigma Blade Mixer)



รูปที่ 5 เครื่องผสมแบบซิกม่าเบลด (Sigma Balde Mixer)

เครื่องผสมแบบซิกม่าแบลด เป็นเครื่องผสมโดยห้องผสมออกแบบเป็นรูปตัวยูสองตัวติดกัน มีแกนกวนผสมอยู่ในแนวนอน ใบกวนขึ้นรูปมีลักษณะคล้ายตัวอักษร Z โดยทั่วไปจะใช้แบบมีใบกวน 2 ใบ

กวน (Double arm) ทำการหมุนกวนผสมในทิศทางที่หมุนเข้าหากันและหมุนจากบนลงล่างที่ตรงกลางระหว่างห้อง และความเร็วรอบในการหมุนแตกต่างกัน เพื่อให้ของผสมถูกบด ถูกอัด และถูกเฉือน และผสมเข้าด้วยกัน โดยเครื่องผสมแบบซิกม่าเบลดจะใช้ผสมผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง ซึ่งปริมาณการผสมในห้องผสมของเครื่องผสมแบบซิกม่าเบลดโดยทั่วไปอยู่ที่ระดับ 20%-80% ของความจุเครื่องผสม

โรงงานกรณีศึกษามีเครื่องผสมแบบ ซิกม่าเบลด จำนวน 1 ตัว โดยมีกำลังการผลิตต่อครั้ง (batch) อยู่ที่ 200 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการผลิตพีวีซียางโดยมีการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งสีดำและสีขาว เมื่อมีการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์จากสีดำเป็นสีขาวจะมีการล้างภายในเครื่องผสมเพื่อไม่ให้มีสีดำตกค้าง เครื่องผสมแบบซิกม่าเบลด มีคุณสมบัติในการควบคุมอุณหภูมิห้องผสม และ รองรับการลดความดันเป็นสุญญากาศ (Vacuum) ได้ที่ระดับ -0.9 บาร์ในถังผสมเช่นเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 2 การกวนผสม (Circulation)

คือ ขั้นตอนในการกวนของผสมกับของเหลว โดยที่ของเหลวที่ใส่เพิ่มเพื่อการปรับคุณภาพของของผสมในเรื่องความหนืด (viscosity) ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการกวนให้ของของผสมกับของเหลวเข้ากันและกระจายตัวอย่างทั่วถึงทำให้คุณสมบัติเรื่องความหนืดมีค่าเท่ากันทุกจุดในถังผสม

ของเหลวที่ใช้ในการผสมเพื่อปรับค่าความหนืดมี 2 ชนิด คือ Solvent และ Plasticizer ขึ้นกับสูตรที่ใช้ในการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 3 การลดความดันเป็นสุญญากาศ (Vacuum)

คือ ขั้นตอนในการกำจัดอากาศที่อยู่ในเนื้อวัตถุดิบ โดยอากาศที่อยู่ในเนื้อวัตถุดิบจะเกิดขึ้นระหว่างการผสมวัตถุดิบให้เข้ากันในห้องผสม เนื่องจากว่าเนื้อของของผสมจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นในขณะผสมวัตถุดิบเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดช่องอากาศภายในเนื้อของผสม

การลดความดันจะตั้งค่าไว้ที่ขั้นต่ำ -0.75 บาร์ที่ระยะเวลา 30 นาที

ขั้นตอนที่ 4 การกรองและการบรรจุ (Filter & Packing)

คือ ขั้นตอนในการควบคุมขนาดอนุภาคของเนื้อผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้เพื่อบรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่กำหนดไว้ ขนาดอนุภาคของเนื้อผลิตภัณฑ์มีผลต่อการใช้งานของลูกค้า เพราะถ้าขนาดอนุภาคของเนื้อผลิตภัณฑ์มีขนาดที่ใหญ่เกินไป จะทำให้เกิดการอุดตันกับเครื่องพ่น/เครื่องทาใน

สายการผลิตของลูกค้า และรวมถึงความเรียบของชั้นเคลือบบนผิวงานจะเกิดรอยเม็ดจากขนาดอนุภาคที่ใหญ่เกินไป

การบรรจุผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปพร้อมขายในบรรจุภัณฑ์ที่กำหนด ซึ่งเป็นขั้นตอนการผลิตขั้นสุดท้าย โดยบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเครื่องผสมโดยตรง ซึ่งการบรรจุจะมีการควบคุมน้ำหนักบรรจุโดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่ส่งสัญญาณไปควบคุมระบบ Programmable Logic Controller (PLC) ในการเปิด/ปิดปั๊มจ่ายผลิตภัณฑ์เข้าถังบรรจุ

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปริมาณการขยายตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ที่เกิดขึ้นในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และประเทศไทยมีการผลิตเพิ่มขึ้นทุกปี แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การคาดการณ์แนวโน้มการผลิตรถยนต์ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (LMC Automotive, 2015)

in 1000 units	2014	2015	2016	2017	2018	Growth 2018vs.2014
Toyota	1089	1178	1193	1225	1257	*15%*
Daihatsu	523	523	528	551	576	*10%*
Mitsubishi	416	464	439	454	475	*14%*
Honda	345	422	477	530	579	*68%*
Isuzu	254	263	269	280	291	*15%*
Nissan	214	281	442	466	477	*122%*
Suzuki	191	219	280	306	321	*68%*
Perodua	175	178	182	186	191	*9%*
Ford	159	171	200	220	262	*65%*
Proton	116	119	121	124	127	*9%*
Mazda	66	142	156	151	165	*150%*
GM	64	83	102	124	139	*110%*
BMW	16	16	17	18	19	*19%*
MB	13	16	17	18	19	*46%*
Hyundai	12	12	13	14	14	*17%*
Others	95	86	107	126	144	*52%*
TOTAL	**3746**	**4172**	**4542**	**4795**	**5058**	*35%*
Growth vs. previous year		*11%*	*9%*	*6%*	*5%*	

* 2014 เป็นข้อมูลการผลิตจริง

ตารางที่ 2 การคาดการณ์แนวโน้มการผลิตรถยนต์ในประเทศไทย (LMC Automotive, 2015)

Year	2014		2015		2016		2017		2018	
Manufacturer	unit	%	unit	%	unit	%	unit	%	unit	%
Toyota Group	735,026	38.7%	779,823	36.9%	875,978	36.8%	871,561	35.4%	891,770	35.2%
Mitsubishi Motors	350,287	18.4%	364,637	17.3%	390,153	16.4%	379,678	15.4%	373,648	14.7%
Isuzu Motors Limited	234,673	12.3%	224,237	10.6%	235,388	9.9%	245,754	10.0%	264,447	10.4%
Auto Alliance Thailand	174,688	9.2%	200,607	9.5%	220,866	9.3%	217,068	8.8%	214,398	8.5%
Honda Group	169,596	8.9%	188,812	8.9%	222,287	9.3%	236,526	9.6%	249,120	9.8%
Renault-Nissan Group	101,169	5.3%	159,269	7.5%	181,516	7.6%	179,184	7.3%	185,301	7.3%
General Motors Group	55,410	2.9%	59,129	2.8%	64,556	2.7%	82,739	3.4%	84,690	3.3%
Ford Group	41,716	2.2%	70,556	3.3%	110,599	4.6%	163,572	6.6%	178,604	7.0%
Suzuki Group	23,297	1.2%	47,667	2.3%	61,963	2.6%	66,897	2.7%	70,919	2.8%
BMW Group	7,142	0.4%	6,472	0.3%	6,811	0.3%	7,446	0.3%	8,084	0.3%
Thonburi Automotive Group	5,363	0.3%	7,695	0.4%	8,603	0.4%	9,411	0.4%	10,268	0.4%
Dongfeng Motor	1,883	0.1%	1,662	0.1%	1,747	0.1%	2,236	0.1%	2,503	0.1%
SAIC Motor - CP Company	1,322	0.1%	1,198	0.1%	1,352	0.1%	1,413	0.1%	1,475	0.1%
Total	1,901,572		2,111,764		2,381,819		2,463,485		2,535,227	

* 2014 เป็นข้อมูลการผลิตจริง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าการคาดการณ์แนวโน้มอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ในประเทศไทยยังคงมีการเติบโตต่อเนื่องและสอดคล้องไปในทางเดียวกันกับภาพรวมของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งผู้ผลิตในประเทศที่มีปริมาณการผลิตรถยนต์ในปี 2014 เป็นอันดับที่ 1 กับ อันดับที่ 5 ทั้งสองรายนี้ยังไม่ได้เป็นลูกค้าของโรงงานกรณีศึกษาและมีส่วนแบ่งการตลาดในประเทศประเทศไทย ทำให้โรงงานกรณีศึกษายังคงมีโอกาสเพิ่มยอดขายได้จากลูกค้าทั้งสองรายที่เป็นโรงงานผลิตและประกอบรถยนต์ที่มีสัดส่วนการผลิตเป็นลำดับต้นๆของประเทศไทย

และพบว่าในปี 2014 ปริมาณของสัดส่วนปริมาณการผลิตรถยนต์ของผู้ผลิตอันดับที่ 1 และอันดับที่ 5 รวมกันคิดเป็น 47.6% ของตลาดทั้งหมด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงที่ทำให้โรงงานกรณีศึกษาต้องการเข้ามามีส่วนแบ่งในตลาดดังกล่าว โดยได้จัดทำแผนธุรกิจที่มีแนวโน้มการเพิ่มยอดการผลิตในแต่ละปี ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนธุรกิจปี 2015 – 2018 ของโรงงานกรณีศึกษา

Year	2014	2015	2016	2017	2018
Quantity (tons)	3,543	4,672	4,963	5,809	7,460

* 2014 เป็นข้อมูลการผลิตจริง

โรงงานกรณีศึกษามีระบบการทำงาน 12 ชั่วโมงต่อวัน และหยุดเสาร์-อาทิตย์ จะทำให้จำนวนวันทำงานต่อเดือนอยู่ที่ 22 วัน เพื่อคำนวณกำลังการผลิตต่อเดือนจากข้อมูลมาตรฐานของโรงงานกรณีศึกษา ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การผลิตพีวีซีพลาสติซอล

1.1 มาตรฐานเวลาผลิต 4 ชั่วโมงต่อ batch

1.2 มาตรฐานความจุถังผสม 3 ตันต่อ batch

1.3 จำนวนเครื่องจักรผลิตพีวีซีพลาสติซอล 2 ตัว

ดังนั้น กำลังการผลิตพีวีซีพลาสติซอลต่อเดือนในปัจจุบัน คือ 18 ตันต่อวัน หรือ 396 ตันต่อเดือน หรือ 4,752 ตันต่อปี

2. การผลิตพีวีซียาง

2.1 มาตรฐานเวลาผลิต 12 ชั่วโมงต่อ batch

2.2 มาตรฐานความจุถังผสม 0.2 ตันต่อ batch

2.3 จำนวนเครื่องจักรผลิตพีวีซียาง 1 ตัว

ดังนั้น กำลังการผลิตพีวีซียางต่อเดือนในปัจจุบัน คือ 0.2 ตันต่อวัน หรือ 4.4 ตันต่อเดือน หรือ 52.8 ตันต่อปี

กำลังการผลิตรวมทั้งสองผลิตภัณฑ์คือ 18.2 ตันต่อวัน หรือ 400.4 ตันต่อเดือน หรือ 4,804.8 ตันต่อปี ซึ่งเมื่อเทียบกับแผนธุรกิจพบว่า ในปี 2515 กำลังการผลิตภาพรวมเพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการตามแผนธุรกิจ โดยทั้งปีมีกำลังการผลิตเทียบกับแผนธุรกิจเหลืออยู่ที่ 132.8 ตัน หรือ 7.3 วันทำงานทั้งปี และเมื่อมองตามแผนธุรกิจในปีต่อๆไป จะได้ข้อมูลเปรียบเทียบกำลังการผลิตภาพรวมกับแผนธุรกิจ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบกำลังการผลิตทั้งปีในปัจจุบันกับแผนธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษา

Year	2015	2016	2017	2018
Business Plan (tons)	4,672	4,963	5,809	7,460
Capacity (tons)	4,804.8	4,804.8	4,804.8	4,804.8
Capacity-Plan (tons)	132.8	-158.2	-1,004.2	-2,655.2
Number of Production (day)	7.3	-8.7	-55.2	-145.9

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าโรงงานกรณีศึกษามีแนวโน้มที่ต้องเพิ่มกำลังการผลิตตั้งแต่ปี 2016 เป็นต้นไป ซึ่งในการเปรียบเทียบนี้ยังไม่รวมในกรณีเกิดสิ่งผิดปกติที่ทำให้สายการผลิตต้องหยุดทำงาน หรือ กรณีความต้องการสูงสินค้าของลูกค้าสูงกว่าแผนธุรกิจที่วางไว้ หรือ การปริมาณความต้องการในแต่ละเดือนที่ไม่เท่ากัน ก็จะทำให้โรงงานกรณีศึกษามีแนวโน้มที่จะประสบปัญหาได้

1.3 หลักการและแนวคิดในการแก้ปัญหา

จากแนวโน้มที่โรงงานกรณีศึกษาจะประสบปัญหากำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการไม่ว่าจากแผนธุรกิจที่วางไว้ หรือ ความต้องการที่มากกว่าปกติในแต่ละเดือนหรือช่วงเวลา ทำให้ต้องมีการหาทางแก้ปัญหาเพื่อให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นหรือมีกำลังการผลิตสำรองไว้ในเพื่อรองรับความต้องการที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงในแต่ละช่วงเวลา

การแก้ปัญหาในการเพิ่มกำลังการผลิตสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มเครื่องจักร, การเพิ่มชั่วโมงการทำงาน หรือ การจ้างผลิต ซึ่งวิธีดังกล่าวข้างต้นเป็นวิธีการที่โรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้องมีการลงทุนเพิ่มหรือมีค่าใช้จ่ายในการจัดการ ในขณะที่มีวิธีการที่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตโดยใช้ทรัพยากรในการผลิตเท่าเดิม คือ การลดเวลาที่สูญเสียไปในการผลิตโดยไม่จำเป็นที่แฝงอยู่ในมาตรฐานเวลาผลิต

การลดเวลาที่สูญเสียหรือความสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ในการผลิต มีวิธีการหลายวิธีเช่น การผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing), การผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System), การผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time Production Systems) และ ซิกซ์ซิกมา (Six Sigma) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีซิกซ์ซิกมา (Six Sigma) ในการวิจัยทดลองเนื่องจาก วิธีซิกซ์ซิกมา มีการใช้สถิติทางวิศวกรรมในการวิเคราะห์ และแก้ปัญหาอย่างชัดเจน รวมถึงการกำหนดทีมงานผู้รับผิดชอบโดยตรงในแต่ละส่วนงาน

ขั้นตอนต่อไปคือ การเลือกขบวนการผลิตที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงตามวิธีซิกซ์ซิกมา โดยมีขั้นตอนการเลือกโดยคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนการผลิตมากสุด จากข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในช่วงเดือน มกราคม 2558 ถึง พฤษภาคม 2558 ตามลำดับดังนี้

1. เลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์

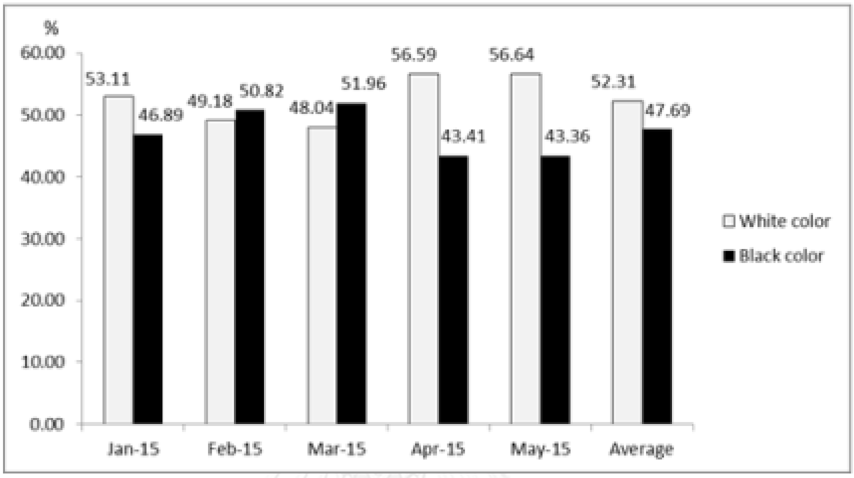
จากสัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลที่มีอยู่ 99% ของการผลิตทั้งหมด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์พีวีซียางมีสัดส่วนอยู่เพียง 1% เท่านั้น จึงทำให้ขั้นตอนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล ถูกเลือกในการปรับปรุง

2. เลือกสี

เนื่องจากการผลิตของโรงงานกรณีศึกษามีการแบ่งสีของผลิตภัณฑ์ในการผลิต เพื่อลดปัญหาการควบคุมเฉดสีเมื่อต้องเปลี่ยนสีจากสีเข้มเป็นสีอ่อน เช่น สีดำเปลี่ยนเป็นสีขาว เป็นต้น จึงได้แยกเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตพีวีซีพลาสติซอลเป็นสีขาว 1 เครื่อง และ สีเทาดำ 1 เครื่อง

จากข้อมูลในรูปที่ 6 พบว่า สีขาวมีสัดส่วนปริมาณการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 52.31% ในขณะที่ สีเทาดำ มีสัดส่วนการผลิตอยู่ที่ 47.69% ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสี คือ กลุ่มสีขาว กับกลุ่มสีเทาดำ ถูกเลือกในการปรับปรุงทั้งสองสี

รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีขาว กับสีเทาดำ ช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2558



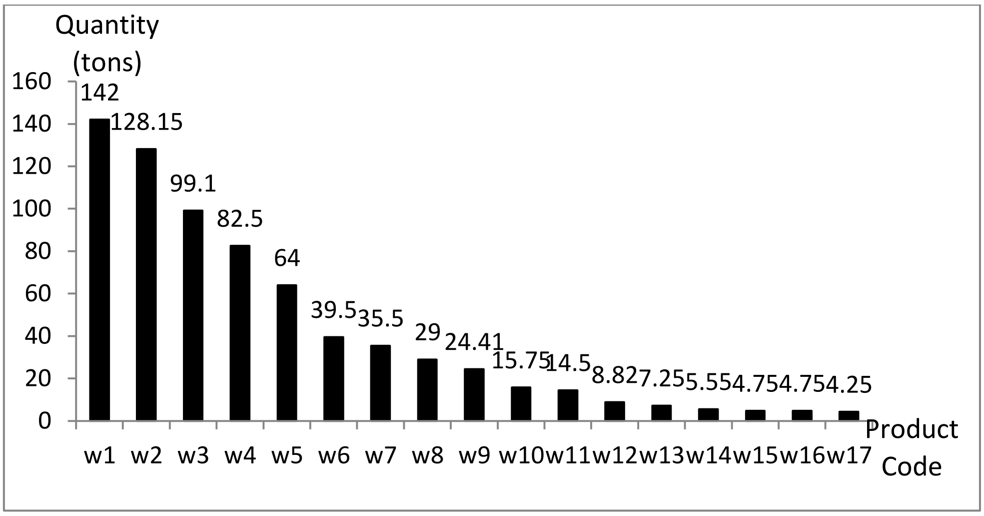
3. เลือกผลิตภัณฑ์

ในการผลิตพีวีซีพลาสติซอล มีผลิตภัณฑ์หลายสูตร การเลือกผลิตภัณฑ์เพื่อปรับปรุงทำโดยดูจากปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมากที่สุด ในช่วงเดือน มกราคม 2558 ถึง พฤษภาคม 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.1 เลือกผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาว

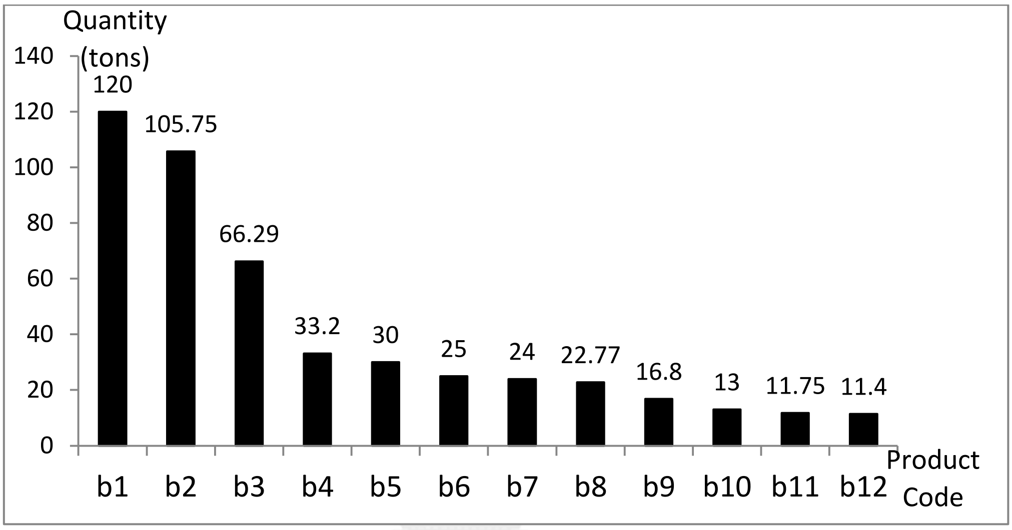
รูปที่ 7 กราฟปริมาณรวมสะสมการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีขาวของแต่ละสูตรที่ทำการผลิต ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558



จากรูปที่ 7 พบว่าผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1 ของโรงงานกรณีศึกษามีปริมาณการผลิตรวมสะสมมากสุด คือ 142 ตัน หรือ เฉลี่ย 28.4 ตันต่อเดือน ดังนั้น ผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1 ถูกเลือกในการปรับปรุง

3.2 เลือกผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ

รูปที่ 8 กราฟปริมาณรวมสะสมการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำของแต่ละสูตรที่ทำการผลิต ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558



จากรูปที่ 8 พบว่าผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1 ของโรงงานกรณีศึกษามีปริมาณการผลิตรวมสะสมมากสุด คือ 120 ตัน หรือ เฉลี่ย 24 ตันต่อเดือน ดังนั้น ผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1 ถูกเลือกในการปรับปรุง

4. เลือกขั้นตอนย่อย

ขั้นตอนคัดเลือกสุดท้าย คือ การเลือกขั้นตอนย่อยของการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลเพื่อทำการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต โดยการวิเคราะห์ขั้นตอนย่อยแต่ละขั้นตอน ดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 มาตรฐานเวลาในแต่ละขั้นตอนการผลิตและการควบคุมคุณภาพ

ขั้นตอนการผลิต	เวลามาตรฐานแต่ละขั้นตอน (นาที)
1.การเทผสมวัตถุดิบ	90
2.การกวนผสม	30
3.การตรวจปรับคุณภาพ	10
4.การกวนปรับคุณภาพ	30
5.การตรวจยืนยัน	10
6.การกำจัดลมในเนื้อผลิตภัณฑ์	40
7.การกรองและบรรจุถัง	30
เวลารวม	240 (4 ชั่วโมง)

ตารางที่ 6 กิจกรรมการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิตและควบคุมคุณภาพ

ลำดับขั้นตอน	การผลิตและควบคุมคุณภาพ	กิจกรรม	วัตถุดิบ	พารามิเตอร์ที่ควบคุม
1	การเทผสมวัตถุดิบ (Mix)	ผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน	1. ของเหลวพลาสติไซเซอร์ 2. กาวเหลว 3. ผงสี 4. ผงฟิลเลอร์ 5. ผงพีวีซี	1. อุณหูมิของผสมไม่เกิน 35°C
2	การกวนผสม (Circulation)	ปรับค่าความหนืด	1. ของเหลวพลาสติไซเซอร์ หรือโซลเว้นท์	1. อุณหูมิของผสมไม่เกิน 35°C 2. เวลากวนผสม 30 นาที
3	ตรวจปรับคุณภาพ (Sampling)	วัดค่าความหนืด		1. อุณหูมิตัวอย่าง @ 25°C
4	การกวนปรับคุณภาพ (Circulation)	ปรับค่าความหนืด	1. ของเหลวพลาสติไซเซอร์ หรือโซลเว้นท์	1. อุณหูมิของผสมไม่เกิน 35°C 2. เวลากวนผสม 30 นาที
5	การตรวจยืนยัน (Sampling)	วัดค่าความหนืด		1. อุณหูมิตัวอย่าง @ 25°C
6	การกำจัดลมในเนื้อผลิตภัณฑ์ (Vacuum)	กำจัดอากาศในผลิตภัณฑ์		1. อุณหูมิของผสมไม่เกิน 35°C 2. ความดันห้องผสมน้อยกว่า -0.75 bar
7	การกรองและบรรจุถัง (Packing)	บรรจุผลิตภัณฑ์ใส่บรรจุภัณฑ์		

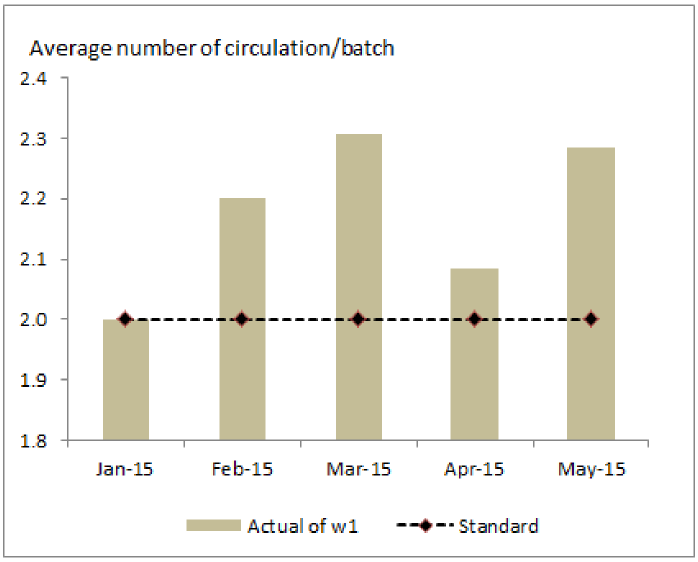
* การกรอง (Filter) เป็นกิจกรรมที่ทำร่วมในขั้นตอนการกวนผสม และการบรรจุ

จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6 จะเห็นว่า ขั้นตอนมาตรฐานการผลิตและควบคุมคุณภาพที่ขั้นตอนที่ 2 และ ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนที่มีการทำซ้ำกันหรือมีการทำการกวนผสม 2 ครั้งต่อ batch เพื่อควบคุมคุณภาพเรื่องค่าความหนืดให้ได้ตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้กับลูกค้า เมื่อทำการศึกษารายละเอียดการผลิตในแต่ละ batch เกี่ยวกับจำนวนครั้งของขั้นตอนการผสมต่อ batch จะได้รายละเอียดตามตารางที่ 7 และรูปที่ 9 สำหรับผลิตภัณฑ์ w1 และรายละเอียดตามตารางที่ 8 และรูปที่ 10 สำหรับผลิตภัณฑ์ b1

ตารางที่ 7 จำนวน batch ผลิตรายเดือนและจำนวนกวนผสมต่อ batch ของผลิตภัณฑ์ w1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558

Month	Quantity of batch under 2 times Circulation	Quantity of batch under 3 times Circulation	Total amount of batch	Average number of circulation/batch	Standard number of circulation/batch
Jan-15	11	0	11	2.0	2.0
Feb-15	8	2	10	2.2	2.0
Mar-15	9	4	13	2.3	2.0
Apr-15	11	1	12	2.1	2.0
May-15	5	2	7	2.3	2.0

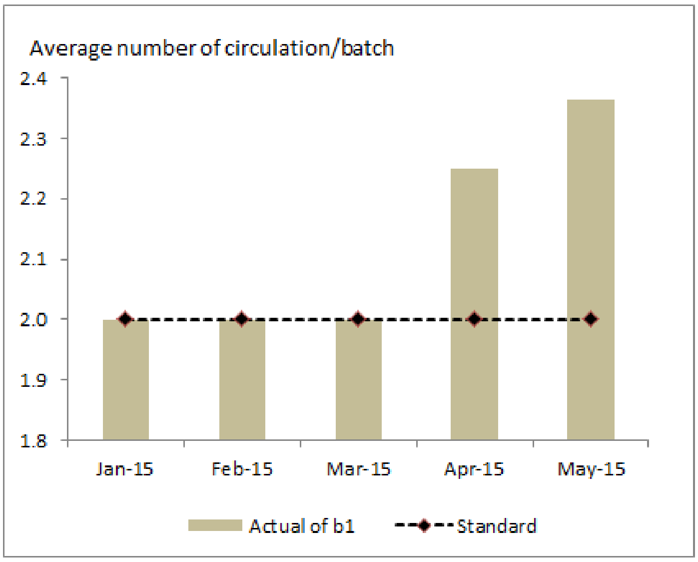
รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch รายเดือน กับกระบวนการมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ w1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558



ตารางที่ 8 จำนวน batch ผลิตรายเดือนและจำนวนกวนผสมต่อ batch ของผลิตภัณฑ์ b1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558

Month	Quantity of batch under 2 times Circulation	Quantity of batch under 3 times Circulation	Total amount of batch	Average number of circulation/batch	Standard number of circulation/batch
Jan-15	5	0	5	2.0	2.0
Feb-15	12	0	12	2.0	2.0
Mar-15	9	0	9	2.0	2.0
Apr-15	9	3	12	2.3	2.0
May-15	7	4	11	2.4	2.0

รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch รายเดือน กับกระบวนการมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ b1 ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558



จากกราฟเปรียบเทียบจำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch รายเดือน กับกระบวนการมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ทั้ง w1 และ b1 พบว่าขั้นตอนการกวนผสมมีจำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch รายเดือน ในบางเดือนมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่ามาตรฐานที่จำนวนการกวนผสม 2 ครั้งต่อ batch

ดังนั้น การปรับปรุงขั้นตอนการกวนผสมให้ได้จำนวนครั้งเฉลี่ยการกวนผสมต่อ batch ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 2 ครั้งต่อ batch จะทำให้เวลาการกวนผสมรวมทั้งหมดลดลงและต่ำกว่าเวลาการกวนผสมรวมทั้งหมด 60 นาที จะสามารถทำให้เวลารวมการผลิตทั้งกระบวนการลดลงเช่นเดียวกัน

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมาเพื่อปรับปรุงกระบวนการในขั้นตอนการกวนผสมพีวีซีพลาสติซอล ทำให้ได้วิธีการในการทำงานใหม่และมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเวลาที่ไม่ต้องสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1) งานวิจัยนี้จะปรับปรุงขั้นตอนการกวนผสมเพื่อลดเวลาที่สูญเสีย
2) งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาขั้นตอนของการผลิตของผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1 และ ผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1 ซึ่งมีการผลิตมากที่สุดในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2558 เพื่อเป็นกรณีศึกษา
3) งานวิจัยนี้จะวิเคราะห์และปรับปรุงขั้นตอนการผลิตโดยประยุกต์ใช้วิธีซิกซ์ซิกมา และ โปรแกรม MINITAB สำหรับวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

   1.1 ศึกษาวิธีซิกซ์ซิกมา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

   1.2 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการผสมแบบ Batch

   1.3 ศึกษามาตรฐานและวิธีการวัดค่าความหนืด

   1.4 ศึกษาเอกสารเกี่ยวกับการผลิตพีวีซีพลาสติซอล

2) วิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการทดลองตามขั้นตอนวิธีซิกซ์ซิกมา

   2.1 กำหนดทีมงาน

   2.2 ประเมินความสามารถของระบบการวัดและกระบวนการปัจจุบัน

   2.3 หาปัจจัยที่มีแนวโน้มจะส่งผลผลกระทบ

   2.4 ทำการทดลองเพื่อระบุปัจจัยที่มีผลกระทบ

   2.5 หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลกระทบ

   2.6 หาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของปัจจัย

   2.7 ประเมินความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง

3) สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ
4) จัดทำรายงานและนำเสนอผลงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ลดเวลาที่สูญเสียจากขั้นตอนการผลิตเดิม ทำให้สามารถมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น

2) ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วย

3) เพิ่มความสามารถในการแข่งขันด้านราคา

4) สามารถนำวิธีการวิจัยนี้ไปใช้ปรับปรุงการผลิตที่มีขั้นตอนการผลิตคล้ายคลึงกันได้

5) แนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตด้วยวิธีซิกซ์ซิกมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิกซ์ซิกมา

2.1.1 ทั่วไป

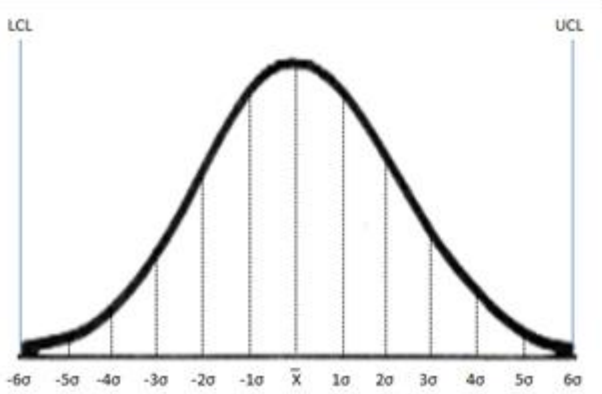
ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตจะพบว่าการปรับปรุงพัฒนาเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้สามารถยืนหยัดอยู่ได้ในธุรกิจอย่างยั่งยืน นักพัฒนาทั้งหลายจึงแสวงหาเครื่องมือ หรือวิธีการต่างๆมาประยุกต์ใช้กันอย่างมากมาย ซิกซ์ซิกมาเป็นเครื่องมือ วิธีการ หรือเทคนิคที่นักพัฒนาทั้งหลายได้นำมาประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางและหลากหลายอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

ต้นกำเนิดของซิกซ์ซิกมา เกิดขึ้นที่บริษัท Motorola ในปี 1980 โดยชายชาวอเมริกันที่ทำงานในบริษัทโมโตโรล่าโดยทำการลดจำนวนข้อบกพร่อง (Defects) จนทำให้ยอดขายและอัตราการเติบโตของบริษัทโมโตโรล่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลคุณภาพแห่งชาติของ Malcolm Baldrige (ผศ. ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551)

ซิกซ์ซิกมาถูกนำมาใช้เป็นกลยุทธ์ทางธุรกิจ โดยนำมาทำให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อลดความผันผวนของกระบวนการและกำจัดของเสียต่างๆในกระบวนการทางธุรกิจโดยมีการใช้เครื่องมือและเทคนิคทางสถิติ (Ricardo Banuelas, Jiju Antony, & Martin Brace, 2005)

คำนิยามของซิกซ์ซิกมา ถูกแสดงไว้หลากหลาย เช่น ระเบียบวินัย การขับเคลื่อนด้วยข้อมูลและวิธีการสำหรับขจัดข้อบกพร่องในขบวนการต่างๆ (Vinod G. Surange, 2015) หรือปรัชญาคุณภาพที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม (Ricardo Banuelas et al., 2005) เป็นต้น

ซิกมา (Sigma) เป็นคำเรียกตัวอักษรภาษากรีก โดยมีสัญลักษณ์ σ ซึ่งทางสถิติหมายถึงค่าพารามิเตอร์สำหรับความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) (กาญจณ์, 2556) โดยทางสถิติที่ระดับ 6σ ภายใต้การแจกแจงปกติจะได้กราฟการกระจายของซิกมา ดังรูปที่ 6



รูปที่ 11 การกระจายของซิกมาภายใต้การแจงแจงปกติ

ปริมาณของเสียแต่ละระดับของซิกมาภายใต้การแจงแจงแบบปกติ โดยสัมพันธ์กับจำนวนข้อบกพร่องต่อล้านหน่วยของผลิตภัณฑ์ (The Number of Defects Per Million Opportunities, DPMO) ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sigma Level กับ DPMO ภายใต้การแจกแจงปกติ

Sigma Level	UCL-UCL Range	% (Area of Curve)	DMPO
1	± 1σ	68.27	317,300
2	± 2σ	95.45	45,500
3	± 3σ	99.73	2,700
4	± 4σ	99.9937	63
5	± 5σ	99.999943	0.570
6	± 6σ	99.9999998	0.002

จากตารางที่ 9 จะพบว่าหากเราควบคุมกระบวนการที่ระดับ 6 ซิกมาภายใต้การแจกแจงแบบปกติ เมื่อมีการผลิตงาน 1,000,000 ชิ้น จะเป็นงานดีจำนวน 999,999.998 ชิ้น (99.9999998% ของงาน 1,000,000 ชิ้น) และมีของเสียเพียง 0.002 ชิ้น

ทฤษฎีซิกซ์ซิกมาที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมมีการปรับปรุงแก้ไขความสัมพันธ์ระหว่าง Sigma Level กับ DPMOเพื่อให้สอดคล้องกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการ โดยทางบริษัทโมโตโรล่าค้นพบว่ากระบวนการผลิตจะมีสิ่งรบกวนจากภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ทำให้ที่ระดับ 6 ซิกมาไม่สามารถทำได้จริงในทางอุตสาหกรรม (วิทยา สุหฤทดำรง & นราศรี ถาวรกุล, 2545) คือมีของเสียเพียง 0.002 ชิ้นต่อล้านชิ้น (Parts Per Million, ppm) จึงทำการเก็บข้อมูลเพื่อหาความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ย (Mean) ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของค่าเฉลี่ย (Mean Shift) ที่ +

1.5σ ออกไปจากตำแหน่งเดิม ส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Sigma Level กับ DPMO ภายใต้ทฤษฎีซิกซ์ซิกเปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Sigma Level กับ DPMO ภายใต้ทฤษฎีซิกซ์ซิกมา

Sigma Level	UCL-UCL Range	% (Area of Curve)	DMPO
1	$\pm$ 1σ	30.23	697,700
2	$\pm$ 2σ	69.13	308,700
3	$\pm$ 3σ	93.32	66,810
4	$\pm$ 4σ	99.379	6,210
5	$\pm$ 5σ	99.9767	233
6	$\pm$ 6σ	99.99966	3.4

6 เสาหลักของซิกซ์ซิกมา (T. N. Goh., 2013) ที่เป็นปัจจัยต่อความสำเร็จและถือได้ว่าเป็นมีนัยสำคัญมากที่สุด ประกอบด้วย

1. ปรัชญา: การแสวงหาลูกค้าเป็นศูนย์กลางความเป็นเลิศในการดำเนินงานและองค์กร
2. โครงสร้าง: ความคิดริเริ่มบนลงล่างผ่านลำดับชั้นของความสามารถในการเป็น Champions/Master Black Belts/Sponsors/Black Belts/Green Belts/Team Members
3. วิธีการ: แรงบันดาลใจจากความคิดทางสถิติและแนวทางจากการวิเคราะห์ข้อมูล
4. การดำเนินงาน: มีสิ่งที่เป็นรูปธรรมจากแผนงาน Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC)
5. การประยุกต์ใช้: ครอบคลุมการผลิตและอื่น ๆ เช่นการทำธุรกรรมที่ครอบคลุมและบริการ
6. เครื่องมือใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีสารสนเทศที่แพร่หลายทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

2.1.2 โครงสร้างผู้ปฏิบัติงานซิกซ์ซิกมา

การดำเนินงานให้ซิกซ์ซิกมา เกิดประสิทธิผลสูงสุดจำเป็นต้องมีทีมผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ความสามารถจากหลายส่วนงานและหลายระดับ โดยมีการกำหนดทีมงานผู้รับผิดชอบและหน้าที่ดังนี้

ผู้บริหารระดับสูง (Champions) มีหน้าที่ อนุมัติโครงการและเงื่อนไข กำกับดูแลและจัดสรรทรัพยากร รวมถึงการสร้างแรงจูงใจและความมั่นใจให้กับทีม

ผู้เชี่ยวชาญทางสถิติ (Master Black Belts) มีหน้าที่ เป็นผู้ฝึกสอนการทำโครงการให้กับทีมงาน และช่วยเหลือ ผู้จัดการโครงการ ในการนำเสนอโครงการต่อผู้บริหาร

ผู้จัดการ/เจ้าของกระบวนการ (Sponsors/Process Owners) มีหน้าที่ สนับสนุนการทำงานของทีมงานในกระบวนการที่รับผิดชอบ และอนุมัติเปลี่ยนแปลงกระบวนการหลังการปรับปรุงให้มีการนำไปปฏิบัติ

ผู้จัดการโครงการ (Black Belts) มีหน้าที่ นำเสนอโครงการต่อผู้บริหาร และเป็นผู้นำทีมในการนำซิกซ์ซิกมาไปดำเนินการปรับปรุงกระบวนการตามโครงการที่นำเสนอ

ผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ (Green Belts) มีหน้าที่ เป็นผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ และเป็นตัวแทนผู้จัดการโครงการในควบคุมการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการที่ได้รับอนุมัติ

ผู้ร่วมทีม (Team Members) มีหน้าที่ ปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมาย จัดเก็บเก็บข้อมูลการปรับปรุง

การปฏิบัติงานของทีมงานในระดับต่างๆจะถูกฝึกฝนโดยหน้าที่ที่รับผิดชอบ อันจะส่งผลต่อการเพิ่มทักษะและความสำเร็จสำหรับการบริหารงานจากระดับล่างขององค์กร ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติพิเศษ 7 ประการของซิกซ์ซิกมา (ผศ. ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551) คือ

1. เกิดผลลัพธ์สุดท้ายได้ตามที่คาดหวัง
2. การแสดงภาวะความเป็นผู้นำ (Leadership) ของระดับบริหาร จากการผลักดันโครงการให้เกิดความสำเร็จ
3. มีกลยุทธ์ DMAIC เป็นวงจรในการปรับปรุง
4. เห็นผลสำเร็จของโครงการได้เร็ว (3-6 เดือน) เนื่องจากโครงการที่ดีต้องไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป
5. สามารถกำหนดมาตรการสำหรับการวัดผลได้ชัดเจน
6. เน้นที่ลูกค้า โดยประเมินมุมมองของลูกค้าต่อระดับคุณภาพขององค์กร
7. การปรับปรุงโดยใช้วิธีทางสถิติ

2.1.3 การดำเนินงานกิจกรรมซิกซ์ซิกมา

DMAIC เป็นระเบียบวิธีการแก้ปัญหาที่มีแบบแผนและใช้กันอย่างแพร่หลายในธุรกิจ โดยตัวอักษรแต่ละตัวเป็นตัวย่อแทน 5 ขั้นตอนการปรับปรุงด้วยซิกซ์ซิกมา คือ Define-Measure-Analyze-Improve-Control (ไมเคิล แอล จอร์จ, 2554)

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดนิยาม (Define)

คือ การยืนยันปัญหาและเป้าหมายที่ปรับปรุง โดยในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ควรทำ ได้แก่

- การจัดทำกฎบัตรโครงการ (Project Charter) เพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารและยืนยันรายละเอียดของปัญหาและเป้าหมาย
- การจัดตั้งทีมงานหรือทีมผู้ปฏิบัติงาน เพื่อกำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบ
- การจัดทำผังการไหลของกระบวนการ (Process Map) เพื่อกำหนดวิธีการวัดและการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 การวัดผล (Measure)

คือ การรวบรวมเก็บข้อมูลของปัญหา โดยในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ควรทำ ได้แก่

- การประเมินระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA) เพื่อหาความเที่ยงตรงในการวัดของผู้ปฏิบัติงานที่ใช้เครื่องมือวัดในการเก็บข้อมูลโดยวิธีการ Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R) – ANOVA Method
- ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้วัดสำหรับเก็บข้อมูลได้ถูกทำการสอบเทียบ (Calibration) ตามมาตรฐานของเครื่องมือนั้นๆและมีความถี่ของการสอบเทียบตามระบบควบคุมระบบคุณภาพ เพื่อมั่นใจว่าเครื่องมือวัดที่ใช้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้
- การประเมินความสามารถของกระบวนการ เพื่อหาความสามารถของกระบวนการ (Process Capability, Cp and Cpk) ก่อนการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ (Analyze)

คือ การระบุต้นเหตุของปัญหา โดยในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ควรทำ ได้แก่

- การหาสาเหตุหรือปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) และสมรรถนะของกระบวนการ (Process Performance, Pp and Ppk) โดยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งที่นิยมใช้กันอย่าง

กว้างขวางคือ แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) โดยหาจากปัจจัยหลัก 5M1E คือ Man, Machine, Material, Method, Measurement and Environment

- การเลือกสาเหตุหรือปัจจัยที่มีโอกาสสูงที่จะเป็นหลักสำคัญในการปรับปรุงจากแผนภาพสาเหตุและผล โดยใช้เครื่องมือในการเลือกตามถนัด ดังนี้ Cause and Effect Matrix, Pareto Chart หรือ Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) เพื่อให้การทดลองเพื่อการปรับปรุงมีปริมาณงาน ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายการดำเนินงาน ต่ำที่สุด
- การวิเคราะห์ปัจจัยที่เลือกโดยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) แบบ Full Factorial Design โดยใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณ เพื่อคัดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถและสมรรถนะของกระบวนการไว้สำหรับขั้นตอนการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 4 การปรับปรุง (Improve)

คือ การสร้างวิธีการแก้ปัญหา โดยในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ควรทำ ได้แก่

- การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่คัดไว้และปัจจัยกับผลการทดลอง (Response) โดยวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) แบบ Response Surface Regression เพื่อยืนยันปัจจัยที่คัดไว้ว่ามีผลกระทบต่อกระบวนการจริง
- การหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลกระทบ โดยวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) แบบ Response Optimizer
- การประเมินความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง โดยใช้ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่คำนวณได้ เพื่อหาความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนที่ 5 การควบคุม (Control)

คือ การติดตามผลการปรับปรุง โดยในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ควรทำ ได้แก่

- จัดทำหรือแก้ไขปรับปรุงแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการได้มีการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องตามที่ปรับปรุงไว้
- จัดทำใบตรวจสอบ (Check Sheet) เพื่อให้แน่ใจว่าค่าของปัจจัยต่างๆได้รับการปรับตั้งไว้อย่างถูกต้อง

2.1.4 เครื่องมือของซิกซ์ซิกมา

ประกอบด้วยเครื่องมือ 8 อย่าง (ผศ. ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551) คือ

1. แผนผังกระบวนการ (Process Map)
2. ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix)
3. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)
4. การศึกษาความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)
5. การศึกษาผลกระทบจากความเสียหาย (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA)
6. การศึกษาผลกระทบแบบหลายด้าน (Multi-Vary Studies)
7. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE)
8. แผนการควบคุม (Control Plan)

2.2 การทบทวนบทวรรณกรรม

2.2.1 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงการผลิตด้วยซิกซ์ซิกมา

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคในกระบวนการตัด โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคที่ได้จากกระบวนการตัด โดยการหาค่าปรับพารามิเตอร์ของสภาวะตัดที่เหมาะสม ซึ่งเป็นการศึกษาโรงงานที่มีการผลิตเทปกาวอุตสาหกรรมประเภทเทปโฟมอะคริลิคสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยการปรับปรุงนี้อยู่ในส่วนของกระบวนการตัดเทปโฟมอะคริลิคให้ได้ตามขนาดที่ต้องการโดยการใช้แนวคิดซิกซ์ซิกมา ทำให้สามารถตัดเทปโฟมอะคริลิคได้ขนาดหน้ากว้างมีค่าเฉลี่ยที่ 12.0171 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้กับเป้าหมายที่ค่า 12.00 มิลลิเมตร ในขณะที่ก่อนปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.0324 มิลลิเมตร ส่งผลให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 มิลลิเมตร เป็น 0.0504 มิลลิเมตร และทำให้ค่า Cp และ Cpk เพิ่มขึ้นเป็น 1.87 และ 1.98 ตามลำดับซึ่งดีกว่าก่อนปรับปรุงที่มีค่า Cp และ Cpk ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 1.33 (ปาริชาติ บุญเกลี้ยง, 2552)

รุจิรา อุไรพงษ์. การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ใช้สำหรับผลิตงานท่อที่เกิดจากกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์ โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นการศึกษาโรงงานกรณีศึกษาที่ผลิต โอเลฟินส์ และผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องของโอเลฟินส์ และรวมถึงการผลิตเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ที่ผสมสารเติมแต่งซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตงานท่อที่เป็นส่วนศึกษาของงานวิจัยนี้ โดยกระบวนกา บรรจุ คือส่วนที่งานวิจัยทำการปรับปรุงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการทำให้สามารถลดค่าเฉลี่ยความชื้นจาก 440 PPM จนเหลือ ค่าความชื้นเฉลี่ย 334.15 PPM (รุจิรา อุไรพงษ์, 2552)

ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียจากข้อตำหนิประเภทรอยขีดข่วน (Scratch) ของแม่แบบแก้ว (Glass mold) ที่ใช้การผลิตเลนส์สายตาชนิดบางพิเศษ (High Index Lens) ซึ่งเป็นการศึกษาโรงงานผลิตเลนส์พลาสติก โดยทำการศึกษาขบวนการผลิตในส่วนต่างๆที่ทำให้เกิดของเสียเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเสียของแม่แบบแก้วจนสามารถระบุปัจจัยได้จากกระบวนการผลิต 2 ส่วน คือ กระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชั่น จำนวน 2 ปัจจัย และกระบวนการแกะแม่แบบ จำนวน 3 ปัจจัย เมื่อทำการปรับปรุงโดยแนวคิดซิกซ์ ซิกมาทำให้สามารถลดแม่แบบเสียได้ถึง 66.8% เมื่อเทียบกับสัดส่วนของแม่แบบเสียก่อนการปรับปรุง (ธีรพร เสนพรหม, 2550)

ปัทมา วงค์กาจ. การลดความแปรปรวนความเค็มของกระบวนการแช่จืดในการผลิตผักการดองกระป๋องโดยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2554 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความแปรปรวนของความเค็มหลังกระบวนการแช่จืดลงอย่างน้อย 50% ในการผลิตผักกาดดองกระป๋อง โดยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นการศึกษาโรงงานผลิตผักกาดดองกระป๋องบริษัท สันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด งานวิจัยนี้ได้ระบุปัจจัยไว้ทั้งหมด 6 ปัจจัยที่มีผลต่อความแปรปรวนความเค็มของกระบวนการแช่จืด ได้แก่ 1.จำนวนปั๊มไดโว่ไม่เพียงพอ 2.ผักก่อนแช่จืดมีความเค็มที่ไม่คงที่ 3.เวลาเวียนน้ำในบ่อ 4.ความเค็มน้ำที่ใช้แช่จืดเค็มมาก 5.ผักในหนึ่งบ่อมีปริมาณมาก 6.ตำแหน่งท่อจ่ายจากปั๊มไดโว่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัจจัยทั้ง 6 ตัวแปรนี้มากจากหลายส่วนได้แก่ คุณภาพวัตถุดิบการผลิต ปริมาณเครื่องจักรผลิต และขั้นตอนต่างๆการผลิต แต่เมื่อทำการปรับปรุงแล้วก็สามารถลดความแปรปรวนความเค็มจาก 0.460 เหลือ 0.017 ซึ่งลดลงถึง 97% (ปัทมา วงค์กาจ, 2554)

จากผลงานวิจัย (ปาริชาติ บุญเกลี้ยง, 2552 รุจิรา อุไรพงษ์, 2552 ธีรพร เสนพรหม, 2550 และ ปัทมา วงค์กาจ, 2554) นำมาศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงขั้นตอนต่างๆของการผลิตในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ขั้นตอนการวิเคราะห์และวิธีการทดลองตามแนวทางซิกซ์ซิกมา เทคนิคการค้นหาปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัยจากหลายๆส่วนของการผลิต การช่วยวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

2.2.2 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการลดเวลาการผลิตด้วยซิกซ์ซิกมา

วาสนา ช่อมะลิ. การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล่อยยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานของเครื่องผสมยางในการลดเวลาสูญเสียของยางสูตร A จากเดิม 31.9% ซึ่งเป็นการศึกษาโรงงานผู้ผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทย โดยทำการศึกษาเครื่องจักรในสายการผลิตที่มีประสิทธิภาพเครื่องจักร (machine efficiency) ต่ำกว่าเป้าหมาย โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมาและการออกแบบการทดลอง โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ขั้นตอนการวิเคราะห์และทดลองตามแนวทางซิกซ์ซิกมา คือ 1.กำหนดแผนงานในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) 2.การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) 3.การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) 4.การปรับปรุงแก้ไขขบวนการ (Improvement Phase) 5.การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) จากการวิจัยตามแนวทางดังกล่าวสามารถลดเวลาสูญเสียจากยางติดประตูปล่อยยางของยางสูตร A ได้จาก 31.9% เหลือ 14.3% และทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 1.9% (วาสนา ช่อมะลิ, 2555)

มนต์ชัย บุญเกิด. การลดอัตรางานทำซ้ำในโรงงานผลิตของเล่นไม้โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราการงานทำซ้ำในกลุ่มผลิตภัณฑ์บล็อกหน่วยมาตรฐาน KTB189 ลง โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นการศึกษาโรงงานที่ประกอบธุรกิจการผลิตเครื่องเล่นและเกมส์จากไม้ยางพาราและไม้ป่าฝน โดยมีคำนิยามศัพท์คำว่า งานทำซ้ำหมายถึง ชิ้นงานระหว่างการผลิตที่มีคุณภาพไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดของสินค้า จากการวิจัยนี้โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา จะทำให้สามารถลดเวลาการผลิตจากการผลิตเกินความจำเป็น และลดเวลาสูญเสียที่กระบวนการคัดแยกของเสีย โดยงานวิจัยพบปัจจัยที่มีผลกระทบต่องานทำซ้ำ คือ การเปลี่ยนแปลงความคมของใบมีด และความเร็วมอเตอร์ชุดลำเลียง จึงได้ทำการวิเคราะห์หาจุดที่

เหมาะสมของทั้งสองปัจจัย ทำให้สามารถลดอัตรางานทำซ้ำจาก อัตราร้อยละ 4.40 เหลืออัตราร้อยละ 2.60 (มนต์ชัย บุญเกิด, 2553)

สลักจิตต์ พุทธจักร. การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบระยะเวลาในการผลิตของตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 (BB7040) โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมาตามขั้นตอนทั้ง 5 ในการทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตจนสามารถลดรอบระยะเวลาในการผลิตจาก 2.98 วินาทีต่อชิ้นงาน จนเหลือ 2.75 วินาทีต่อชิ้นงาน หรือลดลง 7.71% ของรอบระยะเวลาเดิมก่อนปรับปรุง โดยคุณภาพของชิ้นงานเกี่ยวกับความเรียบผิวงานยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งงานวิจัยนี้มีปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดรอบระยะเวลาและความเรียบผิวงานที่กระบวนการขัดผิวด้านในซึ่งเป็นคอขวดของกระบวนการ เมื่อทำการปรับปรุงแล้วเสร็จจะทำให้กระบวนการขัดผิวด้านในไม่ใช่คอขวดของการผลิตทั้งหมด (สลักจิตต์ พุทธจักร, 2556)

จากผลงานวิจัย (วาสนา ช่อมะลิ, 2555 มนต์ชัย บุญเกิด, 2553 และสลักจิตต์ พุทธจักร, 2556) นำมาศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตเพื่อการลดเวลาการผลิตในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ขั้นตอนการวิเคราะห์และวิธีการทดลองตามแนวทางซิกซ์ซิกมา เทคนิคการหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาในการผลิต คำนวณหาการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องจักรและขั้นตอนการการทำงานที่ดีที่สุด การใช้โปรแกรม MINITAB ในการช่วยวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

การยืนยันปัญหาและเป้าหมาย

ในบทนี้จะกล่าวถึงระยะแรกของเทคนิคซิกซ์ซิกมา คือ การกำหนดนิยาม (Define phase) เป็นการยืนยันปัญหาและเป้าหมายที่ต้องการปรับปรุง ซึ่งมีองค์ประกอบและขั้นตอนต่างๆที่สำคัญ คือ การจัดตั้งทีมงาน ในการทำโครงการภายใต้เทคนิคซิกซ์ซิกมา การทำความเข้าใจกระบวนการที่ต้องการปรับปรุง การคัดกรองและเลือกปัญหาที่เหมาะสม และการกำหนดเป้าหมายหรือผลที่ได้จากการปรับปรุง

3.1 การจัดตั้งทีมงาน

ทีมงานมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้โครงการสำเร็จมากน้อยแค่ไหน ทีมงานที่ดีจำเป็นต้องมีความรู้ในกระบวนการที่ต้องการปรับปรุง และเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ ซึ่งส่งผลให้การทำโครงการมีความสะดวกและต่อเนื่อง ซึ่งโดยหลักการนี้ จึงได้แต่งตั้งทีมงานจากหลายๆส่วน ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอลที่ต้องการปรับปรุง คือ

- ส่วนงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการผลิต คือ ตัวแทนจากฝ่ายผลิต ตัวแทนจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ ตัวแทนจากฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์
- ส่วนงานสนับสนุนการผลิต คือ ตัวแทนจากฝ่ายซ่อมบำรุง ตัวแทนจากฝ่ายวางแผนผลิต
- ส่วนงานสนับสนุนข้อมูลด้านงบประมาณและผลประโยชน์ คือ ตัวแทนจากฝ่ายบัญชี ซึ่งจะเข้ามาช่วยดูในส่วนของต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการทำโครงการเพื่อให้เห็นถึงผลประโยชน์ทางบัญชีที่ได้จากการทำโครงการจนแล้วเสร็จ

ผู้วิจัยจึงได้ขอความร่วมมือจากส่วนงานต่างๆตามที่ได้กล่าวมาเพื่อจัดตั้งทีมงาน (Team Member) ที่จะเข้าร่วมทำการปรับปรุงปัญหาตามเทคนิคซิกซ์ซิกมา ซึ่งได้ทีมงานดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 รายชื่อทีมงานโครงการลดเวลามาตรฐานการผลิตเคมีป้องกันสนิม

1. ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Manager)
2. ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค (Technical Manager)
ผู้ร่วมทีม (Team Members)
1. หัวหน้ากะ (Production Shift Leader) – 2 คน
2. ช่างเทคนิคซ่อมบำรุง (Maintenance Technician) – 1 คน
3. วิศวกรส่วนวิจัยผลิตภัณฑ์ (R&D Engineer) – 1 คน
4. พนักงานตรวจสอบคุณภาพ (QC staff) – 2 คน
5. พนักงานวานแผนการผลิต (Planning staff) – 1 คน
6. พนักงานฝ่ายบัญชี (Account Staff) – 1 คน

โดยผู้วิจัยเป็นผู้จัดการฝ่ายผลิตและทำหน้าที่เป็นผู้จัดการโครงการนี้ และมีผู้จัดการฝ่ายเทคนิคเป็นผู้ช่วยผู้จัดการโครงการ

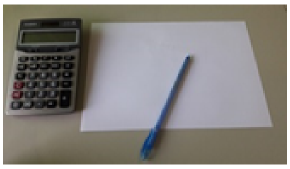
3.2 แผนผังกระบวนการ

ความเข้าใจในกระบวนการที่ต้องการปรับปรุงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ทีมงานที่จัดตั้งขึ้น ต้องมองเห็นไปและมีความเข้าใจไปในแนวทางเดียวกัน จึงต้องจัดทำแผนผังกระบวนการที่ต้องการปรับปรุงที่มีความชัดเจนและเข้าใจง่าย ผู้วิจัยได้จัดตารางแผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอลในลักษณะการไหลของงานเป็นลำดับขั้นโดยละเอียดพร้อมบรรยายและรูปภาพประกอบ ซึ่งจะทำให้ทีมงานที่จัดตั้ง มีความเข้าใจกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอลอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ ดังตารางที่ 12

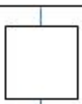
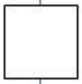
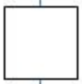
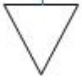
ตารางที่ 12 แผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล

ลำดับขั้นตอน	สัญลักษณ์ การผลิต (□) การเตรียม (⬭) การเก็บรักษา (▽) การตรวจสอบ (◊)	ขั้นตอน	กิจกรรม	รูปกิจกรรม
1	⬭	การเบิกวัตถุดิบ	จัดเตรียมวัตถุดิบเข้าสู่พื้นที่ผลิตมีดังนี้ 1.วัตถุดิบผงบรรจุถุงโดยนับจำนวนเป็นถุง ได้แก่ ผงฟิลเลอร์ ผงพีวีซี ผงสี 2.วัตถุดิบเหลวบรรจุถังโดยการใช้เครื่องชั่งน้ำหนักพิกัด 30 กิโลกรัมเพื่อแบ่งบรรจุ ได้แก่ กาว 3.วัตถุดิบเหลวบรรจุถังโดยการใช้เครื่องชั่งแบบแขวนขนาด 800 กิโลกรัม ได้แก่ พลาสติไซเซอร์ และ โซลเว้นท์	
2	□	การเทผสมวัตถุดิบ	- เปิดเครื่องผสมหมุนใบกวนผสมหมุนจำนวนรอบแบบคงที่ - เติม/เทวัตถุดิบเข้าห้องผสมตามลำดับที่กำหนดไว้ในใบสั่งการผลิต	

ตารางที่ 12 แผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล (ต่อ)

3		การควบคุมสภาวะการผสม	-ควบคุมอุณหภูมิของห้องผสมไม่เกิน 45°C	
4		การควบคุมการกระจายของเนื้อวัตถุดิบผง	-หมุนใบกวนผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที หลังจากเทวัตถุดิบผงเสร็จหมดตามใบสั่งการผลิต	
5		การปรับความหนืด	-เปิดระบบอัตโนมัติเพื่อเติมพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ตามที่ระบุในใบสั่งการผลิต	
6		การกระจายตัวของวัตถุดิบในการปรับความหนืด	-ต่อท่อระบบการกรองและระบบการหมุนเวียนผลิตภัณฑ์ของผสม -เปิดระบบการกวน -เปิดปั๊มจ่ายผลิตภัณฑ์ของผสมเข้าระบบการกรองแล้วหมุนเวียนกลับเข้าห้องผสมเป็นเวลา 20 นาที	
7		การตรวจค่าความหนืด	-เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของผสม -วัดค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ของผสมด้วยเครื่องมือวัดค่าความหนืด โดยควบคุมอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ของผสมขณะวัดค่าความหนืดที่ 25°C	
8		การคำนวณปริมาณวัตถุดิบปรับความหนืด	-ใช้ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่วัดค่าความหนืดมาปรับหาค่าความหนืดตามข้อมูลผลิตภัณฑ์ -คำนวณค่าพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ที่ต้องใช้ในสัดส่วนที่เป็นปริมาณของผลิตภัณฑ์ของผสม	

ตารางที่ 12 แผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล (ต่อ)

9		การปรับค่าความหนืด	-เปิดเครื่องผสมหมุนใบกวน -เติมพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ตามปริมาณที่คำนวณไว้ -เปิดปั๊มจ่ายผลิตภัณฑ์ของผสมเข้าระบบการกรองแล้วหมุนเวียนกลับเข้าห้องผสมเป็นเวลา 20 นาที	
10		การตรวจค่าความหนืดหลังปรับ	-เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของผสม -วัดค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ของผสมด้วยเครื่องมือวัดค่าความหนืด โดยควบคุมอุณหภูมิผลิตภัณฑ์ของผสมขณะวัดค่าความหนืดที่ 25°C	
11		การลดความดันเป็นสุญญากาศ	-ปิดฝาช่องเทวัตถุดิบผงและวาล์วเติมวัตถุดิบเหลว -เปิดระบบสุญญากาศเป็นเวลา 30 นาที โดยลดความดันไปที่ -0.75 บาร์เป็นอย่างน้อย -เปิดเครื่องผสมหมุนใบกวนระหว่างลดความดันในห้องผสม	
12		การบรรจุ	-เปิดปั๊มจ่ายผลิตภัณฑ์ของผสมเข้าระบบการกรองแล้วจ่ายบรรจุเข้าบรรจุภัณฑ์ตามปริมาณที่ระบุในใบสั่งการผลิต	
13		การจัดเก็บ	จัดเก็บผลิตภัณฑ์หลังการผลิตในบริเวณที่กำหนด	

(Process / Operation Symbols ได้นำมาจาก website http://www.breezetree.com)

3.3 การยืนยันปัญหา

จากการที่โรงงานกรณีศึกษามีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหากำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 นั้น การลดเวลามาตรฐานการผลิตต่อรอบจึงเป็นแนวทางในการเลือกทำวิจัยในครั้งนี้ เพราะเป็นแนวทางที่ใช้เงินลงทุนที่ต่ำแต่ประโยชน์ที่ได้จากกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นสิ่งที่โรงงานกรณีศึกษาต้องการเป็นอย่างยิ่ง

จากที่เครื่องผสมที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลของโรงงานกรณีศึกษามีอยู่จำนวน 2 เครื่อง โดยถูกแบ่งเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาว 1 เครื่อง และการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ 1 เครื่อง โดยมีกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์สีขาวกับสีเทาดำมีสัดส่วนปริมาณการผลิตคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ใกล้เคียงกันเทียบจากปริมาณการผลิตรวมของทั้งสองสีรวมกันในช่วงมกราคม-พฤษภาคม 2558 คือ ผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาวมีสัดส่วนกำลังการผลิต 52.31% และผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำมีสัดส่วนกำลังการผลิต 47.69% (รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีขาว กับสีดำ/เทา ช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2558) ซึ่งสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันทำให้งานวิจัยนี้เลือกทำการปรับปรุงทั้งสองเครื่องจักร เพื่อให้ผลของการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตในงานวิจัยนี้ส่งผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิตได้อย่างแท้จริง

เนื่องจากผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลทั้งกลุ่มสีขาวและกลุ่มสีเทาดำ มีหลายรหัสสินค้าในการผลิต งานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตสูงสุดในแต่ละกลุ่มสี จึงได้ผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล สีขาว รหัส w1 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตมากสุด คิดเป็น 20% ของปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล สีขาว (รูปที่ 7 กราฟปริมาณรวมสะสมการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีขาวของแต่ละสูตรที่ทำการผลิต ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558) และผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล สีเทาดำ รหัส b1 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตมากสุด คิดเป็น 25% ของปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล สีเทาดำ (รูปที่ 8 กราฟปริมาณรวมสะสมการผลิตพีวีซีพลาสติซอลสีดำ/สีเทาของแต่ละสูตรที่ทำการผลิต ช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558)

เมื่อทีมงานได้ทำการศึกษาแผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอลตามตารางที่ 12 แผนผังกระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล จนเป็นที่เข้าใจ จะเห็นได้ว่า ในลำดับขั้นตอนที่ 2 เป็นการเทผสมวัตถุดิบตามปริมาณที่กำหนดไว้ตามสูตรการผลิตที่ระบุไว้ในใบสั่งผลิต (batch ticket) จากนั้นทำการกวนผสมวัตถุดิบโดยใช้เวลาในขั้นตอนนี้รวม 30 นาที คือ เวลาในการเตรียมท่อระบบกวนผสม 10 นาที และการเปิดเครื่องผสมเพื่อกวนผสมวัตถุดิบอีก 20 นาที เมื่อกวนผสมวัตถุดิบได้ตามเวลาที่กำหนด พนักงานฝ่ายผลิตทำการเก็บตัวอย่างส่งให้ทางพนักงานควบคุมคุณภาพ ทำการตรวจวัดค่าความหนืด (viscosity) ซึ่งค่าความหนืดเป็นลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (specification) แต่ละรหัส

เมื่อทราบค่าความหนืดตามจากการผสมวัตถุดิบครั้งที่หนึ่งตามที่ระบุไว้ในใบสั่งผลิต จะได้ค่าความหนืดที่มีค่าสูงกว่าค่าเป้าหมายที่ต้องการเพราะใบสั่งผลิตมีการออกแบบให้มีการลดปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผสมเพื่อปรับค่าความหนืด เพื่อป้องกันการผลิตสินค้าไม่ได้มาตรฐานตามลักษณะเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ การกำหนดวิธีการในใบสั่งผลิตในรูปแบบวิธีเช่นนี้เนื่องจากพบความต่างระหว่างการใช้สูตรการผลิตในห้องทดลองกับการใช้สูตรผลิตจริงในส่วนผลิต ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 เงื่อนไขและความแตกต่างระหว่างการผสมสูตรการผลิตในทดลองและในการผลิตจริง

เงื่อนไข	การผสมในห้องทดลอง	การผสมในการผลิตจริง
ความแตกต่าง	ห้องผสมผ่านการทำความสะอาดไม่มีสิ่งตกค้าง	ห้องผสมมีผลิตภัณฑ์จากการผลิตในรอบการผลิตก่อนหน้าคงค้าง
ผลกระทบ	สูตรการผลิตที่ไม่มีความเบี่ยงเบนจากปัจจัยอื่นๆ นอกจากคุณภาพของวัตถุดิบ	ผลิตภัณฑ์คงค้างในห้องผสมมีผลกระทบต่อการผลิตทำให้ไม่สามารถผลิตงานจากสูตรที่ผสมได้จากห้องทดลอง
การแก้ไขปัญหา	ไม่มี	ปรับวิธีการผลิตโดยการแบ่งการผลิตออกเป็นสองครั้งในการผสมวัตถุดิบ
การนำไปใช้	-	แบ่งปริมาณของวัตถุดิบปรับค่าความหนืดออกเป็นสองช่วงเพื่อให้ได้ค่าความหนืดจากการผสมในครั้งที่หนึ่งมีค่าสูงกว่าลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ จากนั้นจึงคำนวนหาปริมาณวัตถุดิบปรับค่าความหนืดที่จะเติมเพิ่มในครั้งที่สอง

การคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผสมครั้งที่สองเพื่อปรับค่าความหนืดโดยคำนวณหาจากการปรับค่าความหนืดจากตัวอย่างจะทำให้ทราบว่าต้องเติมวัตถุดิบที่ใช้ผสมปรับค่าความหนืดเท่าไหร่ จากนั้นเทียบหาปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ผสมปรับค่าความหนืดในเครื่องผสมของฝ่ายผลิต จากสัดส่วนตัวอย่างกับผลิตภัณฑ์ที่มีในเครื่องผสม

วัตถุดิบที่ใช้ปรับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์พีวีซีสีขาว รหัส w1 คือ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

วัตถุดิบที่ใช้ปรับค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์พีวีซีสีเทาดำ รหัส b1 คือ โซลเว้นท์ (Solvent)

จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตพีวีซีพลาสติซอล มีกระบวนการทำงานซ้ำในขั้นตอนของการผสมวัตถุดิบที่ไม่สามารถเทผสมวัตถุดิบตามสูตรการผลิตที่กำหนดไว้ได้ด้วยการผสมครั้งเดียว จึงเป็นปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาที่ต้องการปรับปรุงเพื่อหาวิธีการใหม่ที่สามารถลดการทำงานซ้ำในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบได้

ในขณะเดียวกันยังพบว่าในการเทผสมวัตถุดิบที่กำหนดไว้สองครั้งต่อรอบการผลิตนั้น ในการผลิตจริงมีค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการผสมสูงกว่ามาตรฐานการผลิตที่กำหนดไว้ 2 ครั้งต่อรอบการผลิต จากข้อมูลการผลิตในช่วงเดือน มกราคม - พฤษภาคม 2558 คือ

ผลิตภัณฑ์พีวีซีสีขาว รหัส w1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการผสมวัตถุดิบ เท่ากับ 2.18 ครั้งต่อรอบการผลิต และผลิตภัณฑ์พีวีซีสีเทาดำ รหัส b1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการผสมวัตถุดิบ เท่ากับ 2.14 ครั้งต่อรอบการผลิต

ซึ่งในแต่ละครั้งของจำนวนการผสมที่เพิ่มขึ้นจะเป็นการเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบค่าความหนืดหลังการผสมไปพร้อมๆกัน โดยทั้งสองขั้นตอนใช้เวลารวมกัน 40 นาทีต่อครั้ง

3.4 การยืนยันเป้าหมาย

จากปัญหาที่พบในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามข้อ 3.3 ทำให้เห็นว่าสิ่งที่จะถูกปรับปรุงคือ

1. ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ ที่มีมาตรฐานการผลิตกำหนดไว้ 2 ครั้งต่อรอบการผลิต โดยมีเป้าหมายคือ มีมาตรฐานใหม่ที่สามารถกำหนดขั้นตอนการผสมวัตถุดิบที่ 1 ครั้งต่อรอบการผลิต
2. ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการผสมวัตถุดิบ โดยมีเป้าหมายคือ ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการผสมวัตถุดิบหลังการปรับปรุงมีการลดลงและเป็นผลที่สามารถทำให้กำหนดมาตรฐานการผลิตใหม่ได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

การเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงระยะที่สองของเทคนิคซิกซ์ซิกมา คือ การวัดผล (Define phase) เป็นการรวบรวมเก็บข้อมูลของปัญหาที่ต้องการปรับปรุง ซึ่งมีองค์ประกอบและขั้นตอนต่างๆที่สำคัญ คือ การประเมินระบบการวัด เพื่อให้ข้อมูลที่รวบรวมมีความถูกต้องแม่นยำและบ่งชี้สภาวะของปัญหาได้อย่างถูกต้อง และการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง เพื่อเป็นการบ่งชี้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเดิมที่เป็นอยู่ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ได้หลังการปรับปรุง ทำให้ทราบถึงทิศทางและผลของการปรับปรุงอยู่ในสถานะอย่างไร

4.1 การประเมินระบบการวัด

ในการประเมินระบบการวัด ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการประเมินผล โดยในขั้นตอนนี้ข้อมูลที่ใช้ในการทำการประเมินคือ ค่าความหนืด (viscosity) ของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการวัดโดยพนักงานส่วนควบคุมคุณภาพ เนื่องจากค่าความหนืดเป็นลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (specification) ที่ใช้ในการควบคุมการผลิตผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต

พนักงานส่วนควบคุมคุณภาพที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์มีจำนวน 3 คน ดังนั้นทางทีมงานจึงกำหนดให้ทั้งสามคนเข้าสู่ระบบการประเมินระบบการวัด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดคือ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ b2 (retained sample) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่จัดเก็บไว้หลังการผลิตในแต่ละรอบการผลิต (batch) เพื่อใช้ในการทวนสอบในกรณีที่ลูกค้ามีปัญหาเรื่องคุณภาพสินค้า ทางโรงงานกรณีศึกษาจะนำตัวอย่างที่จัดเก็บไว้นี้มาตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับตัวอย่างสินค้าที่ลูกค้าร้องเรียนมาเพื่อเปรียบเทียบหาความผิดปกติ

วิธีการรวบรวมข้อมูลกำหนดให้ใช้ตัวอย่างชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้นงาน และให้ผู้วัดทั้งสามคนวัดค่าความหนืดของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้นงาน และวัดซ้ำชิ้นงานละ 3 รอบ โดยเพื่อให้การวัดได้ค่าที่ดีที่สุด มีความเอนเอียง (bias) น้อยที่สุด ทางทีมงานได้ใช้โปรแกรม MINITAB ในการจัดทำลำดับการวัดด้วยโปรแกรมคำสั่งคือ Stat > Quality Tools > Gage Study > Create Gage R&R Study Worksheet

การวัดค่าความหนืด (viscosity) ของโรงงานกรณีศึกษาใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Brook field และหน่วยในการบันทึกคือ Pa.s

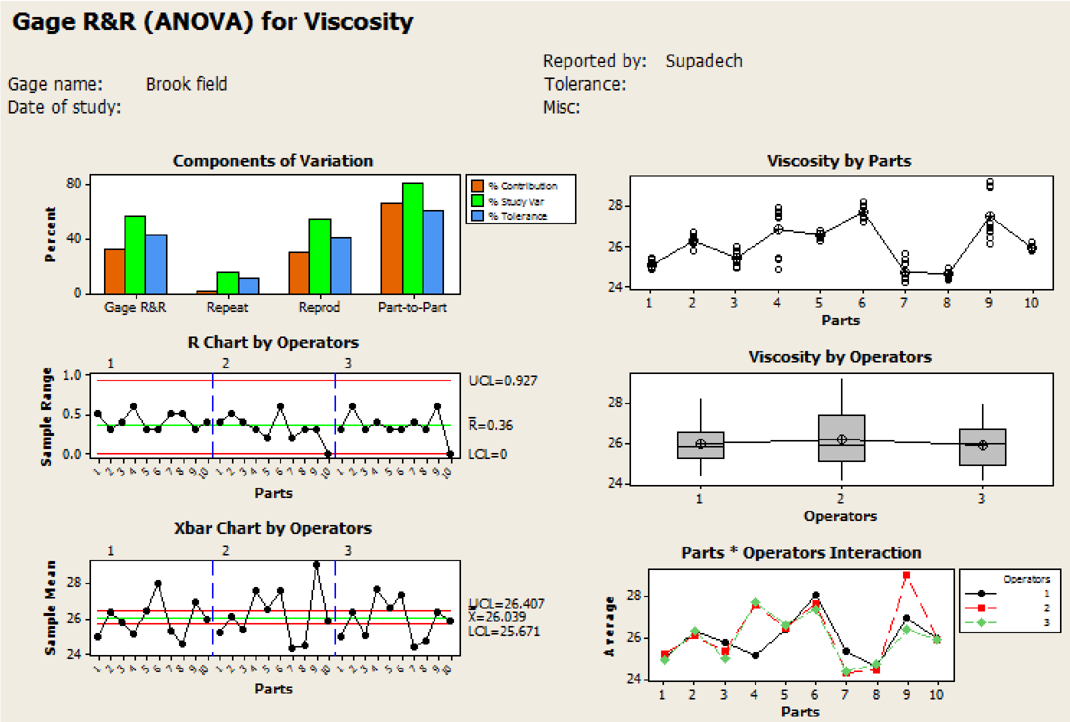
ข้อมูลจากการวัดค่าความหนืดของตัวอย่างชิ้นงาน b2 ซึ่งมีค่าความหนืดตามลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 20-30 Pa.s ถูกแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการวัดค่าความหนืด (viscosity) ตัวอย่างชิ้นงาน b2

ตัวอย่าง : b2

หน่วยวัด : Pa.s		จำนวนครั้งที่วัด		
ผู้วัดคนที่	ตัวอย่างที่	1	2	3
1	1	24.8	25.3	24.9
	2	26.2	26.5	26.4
	3	25.6	25.8	26.0
	4	25.4	24.8	25.3
	5	26.4	26.3	26.6
	6	28.2	28.0	27.9
	7	25.3	25.6	25.1
	8	24.4	24.9	24.5
	9	26.8	27.1	26.9
	10	26.2	25.9	25.8
2	1	25.2	25.4	25.0
	2	26.3	26.2	25.8
	3	25.2	25.3	25.6
	4	27.6	27.4	27.7
	5	26.6	26.5	26.4
	6	27.5	28.0	27.4
	7	24.4	24.4	24.2
	8	24.5	24.6	24.3
	9	29.2	29.0	28.9
	10	25.9	25.9	25.9
3	1	24.9	25.1	24.8
	2	26.2	26.1	26.7
	3	24.9	25.0	25.2
	4	27.5	27.7	27.9
	5	26.8	26.5	26.6
	6	27.2	27.5	27.4
	7	24.6	24.4	24.2
	8	24.7	24.6	24.9
	9	26.4	26.7	26.1
	10	25.9	25.9	25.9

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study (Crossed) ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 12



Gage R&R Study - ANOVA Method

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

```
Gage R&R for Viscosity

Gage name:         Brook field
Date of study:
Reported by:       Supadech
Tolerance:
Misc:
```

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	97.905	10.8783	7.4287	0.000
Operators	2	1.324	0.6618	0.4519	0.643
Parts * Operators	18	26.359	1.4644	35.9110	0.000
Repeatability	60	2.447	0.0408		
Total	89	128.034			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.51531	33.01
Repeatability	0.04078	2.61
Reproducibility	0.47453	30.39
Operators	0.00000	0.00
Operators*Parts	0.47453	30.39
Part-To-Part	1.04600	66.99
Total Variation	1.56130	100.00

Process tolerance = 10

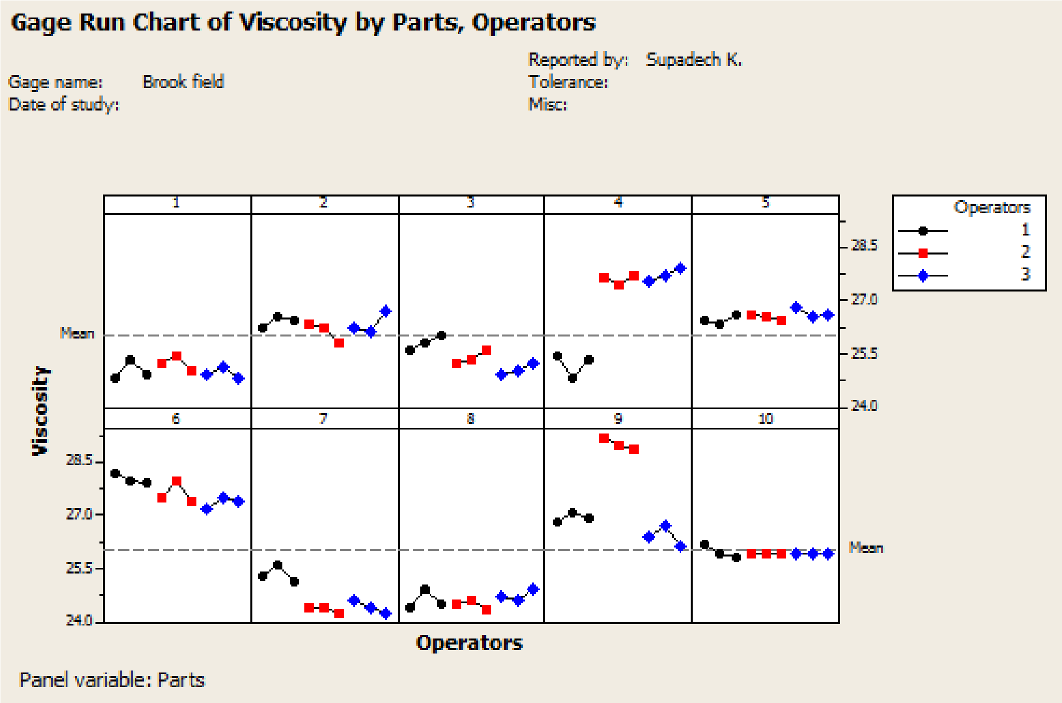
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.71785	4.30710	57.45	43.07
Repeatability	0.20194	1.21161	16.16	12.12
Reproducibility	0.68886	4.13317	55.13	41.33
Operators	0.00000	0.00000	0.00	0.00
Operators*Parts	0.68886	4.13317	55.13	41.33
Part-To-Part	1.02274	6.13644	81.85	61.36
Total Variation	1.24952	7.49713	100.00	74.97

Number of Distinct Categories = 2

รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของข้อมูลการวัดผลิตภัณฑ์ b2

และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage Run Chart ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 13 Run Chart ของค่าความหนืดกับลำดับตัวอย่างและผู้วัด

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากกราฟ R Chart By Operators พบว่าค่า R (พิสัย) ของระบบการวัดมีค่าแตกต่างกันมากว่า 3 ค่า จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้

2. จากกราฟ Xbar Chart by Operators พบว่า จำนวนข้อมูลการวัดที่ออกนอกเส้นควบคุม (LCL-UCL) มีจำนวนข้อมูลมากกว่า 1 ใน 3 ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าความผันแปรจากสาเหตุระบบการวัดมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้สามารถนำไปใช้ในการประมาณความผันแปรของกระบวนการได้

3. จากค่า Number of Distinct Categories (ndc) = 2 ซึ่งในหลักเกณฑ์การพิจารณาระบบการวัดเรื่องความสามารถในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผลิตภัณฑ์นั้น ควรมีค่า ndc มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ประเภทหรือกลุ่ม แต่ค่าที่ได้จากข้อมูลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ปรากฏว่าได้ค่า ndc = 2 จึงสรุปได้ว่า ระบบการวัดนี้ไม่สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ได้ หรือไม่สามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

4. จากค่า P-value ของ Part * Operators ในการวิเคราะห์แบบ Two-Way ANOVA Table With Interaction คือ การพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงสรุปได้ว่า มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนชิ้นงานวัด จะส่งผลต่อพนักงานวัดทำให้ค่าที่วัดเปลี่ยนแปลงไป เมื่อพบอิทธิพลร่วมกันระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์หาระดับนัยสำคัญของ ความแตกต่างของชิ้นงาน (by Part) และความแตกต่างของพนักงานวัด (by Operators) แบบ Without Interaction

5. จากค่า %Contribution (of VarComp) ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้พบความแปรปรวนต่างๆ ดังนี้

- ความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Part-To-Part) = 66.99%

- ความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gage R&R) = 33.01% โดยความแปรปรวนจากระบบการวัด แบ่งออกเป็น ความแปรปรวนจากสาเหตุ Repeatability = 2.61% และ ความแปรปรวนจากสาเหตุ Reproducibility = 30.39% ซึ่งมาจากความผันแปรหรืออิทธิพลร่วมกันระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

6. จากค่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Var หรือ %SV หรือ P/TV) = 57.45% ซึ่งมากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ระดับ 30% จึงสรุปได้ว่า ระบบการวัดมีความผันแปรสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้

7. จากค่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลม (%Tolerance หรือ SV/Toler) = 86.14% ซึ่งมากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ระดับ 30% จึงสรุปได้ว่า ระบบการวัดมีความผันแปรสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้

8. จากข้อสรุประบบการวัดที่พบว่ามีค่าสูงกว่าเกณฑ์การยอมรับได้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงระบบการวัดให้มีความผันแปรลดลง โดยควรปรับปรุงเรื่อง Reproducibility ที่มีค่าความผันแปรสูงและมากกว่าค่าความผันแปรของ Repeatability มาก

9. Reproducibility เป็นค่าความแตกต่างของข้อมูลการวัดระหว่าง Operator ทั้งสามคน โดยสาเหตุของความผันแปรในส่วน Reproducibility เกิดจาก

- จุดวัดชิ้นงานไม่ชัดเจน

- ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าบนเครื่องมือวัด

- วิธีการวัดไม่ถูกต้อง เป็นต้น

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลระบบการวัดค่าความหนืดของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า ระบบการวัดค่าความหนืดที่มีอยู่ไม่สามารถผ่านเกณฑ์การยอมรับระบบการวัดตามมาตรฐานตามที่ระบุเกณฑ์มาตรฐานในหนังสือ Measurement System Analysis (MSA) 4^{th} Edition ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องปรับปรุงระบบการวัดก่อนเพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการปรับปรุงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือ

จากผลสรุปที่บ่งชี้ว่า ค่า %Study Var หรือ %SV หรือ P/TV กับค่า %Tolerance หรือ SV/Toler มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ ต้องไม่เกิน 30% จึงจะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นต้องลดค่า Reproducibility ซึ่งเป็นผลที่ทำให้ %Study Var และ %Tolerance มีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้

ทีมงานได้เข้าศึกษาเครื่องมือ Brook field ที่ใช้ในการวัดค่าความหนืด เพื่อทำความเข้าใจเครื่องมือและการใช้งาน

รูปที่ 14 เครื่อง Brook field สำหรับวัดค่าความหนืด

จากนั้นทีมงานได้รวบรวมปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อผลค่าความหนืดที่วัดได้จากเครื่องมือวัด Brook field โดยมีปัจจัยหลักที่รวบรวมได้จำนวน 3 ปัจจัย พร้อมทั้งการตรวจสอบกระบวนการวัดในเรื่องของเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมปัจจัยทั้ง 3 ซึ่งได้สรุปไว้ตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ปัจจัยที่มีผลกระทบและการควบคุมปัจจัยในการใช้งาน Brook field

ปัจจัยที่มีผลกระทบ	การควบคุมที่มีอยู่
1. อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์	มีการควบคุมอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ โดยใช้อ่างน้ำเย็น (cooling bath) สำหรับแช่ผลิตภัณฑ์ในภาชนะทดสอบจนได้อุณภูมิที่ 25 °C ที่อุณภูมิห้องทดลอง 25 °C
2. ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด	ควบคุมโดยเครื่องมือผ่านการสอบเทียบ (Calibration) ประจำปีพร้อมมีใบรับรอง
3. ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางผิวหน้าผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุที่จะวัดความหนืดตามแนวแกนตั้ง (Z) กับแนวแกนนอน (XY)	ไม่มีวิธีการกำหนดใน Work Instruction อย่างชัดเจน มีเพียงระบุให้จุ่มแกนวัดความหนืดให้จุดกำหนดของแกนวัดความหนืดกับระดับผิวของผลิตภัณฑ์ที่จะวัดความหนืดอยู่ในระดับเดียวกัน

จากตารางที่ 15 พบว่าปัจจัยของความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางผิวหน้าผลิตภัณฑ์ในภาชนะบรรจุที่จะวัดความหนืดตามแนวแกนตั้ง (Z) กับแนวแกนนอน (XY) น่าสงสัยที่สุดเนื่องจากวิธีการควบคุมไม่มีความละเอียดเพียงพอที่ระบุไว้ในวิธีการทำงาน (Work Instruction) ดังนั้นทีมงานจึงทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานในเรื่องนี้ โดยกำหนดให้ทดสอบสมมุติฐานใน 2 กรณี เพื่อศึกษาว่ามีกรณีใดมีผลกระทบต่อค่าความหนืดอย่างมีนัยสำคัญ คือ

1. กรณีที่ตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางตามแนวแกนนอนของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่จะวัดความหนืด
2. กรณีที่ตำแหน่งการวัดเคลื่อนจากจุดที่กำหนดของแกนวัดความหนืดในแนวแกนตั้งของแกนวัดความหนืด

ทีมงานฝ่ายควบคุมคุณภาพวทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานทั้ง 2 กรณี โดยกำหนดเครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีการ ไว้ดังนี้

1. กำหนดการวัดค่าความหนืดด้วยเครื่องมือวัด Brook field และใช้แกนหมุน Spindle no. 7 ที่ความเร็วรอบ (speed) 20 rpm

2. กำหนดของเหลวที่ใช้ทดสอบเป็นของเหลวสำหรับการตรวจสอบเครื่องมือวัดประจำวัน lot no. 050412

3. ภาชนะบรรจุเป็นขวดแก้วทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.4 เซนติเมตร

4. ทำการวัดซ้ำจุดละ 3 ครั้ง

5. ทำการทดสอบตามสมมุติฐานทั้ง 2 กรณี ด้วยข้อกำหนดเดียวกัน

<u>สมมุติฐานที่ 1</u> กรณีที่ตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางตามแนวแกนนอนของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่จะวัดความหนืด ตามรูปที่ 15

รูปที่ 15 แนวแกนนอน (XY) สำหรับทิศทางการขยับตำแหน่งการวัดค่าความหนืด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยกำหนดให้วัดความหนืดของเหลวที่จุดศูนย์กลางและขยับตำแหน่งการวัดไปทางซ้าย (-) และขวา (+) ครั้งละ 1 มิลลิเมตร จนครบ 10 มิลลิเมตร ในแต่ละข้าง ได้ผลการวัดดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแกนแนวนอน

		วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3
เลื่อนไปทางซ้าย	-10mm	57.6	57.6	57.6
	-9mm	58.0	58.0	58.0
	-8mm	58.4	58.6	58.6
	-7mm	58.8	58.8	58.8
	-6mm	59.2	59.0	59.0
	-5mm	59.0	58.8	59.6
	-4mm	58.8	58.6	58.6
	-3mm	58.0	57.8	57.8
	-2mm	58.2	58.2	58.0
	-1mm	58.0	58.0	58.0
จุดศูนย์กลางภาชนะ	center	58.2	58.4	58.4
เลื่อนไปทางขวา	1mm	58.6	59.2	58.6
	2mm	58.2	58.2	58.0
	3mm	58.0	58.2	58.2
	4mm	58.4	58.6	58.2
	5mm	59.0	58.4	58.6
	6mm	59.0	59.0	59.6
	7mm	58.4	58.6	58.6
	8mm	59.6	58.8	58.8
	9mm	58.6	58.4	58.6
	10mm	58.4	59.0	59.0

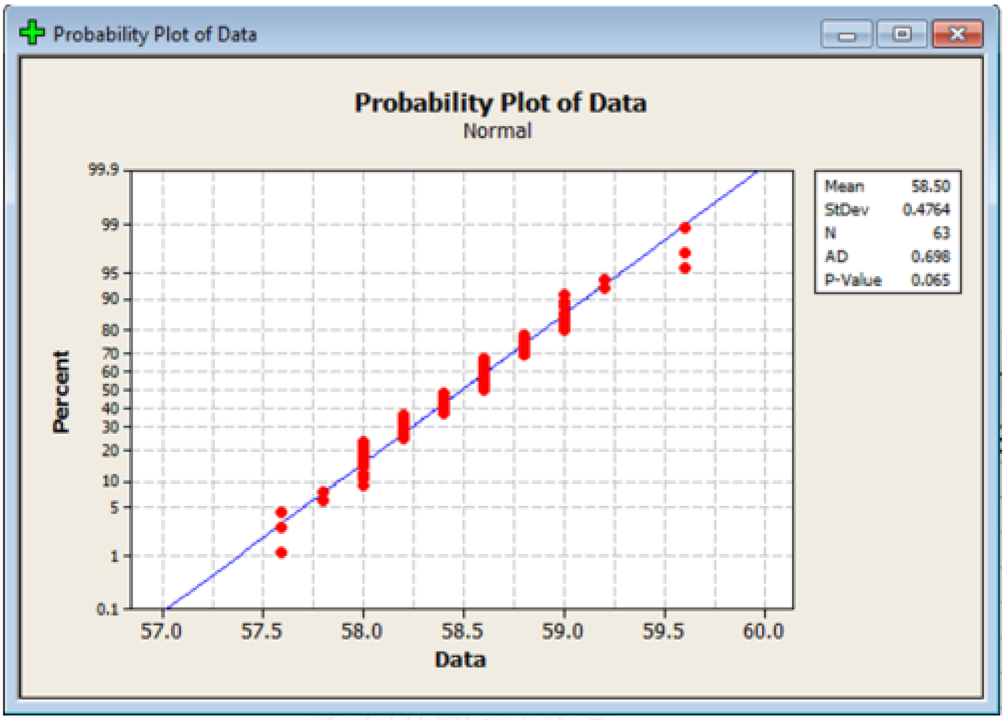
ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่

H0 : ข้อมูลมาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ

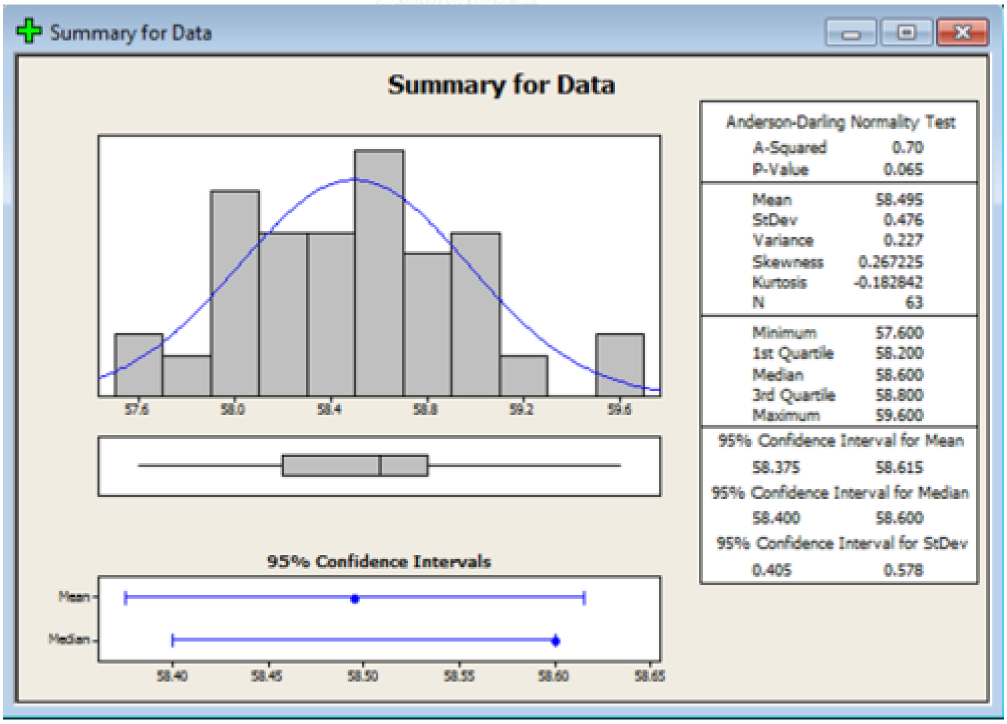
H1 : ข้อมูลไม่ได้มาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ

ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.5 (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

รูปที่ 16 กราฟ Normal Test by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนนอน



รูปที่ 17 กราฟ Graphical Summary by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนนอน



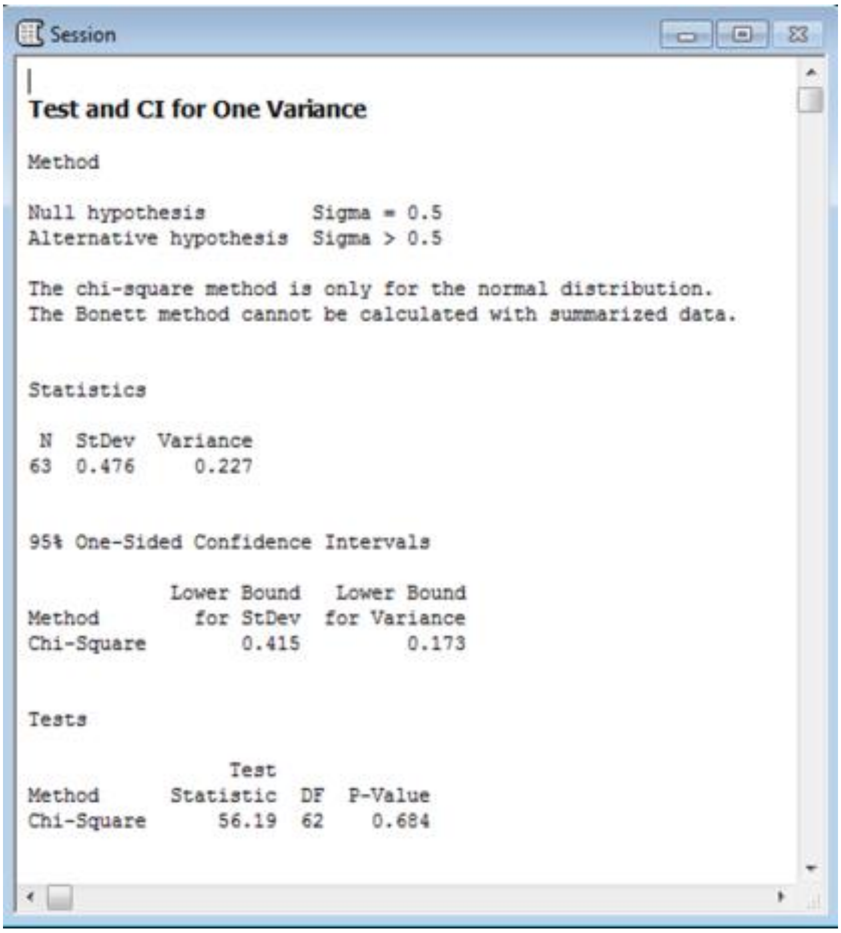
จากกราฟที่ 16 กับ กราฟที่ 17 จะเห็นว่าค่า P-Value = 0.065 > α = 0.05 ดังนั้น จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก H0 แสดงว่าข้อมูลมาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ

จากนั้นทำการทดสอบสมมุติฐานว่า ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางตามแนวแกนนอนของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่จะวัดความหนืด ข้อมูลมีความแปรปรวนแตกต่างจากที่คาดหวังหรือไม่

H0 : ข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5

H1 : ข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มากกว่า 0.5

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Basic Statistics > 1 Variance ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 ผลการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนนอน

จากค่าที่คำนวณได้จะเห็นว่า P-Value = 0.684 > α = 0.05 ดังนั้น จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก H0 แสดงว่า แสดงว่าข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หรือ

ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางตามแนวแกนนอนของภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ที่จะวัดความหนืดไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญที่ α = 0.05

สมมุติฐานที่ 2 กรณีที่ตำแหน่งการวัดเคลื่อนจากจุดที่กำหนดของแกนวัดความหนืดในแนวแกนตั้งของแกนวัดความหนืดตามรูปที่ 19

รูปที่ 19 แนวแกนตั้ง (Z) สำหรับทิศทางการขยับตำแหน่งการวัดค่าความหนืด

โดยกำหนดให้วัดความหนืดของเหลวที่จุดกำหนดของแกนวัดความหนืด (spindle no. 7) และขยับตำแหน่งการวัดไปทางขึ้น (+) และลง (-) ครั้งละ 1 มม. จนครบ 5 มม.ในแต่ละข้าง ได้ผลการวัดดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแกนแนวตั้ง

	ระยะ	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 3
ขยับขึ้น	+5mm	56.6	56.6	56.4
	+4mm	57.2	57.2	57.4
	+3mm	58.0	57.8	57.8
	+2mm	58.4	58.4	58.4
	+1mm	58.6	58.6	58.6
จุดกำหนดบนแกน	center	59.0	59.0	59.0
ขยับลง	-1mm	59.2	59.4	59.4
	-2mm	59.6	59.6	59.4
	-3mm	60.6	60.6	60.8
	-4mm	61.0	61.0	60.8
	-5mm	62.0	62.0	62.0

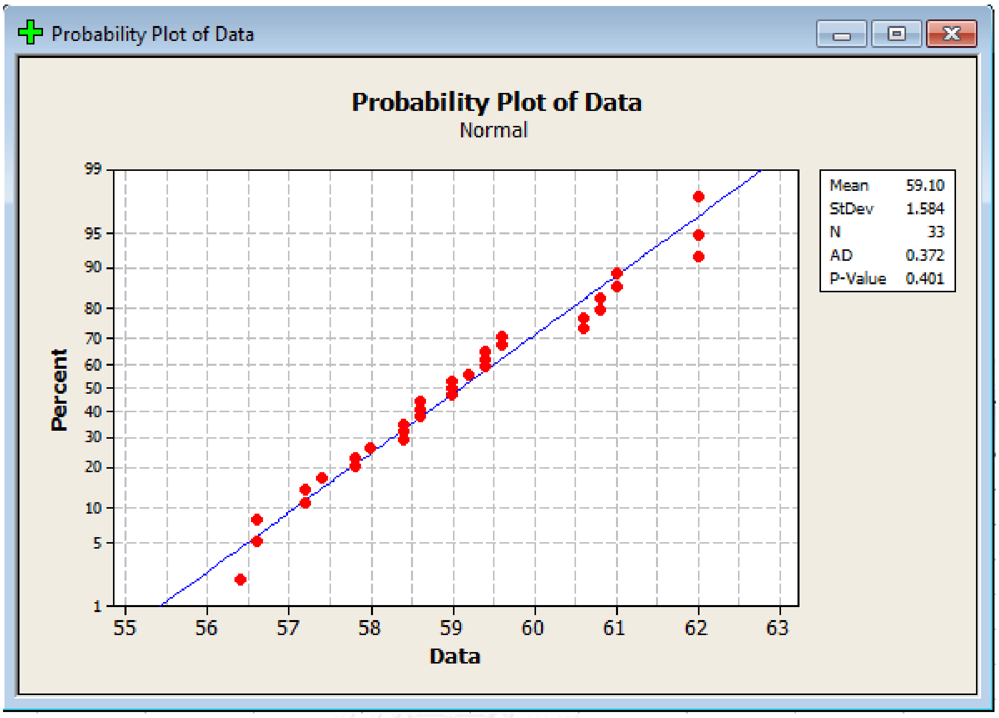
ทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีการกระจายแบบปกติหรือไม่

H0 : ข้อมูลมาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ

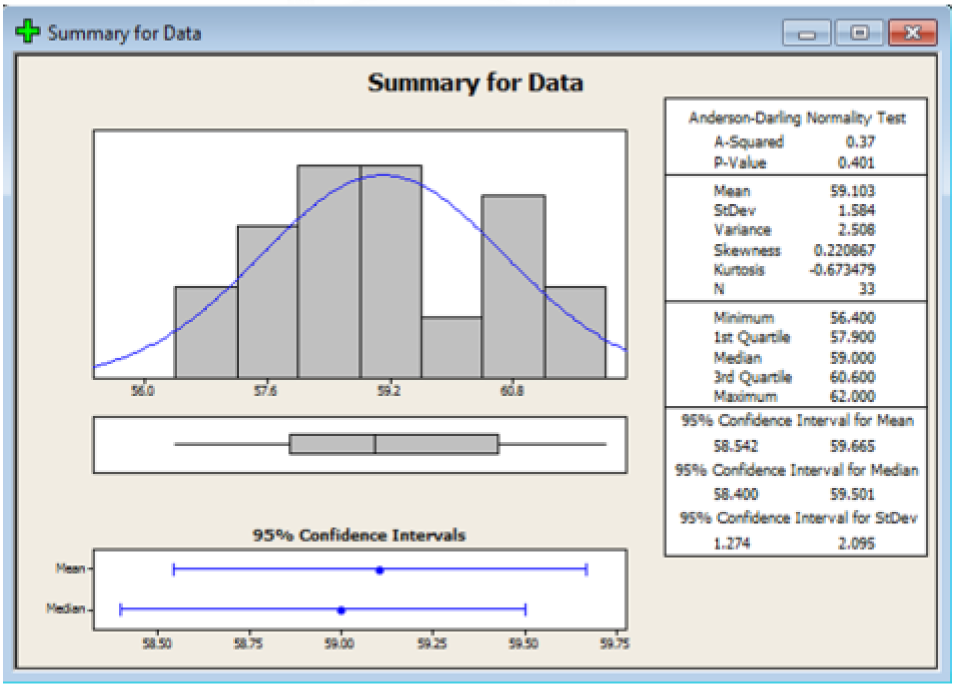
H1 : ข้อมูลไม่ได้มาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ

ที่ระดับนัยสำคัญ = 0.5 (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

รูปที่ 20 กราฟ Normal Test by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนตั้ง



รูปที่ 21 กราฟ Graphical Summary by MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนตั้ง



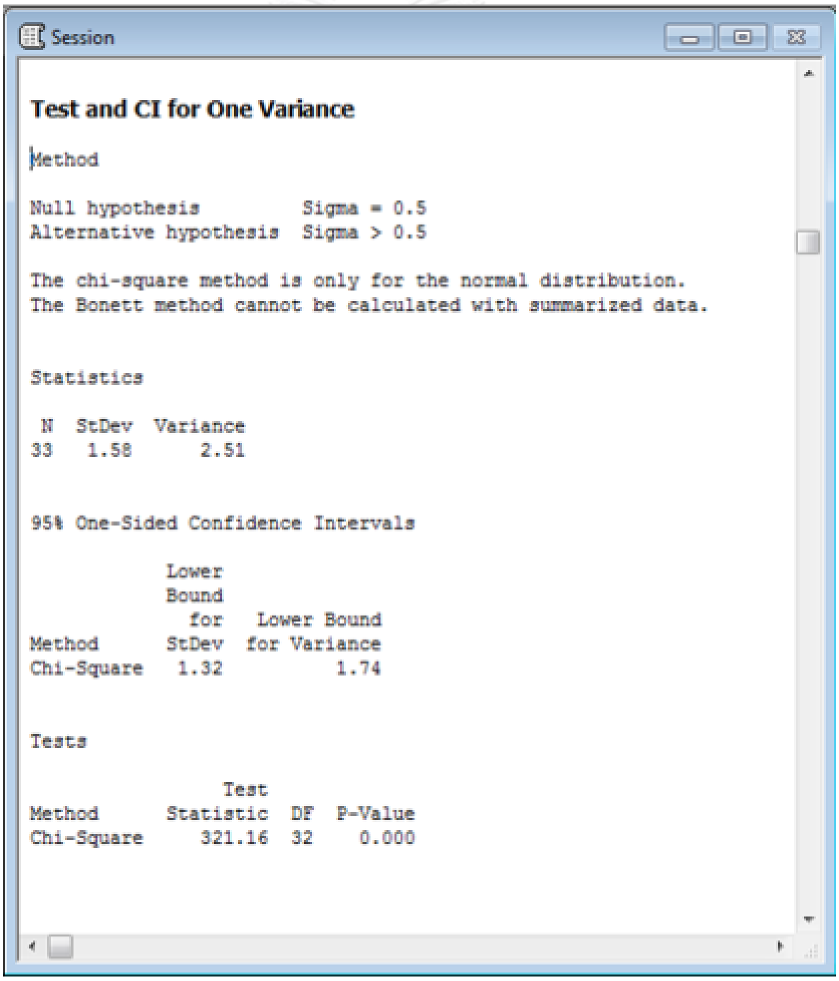
จากรูปที่ 20 กับ รูปที่ 21 จะเห็นว่าค่า P-Value = 0.401 > α = 0.05 ดังนั้น จึงยอมรับสมมุติฐานหลัก H0 แสดงว่าข้อมูลมาจากประชากรที่มีการกระจายแบบปกติ

จากนั้นทำการทดสอบสมมุติฐานว่าความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดที่กำหนดของแกนวัดความหนืดในแนวแกนตั้งของแกนวัดความหนืด ข้อมูลมีความแปรปรวนแตกต่างจากที่คาดหวังหรือไม่

H0 : ข้อมูลมีส่วนเบียงเบนมาตรฐาน (σ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5

H1 : ข้อมูลมีส่วนเบียงเบนมาตรฐาน (σ) มากกว่า 0.5

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Basic Statistics > 1 Variance ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 22



```
Session

Test and CI for One Variance

Method

Null hypothesis         Sigma = 0.5
Alternative hypothesis  Sigma > 0.5

The chi-square method is only for the normal distribution.
The Bonett method cannot be calculated with summarized data.


Statistics

 N  StDev  Variance
33   1.58      2.51


95% One-Sided Confidence Intervals

            Lower
            Bound
              for   Lower Bound
Method      StDev  for Variance
Chi-Square   1.32          1.74


Tests

                 Test
Method      Statistic  DF  P-Value
Chi-Square     321.16  32    0.000
```

รูปที่ 22 ผลการทดสอบความแปรปรวนด้วยโปรแกรม MINITAB ของผลการวัดค่าความหนืดตามการเปลี่ยนจุดวัดตามตำแหน่งแนวแกนตั้ง

จากค่าที่คำนวณได้จะเห็นว่า P-Value = 0.000 < α = 0.05 ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก H0 แสดงว่า แสดงว่าข้อมูลมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) มากกว่า 0.5 หรือ ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางตามแนวแกนตั้งของแกนวัดความหนืดส่งผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญที่ α = 0.05

จากข้อมูลที่วิเคราะห์ตามสมมุติฐานทั้ง 2 กรณีพบว่า ความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งการวัดเคลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางตามแนวแกนตั้งของแกนวัดความหนืดส่งผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญ α = 0.05 ดังนั้น จึงต้องกำหนดวิธีวิธีการในการจุ่มแกนวัดความหนืดในภาชนะที่บรรจุผลิตภัณฑ์ที่ต้องการวัดค่าความหนืดใหม่

รูปที่ 23 รูปภาชานะบรรจุตัวอย่างสำหรับวัดค่าความหนืดของโรงงานกรณีศึกษา

จากรูปที่ 23 พบว่าลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะวัดค่าความหนืดของโรงงานกรณีศึกษามีความหนืดสูง ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบ และคงรูปร่างโดยไม่ไหลเมื่อตั้งภาชนะทิ้งไว้ที่ 30 นาที ดังนั้น จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความหนืดได้ตามที่ได้ทดสอบสมมุติฐานไว้

จึงกำหนดให้มีวิธีการทำงานใหม่ ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทำงานการวัดค่าความหนืดแบบเดิมกับวิธีการทำงานใหม่

วิธีการทำงานเดิม	วิธีการทำงานใหม่
1. จุ่มแกนวัดความหนืดให้จุดกำหนดของแกนวัดความหนืดกับระดับผิวของผลิตภัณฑ์ที่จะวัดความหนืดอยู่ในระดับเดียวกัน	1. ถ่ายตัวอย่างผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลที่จะวัดค่าความหนืดจากภาชนะเก็บตัวอย่างลงในภาชนะสำหรับวัดค่าความหนืดที่มีขนาดบรรจุน้อยกว่าจนเต็มภาชนะ 2. ใช้ spatula (พาย) ชนิดสแตนเลสแบบเรียบ ทำการปาดผิวตัวอย่างผลิตภัณฑ์ให้เรียบเสมอขอบภาชนะบรรจุ 3. วางภาชนะบรรจุบนตำแหน่งแท่นวางสำหรับวัดค่าความหนืด 4. เลื่อนแกนวัดค่าความหนืดลงให้ได้ระยะที่กำหนดไว้บนแกนปรับระดับของเครื่อง Brook field

จากวิธีการทำงานใหม่ จึงทำการเก็บข้อมูลอีกครั้งเพื่อประเมินระบบการวัด โดยทำการเก็บข้อมูลจากการวัดค่าความหนืดของตัวอย่างชิ้นงาน w1 ซึ่งมีค่าความหนืดตามลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์ระหว่าง 90-110 Pa.s ถูกแสดงในตารางที่ 19

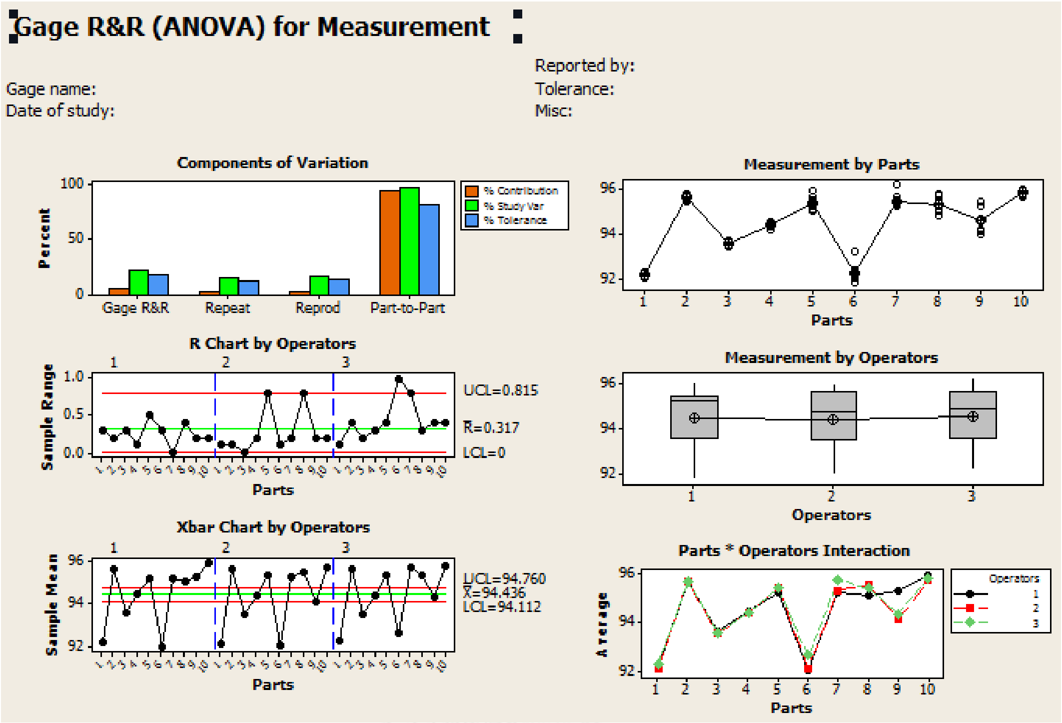
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 ผลการวัดค่าความหนืด (viscosity) ตัวอย่างชิ้นงาน w1

ตัวอย่าง : w1

หน่วยวัด : Pa.s		จำนวนครั้งที่วัด		
ผู้วัดคนที่	ตัวอย่างที่	1	2	3
1	1	92.0	92.2	92.3
	2	95.7	95.5	95.7
	3	93.7	93.4	93.6
	4	94.4	94.4	94.5
	5	95.2	95.5	95.0
	6	92.0	91.8	92.1
	7	95.2	95.2	95.2
	8	95.2	95.2	94.8
	9	95.2	95.4	95.2
	10	96.0	96.0	95.8
2	1	92.0	92.1	92.1
	2	95.7	95.7	95.6
	3	93.5	93.5	93.5
	4	94.3	94.5	94.3
	5	95.1	95.1	95.9
	6	92.1	92.0	92.0
	7	95.3	95.4	95.2
	8	95.0	95.8	95.7
	9	94.0	94.1	94.2
	10	95.8	95.7	95.6
3	1	92.2	92.3	92.2
	2	95.8	95.4	95.8
	3	93.6	93.4	93.6
	4	94.4	94.2	94.5
	5	95.3	95.6	95.2
	6	92.4	92.2	93.2
	7	95.6	95.4	96.2
	8	95.2	95.4	95.5
	9	94.2	94.6	94.2
	10	96.0	95.6	95.8

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 24



Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	152.231	16.9145	82.9746	0.000
Operators	2	0.300	0.1498	0.7347	0.493
Parts * Operators	18	3.669	0.2039	4.3892	0.000
Repeatability	60	2.787	0.0464		
Total	89	158.986			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.09891	5.06
Repeatability	0.04644	2.37
Reproducibility	0.05247	2.68
Operators	0.00000	0.00
Operators*Parts	0.05247	2.68
Part-To-Part	1.85674	94.94
Total Variation	1.95565	100.00

Process tolerance = 10

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.31451	1.88703	22.49	18.87
Repeatability	0.21551	1.29306	15.41	12.93
Reproducibility	0.22906	1.37437	16.38	13.74

```
    Operators              0.00000    0.00000          0.00          0.00
    Operators*Parts        0.22906    1.37437         16.38         13.74
Part-To-Part               1.36262    8.17574         97.44         81.76
Total Variation            1.39845    8.39068        100.00         83.91


Number of Distinct Categories = 6
```

รูปที่ 24 ผลการวิเคราะห์ Gage R&R ของข้อมูลการวัดผลิตภัณฑ์ w1

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ในรูปที่ 24 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากกราฟ R Chart By Operator พบว่าค่า R (พิสัย) ของระบบการวัดมีค่าแตกต่างกันมากว่า 3 ค่า จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้

2. จากกราฟ Xbar Chart by Operators พบว่า จำนวนข้อมูลการวัดที่ออกนอกเส้นควบคุม (LCL-UCL) มีจำนวนข้อมูลมากกว่า 1 ใน 3 ของจำนวนข้อมูลทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าความผันแปรจากสาเหตุระบบการวัดมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้สามารถนำไปใช้ในการประมาณความผันแปรของกระบวนการได้

3. จากค่า Number of Distinct Categories (ndc) = 6 ซึ่งในหลักเกณฑ์การพิจารณาระบบการวัดเรื่องความสามารถในการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผลิตภัณฑ์นั้น ควรมีค่า ndc มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ประเภทหรือกลุ่ม จึงสรุปได้ว่า ระบบการวัดนี้สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผลิตภัณฑ์ได้ หรือสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

4. จากค่า P-value ของ Part * Operators ในการวิเคราะห์แบบ Two-Way ANOVA Table With Interaction คือ การพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงสรุปได้ว่า มีอิทธิพลร่วมกันระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนชิ้นงานวัด จะส่งผลต่อพนักงานวัดทำให้ค่าที่วัดเปลี่ยนแปลงไป

เมื่อพบอิทธิพลร่วมกันระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน จึงทำให้ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์หาระดับนัยสำคัญของ ความแตกต่างของชิ้นงาน (by Part) และความแตกต่างของพนักงานวัด (by Operators) แบบ Without Interaction

5. จากค่า %Contribution (of VarComp) ที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้พบความแปรปรวนต่างๆ ดังนี้

- ความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Part-To-Part) = 99.94%

- ความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gage R&R) = 5.06% โดยความแปรปรวนจากระบบการวัด แบ่งออกเป็น ความแปรปรวนจากสาเหตุ Repeatability = 2.37% และ ความแปรปรวนจากสาเหตุ Reproducibility = 2.68% ซึ่งมาจากความผันแปรหรืออิทธิพลร่วมกันระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

6. จากค่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%Study Var หรือ %SV หรือ P/TV) = 22.49% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์อาจจะยอมรับได้ตามเกณฑ์อ้างอิงของ AIAG ที่ระดับไม่เกิน 30%

7. จากค่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลม (%Tolerance หรือ SV/Toler) = 18.87% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะยอมรับได้ตามเกณฑ์อ้างอิงของ AIAG ที่ระดับไม่เกิน 30%

ระบบการวัดพบว่าหลังทำการปรับปรุงวิธีการวัดใหม่ทำให้ระบบการวัดหลังการปรับปรุงนั้นอยู่ในเกณฑ์อาจจะยอมรับได้ ซึ่งเมื่อตามเกณฑ์อ้างอิงของ AIAG คือ

%Tolerance และ %Study Var < 10%   ยอมรับได้

10% < %Tolerance และ %Study Var < 30%   อาจจะยอมรับได้ ขึ้นกับวิกฤตของวิธีการวัด ค่าใช้จ่ายการปรับปรุง หรือความเสี่ยงจากความผันแปร เป็นต้น

%Tolerance และ %Study Var > 30%   ไม่อาจยอมรับได้

พิจารณาองค์ประกอบของวิธีการวัดใหม่ที่กำหนดขึ้น ซึ่งมีการปรับปรุงดีขึ้นและช่วงของค่าความหนืดที่ควบคุมอยู่ในช่วงที่กว้างทำให้มีความเสี่ยงน้อยจากผลการวัดที่คลาดเคลื่อนไปเล็กน้อยจึงสรุปได้ว่า ระบบการวัดมีความผันแปรอยู่ในเกณฑ์ที่อาจจะยอมรับได้ และสามารถใช้ระบบวิธีการวัดใหม่นี้ไปใช้ในเก็บข้อมูลเพื่อการปรับปรุงกระบวนการได้

4.2 การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิต

หลังจากปรับปรุงระบบการวัดให้สามารถอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แล้วนั้น การรวบรวมข้อมูลในส่วนของการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง จะเป็นขั้นตอนลำดับต่อไป เพราะข้อมูลที่จะเก็บรวบรวมนี้มีความมั่นใจได้ว่าเป็นข้อมูลที่ได้จะระบบการวัดที่น่าเชื่อถือ ในขั้นตอนนี้จะทำการประเมินความสามมารถของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล สีขาว รหัส w1 และกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอล สีเทาดำ รหัส b1 ตามลำดับ

<u>ผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1</u>

ค่าความหนืดมาตรฐาน 90 – 110 Pa.s

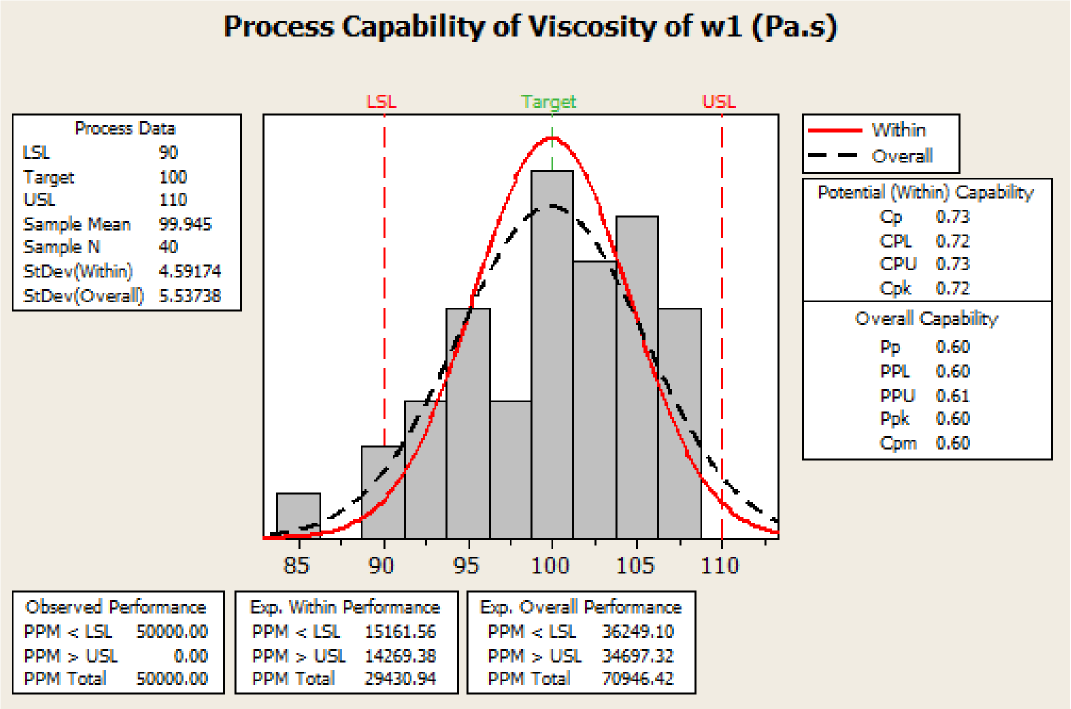
ค่าความหนืดเป้าหมาย (target) คือ 100 Pa.s

ข้อมูลค่าความหนืดจำนวน 40 batch การผลิต ดังตารางที่ 20

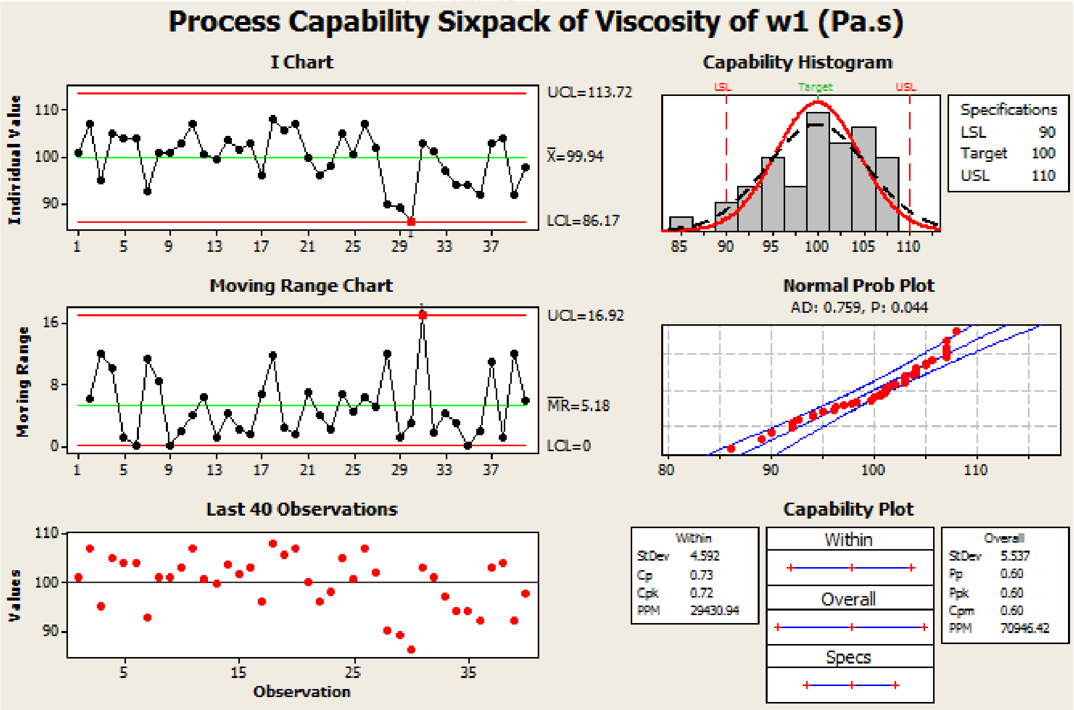
ตารางที่ 20 ค่าความหนืด (viscosity) จากการผลิตผลิตภัณฑ์ w1

Batch	ค่าความหนืด (Pa.s)	Batch	ค่าความหนืด (Pa.s)
1	101	21	100
2	107	22	96
3	95	23	98
4	105	24	105
5	104	25	101
6	104	26	107
7	93	27	102
8	101	28	90
9	101	29	89
10	103	30	86
11	107	31	103
12	101	32	101
13	100	33	97
14	104	34	94
15	102	35	94
16	103	36	92
17	96	37	103
18	108	38	104
19	106	39	92
20	107	40	98

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Quality Tools > Capability Analysis > Normal ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 25 และคำสั่ง Stat > Quality Tools > Capability Sixpack > Normal ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 26



รูปที่ 25 Process Capability Analysis by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1



รูปที่ 26 Process Capability Sixpack by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1

<u>ผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1</u>

ค่าความหนืดมาตรฐาน 45 – 70 Pa.s

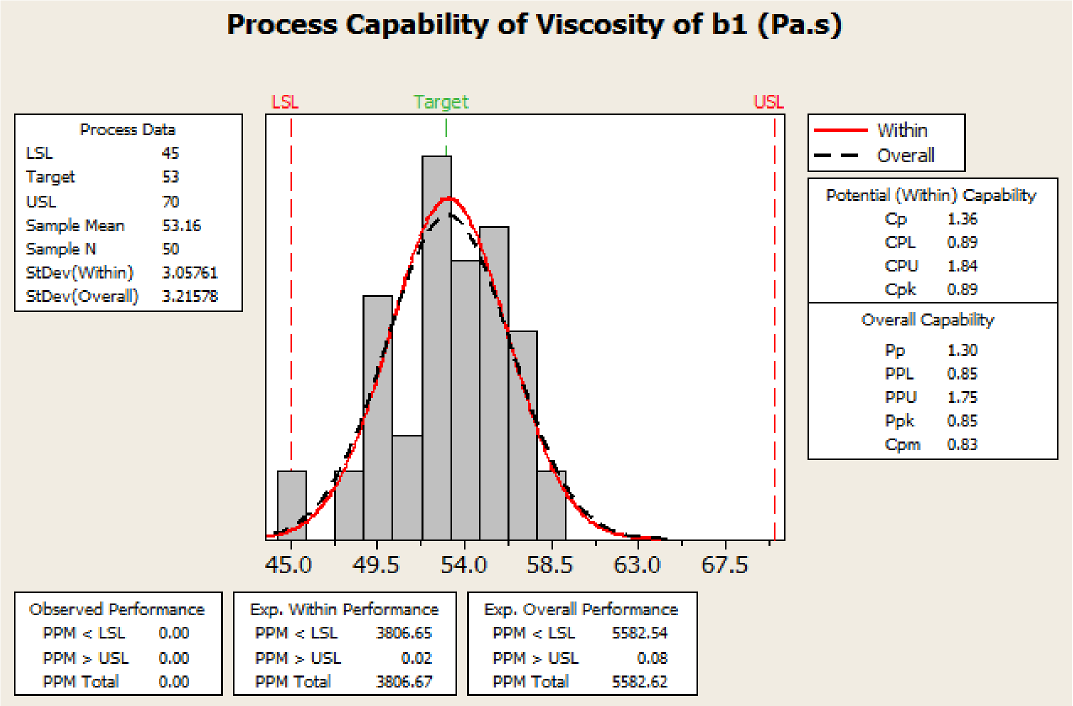
ค่าความหนืดเป้าหมาย (target) คือ 53 Pa.s

ข้อมูลค่าความหนืดจำนวน 50 batch การผลิต ดังตารางที่ 21

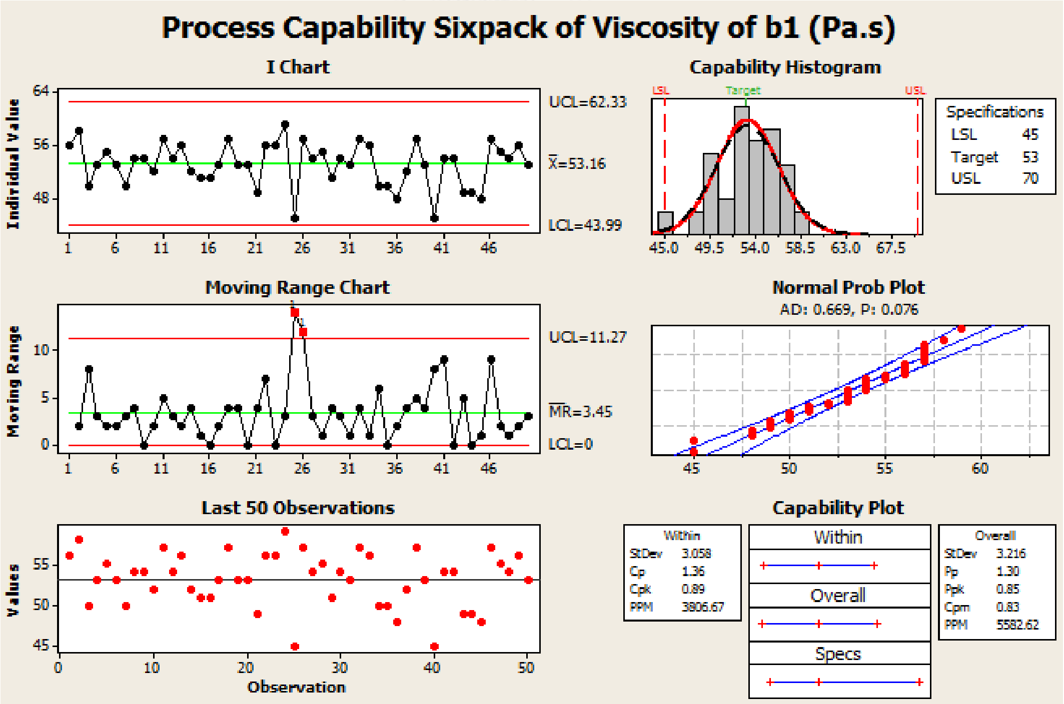
ตารางที่ 21 ค่าความหนืด (viscosity) จากการผลิตผลิตภัณฑ์ b1

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

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 27 และตามรูปที่ 28



รูปที่ 27 Process Capability Analysis by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1



รูปที่ 28 Process Capability Sixpack by MINITAB ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1

จากการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ w1 และ ผลิตภัณฑ์ b1 ได้ผลสรุปดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 สรุปค่าความสามารถของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 และ ผลิตภัณฑ์ b1 ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

Products	Cp	Cpk	StDev(Overall)
w1	0.73	0.72	5.53738
b1	1.36	0.89	3.21578

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

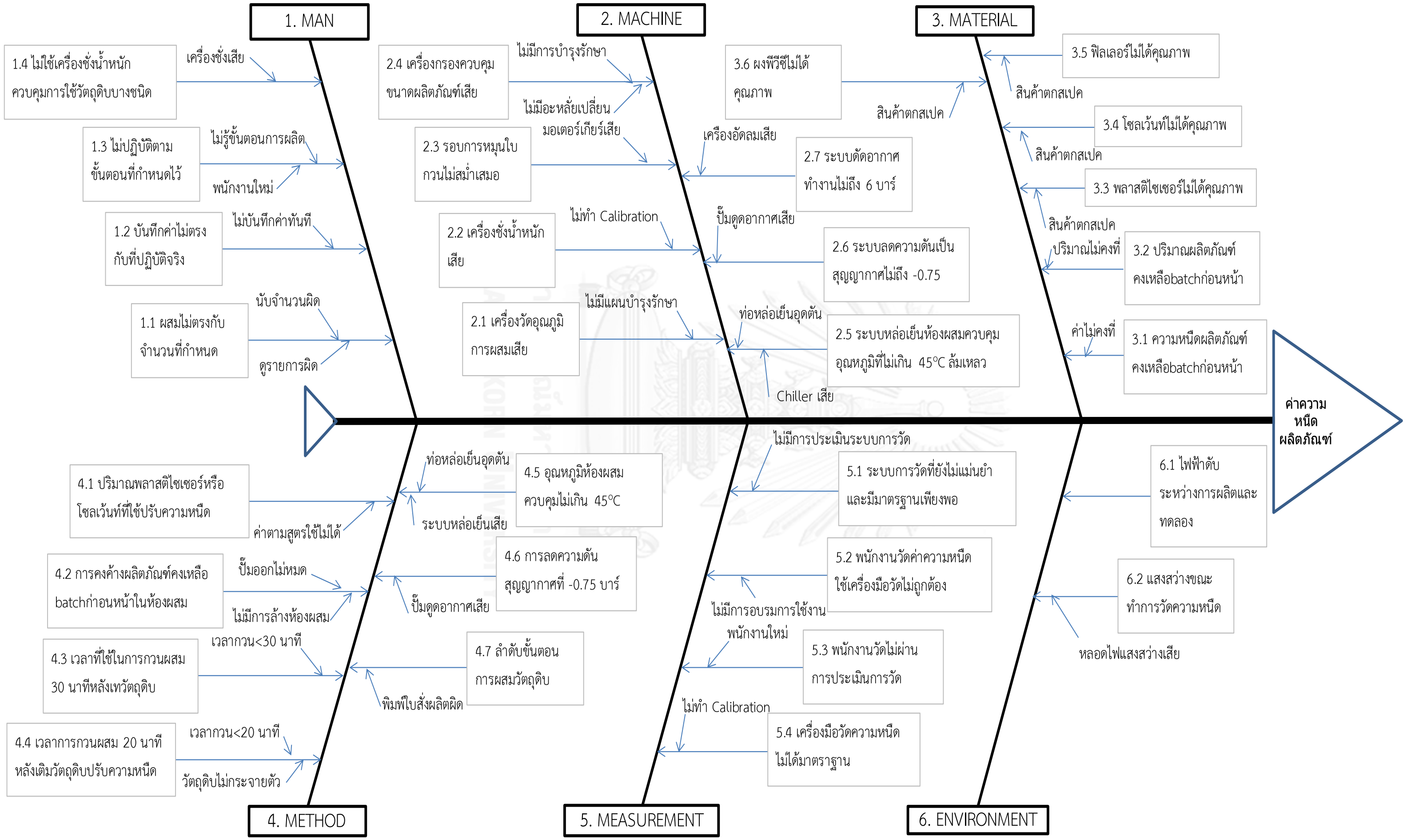
การระบุต้นเหตุของปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงระยะที่สามของเทคนิคซิกซ์ซิกมา คือ การวิเคราะห์ (Analyze) คือ การระบุต้นเหตุของปัญหา ในการหาระบุต้นเหตุของปัญหามี 2 ขั้นตอนหลักและเครื่องมือที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการหาปัจจัยที่มีผลกระทบ เครื่องมือที่ใช้คือ ผังก้างปลา (Fishbone Diagram) และขั้นตอนที่สองเป็นการคัดกรองปัจจัยที่จากขั้นตอนแรกเพื่อให้ได้ปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อการปรับปรุงปัญหาจริงๆ

5.1 การหาปัจจัยที่มีผลกระทบ

จากปัญหาที่กระบวนการผลิตมีการกำหนดขั้นตอนของการผสมวัตถุดิบไว้สองครั้งต่อหนึ่งรอบการผลิต เนื่องจากความไม่นอนของค่าความหนืดหลังการผสมวัตถุดิบตามสูตรการผลิตที่ถูกกำหนดขึ้นจากการทดลองในห้องทดลองกับการผลิตจริงที่ไม่เหมือนกัน ทางทีมงานจึงระดมสมองในการระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อค่าความหนืดที่เปลี่ยนไปโดยการอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า ผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ที่ประกอบไปด้วย 5M1E (Man, Machine, Material, Method, Measurement and Environment) ทำให้ได้ปัจจัยทั้งหมดจำนวน 30 ปัจจัย ตามรูปที่ 29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 29 ผังก้างปลา (Fishbone diagram) ระบุปัจจัยด้วย 5M1E ที่มีผลกระทบต่อค่าความหนืดในการผลิต

5.2 การคัดกรองปัจจัย

ปัจจัยทั้งหมดที่ได้ 30 ปัจจัยจะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนการคัดกรองปัจจัยเพื่อให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ในการผลิต และเพื่อนำปัจจัยที่คัดกรองได้ไปใช้ในระยะต่อไปของซิกซ์ซิกมา

การคัดกรองปัจจัยในงานวิจัยนี้ เลือกใช้เครื่องมือ ดังนี้

1. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

2. กราฟพาเรโต (Pareto graph)

3. การเปรียบเทียบของจริง (Process matching)

1. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

เป็นการให้คะแนนหรือน้ำหนักของผลกระทบของแต่ละปัจจัยต่อค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ โดยการประเมินคะแนนให้กับปัจจัยแต่ละตัวนั้น ได้จากตัวแทนในทีมงาน (Team member) ที่จัดตั้งขึ้นโดยประกอบด้วยตัวแทน ฝ่ายผลิต ฝ่ายควบคุมและประกันคุณภาพ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา

หลักเกณฑ์ของการให้คะแนนเกณฑ์โดยแบ่งเป็นช่วงความเห็นด้วยต่อปัจจัยแต่ละปัจจัยโดยใช้หลักการของ Likert Scale แบบ 5-point Scale เป็นมาตรฐาน ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 หลักเกณฑ์คะแนนในการประเมินผลกระทบแต่ละปัจจัย

LIKERT SCALE	คะแนน	เกณฑ์ของงานวิจัย
Very Dissatisfied	1	ไม่มีผลกระทบแน่นอน
Disatisfied	3	น่าจะมีผลกระทบ
Neural	5	มีผลกระทบ
Satisfied	7	มีผลกระทบมาก
Very Satisfied	9	เป็นสาเหตุนี้แน่นอน

จากเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละปัจจัยตามตารางที่ 24 ตัวแทนที่ถูกคัดเลือกประกอบด้วย ฝ่ายผลิต 2 คน คือ หัวหน้ากะทั้งสองกะ ฝ่ายวิจัยและพัฒนา คือ วิศวกรส่วนวิจัยผลิตภัณฑ์ และฝ่ายควบคุมและประกันคุณภาพ คือ พนักงานตรวจสอบคุณภาพ 2 คน รวมเป็นทั้งหมด 5 คน ซึ่งตัวแทน

ทั้ง 5 คนที่ต้องให้คะแนนนั้น ถูกเลือกมาจากคนที่อยู่กับการผลิตโดยตรง โดยการรวบรวมผลคะแนนจะอยู่ในรูปแบบแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ดังตารางที่ 24

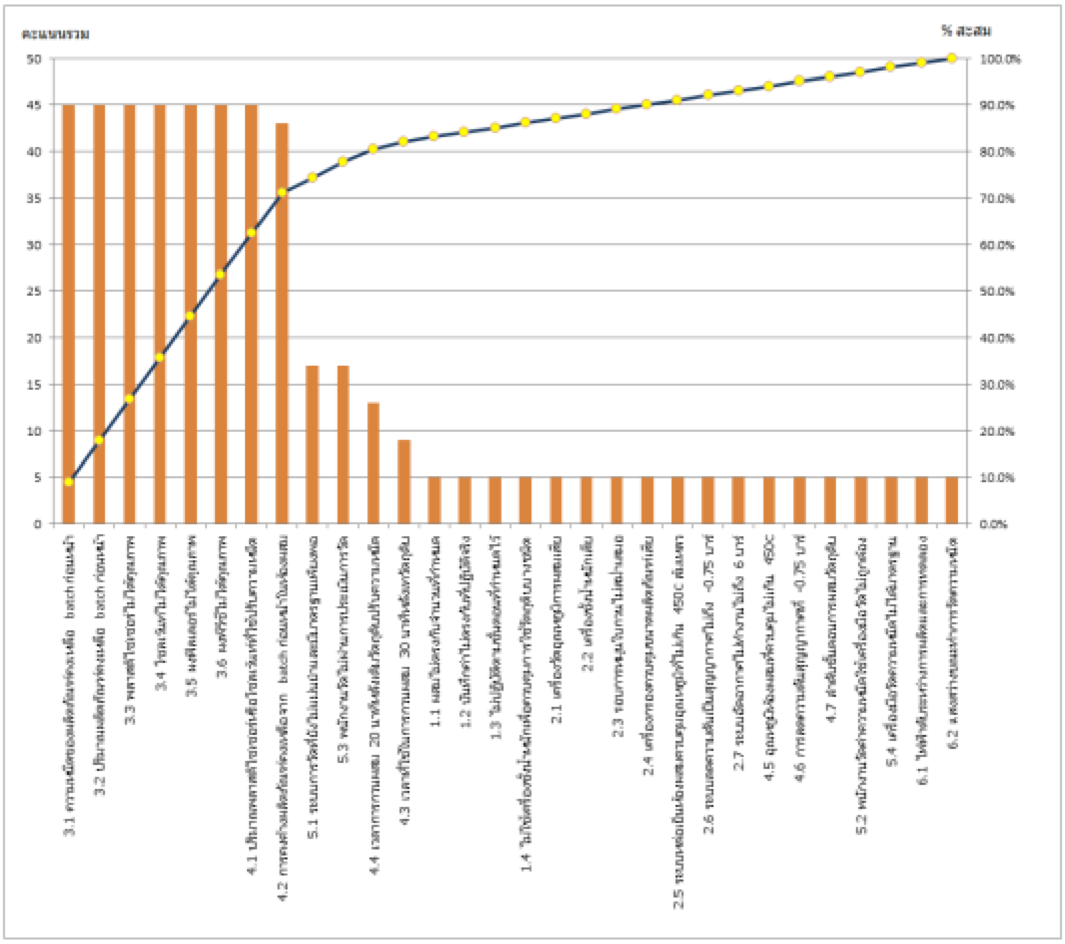
ตารางที่ 24 แผนภาพสาเหตุและผลของปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์

ลำดับ	กลุ่มปัจจัย	ปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุ	คะแนนของแต่ละปัจจัย					คะแนนรวม
			หัวหน้ากะ-1	หัวหน้ากะ-2	วิศวกรส่วนวิจัยผลิตภัณฑ์	พนักงานตรวจสอบคุณภาพ-1	พนักงานตรวจสอบคุณภาพ-2	
1	คน Man	1.1 ผสมไม่ตรงกับจำนวนที่กำหนด	1	1	1	1	1	5
		1.2 บันทึกค่าไม่ตรงกับที่ปฏิบัติจริง	1	1	1	1	1	5
		1.3 ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้	1	1	1	1	1	5
		1.4 ไม่ใช้เครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อควบคุมการใช้วัตถุดิบบางชนิด	1	1	1	1	1	5
2	เครื่องจักร Machine	2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิการผสมเสีย	1	1	1	1	1	5
		2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักเสีย	1	1	1	1	1	5
		2.3 รอบการหมุนใบกวนไม่สม่ำเสมอ	1	1	1	1	1	5
		2.4 เครื่องกรองควบคุมขนาดผลิตภัณฑ์เสีย	1	1	1	1	1	5
		2.5 ระบบหล่อเย็นห้องผสมควบคุมอุณหภูมิที่ไม่เกิน 45^{0}C ล้มเหลว	1	1	1	1	1	5
		2.6 ระบบลดความดันเป็นสุญญากาศไม่ถึง -0.75 บาร์	1	1	1	1	1	5
		2.7 ระบบอัดอากาศไม่ทำงานไม่ถึง 6 บาร์	1	1	1	1	1	5
3	วัตถุดิบ Material	3.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า	9	9	9	9	9	45
		3.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า	9	9	9	9	9	45
		3.3 พลาสติไซเซอร์ไม่ได้คุณภาพ	9	9	9	9	9	45
		3.4 โซลเว้นท์ไม่ได้คุณภาพ	9	9	9	9	9	45
		3.5 ผงฟิลเลอร์ไม่ได้คุณภาพ	9	9	9	9	9	45
		3.6 ผงพีวีซีไม่ได้คุณภาพ	9	9	9	9	9	45
4	วิธีการ Method	4.1 ปริมาณพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับความหนืด	9	9	9	9	9	45
		4.2 การคงค้างผลิตภัณฑ์คงเหลือจาก batch ก่อนหน้าในห้องผสม	7	9	9	9	9	43
		4.3 เวลาที่ใช้ในการกวนผสม 30 นาทีหลังเทวัตถุดิบ	3	3	1	1	1	9
		4.4 เวลาการกวนผสม 20 นาทีหลังเติมวัตถุดิบปรับความหนืด	5	5	1	1	1	13
		4.5 อุณหภูมิห้องผสมที่ควบคุมไม่เกิน 45^{0}C	1	1	1	1	1	5
		4.6 การลดความดันสุญญากาศที่ -0.75 บาร์	1	1	1	1	1	5
		4.7 ลำดับขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ	1	1	1	1	1	5
5	การวัด Measurement	5.1 ระบบการวัดที่ยังไม่แม่นยำและมีมาตรฐานเพียงพอ	1	1	5	5	5	17
		5.2 พนักงานวัดค่าความหนืดใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง	1	1	1	1	1	5
		5.3 พนักงานวัดไม่ผ่านการประเมินการวัด	1	1	5	5	5	17
		5.4 เครื่องมือวัดความหนืดไม่ได้มาตรฐาน	1	1	1	1	1	5
6	สิ่งแวดล้อม Enviroment	6.1 ไฟฟ้าดับระหว่างการผลิตและการทดลอง	1	1	1	1	1	5
		6.2 แสงสว่างขณะทำการวัดความหนืด	1	1	1	1	1	5

2. กราฟพาเรโต (Pareto graph)

จากแผนภาพสาเหตุและผล จะถูกนำมาทำการคัดกรองข้อมูลในลำดับถัดมาคือการนำไปนำเสนอในรูปกราฟพาเรโต (Pareto graph) เพื่อช่วยในการมองเห็นปัจจัยที่มีการให้คะแนนสูงสุดและเรียงลำดับลดหลั่นกันมา ซึ่งการนำเสนอด้วยกราฟพาเรโตนี้ จะทำให้การวิเคราะห์ขอมูลได้ง่ายขึ้น รวมถึงการคัดปัจจัยที่น่าจะไม่มีผลต่อค่าความหนืดจากคะแนนที่ได้น้อยในการประเมินของทีมงานตัวแทน กราฟพาเรโตถูกนำเสนอในรูปที่ 30

รูปที่ 30 กราฟพาเรโตของปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากกราฟพาเรโต สามารถประเมินปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุของความแปรปรวน โดยสรุปจากปัจจัยที่ถูกประเมินให้คะแนนรวมมากสุดรวมกันสะสมเป็น 80% ของคะแนนรวมทั้งหมด ซึ่งมีทั้งหมด 11 ปัจจัยได้แก่ ได้แก่

1. ปัจจัยที่ 3.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า
2. ปัจจัยที่ 3.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า
3. ปัจจัยที่ 3.3 พลาสติไซเซอร์ไม่ได้คุณภาพ
4. ปัจจัยที่ 3.4 โซลเว้นท์ไม่ได้คุณภาพ
5. ปัจจัยที่ 3.5 ผงฟิลเลอร์ไม่ได้คุณภาพ
6. ปัจจัยที่ 3.6 ผงพีวีซีไม่ได้คุณภาพ

7. ปัจจัยที่ 4.1 ปริมาณพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับความหนืด

8. ปัจจัยที่ 4.2 การคงค้างผลิตภัณฑ์คงเหลือจาก batch ก่อนหน้าในห้องผสม

9. ปัจจัยที่ 4.4 เวลาการกวนผสม 20 นาทีหลังเติมวัตถุดิบปรับความหนืด

10. ปัจจัยที่ 5.1 ระบบการวัดที่ยังไม่แม่นยำและมีมาตรฐานเพียงพอ

11. ปัจจัยที่ 5.3 พนักงานวัดไม่ผ่านการประเมินการวัด

จากการใช้กราฟพาเรโต ได้ช่วยให้สามารถคัดกรองจำนวนปัจจัยที่ไม่น่าจะเกี่ยวข้องออกไป จนเหลือปัจจัยที่ทางทีมงานประเมินแล้วว่าน่าจะมีผลต่อค่าความหนืด จำนวน 11 ปัจจัยที่ต้องทำการคัดกรองต่อไป

3. การเปรียบเทียบของจริง (Process matching)

ปัจจัยที่คัดกรองได้ทั้ง 11 ปัจจัย เป็นการคัดกรองจากผลกระทบของปัจจัยที่มีโดยตรงกับค่าความหนืดที่วัดได้ ทีมงานจึงได้นำการเปรียบเทียบของจริง (Process matching) มาช่วยในการคัดกรองปัจจัยขั้นสุดท้ายก่อนการปรับปรุง ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบปัจจัยกับการควบคุมในกระบวนการ

ลำดับ	ปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุ	คะแนนรวม	การควบคุมในการผลิตจริง	การตัดสินใจ
1	3.1 ความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า	45	ขึ้นกับแผนผลิต	**เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมไม่ได้**
2	3.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า	45	ปั๊มผลิตภัณฑ์ออกจากห้องผสมจนปั๊มทำงานสะดุดหรือไม่มีผลิตภัณฑ์ในห้องผสมไหลเข้าปั๊ม	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
3	3.3 พลาสติไซเซอร์ไม่ได้คุณภาพ	45	ใบรับรองผลิตภัณฑ์จากผู้ขาย	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
4	3.4 โซลเว้นท์ไม่ได้คุณภาพ	45	ใบรับรองผลิตภัณฑ์จากผู้ขาย	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
5	3.5 ผงฟิลเลอร์ไม่ได้คุณภาพ	45	ใบรับรองผลิตภัณฑ์จากผู้ขาย	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
6	3.6 ผงพีวีซีไม่ได้คุณภาพ	45	ใบรับรองผลิตภัณฑ์จากผู้ขาย	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
7	4.1 ปริมาณพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับความหนืด	45	ขึ้นกับความแตกต่างของค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ผสมกับเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์	**เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมไม่ได้**
8	4.2 การคงค้างผลิตภัณฑ์คงเหลือจาก batch ก่อนหน้าในห้องผสม	43	ปั๊มผลิตภัณฑ์ออกจากห้องผสมจนปั๊มทำงานสะดุดหรือไม่มีผลิตภัณฑ์ในห้องผสมไหลเข้าปั๊ม	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
9	4.4 เวลาการกวนผสม 20 นาทีหลังเติมวัตถุดิบปรับความหนืด	13	มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเวลาการกวนผสม	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
10	5.1 ระบบการวัดที่ยังไม่แม่นยำและมีมาตรฐาน	17	มีการประเมิณระบบการวัด	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้
11	5.3 พนักงานวัดไม่ผ่านการประเมินการวัด	17	มีการประเมิณระบบการวัด	ไม่เลือกปัจจัยนี้เนื่องจากควบคุมได้

จากตารางที่ 25 การเปรียบเทียบปัจจัยกับการควบคุมในกระบวนการ พบว่ามีสองปัจจัยที่กระบวนการผลิตไม่มีขั้นตอนหรือวิธีการที่จะควบคุมให้อยู่ในค่าที่กำหนด คือ

1. ปัจจัยความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า
2. ปัจจัยปริมาณพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับความความหนืด

ดังนั้นปัจจัยทั้งสองนี้จะนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในระยะต่อไปของเทคนิคซิกซ์ซิกมา

โดยทั่วไปการคัดกรองปัจจัย (Screen factor) จะมีใช้วิธี Full factorial design ในการพิสูจน์ปัจจัยที่เลือกมาว่ามีปัจจัยใดที่มีผลต่อความผันแปรของค่าความหนืดที่วัดได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องจักรที่ถูกเลือกในการปรับปรุงต่อจากขั้นตอนการการคัดกรองโดยกราฟพาเรโต (Pareto graph) แต่เนื่องจากว่า หนึ่งในปัจจัยที่เลือกมานั้น คือ ปัจจัยความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากเป็นค่าลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้และขึ้นอยู่กับการผลิตจริงในแต่ละรอบการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงไม่มีการคัดกรองปัจจัยในส่วนของการใช้ Full factorial design

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

การสร้างวิธีการแก้ปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงระยะที่สี่ของเทคนิคซิกซ์ซิกมา คือ การปรับปรุง (Improve) เป็นการสร้างวิธีการแก้ปัญหาของปัจจัยที่ได้ถูกคัดกรองมาจากระยะที่สามของเทคนิคซิกซ์ซิกมา ทำให้สามารถระบุค่าของปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตโดยใช้หลักการ Response Optimization

6.1 การทำ Response Optimization

เป็นหลักการที่ระบุค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในการผลิต แต่เนื่องจากปัจจัยความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้าเป็นค่าที่ไม่สามารถกำหนดหรือเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากเป็นค่าลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ได้จากการผลิตในกระบวนการผลิตเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้การวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยด้วยหลักการ Response Optimization ได้จึงต้องเปลี่ยนใช้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis) เพื่อพยากรณ์ค่าของปัจจัยที่แปรผันตามค่าของปัจจัยตัวอื่น

6.2 การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Response, Dependent variable, Y) ได้แก่ ปัจจัยปริมาณพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) หรือโซลเว้นท์ (Solvent) ที่ใช้ปรับค่าความหนืดกับตัวแปรอิสระ (Predictor, Independent Variable, X) โดยเป็นแบบ Multiple Linear Regression เพราะมีตัวแปรอิสระ (Predictor, Independent Variable, X) มากกว่า 1 ตัว ได้แก่ ความหนืดของผลิตภัณฑ์คงเหลือ batch ก่อนหน้า และความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต (b1 และ w1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ w1 และผลิตภัณฑ์ b2 ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนตุลาคม 2559 เพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์

<u>ผลิตภัณฑ์ w1</u>

ตารางที่ 26 ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ w1 ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนตุลาคม 2559

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)	Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	103	102	70	31	101	104	85
2	93	101	90	32	102	102	75
3	101	107	90	33	92	85	65
4	90	90	95	34	88	125	65
5	98	80	50	35	102	65	120
6	93	80	50	36	104	65	65
7	94	123	60	37	98	75	77
8	95	132	70	38	101	60	45
9	96	150	80	39	104	75	85
10	98	130	65	40	102	70	65
11	93	70	80	41	96	145	63
12	105	102	70	42	99	96	75
13	95	55	60	43	103	76	50
14	102	75	90	44	62	59	186
15	104	150	60	45	97	67	96
16	105	159	80	46	101	97	70
17	101	71	57	47	104	77	60
18	107	151	65	48	103	127	60
19	92	92	70	49	98	67	65
20	94	92	65	50	104	147	50
21	100	93	65	51	94	98	80
22	110	101	63	52	92	98	80
23	104	93	60	53	103	78	70
24	103	73	43	54	90	89	65
25	95	102	80	55	92	89	95
26	98	102	80	56	100	89	85
27	94	73	0	57	102	139	65
28	97	94	70	58	107	149	70
29	80	124	65	59	107	69	110
30	93	95	80	60	106	149	55

จากนั้นจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Regression > Regression ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 31

Regression Analysis: Solvent versus Viscosity w1, Previous batch

```
The regression equation is
Solvent = 205 - 1.28 Viscosity w1 - 0.0739 Previous batch


Predictor            Coef  SE Coef      T      P
Constant           205.05    36.67   5.59  0.000
Viscosity w1      -1.2821   0.3780  -3.39  0.001
Previous batch   -0.07387  0.09975  -0.74  0.462


S = 21.0664   R-Sq = 19.1%   R-Sq(adj) = 16.2%


Analysis of Variance

Source          DF       SS      MS     F      P
Regression       2   5965.8  2982.9  6.72  0.002
Residual Error  57  25296.2   443.8
Total           59  31262.0


Source          DF  Seq SS
Viscosity w1     1  5722.3
Previous batch   1   243.4


Unusual Observations

     Viscosity
Obs         w1  Solvent     Fit  SE Fit  Residual  St Resid
 36         80    65.00   93.32    8.21    -28.32     -1.46 X
 39        102   120.00   69.47    4.73     50.53      2.46R
 41        107   110.00   62.77    5.55     47.23      2.32R
 45         94     0.00   79.14    3.83    -79.14     -3.82R
 48         62   186.00  121.20   13.76     64.80      4.06RX

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large leverage.
```

รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์ Regression ของข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ w1

จากรูปที่ 31 พบว่าสามการที่ได้จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = 205 - 1.28 Viscosity w1 - 0.0739 Previous batch viscosity

และพบว่าค่า R-Sq = 19.1%

R-Sq(adj) = 16.2%

และมีค่า Unusual Observations จำนวน 5 ข้อมูลด้วยกัน

<u>ผลิตภัณฑ์ b1</u>

ตารางที่ 27 ข้อมูลการผลิตของผลิตภัณฑ์ b1 ในช่วงเดือนพฤษภาคม 2559 ถึงเดือนตุลาคม 2559

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	52	26	120
2	51	29	160
3	55	31	150
4	52	17	130
5	48	9	200
6	53	17	210
7	49	18	190
8	54	18	165
9	49	48	150
10	59	55	135
11	52	27	130
12	51	30	165
13	54	31	155
14	47	19	200
15	56	10	130
16	52	10	155
17	55	18	155
18	50	15	170
19	53	53	145
20	58	59	150
21	51	27	135
22	53	30	160
23	54	31	160
24	53	19	195
25	47	11	210
26	53	12	150
27	52	16	175
28	57	19	160
29	53	48	125
30	55	60	170
31	53	27	125
32	55	30	150
33	52	31	170
34	54	18	155
35	46	11	220
36	54	13	200
37	54	18	165
38	51	17	170
39	46	52	170
40	52	27	125
41	53	30	165
42	50	31	180
43	48	20	220
44	55	54	150
45	49	28	150
46	50	30	190
47	50	33	200
48	51	18	195
49	53	12	190
50	47	12	185
51	57	19	160
52	52	25	115
53	54	47	125
54	52	28	160
55	51	30	170
56	51	33	210
57	53	19	195
58	54	11	180
59	49	14	230
60	51	17	170
61	49	28	170
62	52	48	130
63	52	28	165
64	53	30	160
65	53	33	185
66	54	20	200
67	55	9	120
68	54	16	210
69	49	18	190
70	53	28	135
71	51	48	135
72	51	28	170
73	49	30	175
74	54	33	170
75	54	18	175
76	52	11	200
77	53	12	155
78	55	18	155
79	56	27	115
80	47	49	160
81	53	28	155
82	53	30	165
83	51	35	200
84	58	17	115
85	55	10	140
86	55	11	100

จากนั้นจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ที่คำสั่ง Stat > Regression > Regression ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 32

Regression Analysis: Plasticizer versus Viscosity b1, Previous batch

```
The regression equation is
Plasticizer = 447 - 5.19 Viscosity b1 - 0.484 Previous batch


Predictor          Coef  SE Coef      T      P
Constant         447.22    52.65   8.49  0.000
Viscosity b1     -5.189    1.006  -5.16  0.000
Previous batch  -0.4844   0.2018  -2.40  0.019


S = 25.0976   R-Sq = 28.9%   R-Sq(adj) = 27.1%


Analysis of Variance

Source          DF     SS     MS      F      P
Regression       2  21208  10604  16.83  0.000
Residual Error  83  52281    630
Total           85  73488


Source          DF  Seq SS
Viscosity b1     1   17577
Previous batch   1    3630


Unusual Observations

     Viscosity
Obs         b1  Plasticizer     Fit  SE Fit  Residual  St Resid
 58       54.0       210.00  159.25    3.94     50.75     2.05R
 60       55.0       100.00  156.48    5.09    -56.48    -2.30R
 68       56.0        90.00  144.03    4.67    -54.03    -2.19R
 69       52.0       115.00  165.27    2.74    -50.27    -2.01R
 77       46.0       170.00  183.32    8.72    -13.32    -0.57 X
 84       59.0       135.00  114.41    9.08     20.59     0.88 X
 85       58.0       150.00  117.66    8.93     32.34     1.38 X

R denotes an observation with a large standardized residual.
X denotes an observation whose X value gives it large leverage.
```

รูปที่ 32 ผลการวิเคราะห์ Regression ของข้อมูลการผลิตผลิตภัณฑ์ b1

จากรูปที่ 32 พบว่าสามการที่ได้จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 447 - 5.19 Viscosity b1 - 0.484 Previous batch viscosity

และพบว่าค่า R-Sq = 28.9%

R-Sq(adj) = 27.1%

และมีค่า Unusual Observations จำนวน 7 ข้อมูลด้วยกัน

จากค่าของ R-Sq และ R-Sq(adj) ที่มีค่าต่ำ และรวมถึงมี Unusual Observations ทั้งในส่วนของผลิตภัณฑ์ w1 และผลิตภัณฑ์ b1 จึงทำการแยกวิเคราะห์ Regression เป็นคู่ เช่น ระหว่างผลิตภัณฑ์ w1 กับ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตก่อนหน้าที่เป็น w1 คือหมายถึงผลิตต่อเนื่องที่เป็นผลิตภัณฑ์ w1 เหมือนกัน และในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ w1 ต้องผลิตต่อจากผลิตภัณฑ์อื่นๆในกลุ่มสีขาวด้วยกัน เช่น w2, w3, w4 เป็นต้น ซึ่งสามารถจับคู่ได้จากข้อมูลในตารางที่ 26

ขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ b1 สามารถทำการแยกวิเคราะห์เป็นคู่ได้เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ w1 โดยจับคู่ได้จากข้อมูลในตารางที่ 27

<u>คู่ w1 กับ w1</u>

จากตารางที่ 26 มีข้อมูลของคู่ w1 กับ w1 จำนวน 20 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w1 ต่อด้วย w1

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	100	93	65
2	93	95	80
3	92	92	70
4	97	94	70
5	103	102	70
6	95	102	80
7	101	104	85
8	110	101	63
9	98	102	80
10	102	102	75
11	94	98	80
12	99	96	75
13	105	102	70
14	104	93	60
15	93	101	90
16	101	107	90
17	90	89	65
18	101	97	70
19	94	92	65
20	92	98	80

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = 22.0 - 1.25 Viscosity w1 + 1.78 Previous batch viscosity w1

และค่า R-Sq = 85.9% R-Sq(adj) = 84.3%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ w1 กับ w2</u>

จากตารางที่ 26 มีข้อมูลของคู่ w1 กับ w2 จำนวน 8 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w2 ต่อด้วย w1

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	90	90	95
2	92	89	95
3	98	80	50
4	92	85	65
5	104	77	60
6	103	76	50
7	93	80	50
8	100	89	85

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = - 325 + 0.854 Viscosity w1 + 3.74 Previous batch viscosity w2

และค่า R-Sq = 86.5% R-Sq(adj) = 81.1%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ w1 กับ w3</u>

จากตารางที่ 26 มีข้อมูลของคู่ w1 กับ w3 จำนวน 9 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w3 ต่อด้วย w1

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	94	123	60
2	95	132	70
3	102	139	65
4	96	150	80
5	88	125	65
6	103	127	60
7	107	149	70
8	80	124	65
9	98	130	65

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = 20.2 - 0.439 Viscosity w1 + 0.665 Previous batch viscosity w3

และค่า R-Sq = 86.2% R-Sq(adj) = 81.6%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ w1 กับ w4</u>

จากตารางที่ 26 มีข้อมูลของคู่ w1 กับ w4 จำนวน 9 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w4 ต่อด้วย w1

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	98	67	65
2	102	65	120
3	104	65	65
4	107	69	110
5	101	71	57
6	103	78	70
7	103	73	43
8	94	73	0
9	98	75	77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = - 326 + 5.32 Viscosity w1 - 2.04 Previous batch viscosity w4

และค่า R-Sq = 48.2% R-Sq(adj) = 31.0%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ w1 กับ w5</u>

จากตารางที่ 26 มีข้อมูลของคู่ w1 กับ w5 จำนวน 8 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w5 ต่อด้วย w1

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	100	93	65
2	93	95	80
3	92	92	70
4	97	94	70
5	103	102	70
6	95	102	80
7	101	104	85
8	110	101	63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = 248 - 3.47 Viscosity w1 + 2.53 Previous batch viscosity w5

และค่า R-Sq = 92.9% R-Sq(adj) = 90.1%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ w1 กับ w6</u>

จากตารางที่ 26 มีข้อมูลของคู่ w1 กับ w6 จำนวน 6 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง w6 ต่อด้วย w1

Batch	Viscosity w1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Solvent (kg)
1	104	147	50
2	96	145	63
3	104	150	60
4	107	151	65
5	106	149	55
6	105	159	80

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Solvent = - 141 - 1.47 Viscosity w1 + 2.37 Previous batch viscosity w6

และค่า R-Sq = 89.1% R-Sq(adj) = 81.9%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ b1 กับ b1</u>

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b1 จำนวน 14 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b1 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	51	49	140
2	49	48	150
3	53	53	145
4	53	48	125
5	46	52	170
6	55	54	150
7	54	47	125
8	52	48	130
9	51	48	135
10	47	49	160
11	50	56	175
12	59	55	135
13	58	59	150
14	55	60	170

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 149 - 3.99 Viscosity b1 + 3.98 Previous batch viscosity b1

และค่า R-Sq = 95.9% R-Sq(adj) = 95.2%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ b1 กับ b2</u>

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b2 จำนวน 30 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b2 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	51	30	165
2	52	27	130
3	53	30	160
4	51	27	135
5	49	28	150
6	51	29	160
7	55	30	150
8	53	30	165
9	50	33	200
10	53	27	125
11	52	28	160
12	52	28	165
13	51	33	210
14	52	26	120
15	50	30	190
16	55	31	150
17	54	31	155
18	51	28	170
19	51	35	200
20	52	27	125
21	54	31	160
22	52	31	170
23	53	28	155
24	51	30	170
25	53	33	185
26	50	31	180
27	54	33	170
28	53	30	160
29	49	30	175
30	53	30	165

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 189 - 5.40 Viscosity b1 + 8.51 Previous batch viscosity b2

และค่า R-Sq = 81.7% R-Sq(adj) = 80.4%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ b1 กับ b3</u>

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b3 จำนวน 10 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b3 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	52	17	130
2	47	19	200
3	53	19	195
4	54	18	155
5	48	20	220
6	51	18	195
7	53	19	195
8	54	20	200
9	54	18	175
10	58	17	115

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = - 84 - 3.27 Viscosity b1 + 23.4 Previous batch viscosity b3

และค่า R-Sq = 86.7% R-Sq(adj) = 82.9%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ b1 กับ b4</u>

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b4 จำนวน 10 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b4 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	48	9	200
2	56	10	130
3	47	11	210
4	46	11	220
5	55	11	160
6	53	12	190
7	54	11	180
8	55	9	120
9	52	11	200
10	55	10	140

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 418 - 7.70 Viscosity b1 + 15.1 Previous batch viscosity b4

และค่า R-Sq = 90.3% R-Sq(adj) = 87.5%

และไม่มีค่า Unusual Observations

<u>คู่ b1 กับ b5</u>

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b5 จำนวน 10 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b5 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	53	17	210
2	52	10	155
3	53	12	150
4	54	13	200
5	50	10	170
6	47	12	185
7	49	14	230
8	54	16	210
9	53	12	155
10	55	11	100

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 416 - 7.73 Viscosity b1 + 12.8 Previous batch viscosity b5

และค่า R-Sq = 73.2% R-Sq(adj) = 65.6%

และไม่มีค่า Unusual Observations

คู่ b1 กับ b6

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b6 จำนวน 7 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b6 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	49	18	190
2	55	18	155
3	52	16	175
4	54	18	165
5	50	15	170
6	57	19	160
7	51	17	170

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 335 - 4.33 Viscosity b1 + 3.56 Previous batch viscosity b6

และค่า R-Sq = 80.0% R-Sq(adj) = 70.1%

และไม่มีค่า Unusual Observations

คู่ b1 กับ b7

จากตารางที่ 27 มีข้อมูลของคู่ b1 กับ b7 จำนวน 5 คู่ โดยแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ข้อมูลการผลิตที่ผลิตต่อเนื่องกันของระหว่าง b7 ต่อด้วย b1

Batch	Viscosity b1 (Pa.s)	Previous batch viscosity (Pa.s)	Plasticizer (kg)
1	56	26	90
2	52	25	115
3	49	28	170
4	53	28	135
5	56	27	115

จากวิเคราะห์แบบถดถอยนั้นมีรูปแบบสมการดังนี้

Plasticizer = 213 - 7.24 Viscosity b1 + 11.1 Previous batch viscosity b7

และค่า R-Sq = 96.5% R-Sq(adj) = 93.0%

และไม่มีค่า Unusual Observations

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7

การติดตามผลการปรับปรุง

ในบทนี้จะกล่าวถึงระยะที่ห้าซึ่งเป็นระยะสุดท้ายของเทคนิคซิกซ์ซิกมา คือ การควบคุม (Control) เป็นการติดตามผลการปรับปรุง โดยการนำสมการ Multiple Linear Regression แบบจับคู่มาดำเนินการทดสอบการใช้งานจริงในการพยากรณ์ปัจจัยปริมาณพลาสติไซเซอร์หรือโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับความความหนืดทำให้สามารถระบุในใบสั่งผลิต (batch ticket) ให้มีการผสมวัตถุดิบทั้งหมดในขั้นตอนเดียว สำหรับการผลิตเคมีป้องกันสนิม ชนิดพีวีซีพลาสติไซเซอร์ ทั้งสีขาว รหัส w1 และสีเทาดำ รหัส b1

7.1 ความสามารถของกระบวนการ

<u>ผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1</u>

ค่าความหนืดมาตรฐาน 90 – 110 Pa.s

ค่าความหนืดเป้าหมาย (target) คือ 100 Pa.s

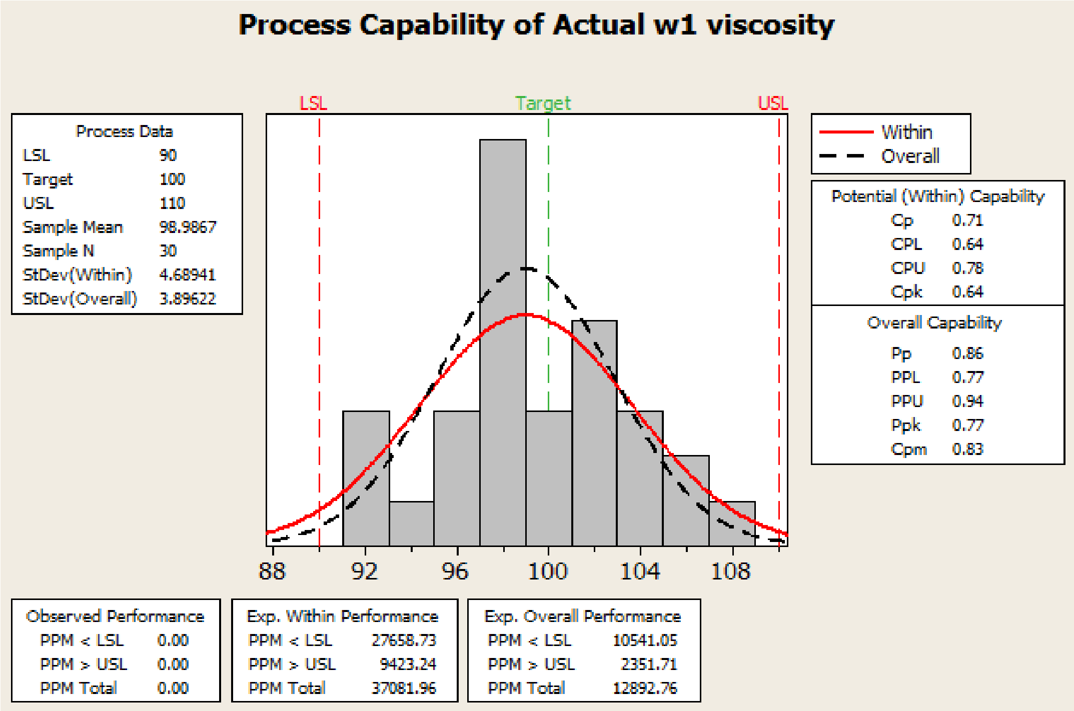
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 41 ข้อมูลค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ w1 จากการผลิตจำนวน 30 batch ล่าสุด ณ.สิ้นเดือนพฤษภาคม 2560

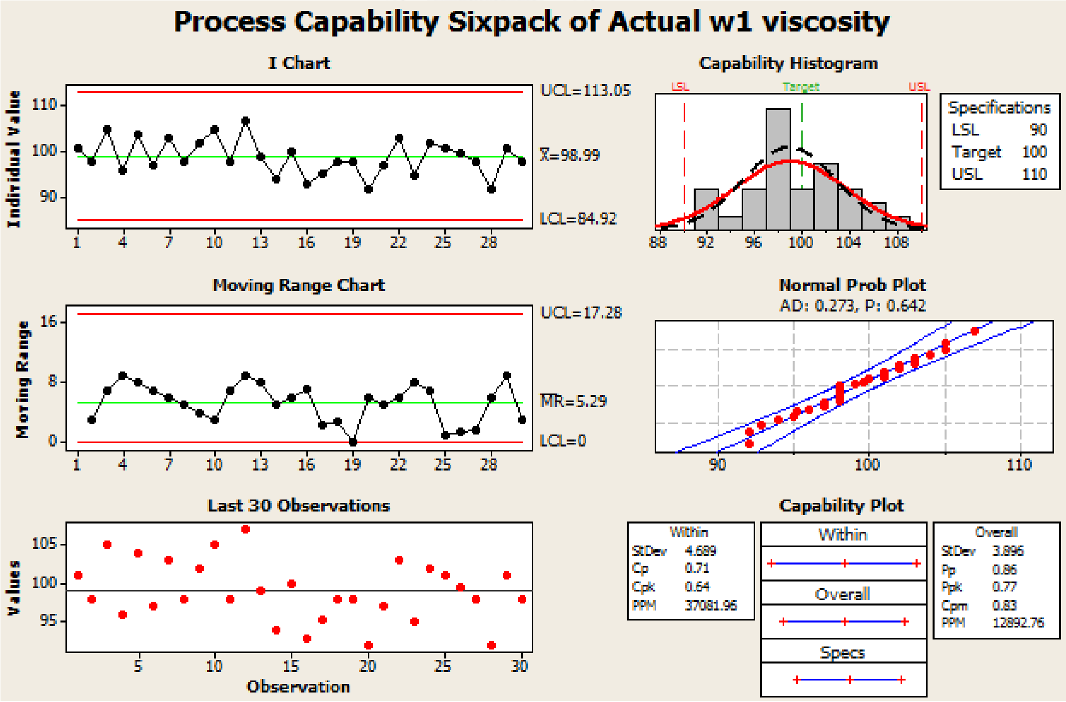
batch	ค่าความหนืดที่วัดได้จากการผลิต w1 (Pa.s)	จำนวนการกวนผสม (ครั้ง)	ผลิตภัณฑ์รอบการผลิตก่อนหน้า
1	101	1	w6
2	98	1	w1
3	105	1	w5
4	96	1	w3
5	104	1	w2
6	97	2	w4
7	103	1	w2
8	98	1	w5
9	102	1	w6
10	105	1	w1
11	98	1	w1
12	107	1	w2
13	99	1	w4
14	94	1	w3
15	100	1	w1
16	93	2	w1
17	95	1	w3
18	98	1	w4
19	98	1	w5
20	92	1	w1
21	97	1	w1
22	103	1	w1
23	95	1	w1
24	102	1	w3
25	101	1	w1
26	100	1	w5
27	98	1	w2
28	92	2	w2
29	101	1	w1
30	98	1	w1

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 33 และตามรูปที่ 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 33 Process Capability Analysis ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 หลังการปรับปรุง



รูปที่ 34 Process Capability Sixpack ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 หลังการปรับปรุง

ผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1

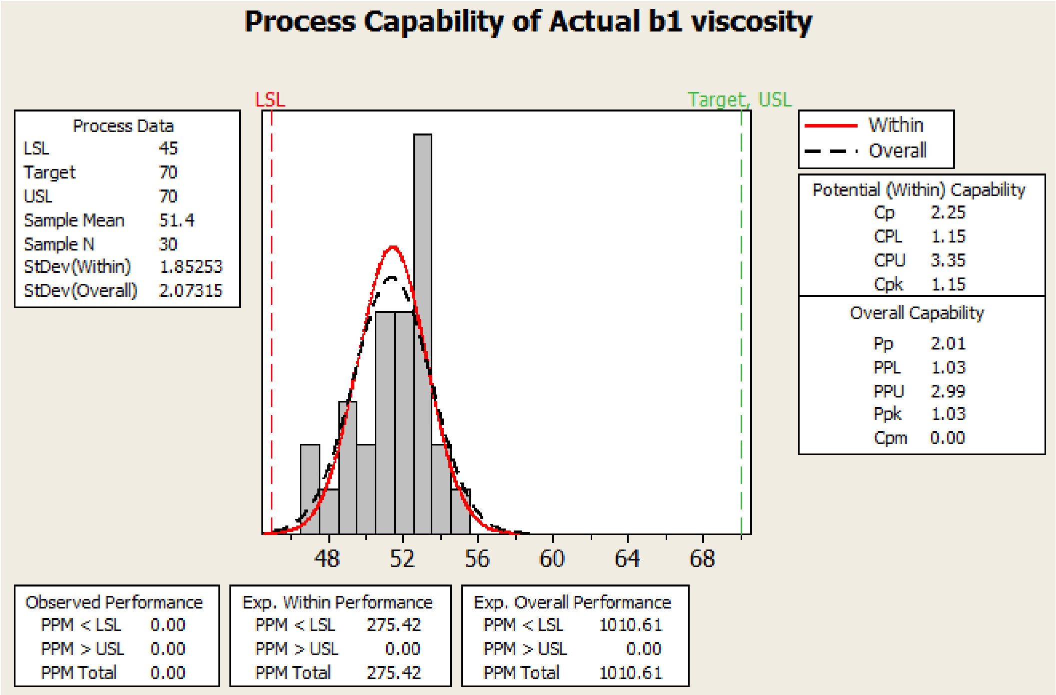
ค่าความหนืดมาตรฐาน 45 –70 Pa.s

ค่าความหนืดเป้าหมาย (target) คือ 53 Pa.s

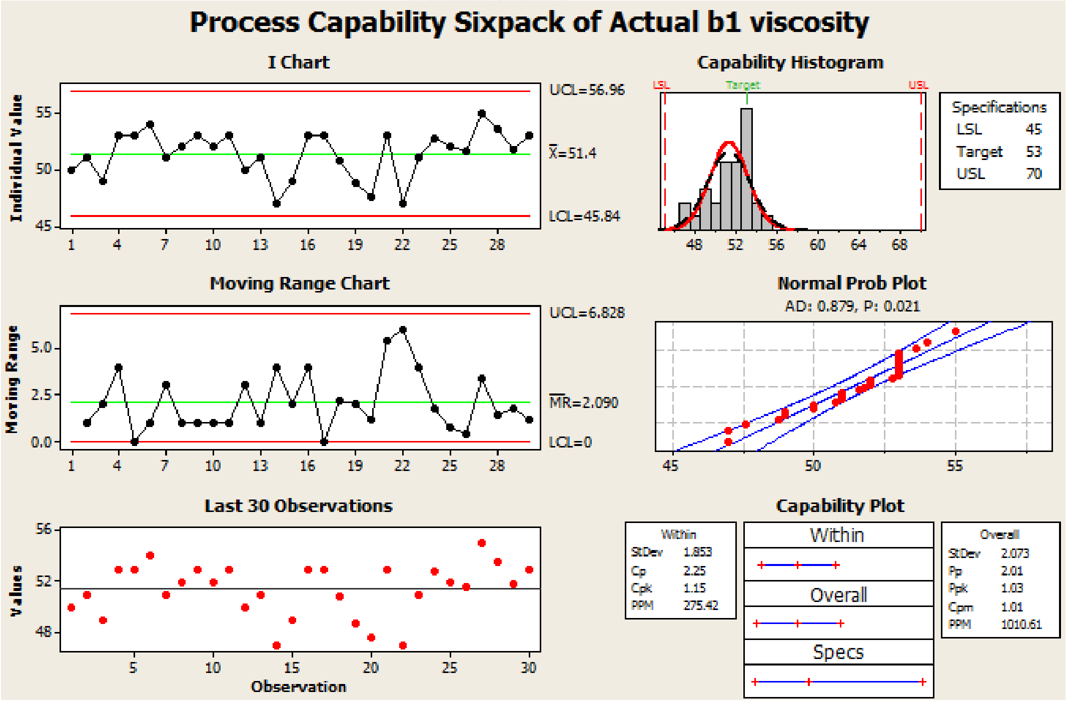
ตารางที่ 42 ข้อมูลค่าความหนืดผลิตภัณฑ์ b1 จากการผลิตจำนวน 30 batch ล่าสุด ณ.สิ้นเดือนพฤษภาคม 2560

batch	ค่าความหนืดที่วัดได้จากการผลิต b1 (Pa.s)	จำนวนการกวนผสม (ครั้ง)	ผลิตภัณฑ์รอบการผลิตก่อนหน้า
1	50	1	b6
2	51	1	b2
3	49	1	b3
4	53	1	b1
5	53	1	b1
6	54	2	b4
7	51	1	b2
8	52	1	b2
9	53	1	b4
10	52	1	b1
11	53	1	b1
12	50	2	b1
13	51	2	b5
14	47	2	b6
15	49	1	b3
16	53	1	b2
17	53	1	b5
18	51	1	b1
19	49	1	b1
20	48	1	b2
21	53	1	b1
22	47	2	b2
23	51	1	b2
24	53	1	b1
25	52	1	b5
26	52	1	b2
27	55	1	b1
28	54	1	b1
29	52	1	b1
30	53	1	b5

จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม MINITAB ได้ผลการวิเคราะห์ตามรูปที่ 35 และตามรูปที่ 36



รูปที่ 35 Process Capability Analysis ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุง



รูปที่ 36 Process Capability Sixpack ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ w1 และ ผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุงได้ผลสรุปดังตารางที่ 43

ตารางที่ 43 สรุปค่าความสามารถของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ w1 และ ผลิตภัณฑ์ b1 หลังการปรับปรุงกระบวนการ

Products	Cp	Cpk	StDev(Overall)
w1	0.71	0.64	3.89622
b1	2.25	1.15	2.07315

7.2 จำนวนครั้งการกวนผสมวัตถุดิบ

จากข้อมูลการผลิตตามตารางที่ 41 สำหรับผลิตภัณฑ์ w1 และตารางที่ 42 สำหรับผลิตภัณฑ์ b1 พบว่าการกวนผสมวัตถุดิบมีจำนวนครั้งลดลง ดังนี้

ตารางที่ 44 สรุปจำนวนครั้งการกวนผสมวัตถุดิบการผลิตจำนวน 30 batch ล่าสุด ณ.สิ้นเดือนพฤษภาคม 2560

ผลิตภัณฑ์	จำนวน batch ผลิต	จำนน batch ที่กวนผสมวัตถุดิบ 1 ครั้ง	%	จำนน batch ที่กวนผสมวัตถุดิบ 2 ครั้ง	%	จำนน batch ที่กวนผสมวัตถุดิบมากกว่า 2 ครั้ง	%	จำนวน batch เสีย	%
w1	30	27	90.0%	3	10.0%	0	0.0%	0	0.0%
b1	30	25	83.3%	5	16.7%	0	0.0%	0	0.0%

จากข้อมูลตารางที่ 44 สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งของการกวนผสมวัตถุดิบหลังการปรับปรุงได้ดังนี้ คือ

ผลิตภัณฑ์ w1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 1.10 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)

ผลิตภัณฑ์ b1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 1.17 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)

บทที่ 8

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เคมีป้องกันสนิมชนิดพีวีซีพลาสติซอล ในขั้นตอนการกวนผสมวัตถุดิบ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมา ทำให้ได้วิธีการทำงานใหม่และมีจำนวนขั้นตอนการทำงานลดลงจากวิธีการทำงานใหม่ ส่งผลให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากการลดลงของเวลาการผลิต ที่เป็นผลจากวิธีการทำงานและจำนวนขั้นตอนการทำงานใหม่ โดยสามารถสรุปผลได้ดังนี้

8.1 สรุปผลผลงานวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยที่ได้นำเทคนิคซิกซ์ซิกมา ที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามลำดับ คือ ขั้นตอนการกำหนดนิยาม (Define) ขั้นตอนการวัดผล (Measure) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve) และขั้นตอนการควบคุม (Control) ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเคมีป้องกันสนิมชนิดพีวีซีพลาสติซอล ซึ่งมีขั้นตอนมาตรฐานการผลิตทั้งหมด 7 ขั้นตอนต่อรอบการผลิต (batch) และมีเวลามาตรฐานการผลิต 4 ชั่วโมงต่อรอบการผลิต โดยพบว่าในการผลิตทั้ง 7 ขั้นตอนนั้น กำหนดให้ทำขั้นตอนการกวนผสมวัตถุดิบจำนวน 2 ครั้งต่อรอบการผลิต เพื่อทำให้สามารถควบคุมคุณภาพค่าความหนืด (viscosity) ได้ตามลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (specification) ซึ่งขั้นตอนการกวนผสมวัตถุดิบแต่ละครั้งยังส่งผลให้ต้องทำซ้ำขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพหลังขั้นตอนการกวนผสมวัตถุดิบ การทำงานของขั้นตอนการกวนผสมกับขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพมีเวลารวมกัน 40 นาทีตามมาตรฐานเวลาผลิต งานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต สำหรับผลิตภัณฑ์เคมีป้องกันสนิม ชนิดพีวีซีพลาสติซอล b1 กับ w1 ที่มีการผลิตมากสุดในผลิตภัณฑ์กลุ่มสีเทาดำและสีขาวตามลำดับ โดยลดการขั้นตอนการทำงานซ้ำในขั้นตอนการกวนผสมวัตถุดิบ

ซึ่งผลการปรับปรุง พบว่า ณ. สิ้นเดือนพฤษภาคม 2560

• ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมของกระบวนการผลิต w1 ก่อนการปรับปรุงที่ 2.18 ครั้งต่อรอบการผลิต ลดลงเหลือ 1.10 ครั้งต่อรอบการผลิต หรือคิดเป็น%ลดลง 49.5% จากจำนวนครั้งการกวนผสมของกระบวนการผลิต w1 ก่อนการปรับปรุง ทำให้สามารถลดเวลาการกวนผสมของ w1 จาก 87.2 นาที เหลือ 44 นาที หรือลดลง 43.2 นาที กำลังการผลิต w1 เพิ่มขึ้น 18.0%

• ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมของกระบวนการผลิต b1 ก่อนการปรับปรุงที่ 2.14 ครั้งต่อรอบการผลิต ลดลงเหลือ 1.17 ครั้งต่อรอบการผลิต หรือคิดเป็นลดลง 45.3% จากจำนวนครั้งการกวนผสมของกระบวนการผลิต b1 ก่อนการปรับปรุง ทำให้สามารถลดค่าเฉลี่ยเวลาของขั้นตอนการกวนผสมกับขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพต่อรอบการผลิตของ b1 จาก 85.6 นาที เหลือ 46.8 นาที หรือลดลง 38.8 นาที ส่งผลทำให้กำลังการผลิต b1 เพิ่มขึ้น 16.2% ตามลำดับ

8.2 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอน

8.2.1 ขั้นตอนการกำหนดนิยาม (Define)

ผู้วิจัยได้เริ่มรวบรวมปัญหาในสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เคมีป้องกันสนิม โดยเลือกปัญหาที่เกี่ยวข้องกับงานของผู้วิจัยโดยตรง ทำให้สามารถเข้าไปปรับปรุง แก้ไข ตรวจสอบและติดตามข้อมูลได้ตลอดเวลา จากปัญหาที่รวบรวมได้นำมาคัดกรองปัญหาร่วมกับอาจารย์ที่ปรึกษาจนสามารถสรุปได้ว่าโรงงานกรณีศึกษามีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาของกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอในอนาคตจากการเติบโตของตลาดและจำนวนลูกค้าที่เพิ่มขึ้นจากแผนธุรกิจที่กำหนดไว้ และแนวทางแก้ไขคือการปรับปรุงการผลิตโดยการลดเวลาการผลิตต่อรอบ ด้วยแนวทางการลดการทำงานซ้ำของขั้นตอนการกวนผสม จากการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมา โดยเลือกศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1 และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1 เนื่องจาก b1 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมากที่สุดในกลุ่มพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ และ w1 เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมากที่สุดในกลุ่มพีวีซีพลาสติซอลสีขาว

จากนั้นผู้วิจัยทำการจัดตั้งคณะทำงานโครงการ ประกอบด้วยแผนกต่างๆที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1 และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดพีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1 พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมของผลิตภัณฑ์ b1 และ w1 มีค่าสูงกว่าขั้นตอนมาตรฐานการผลิตที่กำหนดไว้ 2 ครั้งต่อรอบการผลิต คือ

- ผลิตภัณฑ์ w1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 2.18 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)
- ผลิตภัณฑ์ b1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 2.14 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)

เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือ

- กราฟแท่ง

8.2.2 ขั้นตอนการวัดผล (Measure)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการ 2 ส่วน คือ

1. การตรวจสอบยืนยันระบบการวัดที่มีอยู่

ค่าความหนืด (viscosity) เป็นลักษณะเฉพาะที่ใช้ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) พบว่า ไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน โดยวิเคราะห์จากผู้วัดจำนวน 3 คนที่มีหน้าที่วัดค่าความหนืด (viscosity) ของผลิตภัณฑ์โดยตรง ทำให้ต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดใหม่ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัดความหนืดและไม่มีการควบคุมคือ ระยะการจุ่มแท่งกวนของเครื่องมือวัดค่าความหนืด (Brookfield) โดยหลังจากกำหนดวิธีการเพื่อควบคุมระยะการจุ่มแท่งกวนของเครื่องมือวัดค่าความหนืด ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ผ่านเกณฑ์การประเมิน จึงกำหนดวิธีการใหม่นี้ในขั้นตอนการทำงานวัดค่าความหนืดด้วย Brookfield

2. การประเมินความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

ความสามารถของกระบวนการผลิต b1 และ w1 จากค่าความหนืดของการผลิตผลิตภัณฑ์ b1 กับ w1 ก่อนปรับปรุงระบบการวัดพบว่า

ผลิตภัณฑ์ b1 มีค่า Cp, Cpk และ StDev(Overall) เท่ากับ 1.36, 0.89 และ 3.21578 ตามลำดับ และผลิตภัณฑ์ w1 มีค่า Cp, Cpk และ StDev(Overall) เท่ากับ 0.73, 0.72 และ 5.53738 ตามลำดับ

เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือ

- การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) ด้วย MINITAB
- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วย MINITAB

8.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze)

เป็นขั้นตอนในการหาและระบุปัจจัยที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ โดยมีการค้นหาและคัดกรองปัจจัยใน 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การใช้ผังก้างปลา (Fishbone) ทำให้สามารถค้นหาปัจจัยเริ่มต้นทั้งหมด 30 ปัจจัย

ขั้นตอนที่ 2 การใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ทำให้สามารถจัดลำดับปัจจัยที่มีผลกระทบจากการประเมินโดยผู้ปฏิบัติงานโดยตรง

ขั้นตอนที่ 3 การใช้กราฟพาเรโต (Pareto graph) ทำให้สามารถคัดเลือกปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบโดยตรง จนได้ปัจจัยที่คัดได้เหลือ 11 ปัจจัย

ขั้นตอนที่ 4 การเปรียบเทียบของจริง (Process matching) โดยการเทียบปัจจัยกับกระบวนการผลิตจริงในส่วนของกระบวนการควบคุมปัจจัย จนสามารถคัดปัจจัยได้เหลือ 2 ปัจจัย

8.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve)

เป็นการใช้การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis) แทนการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย (Response Optimization) ด้วยข้อจำกัดของปัจจัยที่ถูกเลือก ทำให้การแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้เป็นการหาสมการเพื่อพยากรณ์ค่าของปัจจัย แทนการหาค่าเฉพาะของปัจจัยที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้สมการนั้นพบว่า การทำสมการรวมกลุ่มที่ใช้กับทุกรหัสผลิตภัณฑ์มีค่า R-Sq และ R-Sq(adj) ต่ำ และพบว่ามีค่า Unusual Observations ทั้งผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีขาว รหัส w1 และผลิตภัณฑ์พีวีซีพลาสติซอลสีเทาดำ รหัส b1 จึงทำการแยกการวิเคราะห์เป็นคู่ระหว่างผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต (w1หรือb1) กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิต batch ก่อนหน้า (w2,w3,w4,... หรือ b2,b3,b4...) โดยใช้ข้อมูลจากการผลิตในช่วง 6 เดือนทำให้ได้สมการ ดังนี้

ตารางที่ 45 สมการคำนวณหาปริมาณโซลเว้นท์ที่ใช้ปรับค่าความหนืดในการผลิต w1

batch ก่อนหน้า	batch ผลิต	สมการ	R-Sq	R-Sq(adj)
w1	w1	Solvent = 22.0 - 1.25 Viscosity w1 + 1.78 Previous batch viscosity w1	85.9%	84.3%
w2	w1	Solvent = - 325 + 0.854 Viscosity w1 + 3.74 Previous batch viscosity w2	86.5%	81.1%
w3	w1	Solvent = 20.2 - 0.439 Viscosity w1 + 0.665 Previous batch viscosity w3	82.6%	81.6%
w4	w1	Solvent = - 326 + 5.32 Viscosity w1 - 2.04 Previous batch viscosity w4	48.2%	31.0%
w5	w1	Solvent = 248 - 3.47 Viscosity w1 + 2.53 Previous batch viscosity w5	92.9%	90.1%
w6	w1	Solvent = - 141 - 1.47 Viscosity w1 + 2.37 Previous batch viscosity w6	89.1%	89.1%

ตารางที่ 46 สมการคำนวณหาปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ปรับค่าความหนืดในการผลิต b1

batch ก่อนหน้า	batch ผลิต	สมการ	R-Sq	R-Sq(adj)
b1	b1	Plasticizer = 149 - 3.99 Viscosity b1 + 3.98 Previous batch viscosity b1	95.9%	95.2%
b2	b1	Plasticizer = 189 - 5.40 Viscosity b1 + 8.51 Previous batch viscosity b2	81.7%	80.4%
b3	b1	Plasticizer = - 84 - 3.27 Viscosity b1 + 23.4 Previous batch viscosity b3	86.7%	82.9%
b4	b1	Plasticizer = 418 - 7.70 Viscosity b1 + 15.1 Previous batch viscosity b4	90.3%	87.5%
b5	b1	Plasticizer = 416 - 7.73 Viscosity b1 + 12.8 Previous batch viscosity b5	73.2%	65.6%
b6	b1	Plasticizer = 335 - 4.33 Viscosity b1 + 3.56 Previous batch viscosity b6	80.0%	70.1%
b7	b1	Plasticizer = 213 - 7.24 Viscosity b1 + 11.1 Previous batch viscosity b7	96.5%	93.0%

เครื่องมือที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือ

- การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis) ด้วย MINITAB

8.2.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control)

จากการใช้สมการในการคำนวณหาปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ปรับค่าความหนืด ทำให้เห็นว่ากระบวนการใหม่หลังการปรับปรุง สามารถลดค่าเฉลี่ยการกวนผสมต่อรอบการผลิต ดังนี้

<u>ก่อนการปรับปรุง</u>

- ผลิตภัณฑ์ w1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 2.18 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)
- ผลิตภัณฑ์ b1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 2.14 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)

<u>หลังการปรับปรุง</u>

- ผลิตภัณฑ์ w1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 1.10 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)
- ผลิตภัณฑ์ b1 มีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการกวนผสมที่ 1.17 ครั้งต่อรอบการผลิต (batch)

และมีความสามารถของกระบวนการที่ปรับปรุงขึ้นในส่วนของค่าความเบี่ยงเบน ดังตารางที่ 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 47 ตารางเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ w1 และ b1

	w1			b1		
	Cp	Cpk	StDev(Overall	Cp	Cpk	StDev(Overall
ก่อนการปรับปรุง	0.73	0.72	5.53738	1.36	0.89	3.21578
หลังการปรับปรุง	0.71	0.64	3.89622	2.25	1.15	2.07315

8.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ผลของข้อมูลที่ได้จากงานวิจัย บางรายการจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มขึ้นในบางประเด็น เช่น จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบถดถอย พบว่าจำนวนข้อมูลในบางกลุ่มมีจำนวนที่น้อยเกินไป ซึ่งน้อยที่สุดคือ 5 ข้อมูล ซึ่งทำให้ความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องของข้อมูลลดน้อยลงไป

2. ปัจจัยบางปัจจัยที่มีการควบคุมโดยกระบวนการ แต่การควบคุมนั้นไม่สามารถระบุออกมาเป็นตัวเลขที่แน่นอน หรือเท่ากันในทุกๆครั้งที่เก็บข้อมูล แต่ปัจจัยนั้นถูกเลือกให้เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ถือว่าไม่กระทบต่อค่าความหนืดที่เป็นประเด็นการปรับปรุงในงานวิจัย โดยความไม่แน่นอนนี้ ส่งผลการวิเคราะห์ที่ให้ผลออกมาเป็นสมการในการพยากรณ์ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ปรับค่าความหนืด ทำให้สมการนั้นเมื่อนำมาใช้งานแล้วไม่สามารถปรับปรุงในแง่ความสามารถของกระบวนการได้อย่างเด่นชัด แม้ว่าจะสามารถปรับปรุงในส่วนการลดขั้นตอนการผสมวัตถุดิบได้

3. การควบคุมปัจจัยส่วนหนึ่งมีการใช้เครื่องชั่งน้ำหนักในการควบคุมปริมาณการใช้ ในการผลิตของโรงงานกรณีศึกษามีการใช้เครื่องชั่งจำนวนหลายเครื่อง และบางส่วนไม่ได้กำหนดเฉพาะเจาะจงให้มีการใช้เครื่องชั่งตัวใดตัวหนึ่ง ซึ่งในเครื่องชั่งแต่ละตัวจะมีค่าเบี่ยงเบนในการวัดน้ำหนัก ซึ่งอาจมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่เก็บได้จากการผลิต ส่งผลต่อผลลัพธ์หลังการวิเคราะห์ที่มีแนวโน้มที่คลาดเคลื่อนออกไป

8.4 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลของการผลิตจริงในการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลเป็นเวลานาน ทำให้ระยะเวลาการทำงานวิจัยนี้ใช้เวลาที่มากขึ้นด้วย

2. ผู้ทำวิจัยและทีมงานที่ทำการวิจัยนี้ เป็นพนักงานประจำของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งต้องทำงานประจำและต้องสละเวลาในการทำงานวิจัยนี้ ทำให้บางช่วงเวลาการทำงานวิจัยไม่ต่อเนื่องจากผลกระทบของงานประจำ

8.5 ข้อเสนอแนะ

1. แนวทางแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยนี้ คือ สมการในการพยากรณ์ปริมาณสารปรับค่าความหนืด จำเป็นต้องมีการปรับสมการหรือสูตรโดยใช้ข้อมูลจากการผลิตใน batch การผลิตใหม่มาใช้ในการปรับปรุงสมการให้มีค่าการพยากรณ์ที่แม่นยำขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความสามารถของกระบวนการดีขึ้นด้วยตามลำดับ
2. การปรับปรุงที่เกิดขึ้นจากการทำงานวิจัยนี้ ทางโรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้องขยายขอบเขตของตัวผลิตภัณฑ์ออกไปให้ครอบคลุมกับผลิตภัณฑ์รหัสอื่นๆที่มีการผลิตอยู่ และมีปริมาณการผลิตที่เหมาะสมเพียงพอที่จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการเพิ่มกำลังการผลิตอย่างชัดเจน
3. บางสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ปรับค่าความหนืดนั้น จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อให้มีปริมาณข้อมูลเพียงพอที่จะทำให้การวิเคราะห์นั้นได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น
4. การวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแบบอย่างในการปรับปรุงส่วนการผลิตอื่นๆในโรงงานกรณีศึกษาได้ โดยจะสามารถลดเวลาต่างๆที่ไม่จำเป็นในการผลิตลง ทั้งโดยที่เกิดจากการกำหนดกระบวนการไว้แต่แรก ดังเช่นกระบวนการในงานวิจัยนี้ และที่เกิดจากข้อจำกัดอื่นๆในกระบวนการผลิต
5. การดำเนินงานวิจัยนี้มีหลักขั้นตอนการทำงานที่ต้องเกี่ยวข้องกับหลายส่วนงาน และหลายแผนก ซึ่งนอกจากจะได้ผลของการปรับปรุงกระบวนการที่ดีขึ้นแล้ว การได้ทีมงานที่เข้าใจหลักการและวิธีการปรับปรุงตามที่ได้ดำเนินการวิจัยนี้ ทำให้ทางบริษัทกรณีศึกษามีความพร้อมที่จะตอบรับการปรับปรุงที่เป็นเป้าหมายใหม่ๆต่อไป

รายการอ้างอิง

Ricardo Banuelas, Jiju Antony, & Martin Brace. (2005). An Application of Six Sigma to Reduce Waste. *Quality and Reliability Engineering International, 21*, 553-570.

T. N. Goh. (2013). Future-Proofing Six Sigma. *Quality and Reliability Engineering International, 30*, 1389-1392.

Vinod G. Surange. (2015). Implementation of Six Sigma to reduce Cost of Quality. *Journal of Failure Analysis and Prevention, 15*, 282-294.

กาญจณ์. (2556). สถิติเพื่อการวิจัยไม่ยาก. นนทบุรี: ธิงค์ บียอนด์ บุ๊คส์.

ธีรพร เสนพรหม. (2550). การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกมา. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปัทมา วงค์กาจ. (2554). การลดความแปรปรวนความเค็มของกระบวนการแช่จืดในการผลิตผักการดองกระป๋องโดยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า. (ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. (2552). การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคในกระบวนการตัด โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผศ. ศุภชัย นาทะพันธ์. (2551). การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

มนต์ชัย บุญเกิด. (2553). การลดอัตรางานทำซ้ำในโรงงานผลิตของเล่นไม้โดยใช้แนวคิดซิกส์ ซิกมา. (ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไมเคิล แอล จอร์จ. (2554). เครื่องมือ *Lean Six Sigma*. กรุงเทพ: อี.ไอ.สแควร์ สำนักพิมพ์.

รุจิรา อุไรพงษ์. (2552). การปรับปรุงค่าความชื้นของเม็ดพลาสติกคอมพาวด์ในกระบวนการผสมเม็ดพลาสติกกับสารเติมแต่งและการบรรจุภัณฑ์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกม่า. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วาสนา ช่อมะลิ. (2555). การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล่อยยาง. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิทยา สุหฤทดำรง, & นราศรี ถาวรกุล. (2545). Six Sigma กลยุทธ์การจัดการระดับโลก. กระบวนการซิกส์ ซิกมา, 32-36.

สลักจิตต์ พุทธจักร. (2556). การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศุภเดช กุลบรรเจิดสุข เกิดวันที่ 17 มิถุนายน พุทธศักราช 2515 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2535 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University