การลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน

นายพลัฏฐ์กร ใจผ่องอัครกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TIME REDUCTION IN ENAMEL PAINT MANUFACTURING PROCESS

Mr. Phalatkorn Jaipongakkharakul

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน
โดย	นายพลัฏฐ์กร ใจผ่องอัครกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พลัฏฐ์กร ใจผ่องอัครกุล : การลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน. (TIME REDUCTION IN ENAMEL PAINT MANUFACTURING PROCESS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพจากปัญหาการแต่งเฉดสี ปัญหาการแห้งตัวผิวสัมผัสของสีเกินเวลาที่กำหนดและปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับที่ส่งผลต่อเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันที่ยาวนานโดยให้มีต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำที่สุด ขั้นตอนการดำเนินงานซึ่งแบ่งออกเป็น 5 ระยะดังนี้

1) การนิยามปัญหา โดยระบุสภาพปัญหาในปัจจุบันที่จะปรับปรุง 2) การวัด โดยวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการตรวจสอบค่าความแตกต่างสี การแห้งตัวสัมผัสของสี ค่าความหนืด จากนั้นระดมสมองเพื่อระบุและคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่จะศึกษา 3) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ทดสอบสมมติฐานความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า 4) การปรับปรุงแก้ไขปัญหา สร้างข้อมูลพื้นฐานแม่สีสำหรับทดลองนำซอฟต์แวร์เทคนิคการจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในการแต่งเฉดสี การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบชนิดส่วนประสมกลางเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปริมาณสารเร่งแห้งสามชนิดและวิเคราะห์การถดถอยเพื่อสร้างสมการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง 5) การติดตามควบคุม โดยการทดสอบเพื่อยืนยันผลการปรับปรุงและจัดทำแผนควบคุมกระบวนการ

หลังการปรับปรุงพบว่า เวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันลดลงจาก 843 เหลือ 582 นาทีต่อหนึ่งรอบการผลิต โดยสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยจำนวนรอบที่มากเกินจำเป็นในเรื่องปัญหาการแต่งเฉดสีลดลงจาก 85% เป็น 33% ปัญหาการแห้งสัมผัสของสีลดลงจาก 72% เป็น 22% และปัญหาความหนืดสูงลดลงจาก 76% เป็น 20% และสามารถประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพได้ 495,820 บาทต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5970938421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Enamel, Central Composite Design, Regression

Phalatkorn Jaipongakkharakul : TIME REDUCTION IN ENAMEL PAINT MANUFACTURING PROCESS. Advisor: Asst. Prof. Napassavong Osothsilp, Ph.D.

The objective of this research is to reduce the proportion of production cycles that need unnecessary quality improvement related to tinting, touch dry time over limit and viscosity over limit problems with the lowest the quality improvement cost. These problems caused long production time of Enamel paint production process. This research consists of 5 phases, 1) Define phase: important problems were selected and defined. 2) Measure phase: the accuracy and precision of color difference, viscosity and touch dry inspection systems were analyzed. In addition, key process variables were brainstormed and selected. 3) Analysis phase: hypothesis testing was performed to test the significance of these variables. 4) Improve phase: Color Matching technic, Central Composite Design of Experiment (CCD) and Regression analysis were analyzed to improve of problems. 5) Control phase: confirmatory experiment was performed and control plan was created. After improvement, production time of Enamel paint production process was reduced from 843 to 582 minutes. In addition, it was found that the proportion of production cycles that need unnecessary quality improvement from tinting problem, touch dry problem and viscosity problem were reduced from 85% to 33%, 72% to 22% and 76% to 20% respectively. The quality improvement cost was reduced 495,820 bath per year.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีมาตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่อนุญาติให้ทำการศึกษาวิจัย และให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี ตลอดจนคณะทีมงานปรับปรุงที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอย่างยิ่ง

ขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมไปถึงพนักงานและเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอบคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจ รวมทั้งขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงมา ณ ที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พลัฏฐ์กร ใจผ่องอัครกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา 1

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 2

1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 24

1.4 ขอบเขตการศึกษาวิจัย 24

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 24

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 26

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 26

1.8 เวลาการดำเนินงานวิจัย 26

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 27

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 49

บทที่ 3 ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase) 55

3.1 บทนำ 55

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 แผนผังการไหลในกระบวนการ (Flow Process Chart) 56
3.4 สภาพปัญหาและการกำหนดปัญหา 57
3.5 การกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและตัวชี้วัด 63
3.6 การกำหนดขนาดตัวอย่าง 64
3.7 เกณฑ์การกำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพ 65
3.8 การจัดตั้งคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ 68
3.9 สัญญาโครงการ (Project Charter) 68
3.10 สรุประยะการนิยามปัญหา 70
บทที่ 4 ระยะการวัดสภาพปัญหา (Measure Phase) 71
4.1 บทนำ 71
4.2 การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Measurement System Analysis) 71
4.3 การวัดสภาพปัญหาในปัจจุบัน 85
4.4 การระดมสมอง (Brainstorm) เพื่อหาปัจจัยนำเข้าโดยแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 87
4.5 การจัดลำดับความสำคัญสาเหตุของปัญหาโดยเมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Metrix) 94
4.6 สรุประยะการวัดสภาพปัญหา 106
บทที่ 5 ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) 108
5.1 บทนำ 108
5.2 การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ 108
5.3 การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ 116
5.4 การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ 125

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.5 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 132
บทที่ 6 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) 133
6.1 บทนำ 133
6.2 ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี 134
6.3 ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต 149
6.4 ความไม่ชำนาญในการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ 190
6.5 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไข 203
บทที่ 7 ระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) 205
7.1 บทนำ 205
7.2 การทดสอบการยืนยันผลหลังปรับปรุงกระบวนการ 205
7.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 215
7.4 การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ .. 216
7.5 การกำหนดแผนภูมิควบคุม p 217
7.6 การเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงกระบวนการ 219
7.7 การคำนวณต้นทุนที่สามารถประหยัดได้ 220
7.8 การติดตามและควบคุมผล 222
7.9 การจัดทำแผนควบคุม 225
7.10 สรุประยะการติดตามควบคุม 226
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 228
8.1 บทนำ 228
8.2 ระยะการนิยามปัญหา 228
8.3 ระยะการวัดสภาพปัญหา 228
8.4 ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 229
8.5 ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา 230

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.6 ระยะการตรวจติดตามควบคุม 231
8.7 ข้อจำกัดงานวิจัย 232
8.8 ข้อเสนอแนะงานวิจัย 232
บรรณานุกรม 2
ประวัติผู้เขียน 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1. 1 จำนวนกระบวนการผลิตสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย..... 5

ตารางที่ 1. 2 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต ... 9

ตารางที่ 1. 3 รายการแม่สีที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา..... 14

ตารางที่ 1. 4 องค์ประกอบของสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด 15

ตารางที่ 2. 1 ข้อมูลการสะท้อนแสงและช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมของสี..... 28

ตารางที่ 2. 2 ระบบสารเร่งแห้งที่เหมาะสมต่อระยะการแห้งตัวของสีชนิด Long Oil Alkyd..... 36

ตารางที่ 2. 3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)..... 46

ตารางที่ 2. 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการ..... 51

ตารางที่ 2. 5 เปรียบเทียบระยะเวลาการแห้งตัวแต่ละสัดส่วนของสารเร่งแห้ง 53

ตารางที่ 3. 1 แผนผังการไหลในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด..... 56

ตารางที่ 3. 2 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560..... 58

ตารางที่ 3. 3 ขนาดตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions..... 64

ตารางที่ 3. 4 เกณฑ์กำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด 65

ตารางที่ 3. 5 สัญญาโครงการของโครงการการลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน 69

ตารางที่ 4. 1 เกณฑ์การยอมรับการประเมินความเที่ยงของระบบการวัด (AIAG, 2002)..... 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4. 2 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลต่อเนื่อง 72

ตารางที่ 4. 3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี 73

ตารางที่ 4. 4 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความเที่ยงระบบการวัดค่าความหนืดของสี 77

ตารางที่ 4. 5 เกณฑ์การยอมรับการประเมินของระบบการวัด 81

ตารางที่ 4. 6 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินของระบบการวัดข้อมูลตามลักษณะ 81

ตารางที่ 4. 7 เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบเวลาแห้งตัวของสี 82

ตารางที่ 4. 8 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง 83

ตารางที่ 4. 9 การกำหนดอัตราความสำคัญ 94

ตารางที่ 4. 10 เมทริกซ์สาเหตุและผล แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต (Cause and Effect Metrix) 95

ตารางที่ 4. 11 ผลลัพธ์ลำดับปัจจัย 12 ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต 97

ตารางที่ 4. 12 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อปรับปรุงปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ และแนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง 102

ตารางที่ 4. 13 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อปรับปรุงปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ และแนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง 104

ตารางที่ 4. 14 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อปรับปรุงปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ และแนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง 105

ตารางที่ 5. 1 ความแรงแม่สี HC30 จำนวน 30 รอบการผลิต 109

ตารางที่ 5. 2 ค่าความแตกต่างสีหลังเติมแม่สีและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ 111

ตารางที่ 5. 3 เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต 116

ตารางที่ 5. 4 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการ 117

ตารางที่ 5. 5 ผลการตรวจสอบการแห้งตัวของสีหลังเติมสารเร่งแห้งและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 6 จำนวนรอบและสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดหลังเติมสารเร่งแห้งและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ เพื่อทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 121

ตารางที่ 5. 7 สัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดต่อจำนวนรอบทั้งหมดที่ทดสอบ 123

ตารางที่ 5. 8 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีใด ๆ 124

ตารางที่ 5. 9 ค่าความหนืดหลังเติมตัวทำละลายและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ 127

ตารางที่ 6. 1 ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแม่สีแต่ละชนิด 136

ตารางที่ 6. 2 ค่าการสะท้อนแสงที่ทดลองผสมปริมาณแม่สีที่ปริมาณต่าง ๆ 137

ตารางที่ 6. 3 ค่าการสะท้อนแสงแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่ทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมเพิ่มเติม ... 139

ตารางที่ 6. 4 อัตราส่วนการผสมแม่สี เพื่อสร้างกราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิด 141

ตารางที่ 6. 5 กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิดที่บันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐานในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน 142

ตารางที่ 6. 6 แผนผังการไหลในกระบวนการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี 145

ตารางที่ 6. 7 ผลการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี ในขั้นตอนการแต่งเฉดสีจริง ... 147

ตารางที่ 6. 8 ผลทดลองการแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี ก่อนใช้จริงอย่างต่อเนื่อง 148

ตารางที่ 6. 9 เมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab . 151

ตารางที่ 6. 10 ปริมาณของสารเร่งแห้งโลหะที่เหมาะสมต่อระยะการแห้งตัวของสีน้ำมันประเภท Alkyd Resin ชนิด Long-oil Alkyd Paint 154

ตารางที่ 6. 11 เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะที่ใช้จริงในสูตรเพื่อการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา 154

ตารางที่ 6. 12 การคำนวณหา % Alkyd Resin รวมในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 155

ตารางที่ 6. 13 เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารเร่งแห้งทั้งสามชนิด (% Drier in Recipe) ในสูตรเพื่อการผลิต 156

ตารางที่ 6. 14 ระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง 156

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 15 สูตรเพื่อการผลิตของ เฉดสี ECO001 160

ตารางที่ 6. 16 ผลการทดลอง 165

ตารางที่ 6. 17 สรุปผลการทดลอง 166

ตารางที่ 6. 18 การเปรียบเทียบปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมและสัดส่วนใหม่ 189

ตารางที่ 6. 19 สรุปสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการปรับปรุงคุณภาพเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสีทั้งสูตรเพื่อการผลิต 190

ตารางที่ 6. 20 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพในอดีต 191

ตารางที่ 6. 21 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=83.0 KU 200

ตารางที่ 6. 22 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=82.5 KU 200

ตารางที่ 6. 23 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=82.0 KU 201

ตารางที่ 6. 24 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=81.5 KU 201

ตารางที่ 6. 25 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=81.0 KU 202

ตารางที่ 6. 26 ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต เมื่อกำหนดค่าความหนืดเป้าหมาย T ต่างกัน ... 202

ตารางที่ 7. 1 ผลการทดสอบการยืนยันผลการแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีในระดับการผลิต 206

ตารางที่ 7. 2 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีต่าง ๆ แล้วค่า DE< 0.5 ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ 206

ตารางที่ 7. 3 ปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสีทั้งสูตรเพื่อการผลิต 207

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7. 4 ผลการทดสอบการยืนยันผลการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดแต่ละรอบการผลิต 208

ตารางที่ 7. 5 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบในการปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ แล้วการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ 210

ตารางที่ 7. 6 ผลการทดสอบการยืนยันผลการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงแต่ละรอบการผลิต 211

ตารางที่ 7. 7 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบในการปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ แล้วค่าความหนืดลดลงมาอยู่ในช่วงที่กำหนด ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ 212

ตารางที่ 7. 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการ 214

ตารางที่ 7. 9 ขนาดตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions 215

ตารางที่ 7. 10 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 219

ตารางที่ 7. 11 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 221

ตารางที่ 7. 12 การเปรียบเทียบต้นทุนตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 222

ตารางที่ 7. 13 เอกสาร QC-F001 ใบบันทึกผลการตรวจสอบเฉดสีประจำวัน 223

ตารางที่ 7. 14 เอกสาร QC-T001 การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมัน 224

ตารางที่ 7. 15 QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงประจำวัน 225

ตารางที่ 7. 16 QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดประจำวัน 225

ตารางที่ 7. 17 แผนควบคุมกระบวนการแต่งเฉดสี 226

ตารางที่ 7. 18 แผนควบคุมกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ 226

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1. 1 การแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาตามลักษณะตามความต้องการใช้งานของลูกค้า..... 1

รูปที่ 1. 2 สัดส่วนปริมาณการผลิตสีน้ำมันทั้งสองลักษณะการผลิต..... 3

รูปที่ 1. 3 ปริมาณรุ่นการผลิตของสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560..... 4

รูปที่ 1. 4 แนวโน้มจำนวนรอบการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก แบ่งเกรดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560..... 6

รูปที่ 1. 5 แผนภูมิการไหลของงาน (Flow Chart) กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษา..... 8

รูปที่ 1. 6 องค์ประกอบเวลาในกระบวนการผลิตโรงงานกรณีศึกษา..... 9

รูปที่ 1. 7 กราฟพาเรโตแสดงเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต..... 10

รูปที่ 1. 8 จำนวนรอบการแต่งเฉดสีสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560..... 11

รูปที่ 1. 9 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ..... 11

รูปที่ 1. 10 จำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560..... 16

รูปที่ 1. 11 กราฟพาเรโตแสดงจำนวนรอบความถี่ของปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่ ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ..... 16

รูปที่ 1. 12 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ..... 18

รูปที่ 1. 13 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ..... 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2. 1 แสงที่มนุษย์มองเห็นได้อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร..... 28
รูปที่ 2. 2 ระบบสี CIE Lab รูปแบบ 3 มิติ..... 29
รูปที่ 2. 3 กราฟการสะท้อนแสงและกราฟที่ได้จากสมการ K/S ในช่วงความเข้มข้นของสีแดงต่างกัน 30
รูปที่ 2. 4 แผนผังการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตา 38
รูปที่ 2. 5 แผนภูมิควบคุม p 39
รูปที่ 2. 6 ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด..... 39
รูปที่ 2. 7 (a) ไบอัสของระบบการวัด (b) ความแปรผันของรีพีททะบิลิตี้ (c) ความแปรผันของรีโปรดิวซิบิลิตี้ (d) ความเสถียรของระบบการวัด (e) ความเป็นเส้นตรงของระบบการวัด..... 40
รูปที่ 2. 8 ส่วนประกอบของแผนผังสาเหตุและผล..... 41
รูปที่ 2. 9 เอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน 42
รูปที่ 2. 10 รูปแบบทั่วไปของกระบวนการหรือระบบ..... 43
รูปที่ 2. 11 แบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับจำนวนปัจจัย 2-15 ปัจจัย และจำนวน Runs 44
รูปที่ 2. 12 แบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบสำหรับจำนวนปัจจัย 2-10 ปัจจัย และจำนวน Runs 44
รูปที่ 2. 13 (a) พื้นผิวผลตอบ (Respond surface) และ (b) เส้นโครงร่าง (Contour plot)..... 45
รูปที่ 2. 14 กราฟการแจกแจงปกติส่วนเหลือและกราฟความแปรปรวนคงที่ส่วนเหลือ..... 48
รูปที่ 2. 15 กราฟการสะท้อนแสงแต่ละแม่สีโรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก 49
รูปที่ 2. 16 กราฟการสะท้อนแสงของเฉดสีมาตรฐานของสีเหลืองเทียบกับเฉดสีตัวอย่าง 50

รูปที่ 3. 1 ผังกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด..... 55
รูปที่ 3. 2 องค์ประกอบเวลาในกระบวนการผลิตโรงงานกรณีศึกษา 58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3. 3 กราฟพาเรโตแสดงเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด 58

รูปที่ 3. 4 กราฟพาเรโตความถี่ของปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่ 60

รูปที่ 3. 5 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเกินมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 61

รูปที่ 3. 6 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 62

รูปที่ 3. 7 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 62

รูปที่ 3. 8 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี 65

รูปที่ 3. 9 วิธีการตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของฟิล์มสีผิวสัมผัส 66

รูปที่ 3. 10 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความหนืด 67

รูปที่ 3. 11 เครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน รูปที่ 3. 12 เครื่องวิสโครมิเตอร์ 67

รูปที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความแตกต่างสี 75

รูปที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความหนืดของสีตัวอย่าง 79

รูปที่ 4. 3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง 84

รูปที่ 4. 4 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต ข้อมูลในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ.2560 86

รูปที่ 4. 5 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 86

รูปที่ 4. 6 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 86

รูปที่ 4. 7 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ 88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4. 8 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ 90

รูปที่ 4. 9 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ 92

รูปที่ 4. 10 กราฟคะแนนและเปอร์เซ็นต์สะสมของคะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในกระบวนการผลิต 97

รูปที่ 4. 11 แผนภูมิการไหลของงานแนวความคิดปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตและแนวทางในการปรับปรุง 102

รูปที่ 5. 1 แผนภูมิจุดแสดงการกระจายตัวค่าความแรงแม่สี HC30 แต่ละรอบการผลิต 109

รูปที่ 5. 2 กราฟส่วนตกค้างความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที 112

รูปที่ 5. 3 กราฟความน่าจะเป็นของความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation 112

รูปที่ 5. 4 กราฟส่วนตกค้างความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที หลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation 112

รูปที่ 5. 5 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบของข้อมูลค่าความแตกต่างสี 113

รูปที่ 5. 6 ผลการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที 114

รูปที่ 5. 7 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์ของค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีหลังเติมแม่สีและใช้เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที 115

รูปที่ 5. 8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งโคบอลต์ 117

รูปที่ 5. 9 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งเซอร์โครเนียม 118

รูปที่ 5. 10 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแคลเซียม 118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5. 11 กราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสี เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด 121

รูปที่ 5. 12 ผลการวิเคราะห์ความเป็นอิสระระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาปั่นกวนสี เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด..... 122

รูปที่ 5. 13 แผนภูมิบอกซ์และวิสเคอร์เปรียบเทียบความหนืดของวัตถุดิบห้าชนิดและสารหลังผสม 125

รูปที่ 5. 14 กราฟส่วนตกค้างค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที..... 128

รูปที่ 5. 15 กราฟความน่าจะเป็นของค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation 128

รูปที่ 5. 16 กราฟส่วนตกค้างค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที หลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation..... 128

รูปที่ 5. 17 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบของข้อมูลค่าความหนืด 129

รูปที่ 5. 18 ผลการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที..... 130

รูปที่ 5. 19 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์ของค่าเฉลี่ยของความหนืดหลังเติมตัวทำละลาย ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที 131

รูปที่ 6. 1 แนวทางการสร้างข้อมูลพื้นฐานสำหรับบันทึกลงในซอฟต์แวร์การจับคู่สี 135

รูปที่ 6. 2 กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีโรงงานกรณีศึกษา 15 ชนิด..... 136

รูปที่ 6. 3 กราฟการสะท้อนของแม่สีน้ำเงิน HC30 ทดลองกำหนดอัตราส่วนผสมปริมาณแม่สีต่าง ๆ 137

รูปที่ 6. 4 กราฟการสะท้อนของแม่สีน้ำเงิน HC30 ทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมเพิ่มเติม 139

รูปที่ 6. 5 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 151

รูปที่ 6. 6 แผนผังพาเรโตแสดงจำนวนรอบการผลิตของเฉดสีที่พบปัญหาคุณภาพเรื่องการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนด จากข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 153

รูปที่ 6. 7 กระป๋องสีตัวอย่างจำนวน 8 กระป๋องสำหรับ 1 การทดลองและสารเร่งแห้ง 160

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 6. 8 เครื่องตีสีระดับปฏิบัติการ 161

รูปที่ 6. 9 แผนภูมิการไหลของขั้นตอนในการทำการทดลอง 162

รูปที่ 6. 10 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_3 168

รูปที่ 6. 11 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_4 168

รูปที่ 6. 12 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_6 170

รูปที่ 6. 13 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 171

รูปที่ 6. 14 กราฟความน่าจะเป็นค่าส่วนตกค้างของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 171

รูปที่ 6. 15 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 172

รูปที่ 6. 16 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด 173

รูปที่ 6. 17 ตำแหน่งการทำงานของสารเร่งแห้งแต่ละชนิด 174

รูปที่ 6. 18 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 177

รูปที่ 6. 19 กราฟความน่าจะเป็นค่าส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 177

รูปที่ 6. 20 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 178

รูปที่ 6. 21 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง 182

รูปที่ 6. 22 กราฟส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด 183

รูปที่ 6. 23 กราฟความน่าจะเป็นค่าส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด 183

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6. 24 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด 184

รูปที่ 6. 25 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง 186

รูปที่ 6. 26 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยปริมาณโคบอลต์กับปัจจัยปริมาณแคลเซียมที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง 187

รูปที่ 6. 27 ผลการวิเคราะห์ Response Optimization เพื่อหาระดับของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสม 188

รูปที่ 6. 28 รูปแบบของสมการที่เป็นไปได้ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระสองตัว 192

รูปที่ 6. 29 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 192

รูปที่ 6. 30 กราฟความน่าจะเป็นของส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ 193

รูปที่ 6. 31 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลาย 194

รูปที่ 6. 32 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดกำหนดตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลายสำหรับการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง 195

รูปที่ 6. 33 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย ของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด 196

รูปที่ 6. 34 กราฟความน่าจะเป็นของส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย ของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด 196

รูปที่ 6. 35 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลาย 197

รูปที่ 6. 36 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงของสองปัจจัย X1 และ X2 ที่มีผลต่อปริมาณตัวทำละลาย.. 198

รูปที่ 7. 1 แผนภูมิการไหลวิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี (ใหม่) 205

รูปที่ 7. 2 กราฟฮิสโตแกรมการกระจายตัวของค่าความแตกต่างของค่าความหนืดจริงกับค่าความหนืดพยากรณ์ 213

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 7. 3 กราฟฮิสโตแกรมเปรียบเทียบข้อมูลความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพ ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 214

รูปที่ 7. 4 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการปัญหาจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ 216

รูปที่ 7. 5 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต 216

รูปที่ 7. 6 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต 217

รูปที่ 7. 7 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 217

รูปที่ 7. 8 แผนภูมิควบคุม p chart สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 218

รูปที่ 7. 9 แผนภูมิควบคุม p chart สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 218

รูปที่ 7. 10 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 219

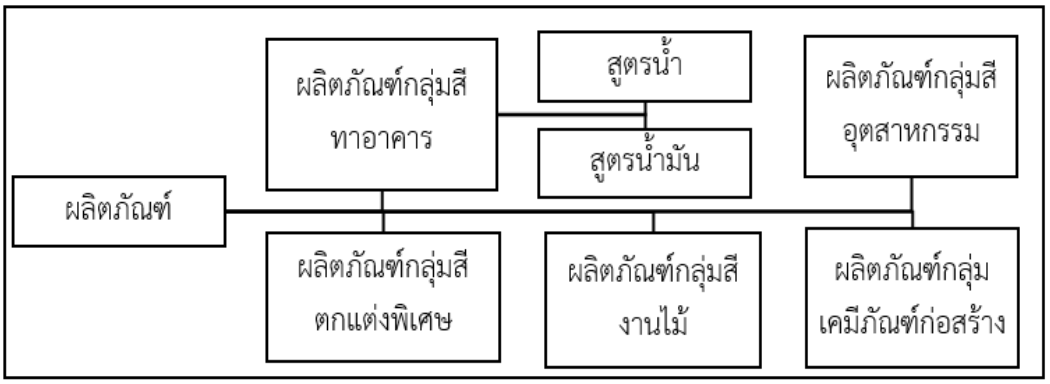
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมการผลิตและบริการ การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งสำคัญพร้อมคำนึงถึง คุณภาพ ต้นทุน และเวลา นั่นหมายถึง ผู้ประกอบการต้องผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงสุด ต้นทุนต่ำสุด และใช้เวลาน้อยที่สุด ปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตและบริการประเภทใดย่อมต้องมีคู่แข่งทางการค้า การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบในการพิจารณาที่ส่งผลต่อภาพรวมในการสร้างข้อได้เปรียบกับคู่แข่งได้ ปัญหาด้านการจัดการกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น มีสาเหตุจากการขาดการบริหารการจัดการที่ดี ขาดความรู้ความเข้าใจในวิธีการแก้ปัญหา ความสูญเปล่าที่กระจัดกระจายอยู่ในกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้เกิดเวลาในกระบวนการผลิตยาวนาน ดังนั้นผู้วิจัยเกิดแนวความคิดที่จะปรับปรุงกระบวนการวิธีการทำงานโดยมีเป้าหมายเพื่อการปรับปรุงคือ การลดเวลาในกระบวนการผลิต โดยนำเครื่องมือพื้นฐานทางสถิติและเครื่องมือทางคุณภาพสนับสนุนมาประยุกต์ใช้เพื่อการปรับปรุงอย่างเป็นระบบเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้รวดเร็วขึ้นจะทำให้เพิ่มโอกาสในการจำหน่ายเพิ่มขึ้นเช่นกัน

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมสีและผลิตภัณฑ์ปกป้องพื้นผิว จำหน่ายผลิตภัณฑ์ทั้งภายในและต่างประเทศ ลักษณะความต้องการและการใช้งานของผลิตภัณฑ์เติบโตตามแนวโน้มของธุรกิจสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ บ้าน อาคาร และคอนโดมิเนียม เป็นต้น



รูปที่ 1. 1 การแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษาตามลักษณะตามความต้องการใช้งานของลูกค้า

ผลิตภัณฑ์สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะตามความต้องการใช้งานของลูกค้าออกเป็น 5 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 1.1

1. ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีทาอาคาร (Decorative Coating) สีที่ใช้ทาเคลือบพื้นผิวปูน เหล็ก ไม้
2. ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีตกแต่งพิเศษ (Special paint Coating) สีที่ใช้สร้างลวดลายและความสวยงาม
3. ผลิตภัณฑ์กลุ่มเคมีภัณฑ์ก่อสร้าง (Construction Chemicals) สีที่ใช้ป้องกันปัญหารั่วซึม
4. ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีอุตสาหกรรม (Heavy Duty) สีที่ใช้ทางานโรงงาน งานเรือ และงานถนน
5. ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีงานไม้ (Wood Coating) สีที่ใช้งานกับงานพื้นไม้ เฟอร์นิเจอร์ไม้จริงและไม้เทียม

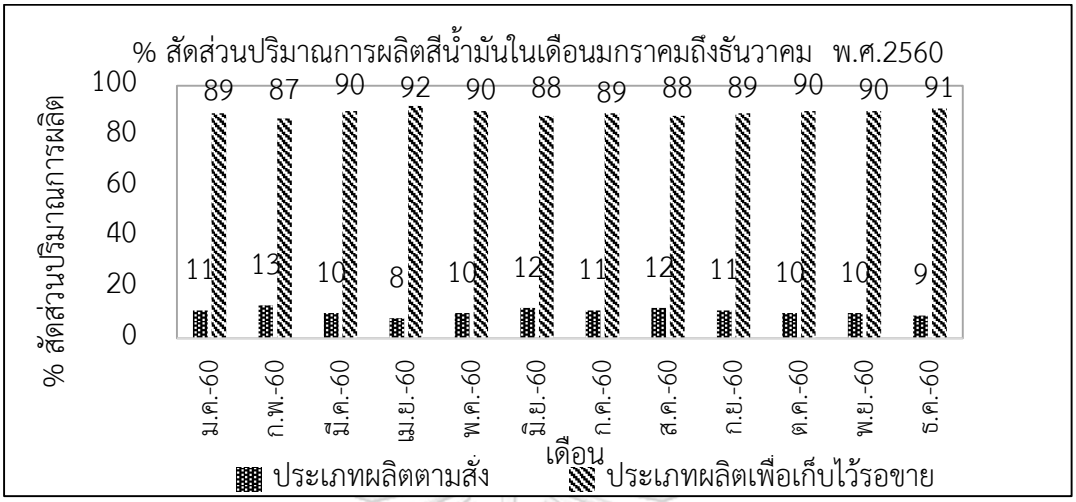
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้นำด้านอุตสาหกรรมสีและผลิตภัณฑ์เคลือบผิวอันดับ 1 ในประเทศไทยและมีเป้าหมายที่จะบุกตลาดไปกลุ่มประเทศเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลักษณะกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาใช้เครื่องจักรประกอบการผลิตเป็นส่วนน้อย ส่วนใหญ่จะเน้นแรงงานคนในการผลิต นโยบายของผู้บริหารระดับสูงต้องการปรับปรุงกระบวนการทำงานตลอดเวลา โดยมุ่งเน้นการสร้างคุณค่าและระบุคุณค่าในกลุ่มงานแต่ละต้นสังกัดเพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ผู้ทำวิจัยสังกัดในกลุ่มงานควบคุมคุณภาพ ต้นสังกัดพิจารณามุมมองลูกค้าภายนอกโรงงานให้สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ตรงตามเวลาและได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ส่วนมุมมองลูกค้าภายในโรงงานได้แก่ กลุ่มงานผลิตให้ความสำคัญกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยกลุ่มงานควบคุมคุณภาพให้ความสำคัญกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ฉะนั้นการสร้างจุดที่เหมาะสมระหว่างคุณภาพของผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงเป็นสิ่งสำคัญ จากลักษณะกระบวนการผลิตที่อาศัยประสบการณ์ทำงานของคนทำให้มาตรฐานวิธีการทำงานไม่เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกัน ส่งผลให้ความแปรผันเวลาในกระบวนการผลิตแต่ละรอบการผลิตยาวนานแตกต่างกัน จึงเกิดแนวคิดงานวิจัยนี้ที่จะเน้นศึกษาสภาพการทำงานในปัจจุบันเพื่อปรับปรุงกระบวนการ วิธีการทำงานให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตภายใต้มาตรฐานคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่กำหนด

ในประเทศไทยโรงงานกรณีศึกษามีสัดส่วนรายได้จากการจำหน่ายสีและผลิตภัณฑ์ปกป้องพื้นผิว 48 % ของยอดขายทั้งหมดในประเทศ โดยสัดส่วนรายได้ทั้งในและต่างประเทศมาจาก 2 กลุ่มสินค้าใหญ่ คือ ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีทาอาคาร 73% และผลิตภัณฑ์สีกลุ่มอื่นๆ 27%

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์กลุ่มสีทาอาคารสร้างรายได้ให้โรงงานกรณีศึกษาสูงถึง 73% จำแนกสูตรตามตัวทำละลายแบ่งออกเป็น 2 สูตรคือ สูตรน้ำ เรียกว่า สีน้ำ และสูตรน้ำมัน เรียกว่า สีน้ำมันหรือสีเคลือบ ในโรงงานกรณีศึกษาผู้วิจัยมีหน้าที่รับผิดชอบในกลุ่มงานควบคุมคุณภาพระหว่างกระบวนการผลิตสีน้ำมัน จึงเลือกศึกษาเฉพาะสีน้ำมัน ซึ่งแบ่งประเภทลักษณะการผลิตสีน้ำมันเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 ผลิตตามสั่ง (Make-to-order) สำหรับงานสีโครงการของลูกค้าตามสั่งเท่านั้น

ประเภทที่ 2 ผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย (Make-to-stock) สำหรับกระจายไปตามร้านค้าทั่วประเทศ



รูปที่ 1. 2 สัดส่วนปริมาณการผลิตสีน้ำมันทั้งสองลักษณะการผลิต

รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนปริมาณการผลิตสีน้ำมัน ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขายมีปริมาณการผลิตคิดเป็น 89% และผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตตามสั่งมีปริมาณการผลิตคิดเป็น 11% ของปริมาณการผลิตทั้งหมด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขายมีปริมาณการผลิตสูงกว่าผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตตามสั่งมาก จึงเลือกพิจารณาศึกษาผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 กลุ่มตามประเภทการใช้งาน คือ

กลุ่มที่ 1 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีบรอนซ์

กลุ่มที่ 2 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีแค็ตตาล็อก

กลุ่มที่ 3 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีเบสและสีขาว

ผลิตภัณฑ์สามกลุ่มนี้จัดประเภทเป็นสีทับหน้า (Topcoat) ทำมาจากแอลคีดเรซิน (Alkyd Resin) ชนิด Long-Oil เป็นสีที่มีความเงาสูง สีประเภทนี้จะแห้งโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ และแห้งภายใน 4 - 8 ชั่วโมง ฟิล์มเคลือบจะแข็ง เงา และทนทานต่อการใช้งาน

กลุ่มที่ 4 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีด้าน

ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้จัดประเภทเป็นสีทับหน้า (Topcoat) ทำมาจากแอลคีดเรซิน (Alkyd Resin) แต่สีชนิดนี้ถูกควบคุมความเงาให้ต่ำด้วยผงสีเอกซ์เทนเดอร์ (Extender) ที่มีการดูดกลืนน้ำมันสูง (Oil Absorption)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กลุ่มที่ 5 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีใส

กลุ่มที่ 6 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีรองพื้น

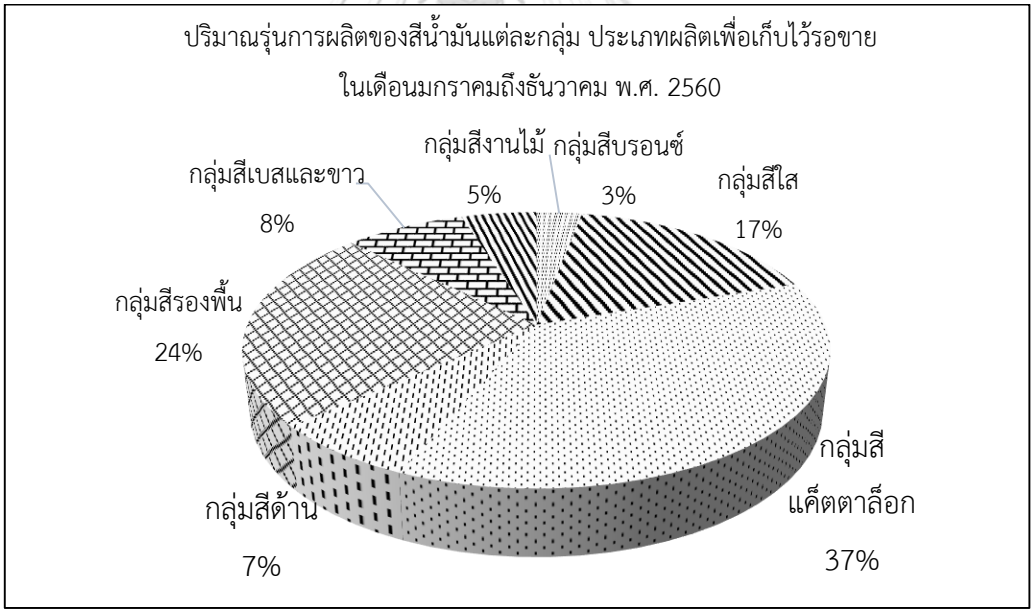
ผลิตภัณฑ์สองกลุ่มนี้จัดประเภทเป็นสีรองพื้น (Primer) ใช้เคลือบชั้นแรกบนพื้นผิวของวัสดุ ทำหน้าที่เสริมการยึดเกาะระหว่างสีทับหน้ากับพื้นผิวของวัสดุ ป้องกันการกัดกร่อนของวัสดุ

กลุ่มที่ 7 ผลิตภัณฑ์กลุ่มสีงานไม้

ผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้จัดประเภทเป็นสีงานไม้ (Wood Stain) ไม้เป็นวัสดุที่มีรูพรุนเมื่อได้รับความชื้นจะทำให้ไม้หดหรือขยายตัวได้ สีกลุ่มนี้จะไปยึดเกาะกับพื้นผิวเคลือบไม้ ป้องกันไม่ให้ความชื้นซึมผ่านผิวไม้

หลังจากเลือกพิจารณาสีน้ำมันประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย ต้องเลือกกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษา โดยพิจารณาจาก 2 หลักเกณฑ์

หลักเกณฑ์ที่ 1 พิจารณาจากปริมาณรุ่นการผลิตสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1. 3 ปริมาณรุ่นการผลิตของสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

รูปที่ 1.3 แสดงปริมาณรุ่นการผลิตของสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า กลุ่มสีแค็ตตาล็อกมีปริมาณรุ่นการผลิตสูงที่สุดคิดเป็น 37% ของปริมาณรวมทุกรุ่นการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมด จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาสีน้ำมันชนิดนี้

หลักเกณฑ์ที่ 2 พิจารณาจากจำนวนกระบวนการผลิตสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1. 1 จำนวนกระบวนการผลิตสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย

ผลิตภัณฑ์	กระบวนการ			
	ผสมสี (Mixing)	แต่งเฉดสี (Tinting)	ตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ (Physical Quality Control)	บรรจุสี (Filling)
กลุ่มสีบรอนซ์	●		●	●
กลุ่มสีใส	●		●	●
กลุ่มสีแค็ตตาล็อก	●	●	●	●
กลุ่มสีด้าน	●		●	●
กลุ่มสีรองพื้น	●		●	●
กลุ่มสีเบสและสีขาว	●		●	●
กลุ่มสีงานไม้	●		●	●

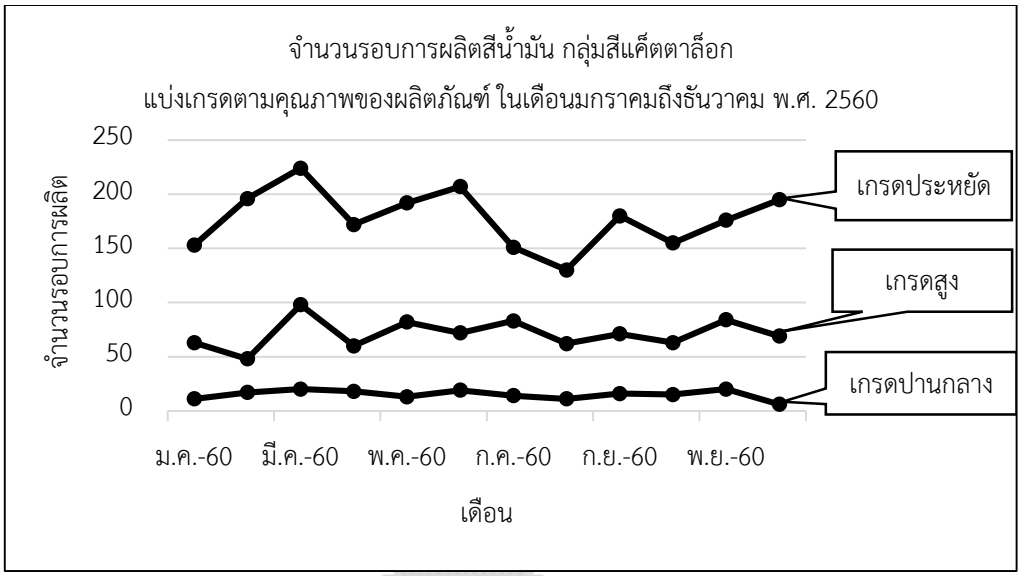
ตารางที่ 1.1 พบว่า ผลิตภัณฑ์ทุกกลุ่มมีกระบวนการผลิตพื้นฐานจำนวน 3 กระบวนการเท่ากัน คือ กระบวนการผสม กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ และกระบวนการบรรจุสี แต่กลุ่มสีแค็ตตาล็อกจะมีกระบวนการแต่งเฉดสีเพิ่มขึ้นมาด้วย ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการผลิตยาวนานกว่าผลิตกลุ่มสีอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการพิจารณา 2 หลักเกณฑ์ พบว่า โรงงานกรณีศึกษามีการผลิตสีน้ำมันทุกกลุ่ม ประเภทผลิตเพื่อเก็บไว้รอขาย มีจำนวนรอบการผลิตโดยเฉลี่ย 36 รอบการผลิตต่อวัน เมื่อพิจารณาสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตของสีน้ำมันแต่ละกลุ่ม พบว่า สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกมีสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตสูงสุดถึง 37% หรือเฉลี่ย 13 รอบการผลิตต่อวัน และการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกมี 4 กระบวนการผลิต คือ กระบวนการผสม กระบวนการแต่งเฉดสี กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ และกระบวนการบรรจุสี ซึ่งมีกระบวนการผลิตมากกว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มสีอื่นๆ ทำให้สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกมีเวลาในการผลิตยาวนานกว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มสีอื่นๆ งานวิจัยเลือกศึกษากระบวนการผลิตสีน้ำมันเฉพาะกลุ่มสีแค็ตตาล็อก นอกจากนั้นสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกสามารถแบ่งเกรดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ออกเป็น 3 เกรด คือ

เกรดสูง (Premium Grade) คุณภาพสินค้าเกรดนี้มีความหนืดและการบดบังพื้นผิวสูง
เกรดปานกลาง (Medium Grade) คุณภาพสินค้าเกรดนี้มีความหนืดและการบดบังพื้นผิวปานกลาง
เกรดประหยัด (Economy Grade) คุณภาพสินค้าเกรดนี้มีความหนืดและการบดบังพื้นผิวต่ำ

หลังจากเลือกพิจารณาศึกษาสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก ต้องเลือกเกรดของผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษา โดยพิจารณาจากจำนวนรอบการผลิตแต่ละเกรด ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1. 4 แนวโน้มจำนวนรอบการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก แบ่งเกรดตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.4 แสดงแนวโน้มจำนวนรอบการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกแต่ละเกรดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดมีปริมาณการผลิตสูงที่สุดมากกว่าเกรดอื่น ๆ จึงตัดสินใจเลือกศึกษาการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

เมื่อพิจารณาจำนวนรอบการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกแต่ละเกรด พบว่า สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกที่มีจำนวนรอบการผลิตโดยเฉลี่ย 13 รอบการผลิตต่อวัน ผลิตเกรดประหยัดสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตสูงสุดถึง 67% หรือเฉลี่ย 8 รอบการผลิตต่อวัน ดังนั้นงานวิจัยเลือกศึกษากระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเกรดประหยัดเพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตที่ยาวนาน

กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษา มีขั้นตอนดังนี้

กระบวนการผสมสี เป็นกระบวนการที่พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงและของเหลว ได้แก่ สารยึด สารเพิ่มเนื้อสี สารเติมแต่ง ตัวทำละลายบางส่วนลงในถังผสมสี ตามสูตรเพื่อการผลิตผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกสารหลังผสมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสีว่า สีเบสใส (Clear Base) เพื่อเข้าสู่กระบวนการแต่งเฉดสีต่อไป

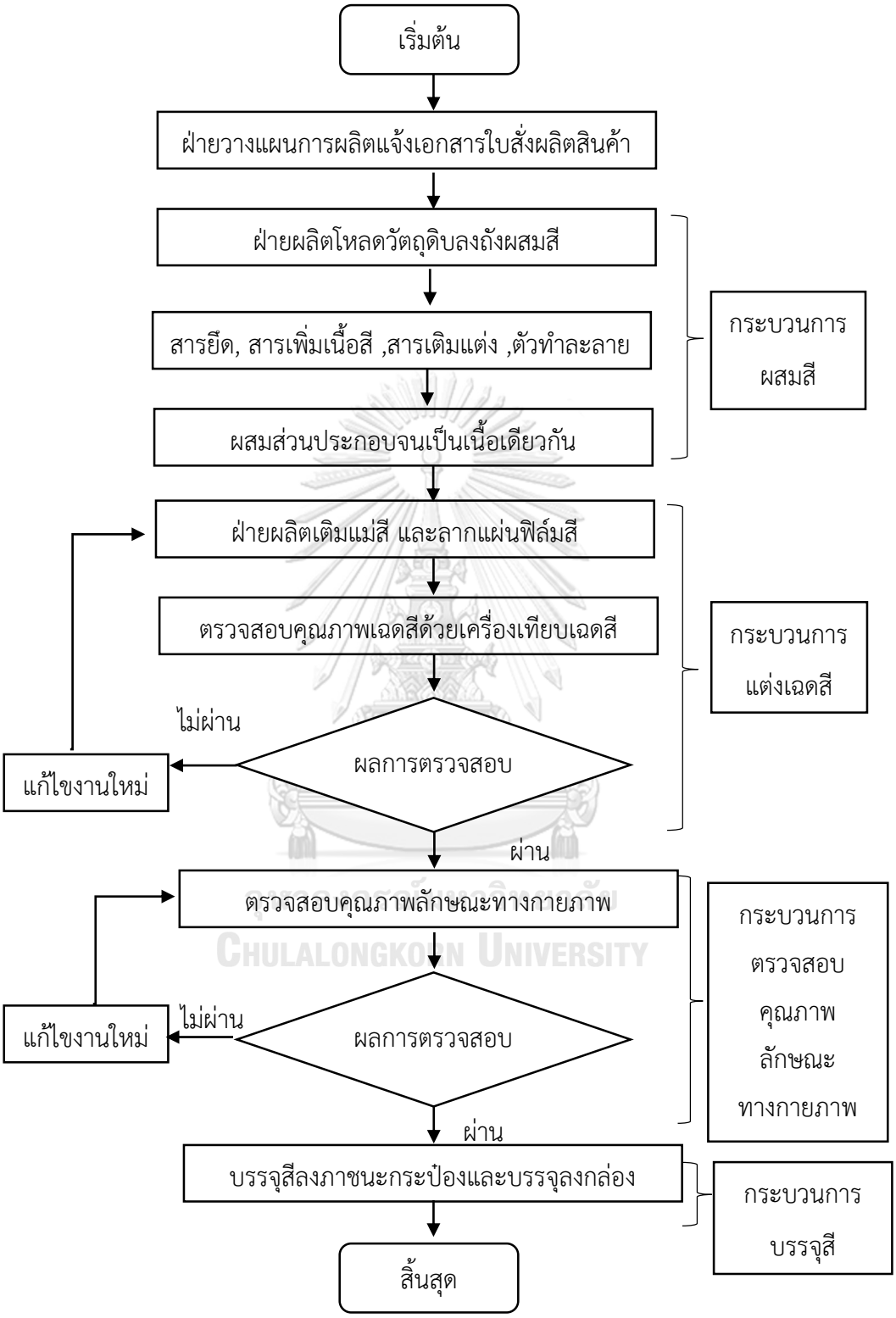
กระบวนการแต่งเฉดสี เป็นกระบวนการที่พนักงานฝ่ายผลิตเติมแม่สี นั่นคือ ผงสีที่ผสมกับสารยึดและตัวทำละลายทำให้เปียกและกระจายตัวได้ดีซึ่งผ่านกระบวนการบด (Grinding) จนแล้วทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงพร้อมใช้งาน โดยแม่สีจะมีลักษณะเป็นของเหลว (Pigment Paste) จะถูกเติมลงในถังผสมสีตามสูตรเพื่อการผลิต จากนั้นพนักงานฝ่ายผลิตลากฟิล์มสีส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณคุณภาพตรวจสอบคุณภาพเฉดสีเทียบกับเฉดสีมาตรฐานวัดค่าความแตกต่างสีด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน

กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ เป็นกระบวนการที่พนักงานฝ่ายผลิตตักน้ำสีตัวอย่างจากถังผสมสี ซึ่งผ่านกระบวนการแต่งเฉดสีแล้วส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพให้มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ทั้งหมด 8 หัวข้อการตรวจสอบคือ ลักษณะของฟิล์มสี (Film Appearance) ความหนืด (Viscosity) ความละเอียด (Fineness) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เวลาการแห้งตัว (Touch Dry) ความเงา (Gloss) ความทึบแสงหรือการบดบังพื้นผิว (Dry Hiding Power) ปริมาณสารที่ไม่ระเหย (Non – Volatile)

กระบวนการบรรจุสี เป็นกระบวนการที่พนักงานฝ่ายผลิตบรรจุน้ำสีที่มีคุณภาพตรงตามมาตรฐานที่กำหนดบรรจุลงในภาชนะกระป๋องและกล่องตามลำดับ ถือเป็นกระบวนการสิ้นสุดงานหลังจากนั้นส่งผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปไปยังฝ่ายคลังสินค้าจัดเก็บเพื่อรอจำหน่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษา ทั้งหมดประกอบด้วย 4 กระบวนการย่อย สามารถเขียนแผนภูมิการไหลของงาน (Flow Chart) ดังแสดงในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1. 5 แผนภูมิการไหลของงาน (Flow Chart) กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษา

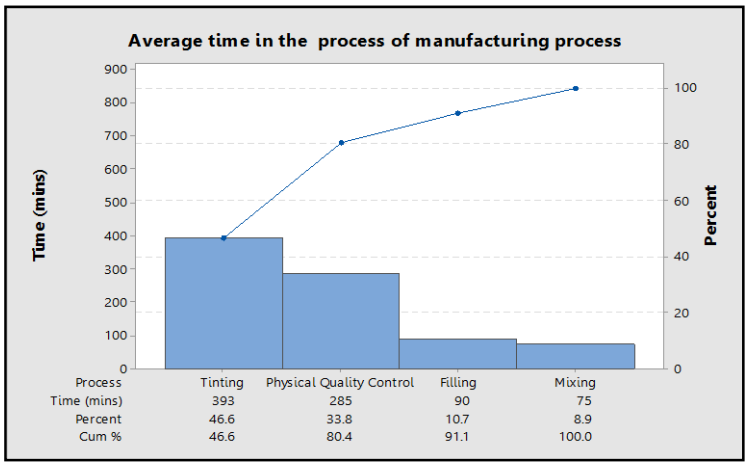
ผู้วิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด จากสภาพการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษาเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 ทุกรอบการผลิตจำนวน 1,194 รอบการผลิต ก่อนจะเริ่มปรับปรุงกระบวนการ คำจำกัดความ เวลาในกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเริ่มจับเวลาตั้งแต่พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบชนิดแรกลงในถังผสมสีจนกระทั่งบรรจุสินค้าลงภาชนะเสร็จเรียบร้อยเพื่อรอส่งไปจัดเก็บฝ่ายคลังสินค้าจะประกอบด้วยเวลาใน 4 กระบวนการ คือ กระบวนการผสมสี กระบวนการแต่งเฉดสี กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ และกระบวนการบรรจุสี แสดงในรูปที่ 1.6

รูปที่ 1. 6 องค์ประกอบเวลาในกระบวนการผลิตโรงงานกรณีศึกษา

ทำให้ผู้วิจัยสามารถสรุปเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 1.2 และเรียงลำดับเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละกระบวนการแสดงในรูปที่ 1.7

ตารางที่ 1. 2 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต

กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (นาที)	เวลาเฉลี่ย (%)
กระบวนการผสมสี	75	8.9
กระบวนการแต่งเฉดสี	393	46.6
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ	285	33.8
กระบวนการบรรจุสี	90	10.7
เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด	**843**	**100**



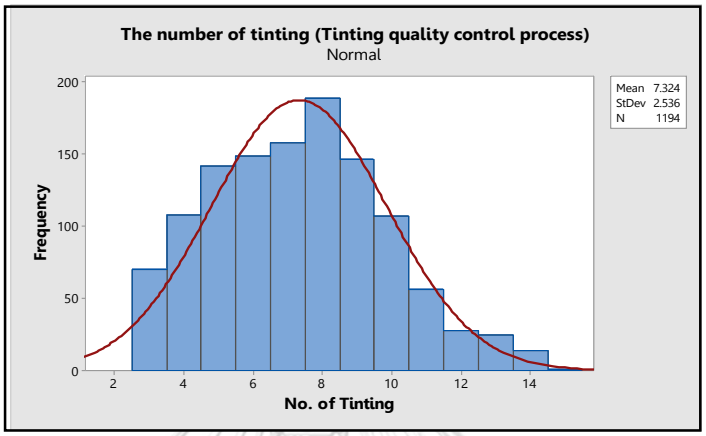
รูปที่ 1. 7 กราฟพาเรโตแสดงเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต

ตารางที่ 1.2 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต นำข้อมูลมาทำให้อยู่ในรูปกราฟพาเรโตเพื่อเรียงลำดับเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการ ตามรูปที่ 1.7 เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตเท่ากับ 843 นาทีหรือ 14 ชั่วโมง 3 นาทีต่อรอบการผลิต พบว่า 80 % ของเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตที่ยาวนานมาจาก 2 กระบวนการคือ กระบวนการแต่งเฉดสี และกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ ที่มีเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตเท่ากับ 383 นาทีหรือ 6 ชั่วโมง 23 นาทีต่อรอบการผลิต และ 265 นาทีหรือ 4 ชั่วโมง 25 นาทีต่อรอบการผลิต ตามลำดับ หรือคิดรวมกันเป็น 80.4 % ของเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิต งานวิจัยจึงจะศึกษาสภาพการทำงานกระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ เพื่อหาแนวทางลดเวลาในกระบวนการผลิต

กระบวนการแต่งเฉดสี

เวลาที่ใช้ในกระบวนการแต่งเฉดสีขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการแต่งเฉดสีให้ผ่านคุณภาพเทียบเท่าเฉดสีมาตรฐาน เกณฑ์การควบคุมคุณภาพกำหนดค่าความแตกต่างสีตัวอย่างเทียบกับสีมาตรฐาน (Color Difference: DE < 0.50) ที่วัดค่าได้จากเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน หนึ่งรอบของการแต่งเฉดสีเริ่มตั้งแต่เติมแม่สีจนกระทั่งส่งตรวจสอบคุณภาพเฉดสีเสร็จคือ พนักงานฝ่ายผลิตเติมแม่สีลงในถังผสมสี เปิดเครื่องปั่นสีจนเป็นเนื้อเดียวกันประมาณ 15 นาที จากนั้นลากฟิล์มสีด้วย Wire Bar Coater ขนาด 100 ไมโครเมตรลงบนกระดาษฟิล์มสีและอบแผ่นฟิล์มสีในตู้อบความร้อน 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ส่งแผ่นฟิล์มสีให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพ

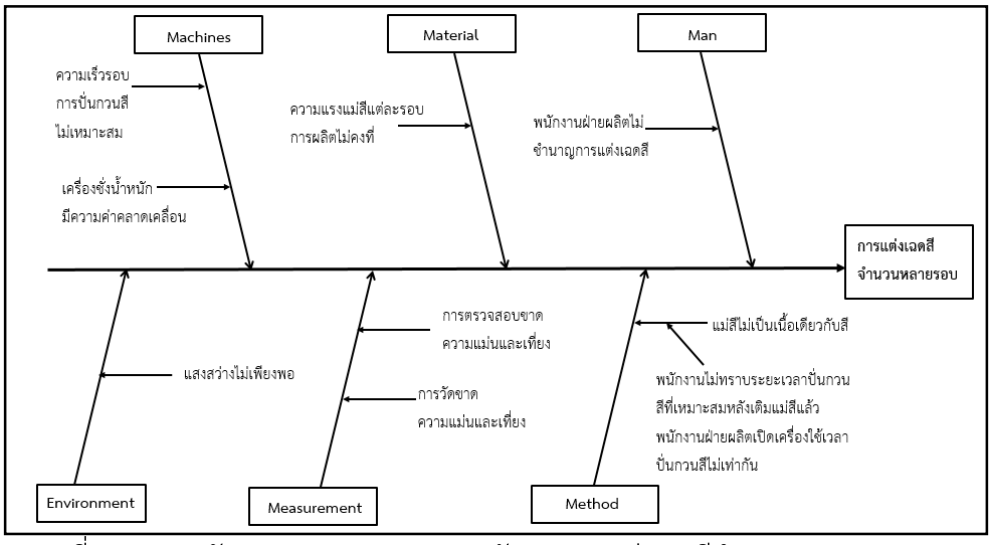
เฉดสี 5 นาที หากคุณภาพเฉดสีไม่ผ่านช่วงที่ยอมรับได้ต้องแก้ไขงานใหม่โดยกลับไปเติมแม่สีและผ่านวิธีการเดิมข้างต้น โดยมีเวลารวมเฉลี่ย 50 นาทีต่อหนึ่งรอบการแต่งเฉดสีและการตรวจสอบคุณภาพเฉดสี จากข้อมูลในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ย 7 รอบต่อรอบการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1.8



รูปที่ 1. 8 จำนวนรอบการแต่งเฉดสีสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

ปัญหาเรื่องเวลาที่ใช้ในกระบวนการแต่งเฉดสียาวนานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการแต่งเฉดสีนั้นจึงมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 1.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1. 9 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

รูปที่ 1.9 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ วิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 5M1E มีรายละเอียดดังนี้

พนักงาน (Man) ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี พนักงานฝ่ายผลิตอาศัยความชำนาญในการเลือกชนิดแม่สีและกำหนดปริมาณการเติมแม่สีแต่ละคนแตกต่างกัน ถ้าเป็นพนักงานใหม่จะสอบถามจากพนักงานที่มีความชำนาญ ทำให้เกิดการลองผิดลองถูก ส่งผลให้มีความแม่นยำต่ำและมีโอกาสที่ต้องแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ดังนั้นปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงานฝ่ายผลิตคาดว่ามีผลต่อปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

เครื่องจักร (Machine) ปัจจัยความคลาดเคลื่อนเครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งน้ำหนักแม่สีมีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1% เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ ปัจจัยความคลาดเคลื่อนเครื่องชั่งน้ำหนักคาดว่าไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างสีที่วัดได้ ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมแม่สีเครื่องจักรถูกกำหนดความเร็วตั้งแต่ติดตั้งในครั้งแรกที่ 600 รอบต่อนาทีทำให้ความเร็วรอบในการปั่นคงที่ไม่สามารถที่จะปรับเพิ่มลดความเร็วรอบได้ เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงขอกำหนดให้เป็นค่าคงที่และปรับปรุงปัจจัยอื่นภายในความเร็วรอบที่คงที่ 600 รอบต่อนาที

วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยความแรงแม่สี ผงสีจากแหล่งทางธรรมชาติมีความแรงของสีที่มีความผันแปรสูง ผ่านกระบวนการผลิตมาเป็นแม่สีที่มีลักษณะเป็นของเหลวสะดวกต่อการใช้งานแต่ละรอบการผลิตมีเกณฑ์การควบคุมคุณภาพความแรงแม่สีกำหนดช่วง 95 – 105 หน่วย ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เพราะการปรับปรุงคุณภาพความแรงแม่สีให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในปัจจุบันนั้นค่อนข้างยาก ทำให้มีความผันแปรความแรงแม่สีในแต่ละรอบการผลิตอยู่บ้าง หลังจากนั้นแม่สีแต่ละรอบการผลิตถูกจัดเก็บรวมกันผสมลงในถังกักเก็บขนาดใหญ่ความจุ 10,000 กิโลกรัมเพื่อสะดวกต่อการผลิต ทำให้แม่สีมีการผสมกันเป็นเนื้อเดียว ดังนั้นปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตคาดว่ามีผลค่าเฉดสีและต่อปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

วิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี หลังเติมแม่สีพนักงานฝ่ายผลิตใช้เวลาปั่นกวนสีไม่เท่ากัน บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 15 นาที บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มลดเวลาได้ครั้งละ 5 นาที แม่สีอาจยังไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสี เมื่อตรวจสอบคุณภาพเฉดสีของสีที่เข้ากันหรือไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวค่าความแตกต่างสีที่วัดได้อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีคาดว่ามีผลต่อค่าความแตกต่างสี ต้องทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลค่าความแตกต่างสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่ใช้ในการปั่นกวนสี

ระบบการวัด (Measurement) ปัจจัยความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานสำหรับวัดค่าความแตกต่างสี พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมีการสอบเทียบเครื่องมือทุก 4 ชั่วโมง มีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 และการสอบเทียบจากผู้ผลิตเครื่องมือทุก 3 เดือน เครื่องมือวัดจึงมีความน่าเชื่อถือ แต่การเตรียมแผ่นฟิล์มสีสำหรับวัดค่าความแตกต่างสีของพนักงานฝ่ายผลิตมีจำนวนหลายคนแต่ละคนลากฟิล์มสีแล้ววัดค่าความแตกต่างสีอาจได้ค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยระบบการวัดคาดว่ามีผลต่อค่าความแตกต่างสีที่วัดได้ ต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

สภาพแวดล้อม (Environment) ปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอ พนักงานฝ่ายผลิตจะเติมแม่สีปริมาณหนึ่งตามสูตรเพื่อการผลิตเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มของเฉดสีด้วยตาให้ใกล้เคียงกับเฉดสีมาตรฐานก่อนที่จะเริ่มส่งแผ่นฟิล์มสีสำหรับตรวจสอบคุณภาพเฉดสีด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน ในช่วงเวลากลางวันมีแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงพอทำให้พิจารณาเฉดสีได้ทันที แต่ในช่วงเวลากลางคืนสามารถพิจารณาเฉดสีภายใต้แสงสว่างที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง Daylight ที่ประดิษฐ์ขึ้นถูกต้องตามมาตรฐาน ดังนั้นปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอคาดว่าไม่มีผลต่อการดูเฉดสีด้วยตา เพื่อพิจารณาเลือกชนิดแม่สีสำหรับการแต่งเฉดสีต่อไป

สรุปการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ มีดังนี้

1. ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการนำเทคนิคการจับคู่สี (Color Matching) เป็นซอฟต์แวร์ติดตั้งอยู่ในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานใช้ในการแต่งเฉดสีผลิตภัณฑ์กลุ่มสีน้ำทาอาคาร เทคนิคการจับคู่สีนี้จะพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีที่กำลังแต่งเฉดสีทดลองผสมสีกันภายในซอฟต์แวร์ทำให้ทราบค่าความแตกต่างสีระหว่างเฉดสีตัวอย่างเทียบกับเฉดสีมาตรฐานที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าโดยมีพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ก่อนกำหนดชนิดและปริมาณแม่สีให้พนักงานฝ่ายผลิตเติมจริงในถังผสมสี ผู้วิจัยมีแนวทางจะนำเทคนิคการจับคู่สีมาประยุกต์ใช้ในการแต่งเฉดสีผลิตภัณฑ์กลุ่มสีน้ำมัน ลดปัญหาความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงานฝ่ายผลิตและลดจำนวนรอบวนซ้ำการแต่งเฉดสี

2. ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต ผู้วิจัยมีแนวทางที่ต้องสร้างข้อมูลพื้นฐาน (Data Base) ของแม่สีแต่ละชนิดเพื่อบันทึกลงในซอฟต์แวร์ก่อนเริ่มใช้เทคนิคการจับคู่สีได้ ความแรงแม่สีที่เลือกสร้างข้อมูลพื้นฐานส่งผลต่อขั้นตอนการจับคู่สี คือ การพยากรณ์ปริมาณแม่สีครั้งแรกจากข้อมูลพื้นฐานที่สร้างจากความแรงแม่สีต่ำเมื่อแต่งเฉดสีจริงแม่สีมีความแรงแม่สีสูงส่งผลให้แม่สีถูกใส่เกินความจำเป็น เฉดสีเข้มเกิน การแต่งเฉดสีต่อไปค่อนข้างยากอาจต้องมีการลดทอนความเข้มของเฉดสีด้วยแม่สีหรือวัตถุดิบอื่น แล้วจึงเริ่มแต่งเฉดสีใหม่ แต่ในทางกลับกันการพยากรณ์

ปริมาณแม่สีครั้งแรกจากข้อมูลพื้นฐาน ที่สร้างจากความแรงแม่สีสูงเมื่อแต่งเฉดสีจริงแม่สีมีความแรงแม่สีต่ำส่งผลให้แม่สีถูกใส่น้อยกว่าหรือเท่ากับความจำเป็น เฉดสีจะอ่อนไม่เข้มเกิน ทำให้มีแนวทางในการเพิ่มแม่สีและสามารถแต่งเฉดสีต่อไปได้ โดยการเพิ่มปริมาณแม่สีในการพยากรณ์ครั้งต่อ ๆ ไปจะง่ายกว่าการแก้ไขเฉดสีที่เข้มเกินไป ผู้วิจัยจึงเลือกความแรงแม่สีสูงคือ 105 หน่วยมาใช้สร้างข้อมูลพื้นฐานเพื่อรองรับความผันแปรของความแรงแม่สีนี้

3. ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี ทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลต่อค่าความแตกต่างสีที่วัดได้หรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่เหมาะสมในการปั่นกวนสี

ข้อมูลพื้นฐานที่สร้างขึ้นอาศัยหลักการสะท้อนแสงเฉพาะตัวของแม่สีที่สะท้อนออกในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่ย่านวัด 380 – 700 นาโนเมตร สัดส่วนปริมาณแม่สีจากต่ำไปสูงทำให้ได้กราฟการสะท้อนแสง (Reflectance curve) ที่ครอบคลุมทุกช่วงกราฟการสะท้อนแสงที่ใช้ในการแต่งเฉดสี กำหนดค่าความแตกต่างสีรวมของแม่สีทุกสัดส่วน DE < 2.00 แนวทางการทำข้อมูลพื้นฐานดังนี้คือ
1. แม่สีที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา มีจำนวน 15 รายการสำหรับการแต่งเฉดสีสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อกเกรดประหยัด ดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1. 3 รายการแม่สีที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา

แม่สี	จำนวนรายการ	ชื่อแม่สี
ขาว (White)	1	HC00
น้ำเงิน (Blue)	1	HC30
เขียว (Green)	1	HC40
เหลือง (Yellow)	4	HC50, HC58, HC59
แดง (Red)	5	HC70, HC71, HC74, HC75, HC78, HC761
ส้ม (Orange)	1	HC62
ดำ (Black)	2	HC80, HC81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. สูตรเพื่อการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดโดยปกติ ดังแสดงในตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1. 4 องค์ประกอบของสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

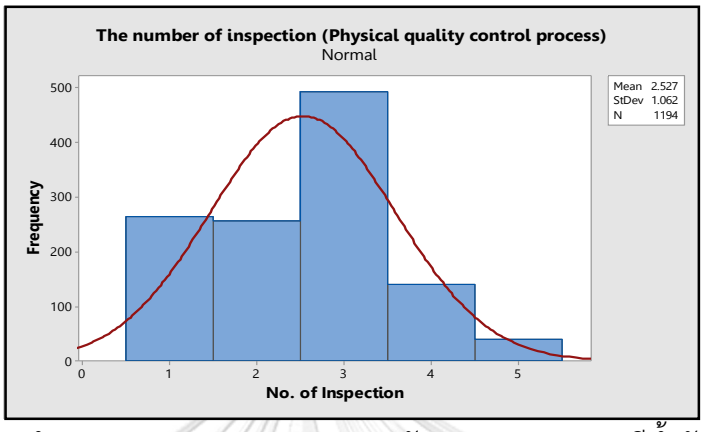
วัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์ปริมาณวัตถุดิบ
สารเพิ่มเนื้อ (Extender)	19
สารยึด (Binder)	70
สารเติมแต่ง (Additive)	1
ตัวทำละลาย (Solvent)	4
แม่สี (Pigment Paste)	6
รวมทั้งสูตรเพื่อการผลิต	100

ตารางที่ 1.4 พบว่า เปอร์เซ็นต์ปริมาณแม่สีอยู่ในช่วง 0.5 - 6 % ของสูตรเพื่อการผลิต นอกจากนั้นจะเป็นองค์ประกอบของสีอื่น ๆ ได้แก่ สารเพิ่มเนื้อ สารยึด สารเติมแต่ง ตัวทำละลาย องค์ประกอบของสีเหล่านี้รวมกันจะมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสีเรียกว่า เบสใส จากสูตรเพื่อการผลิตทำให้ได้ช่วงความเข้มข้นของแม่สี 0.5 -6 % ที่จะต้องผสมกับเบสใส เพื่อสร้างกราฟการสะท้อนแสง กำหนดค่าความแตกต่างสีรวมของทุกอัตราส่วนในการผสมแม่สีแต่ละชนิด DE < 2.00 ซึ่งค่า DE รวมของแม่สีในการจัดทำข้อมูลพื้นฐานโรงงานกรณีศึกษาจะกำหนดช่วงการยอมรับสูงกว่า DE ของการควบคุมคุณภาพเฉดสีของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่กำหนด DE < 0.50 เนื่องจากถ้า DE ของผลิตภัณฑ์ยิ่งต่ำแสดงว่าเฉดสีผลิตภัณฑ์ต่างจากเฉดสีมาตรฐานน้อย แต่ถ้า DE ของข้อมูลพื้นฐานแม่สีจะอนุโลมให้สูงได้เพราะเป็นการผสมจากแม่สีชนิดเดียวกันที่ปริมาณต่าง ๆ ดังนั้นค่าเฉดสีที่ได้ในแต่ละแนวแกน L, a, b จึงมีช่วงกว้างค่า DE จึงสูงได้ ดำเนินการสร้างข้อมูลพื้นฐานจนครบทั้ง 15 รายการแม่สีที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา ทดลองใช้ซอฟต์แวร์ระดับปฏิบัติการและทดลองใช้จริงในกระบวนการแต่งเฉดสี

กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ

เวลาที่ใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการตรวจสอบให้ผ่านคุณภาพทุกหัวข้ออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เวลาเฉลี่ย 40 นาทีต่อหนึ่งรอบการตรวจสอบ ถ้าคุณภาพไม่ผ่านตามมาตรฐานต้องแก้ไขงานใหม่ด้วยการเติมวัตถุดิบ ปั่นกวนสีและส่งตรวจสอบคุณภาพใหม่ เวลาเฉลี่ย 35 นาทีต่อหนึ่งครั้งการแก้ไขงานใหม่ โดยมีเวลารวมเฉลี่ย 75 นาที

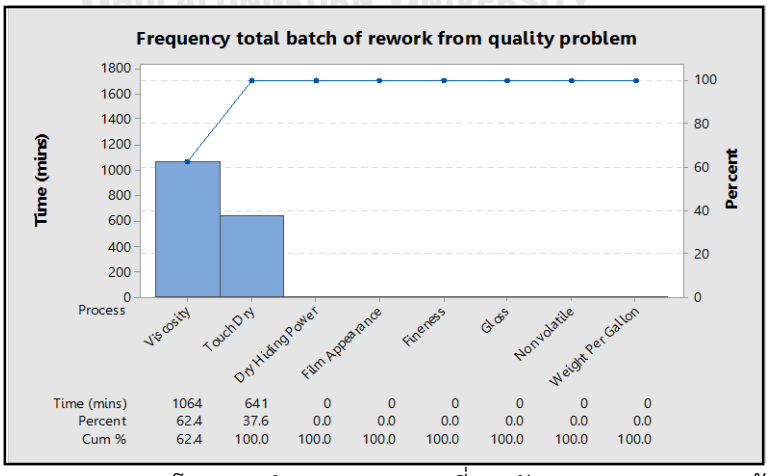
ต่อหนึ่งรอบแก้ไขงานใหม่และการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า มีจำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเฉลี่ย 3 รอบต่อรอบการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 1.10



รูปที่ 1. 10 จำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

ผู้วิจัยได้ศึกษาความถี่ของปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่ ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ ปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพมีทั้งหมด 8 หัวข้อคือ ลักษณะของฟิล์มสี ความหนืด ความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ เวลาการแห้งตัว ความเงา การบดบังพื้นผิว และปริมาณสารที่ไม่ระเหย จากข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 จำนวนรอบการผลิต 2,131 รอบที่มีปัญหาคุณภาพในด้านต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 1.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1. 11 กราฟพาเรโตแสดงจำนวนรอบความถี่ของปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่ ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ

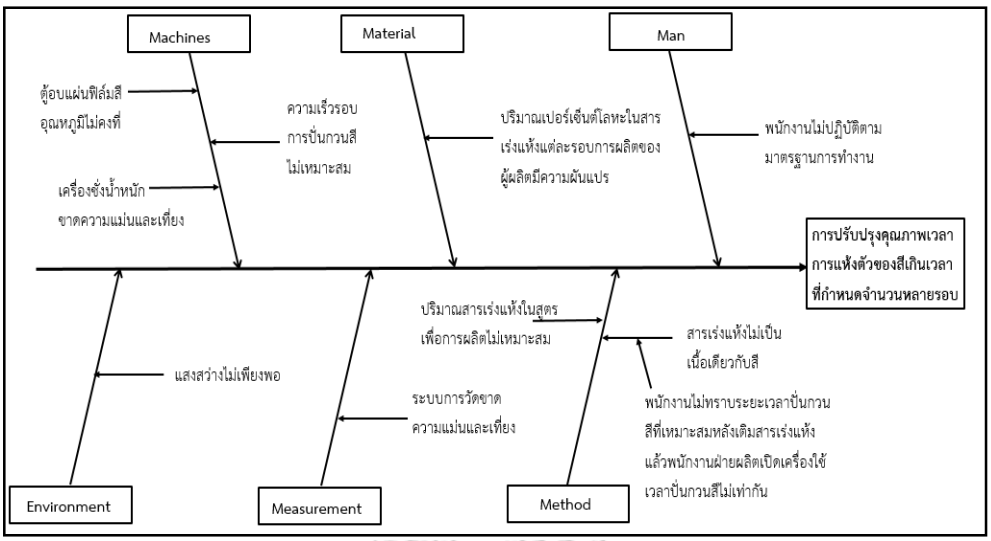
รูปที่ 1.11 กราฟพาเรโต พบว่า 100 % ของจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาด้านคุณภาพทั้งหมด 8 หัวข้อการตรวจสอบ เกิดจากปัญหา 2 เรื่องคือ ความหนืดและเวลาการแห้งตัวของสี อันดับหนึ่งเป็นปัญหาความหนืดสูงกว่าช่วงที่ยอมรับได้มีสัดส่วนปัญหาเฉลี่ย 62.4 % อันดับสองเป็นปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมีสัดส่วนปัญหาเฉลี่ย 37.6% สำหรับปัญหาคุณภาพด้านอื่น ได้แก่ ลักษณะของฟิล์มสีและความละเอียดควบคุมคุณภาพและตรวจสอบตั้งแต่ขั้นตอนที่เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปทำให้ไม่พบปัญหาเมื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การบดบังพื้นผิว ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณสารที่ไม่ระเหยตรวจสอบเพื่อบันทึกจัดเก็บข้อมูลไว้เท่านั้นไม่มีการเติมวัตถุดิบเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ความเงาจะกำหนดช่วงยอมรับที่มากกว่า 70 หน่วยใน 100 หน่วยซึ่งสูตรเพื่อการผลิตมีแอลคีดเรซินเป็นองค์ประกอบที่มีความเงาสูงอยู่แล้ว ดังนั้นจะไม่พบปัญหาความเงาต่ำกว่าช่วงที่ยอมรับได้ สำหรับความหนืดและเวลาการแห้งตัวเกินช่วงที่ยอมรับเป็นสองหัวข้อที่มีนัยสำคัญที่ลูกค้าสามารถตรวจจับได้ในขณะการใช้งานผลิตภัณฑ์ ประกอบกับทั้งสองหัวข้อนี้มีวัตถุดิบสำหรับการปรับปรุงคุณภาพจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

จึงตัดสินใจพิจารณาเลือกศึกษาแนวทางลดจำนวนรอบในการแก้ไขงานใหม่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดและปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้

ปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

ปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเร่งแห้งที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษามี 3 ชนิดคือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียมในสูตรเพื่อการผลิต ปัจจุบันจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพมีตั้งแต่ 1 รอบจนถึง 4 รอบจึงทำให้เวลาการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด ซึ่งหากพบสีไม่แห้งต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้งโดยการปรับปรุงคุณภาพ 1 รอบถือว่ามีความจำเป็นที่ต้องทำแต่จำนวนรอบที่เกินจากนั้นคือสิ่งไม่จำเป็น จากปัญหาเรื่องเวลาที่ใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพยาวนานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดนั้นจึงมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 1.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1. 12 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

รูปที่ 1.12 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ วิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 5M1E มีรายละเอียดดังนี้

พนักงาน (Man) ปัจจัยพนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทำงาน พนักงานฝ่ายผลิตชั่งน้ำหนักสารเร่งแห้งตามปริมาณที่กำหนดแต่เทสารเร่งแห้งลงถังผสมสีไม่หมดเหลือค้างในภาชนะทำให้ปริมาณสารเร่งแห้งไม่ครบตามปริมาณที่กำหนดส่งผลทำให้เวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดอยู่ ดังนั้นปัจจัยพนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทำงานคาดว่ามีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี ต้องสื่อสารให้เห็นถึงความสำคัญปริมาณสารเร่งแห้งส่งผลกระทบต่อการปรับปรุงคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องจักร (Machine) ปัจจัยอุณหภูมิของตู้อบฟิล์มสีไม่คงที่ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพและปัจจัยเครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งน้ำหนักสารเร่งแห้งนั้น มีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1% เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นปัจจัยอุณหภูมิของตู้อบฟิล์มสีและปัจจัยเครื่องชั่งน้ำหนักคาดว่าไม่มีผลต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมสารเร่งแห้งเครื่องจักรถูกกำหนดความเร็วตั้งแต่ติดตั้งในครั้งแรกที่ 600 รอบต่อนาทีทำให้ความเร็วรอบในการปั่นคงที่ไม่สามารถที่จะปรับเพิ่มลดความเร็วรอบได้ เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงขอกำหนดให้เป็นค่าคงที่และปรับปรุงปัจจัยอื่นภายในความเร็วรอบที่คงที่ 600 รอบต่อนาที

วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต โรงงานกรณีศึกษากำหนดสารเร่งแห้งมีเปอร์เซ็นต์โลหะโคบอลต์อยู่ 10% เปอร์เซ็นต์โลหะ

เซอร์โคเนียมอยู่ 12% และเปอร์เซ็นต์โลหะแคลเซียมอยู่ 10% ในสารละลาย โดยเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งมีผลต่อปฏิกิริยาการเร่งแห้งในสี ต้องเก็บข้อมูลวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการพิจารณาความผันแปรของเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดภายใต้เกณฑ์การควบคุมคุณภาพ ดังนั้นความผันแปรคุณภาพสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตคาดว่าอาจมีผลต่อการแห้งตัวของสี ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรเพื่อการผลิตไม่เหมาะสม สารเร่งแห้งแต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน โคบอลต์เร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งที่ผิวของฟิล์มสี เซอร์โคเนียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งทั่วฟิล์มสี แคลเซียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งตัวชั้นในสุดของฟิล์มสี ปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรแต่ละชนิดที่แตกต่างกันส่งผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีที่อยู่ในเวลาที่กำหนดหรือเกินเวลาที่กำหนด และเมื่อพบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีที่เกินเวลาที่กำหนดฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์กำหนดปริมาณสารเร่งแห้งให้กับพนักงานฝ่ายผลิตเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบหลังจากผสมวัตถุดิบทุกชนิดตามสูตรเพื่อการผลิตแล้วคือ เติมสารเร่งแห้งรอบละ 10% ของน้ำหนักสารเร่งแห้งแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ในสูตรเพื่อการผลิตที่มีน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตไม่เท่ากัน และเติมได้สูงสุดจำนวน 5 รอบต่อรอบการผลิตเท่านั้น นั่นคือ สามารถเติมสารเร่งแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพรวมทุกรอบไม่เกิน 50% ของน้ำหนักสารเร่งแห้งทั้งหมดแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ในสูตรเพื่อการผลิตตามน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต หากต้องเติมสารเร่งแห้งมากกว่านั้นต้องขออนุมัติจากฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรเพื่อการผลิตไม่เหมาะสมคาดว่ามีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี

วิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี หลังเติมสารเร่งแห้งพนักงานฝ่ายผลิตใช้เวลาปั่นกวนสีไม่เท่ากัน บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 15 นาที บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มลดเวลาได้ครั้งละ 5 นาที ส่งผลทำให้สารเร่งแห้งยังไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสี เมื่อตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสีที่เข้ากันหรือไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวผลการตรวจสอบที่ได้อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีคาดว่ามีผลต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี ต้องทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่ควรใช้ในการปั่นกวนสี

ระบบการวัด (Measurement) ปัจจัยความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด วิธีการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสีไม่มีเครื่องมือที่สามารถระบุเวลาในหน่วยของนาทีได้ โรงงานกรณีศึกษากำหนดวิธีการตรวจสอบคือ ลากฟิล์มสีด้วย Wire Bar Coater ขนาด 50 ไมครอน 1 เที่ยว อบฟิล์มสีในตู้อบความร้อน 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ทดสอบโดยใช้นิ้วสัมผัสแผ่นฟิล์มสีแล้วระบุผลการตรวจสอบ “ผ่าน” หรือ “ไม่ผ่าน” ดังนั้นปัจจัยความถูกต้องของวิธีการวัดคาดว่ามีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี ต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

สภาพแวดล้อม (Environment) ปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอ วิธีการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสีจะใช้นิ้วสัมผัสแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการอบ หากมีสีติดที่นิ้วมือหรือแผ่นฟิล์มสีมีรอยนิ้วมือจะระบุผลการตรวจสอบ “ไม่ผ่าน” ต้องปรับปรุงคุณภาพ แสงสว่างเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการพิจาณาผลการตรวจสอบคุณภาพ ฝ่ายความปลอดภัยและชีวอนามัยโรงงานกรณีศึกษามีการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างภายในห้องปฏิบัติการฝ่ายควบคุมคุณภาพทุก 3 เดือนและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอคาดว่าไม่มีผลต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี

สรุปการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบมีดังนี้

1. ปัจจัยสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต สารเร่งแห้งแต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน โคบอลต์เร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งที่ผิวของฟิล์มสี เซอร์โครเนียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งทั่วฟิล์มสี แคลเซียมทำงานรวมกับโคบอลต์เร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งตัวชั้นในสุดของฟิล์มสี และปัจจัยสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบไม่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยเลือกการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ในการหาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิต โดยกำหนดปัจจัยนำเข้า คือ ปริมาณสารเร่งแห้ง 3 ชนิดคือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียม และมีตัวแปรตอบสนองคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด และต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้ง ทำให้ลดจำนวนรอบการแก้ไขงานและจำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพได้

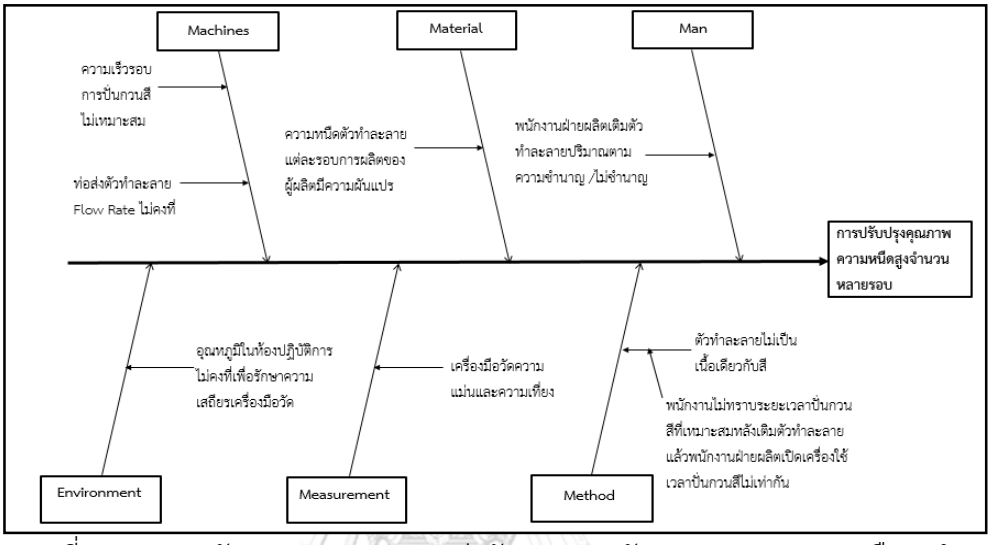
2. ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตโรงงานกรณีศึกษากำหนดสารเร่งแห้งโคบอลต์มีเปอร์เซ็นต์โลหะโคบอลต์อยู่ 10% ในสารละลาย สารเร่งแห้งเซอร์โคเนียมมีเปอร์เซ็นต์โลหะเซอร์โคเนียมอยู่ 12% ในสารละลาย และสารเร่งแห้งแคลเซียมมีเปอร์เซ็นต์โลหะแคลเซียมอยู่ 10% ในสารละลาย เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งเป็นตัวแปรหนึ่งในการคำนวณเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิต ต้องเก็บข้อมูลวิเคราะห์ความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตเทียบกับเปอร์เซ็นต์โลหะที่กำหนด

3. ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี ทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่เหมาะสมในการปั่นกวนสี

ปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้

ปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้ ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมตัวทำละลายประเภทสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรายการเดียวในสูตรเพื่อการผลิต ปัจจุบันจำนวนรอบการปรับปรุง

คุณภาพมีตั้งแต่ 1 รอบจนถึง 4 รอบจึงทำให้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากปัญหาเรื่องเวลาที่ใช้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพยาวนานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงนั้นจึงมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดปัญหา ดังแสดงในรูปที่ 1.13



รูปที่ 1. 13 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.13 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ วิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 5M1E มีรายละเอียดดังนี้

พนักงาน (Man) ปัจจัยปริมาณตัวทำละลาย พนักงานฝ่ายผลิตอาศัยความชำนาญในการกำหนดปริมาณการเติมตัวทำละลายปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง โดยพิจารณาจากน้ำหนักของสีที่ผลิตและจำนวนหน่วยความหนืดที่เกินจากช่วงที่ยอมรับโดยมีพฤติกรรมการเติมแบบปริมาณทั่ว ๆ ไป (Common Quantity) ถ้าเป็นพนักงานใหม่จะสอบถามจากพนักงานที่มีความชำนาญ ทำให้มีความแม่นยำต่ำและมีโอกาสที่ต้องปรับปรุงคุณภาพหลายรอบ เช่น น้ำหนักการผลิต 5,000 กิโลกรัม จำนวนหน่วยที่เกินค่าสูงสุดช่วงความหนืดที่ยอมรับ 3 หน่วย ปริมาณทั่ว ๆ ไปที่จะเติมในครั้งแรกคือ 40 กิโลกรัม หลังจากนั้นส่งตรวจสอบคุณภาพแล้วพบว่าค่าความหนืดเกินช่วงที่ยอมรับอยู่จะกำหนดปริมาณตัวทำละลายที่จะเติมในครั้งต่อไปจากข้อมูลการปรับปรุงคุณภาพในครั้งก่อนหน้า ในอดีตได้มีการเก็บข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่เติมและสามารถปรับค่าความหนืดให้ได้อยู่ในช่วงยอมรับได้ภายใน 1 รอบ ผู้วิจัยจึงมีแนวทางที่จะนำข้อมูลนี้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวทำละลายที่ต้องใช้ในการปรับค่าความหนืดตามปริมาณค่าความหนืดที่เกินค่าที่ยอมรับและให้สอดคล้องกับ

น้ำหนักการผลิต โดยปรับได้สำเร็จภายใน 1 รอบ หลังจากได้สมการความสัมพันธ์จะใช้สมการนี้ในการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ต้องเติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงในอนาคต

เครื่องจักร (Machine) ปัจจัยท่อส่งตัวทำละลาย พนักงานฝ่ายผลิตสั่งเติมตัวทำละลายตามปริมาณที่ต้องการผ่านระบบ Flow Meter จากนั้นตัวทำละลายจะขนส่งผ่านระบบท่อ โดย Flow Rate มีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ยอมรับความคลาดเคลื่อนปริมาณตัวทำละลายที่สั่งเทียบกับปริมาณตัวทำละลายที่ออกจากท่อส่งจริงไม่เกิน ± 1% ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าปริมาณตัวทำละลายที่ออกมาจากท่อส่งใกล้เคียงกับปริมาณตัวทำละลายที่สั่งเติม ดังนั้นปัจจัย Flow Rate จากท่อส่งตัวทำละลายไม่มีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมตัวทำละลายเครื่องจักรถูกกำหนดความเร็วตั้งแต่ติดตั้งในครั้งแรกที่ 600 รอบต่อนาทีทำให้ความเร็วรอบในการปั่นคงที่ไม่สามารถที่จะปรับเพิ่มลดความเร็วรอบได้ เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงขอกำหนดให้เป็นค่าคงที่และปรับปรุงปัจจัยอื่นภายในความเร็วรอบที่คงที่ 600 รอบต่อนาที

วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยความหนืดตัวทำละลาย ตัวทำละลายมีความหนืดต่ำกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงของสีน้ำมันให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับ ลักษณะการผลิตสีน้ำมันของโรงงานกรณีศึกษาที่มีการผสมวัตถุดิบสารยึด สารเพิ่มเนื้อ สารเติมแต่ง แม่สีเสร็จตรวจสอบคุณภาพความหนืดพบปัญหาความหนืดสูงจึงเติมตัวทำละลายเป็นวัตถุดิบตัวสุดท้าย ตัวทำละลายเปรียบเสมือนสารที่รองรับความแปรผันความหนืดของวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิตและมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนปริมาณวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิต ความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตมีการควบคุมคุณภาพความหนืดแต่มีความผันแปรอยู่บ้าง ดังนั้นปัจจัยความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตคาดว่าอาจมีผลน้อยต่อค่าความหนืดสีของสารหลังผสม หากมีผลกระทบน้อยก็สามารถใช้สมการการถดถอย (Regression) ที่ได้ในการพยากรณ์ได้มีความแม่นยำขึ้น

วิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี หลังเติมตัวทำละลายพนักงานฝ่ายผลิตใช้เวลาปั่นกวนสีไม่เท่ากัน บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 15 นาที บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มลดเวลาได้ครั้งละ 5 นาที ส่งผลทำให้ตัวทำละลายยังไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสี เมื่อตรวจสอบค่าความหนืดของสีที่เข้ากันหรือไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันค่าที่วัดได้อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีคาดว่ามีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ ต้องทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลค่าความหนืดหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่ควรใช้ในการปั่นกวนสี

ระบบการวัด (Measurement) ปัจจัยความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เครื่องวิสโคมิเตอร์สำหรับวัดค่าความหนืด พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมีการสอบเทียบทุก 8 ชั่วโมง การสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO

9001 เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ แต่การปรับอุณหภูมิสีตัวอย่างให้มีอุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ตามวิธีการตรวจสอบสำหรับวัดค่าความหนืด พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมีจำนวนหลายคนแต่ละคนปรับอุณหภูมิและวัดค่าความหนืดอาจได้ค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยระบบการวัดคาดว่ามีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ ต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

สภาพแวดล้อม (Environment) ปัจจัยอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการฝ่ายควบคุมคุณภาพควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตลอดเวลาเพื่อควบคุมสภาวะเครื่องมือวัดให้คงที่ ควบคุมไม่ให้ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความหนืดสีตัวอย่าง ดังนั้นปัจจัยอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการคาดว่าไม่มีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้

สรุปการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ มีดังนี้

1. ปัจจัยปริมาณตัวทำละลาย ความไม่ชำนาญของพนักงานฝ่ายผลิตในการกำหนดปริมาณการเติมตัวทำละลายแต่ละรอบในการปรับปรุงคุณภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ งานวิจัยจะนำข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ i; i = 1, 2, 3 แล้วทำให้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้จากอดีตที่ผ่านมาและใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อสร้างสมการสำหรับใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อต้องปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ j; j = 1, 2, 3 แล้วทำให้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้รองรับความผันแปรค่าความหนืดของวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิต เป็นแนวทางให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพสามารถระบุปริมาณตัวทำละลาย เพื่อส่งให้พนักงานฝ่ายผลิตเติมมีความแม่นยำมากขึ้น ทำให้ลดจำนวนรอบการแก้ไขงานใหม่ กำหนดตัวแปรอิสระ คือ น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบและจำนวนหน่วยความหนืดที่เปลี่ยนแปลง กำหนดตัวแปรตาม คือ ปริมาณตัวทำละลาย

2. ปัจจัยความหนืดตัวทำละลาย วิเคราะห์ความผันแปรความหนืดตัวละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตส่งผลต่อความหนืดของสารหลังผสมหรือไม่

3. ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี ทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้หรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่เหมาะสมในการปั่นกวนสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

ปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษา

1.4 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

ศึกษากระบวนการ วิธีการและขั้นตอนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษาสองกระบวนการ คือ กระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

1.2 ศึกษากระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษาและทำแผนผังการไหลในกระบวนการ (Flow Process Chart)

1.3 ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่ส่งผลต่อเวลาในกระบวนการผลิตที่ยาวนาน เก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาจากกระบวนการผลิตได้แก่ จำนวนรอบการแต่งเฉดสี จำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดและความหนืดสูง

1.4 จัดตั้งคณะทีมงานปรับปรุงโครงการและทำสัญญาโครงการดำเนินงานวิจัย (Project Charter) เพื่อกำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย ตัวชี้วัด และเวลาดำเนินงานวิจัย

2) ระยะการวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

2.1 วิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Measurement System Analysis) ได้แก่ ค่าความแตกต่างสี เวลาการแห้งตัวของสี ค่าความหนืดของสี เนื่องจากพนักงานมีผู้วัดจำนวนหลายคน

2.2 ระดมสมอง (Brainstorm) หาสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาการแต่งเฉดสี การปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีและความหนืดสูงที่ส่งให้ผลให้เวลาในกระบวนการผลิตยาวนาน โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) และคัดกรองปัจจัยที่จะศึกษา

3) ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบ ดังนี้

3.1 ปัญหาการแต่งเฉดสี ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีต่างกันมีผลต่อค่าความแตกต่างสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ

3.2 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสี ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีต่างกันมีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ

3.3 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง ปัจจัยความหนืดตัวละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีต่างกันมีผลต่อค่าความหนืดหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ

4) ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve Phase)

การปรับปรุงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบ ดังนี้

4.1 ปัญหาการแต่งเฉดสี ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีและปัจจัยความแรงแม่สี สร้างข้อมูลพื้นฐานของแม่สีสำหรับเทคนิคการจับคู่สีและทำการทดลองโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานแม่สีพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีที่ใช้ในการแต่งเฉดสีตัวอย่างให้เทียบเท่าเฉดสีมาตรฐาน

4.2 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสี ปัจจัยสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสม การออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์นัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าและหาสภาวะสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิต โดยกำหนดปัจจัยนำเข้า คือ ปริมาณสารเร่งแห้ง 3 ชนิด คือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียม และมีตัวแปรตอบสนองคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด และต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้งแล้วนำสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งกับสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมาหาค่าที่เหมาะสมของสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่ต้องปรับปรุงคุณภาพสำหรับสีที่มีเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

4.3 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง ปัจจัยปริมาณตัวทำละลายจากความไม่ชำนาญของพนักงาน นำข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงจากอดีตที่ผ่านมาวิเคราะห์และสร้างสมการการถดถอยสำหรับใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ แล้วนำสมการการถดถอยที่ได้มาพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายทำให้ได้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

5) ระยะการตรวจติดตามควบคุม (Control Phase)

5.1 กำหนดขนาดตัวอย่าง เวลาการเก็บข้อมูลทำการทดลองเพื่อทดสอบยืนยันผลการปรับปรุงตามแนวทางที่สรุปได้ในระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

5.2 จัดทำแผนควบคุมเพื่อเป็นคู่มือกำหนดขั้นตอนวิธีการทำงานและรักษาสภาพหลังการปรับปรุงด้วยแผนภูมิควบคุม P

5.3 สรุปผลการปรับปรุง

6) สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

7) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลพื้นฐานสำหรับเทคนิคการจับคู่สีที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีให้เฉดสีตัวอย่างใกล้เคียงกับเฉดสีมาตรฐาน

2. สมการการถดถอย แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนน้ำหนักที่ผลิตแต่ละรุ่น จำนวนหน่วยที่เกินค่าสูงสุดช่วงความหนืดที่ยอมรับ และปริมาณตัวทำละลาย

3. สภาวะที่เหมาะสมของปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพสำหรับสีที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด และมีต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งต่ำที่สุด

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

2. สามารถเป็นแนวทางการลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดปานกลางและสูงซึ่งมีกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.8 เวลาการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	เวลาการดำเนินงานวิจัย																
	ส.ค. 2560	ก.ย. 2560	ต.ค. 2560	พ.ค. 2560	ธ.ค. 2560	ม.ค. 2561	ก.พ. 2561	มี.ค. 2561	เม.ย. 2561	พ.ค. 2561	มิ.ย. 2561	ก.ค. 2561	ส.ค. 2561	ก.ย. 2561	ต.ค. 2561	พ.ค. 2561	ธ.ค. 2561
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																	
การเลือกหัวข้อวิจัย																	
การนิยามปัญหา																	
การวัดสภาพปัญหา																	
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา																	
การปรับปรุงแก้ไขปัญหา																	
การตรวจติดตามควบคุม																	
สรุปผลการวิจัย																	
จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																	

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 สีน้ำมันหรือสีเคลือบแอลคีด (Enamel Paint or Alkyd Resin Paint)

สี (Paint) ตามความหมายอรอุษา สรวารี (2544) [1] หมายถึง สารที่มีส่วนผสมของผงสี (Pigment) สารยึด (Binder) ตัวผสมเพิ่มหรือสารเพิ่มเนื้อ (Extender) ตัวทำละลาย (Solvent) และสารเติมแต่ง (Additive) มีวัตถุประสงค์ของการเคลือบผิวอยู่ 2 ประการคือ เพื่อปกป้องวัสดุพื้นผิวให้ทนทานต่ออากาศ น้ำ สารเคมี และเพื่อตกแต่งให้แลดูสวยงาม อาจมาจากสี ความเงา และลวดลาย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเคลือบแอลคีด มาตรฐานเลขที่ มอก. 2625 – 2557 [2] นิยามความหมายของคำ “สีเคลือบแอลคีด” หมายถึง สีที่มีส่วนผสมของผงสี สารยึดแอลคีดเรซินและสารเร่งแห้ง องค์ประกอบสีทับหน้าแอลคีดเรซินมีดังนี้

ผงสี (Pigment) เป็นสารที่ทำให้เกิดสีและเกิดความสามารถในการบดบังพื้นผิว ป้องกันแสงไม่ให้ทะลุฟิล์มไปยังผิวหน้าชั้นเดิม กล่าวคือ ผงสีนั้นเป็นตัวดูดกลืนแสง และกระจายแสงออกมาเอง ความสามารถในการปิดบังผิวหน้าของผงสีขึ้นกับความยาวคลื่น ปริมาณของแสงที่ผงสีดูดกลืน

สารยึด (Binder) เป็นสารทำหน้าที่ยึดประสานอนุภาคในสีเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้เกิดฟิล์มของสีติดแน่นกับพื้นผิวที่ถูกเคลือบ สารยึดนิยมใช้เป็นพวกเรซินสังเคราะห์คือ แอลคีดเรซิน เป็นโพลิเอสเตอร์เรซินที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชันระหว่างโพลิไฮดริกแอลกอฮอล์คือ กลีเซอรอลกับกรดไดหรือโพลิเบสิกคือ ฟทาลิกแอนไฮไดร์

สารเพิ่มเนื้อ (Extender) เป็นผงสีขาวอนินทรีย์ชนิดเอกซ์เทนเดอร์ มีความสามารถในการปิดบังผิวหน้าน้อยกว่าผงสีขาวชนิดปิดบัง โดยทั่วไปผงสีขาวอนินทรีย์ชนิดเอกซ์เทนเดอร์จะมีสีขาวหรือเทาอ่อน เติมเพื่อเพิ่มเนื้อสีและลดต้นทุน

ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นของเหลวที่ระเหยได้ ทำหน้าที่ละลายสารและช่วยปรับความข้นหนืดของสีสะดวกต่อการผลิตหรือการใช้งาน โดยทั่วไปใช้ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน เช่น ไวท์สปิริต

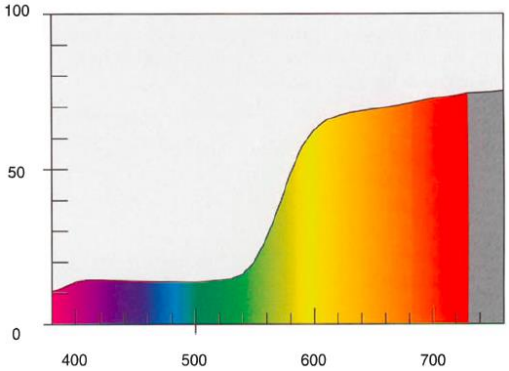
สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารที่เติมลงไปเพื่อให้สีมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น สารต้านการเกิดสกิน (Anti-Skinning) สารช่วยการกระจายตัว (Dispersing Agent) สารเร่งแห้ง (Drier) เป็นต้น

2.1.2 ระบบการวัดสีแบบ CIE L*a*b

สเปกตรัมของสี เมื่อแหล่งกำเนิดแสงส่องแสงมายังพื้นผิววัตถุมีสีจะเกิดการกระเจิงของแสงตกกระทบพื้นผิววัตถุมีสีเกิดเป็นสเปกตรัมของแสง ม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง สัดส่วนการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สะท้อนของแสงเรียกว่า การสะท้อนแสงพื้นผิว (Reflectance) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 หาได้จากเครื่องมือทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) โดยแสงแต่ละสีจะมีลักษณะการสะท้อนแสงเฉพาะตัว สเปกตรัมของสีที่มนุษย์มองเห็นได้ (Visible Light) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400–700 นาโนเมตร หน่วยของความยาวคลื่นหรือคลื่นความถี่ที่นิยมใช้กันคือ นาโนเมตร (Nanometer)



รูปที่ 2. 1 แสงที่มนุษย์มองเห็นได้อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร
ที่มา : Schönhut (1997) [3]

ตารางที่ 2. 1 ข้อมูลการสะท้อนแสงและช่วงความยาวคลื่นสเปกตรัมของสี

สเปกตรัมของสี	การสะท้อนแสง	ช่วงความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
ม่วง	0.11	400 – 450
น้ำเงิน	0.28	450 – 490
เขียว	0.33	490 – 560
เหลือง	0.17	560 – 590
ส้ม	0.12	590 – 630
แดง	0.06	630 – 700

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Laden (1997) [4] กล่าวถึงทฤษฎีการมองเห็นของมนุษย์ เกิดจากแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุมีสีนั้นมากระทบตา การมองเห็นมีปัจจัยพิจารณา 3 ประการ

1. วัตถุมีสี (Objective) วัตถุเกิดการดูดกลืนพลังงานของแสงบางส่วนและสะท้อนพลังงานแสงออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นวัตถุนั้น กรณีวัตถุทึบแสง (Opaque) คือ วัตถุที่ไม่ยอมให้แสงผ่าน มีการดูดกลืนแสงและสะท้อนแสงออกมาได้มาก (Reflectance)

2. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source) แหล่งกำเนิดแสงมี 2 แหล่งคือ แหล่งกำเนิดแสงจากธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์ และที่ประดิษฐ์ขึ้น ได้แก่ แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์

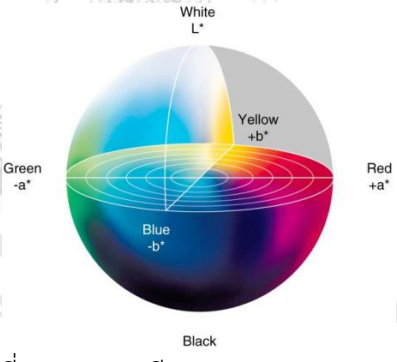
3. ผู้สังเกตุการณ์ (Observer) สีของวัตถุมีสีสะท้อนเข้าตาผู้สังเกตการณ์ แล้วส่งไปยังเรตินา เรตินามีเซลล์ที่ความไวต่อแสงอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรกเรียกว่า Rods Cell แยกความแตกต่างความสว่าง และความมืด ชนิดที่สองเรียกว่า Cons Cell แยกความแตกต่างสีแดง เขียว และน้ำเงิน

ตามนุษย์แต่ละคนมีการมองเห็นสีของวัตถุมีสีที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องมีมาตรฐานหรือตัวกลางเพื่อลดการเบี่ยงเบนเกณฑ์การพิจารณาสีที่มี 3 องค์ประกอบ องค์กรที่มีบทบาทเพื่อควบคุมมาตรฐานของการวัดสีคือ Commission International de l'Eclairage (CIE) กำหนดระบบการวัดสีด้วยเครื่องมือทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เรียกว่า CIE L*a*b เป็นวิธีการวัดสีลักษณะของพิกัดสี (Color Space) แบบสามมิติ ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงที่ประดิษฐ์ขึ้น D65 (Daylight) เป็นแสงเที่ยงวันที่มีอุณหภูมิของสี (Color Temperature) 6500 เคลวิน นอกจากนั้นระบบการวัดสีต้องอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ วิธีรากที่สองของผลบวกกำลังสองของระยะห่างตามรูปแบบจำลองของวัตถุมีสี 2 สิ่งที่กำลังพิจารณา ทำให้สามารถระบุความแตกต่างของสี (Color Difference : DE หรือ ΔE) สูตรการคำนวณหา L*, a*, b*

$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$

$a^* = 500\ [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$

$b^* = 200\ [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$



รูปที่ 2. 2 ระบบสี CIE Lab รูปแบบ 3 มิติ

ที่มา : Klein (2009) [5]

การหาความแตกต่างของสี พิจารณาจากระยะห่างของพิกัดระหว่างจุดที่ 1 มีค่า (L_1, a_1, b_1) และจุดที่ 2 มีค่า (L_2, a_2, b_2)

DE* = ผลรวมของความแตกต่างสี

$DE = [(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2]^{1/2}$

ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 2.1

$$DE = [(DL^*)^2 + (Da^*)^2 + (Db^*)^2]^{1/2} \qquad (2.1)$$

DL* = ความแตกต่างของความมืด (สีดำ) กับความสว่าง (สีขาว)

ค่า + (+L*) บรรยายความสว่าง ไปจนถึง ค่า – (-L*) บรรยายถึงความมืด

Da* = ความแตกต่างของสีแดงกับสีเขียว

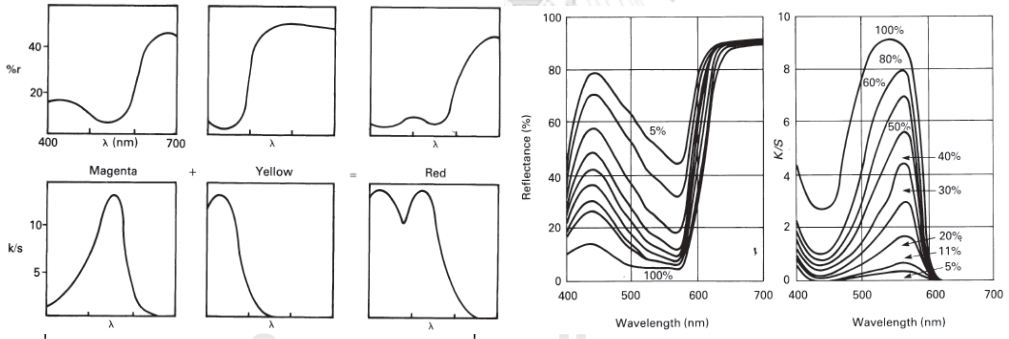
ค่า + (+a*) บรรยายแกนจากสีแดงไปจนถึง ค่า – (-a*) บรรยายถึงสีเขียว

Db* = ความแตกต่างของสีเหลืองกับสีน้ำเงิน

ค่า + (+b*) บรรยายแกนจากสีเหลือง ไปจนถึง ค่า – (-b*) บรรยายถึงสีน้ำเงิน

2.1.3 เทคนิคการจับคู่สี (Color Matching) และข้อมูลพื้นฐาน(Database)

เทคนิคการจับคู่สี (Color Matching) เป็นเทคนิคการจับคู่สีระหว่างสีมาตรฐานกับสีตัวอย่างให้มีความตรงกัน เรียกได้ว่าเป็นเทคนิคการผสมแม่สี (Pigment Paste) โดย วัตถุประสงค์เทคนิคการจับคู่สีเพื่อการผสมสีตัวอย่างให้มีความถูกต้องตามชนิดแม่สีและใช้ปริมาณน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสีมาตรฐาน ซอฟต์แวร์ถูกประยุกต์ ใช้ในการพยากรณ์การจับคู่สีแต่ไม่เป็นที่น่าพึงพอใจ ที่บางความยาวคลื่น



รูปที่ 2. 3 กราฟการสะท้อนแสงและกราฟที่ได้จากสมการ K/S ในช่วงความเข้มข้นของสีแดงต่างกัน

ที่มา : Leach (2012) [6]

การพยากรณ์การจับคู่สี เริ่มต้นสร้างค่า K/S ทุกชนิดของแม่สีและครอบคลุมทุกช่วงความเข้มข้น โดยปกติจะใช้แม่สีให้ครอบคลุมความเข้มข้นจาก 5 - 100% ของแม่สีและผสมเบสใสเพื่อลดทอนความเข้มข้นแม่สีลง ความหมายคือ 100 % แม่สีผสมกับ 0 % เบสใส ลากฟิล์มสีและวัดกราฟการสะท้อนแสง การวัดจะอ่านค่าได้ 16 ค่าเนื่องจากวัดค่าทุก ๆ 20 นาโนเมตร เริ่มตั้งแต่ 380-700 นาโนเมตร และบันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐาน (Database) ในคอมพิวเตอร์ ปกติค่าการสะท้อนแสงทุกชนิดแม่สีจะใช้ความเข้มข้นอัตราส่วนต่าง ๆ วัดค่าการสะท้อนแสงและบันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐาน (Database) ในคอมพิวเตอร์ ระบบการพยากรณ์การจับคู่สีคอมพิวเตอร์จะต่อกับเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ทำหน้าที่ในการวัดค่าการสะท้อนแสงสีตัวอย่าง คอมพิวเตอร์มี

จอภาพทำหน้าที่ในการแสดงข้อมูล การพยากรณ์การจับคู่สีจะวัดค่าการสะท้อนแสงของสีตัวอย่าง คำนวณปริมาณแม่สีที่ใช้แล้วไปจับคู่กับข้อมูลพื้นฐานที่จัดเก็บไว้

ข้อมูลพื้นฐาน (Database) ปัจจุบันวิธีการพยากรณ์สูตรเพื่อการผลิต (Recipe) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสี เพราะสูตรการผลิตสีมีจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่ละอุตสาหกรรมจำเป็นที่ต้องศึกษา ค้นคว้า สรุปแนวคิดหลักเพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐานให้สามารถประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมได้ ข้อมูลพื้นฐานเป็นจะแสดงข้อมูลในเชิงตัวเลขที่ถูกบันทึกลงบนซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์ สามารถแก้ไขและเรียกใหม่ได้เสมอ สามารถค้นหา จัดเรียงโดยเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความแตกต่างของสี การวิเคราะห์สเปกตรัม ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพยากรณ์สูตรเพื่อการผลิตรวบรวมได้จากความแตกต่างข้อมูลที่ต้องบันทึกคือ

1. การสอบเทียบสีตัวอย่างหรือสีมาตรฐานที่เกิดจากการผสมกันแล้วมีการดูดกลืนแสงหรือผลกระทบพิเศษเฉพาะตัวของแม่สีหรือผงสีที่ใช้ในการผสม
2. การเลือกสูตรเพื่อการผลิต ต้องมีการจัดเรียงลำดับแต่ละกลุ่มแม่สี เพื่อให้มีความแตกต่างในการผสมแม่สี

ความสมบูรณ์ของข้อมูลพื้นฐานเพื่อจัดเก็บเป็นประวัติสำหรับทำพยากรณ์สูตรเพื่อการผลิตขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ

1. ระบบการวัดค่าของสเปกตรัมและการยอมรับสี
2. ความแรงของสีและความเข้มข้นของสี
3. ค่าคงที่ทางแสงจากระบบการวัดสีแต่ละความยาวคลื่น
4. แหล่งกำเนิดแสงและผู้สังเกตการณ์
5. ความหนาของฟิล์มสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4 การทดสอบคุณภาพสารเคลือบผิว (Coating Testing)

การทดสอบสารเคลือบผิว อรอุษา สรวารี (2544) [1] จะทดสอบจากตัวอย่างสีในสถานะต่างกันคือ ของเหลว (Liquid Coating) ฟิล์มเปียก (Wet Films) ฟิล์มแห้ง (Dry Films) มีหัวข้อการตรวจสอบที่มีนัยสำคัญเพื่อให้มีมาตรฐานด้านคุณภาพ ดังนี้

1) ลักษณะทางกายภาพ (Appearance) ตรวจสอบจากสีสถานะของเหลว พิจารณาลักษณะภายนอกด้วยตาของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเทียบกับผลิตภัณฑ์มาตรฐาน ต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม ต้องไม่เป็นฝาสี ไม่เป็นวุ้นเหนียว ไม่นอนก้นแข็ง ไม่ข้นแข็ง ไม่เป็นเม็ด

2) ความหนืด (Viscosity) ตรวจสอบจากสีสถานะของเหลว ความหนืด หมายถึง ความต้านทานการไหลของของเหลวเครื่องมือที่ใช้วัด เมื่อมีอัตราแรงเฉือนสม่ำเสมอที่มีความเร็ว 200 รอบต่อนาที เรียกว่า มาตรความหนืด หรือวิสโคมิเตอร์(Viscometer) วัดค่าในหน่วยเครบส์ (Krebs Unit)

3) ความละเอียด (Fineness of Grind) ตรวจสอบจากสีสถานะของเหลว ความละเอียดมีค่าเป็นหน่วยไมโครเมตร เครื่องวัดความละเอียด (Grind Gauge) ทดสอบโดยหยดสีลงร่องที่มีความลึกจากมากไปน้อย อ่านค่าจากเม็ดอนุภาคที่ปรากฏ ณ ขีดบอกค่าความละเอียด

4) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ตรวจสอบจากสีสถานะของเหลว หาโดยใช้ถ้วยวัดความถ่วงจำเพาะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกขนาด 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร

5) ปริมาณสารที่ไม่ระเหย (Non Volatile Content) ตรวจสอบจากสีสถานะของเหลว หาโดยการนำสารเคลือบผิวหนัก 1-2 กรัมใส่ภาชนะก้นแบน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นนำมาชั่งน้ำหนัก

6) ระยะเวลาการแห้งตัว (Drying Time) ตรวจสอบจากสีสถานะฟิล์มแห้ง วิธีการที่ง่ายที่สุดในการทดสอบคือ ใช้นิ้วแตะเบา ๆ ที่ผิวของฟิล์มสีซึ่งแห้งได้เองในอากาศที่แตกต่างกันตามระยะการแห้งตามลำดับ แห้งที่ผิวแตะได้ (Touch Dry) หมายถึง การแห้งถึงขั้นที่แตะเบา ๆ แล้วไม่มีรอยนิ้วมือติดอยู่

7) ความเงา (Gloss) ตรวจสอบจากสีสถานะฟิล์มแห้ง การวัดความเงาของฟิล์มของสารเคลือบผิว โดยทั่วไปนิยมวัดความเงาที่มุม 60 องศา ฟิล์มสีจะมีความเงามากน้อยเพียงใดขึ้นกับความสามารถของฟิล์มสีในการรับแสงและสะท้อนออกไป

8) กำลังซ่อนแสง (Hiding Power) ตรวจสอบจากสีสถานะฟิล์มแห้ง เป็นการหาความสามารถของฟิล์มสีที่จะปิดบังพื้นผิวที่อยู่ข้างใต้

9) การเทียบสีด้วยตา ตรวจสอบจากสีสถานะฟิล์มแห้ง การเทียบเฉดสีแผ่นทดสอบกับสีมาตรฐาน ตรวจสอบโดยใช้แสงแดดเทียมในห้องเทียบสี ให้วางแผ่นทดสอบให้มองทำมุม 45 องศากับลำแสงเป็นไปตาม CIE Standard Illuminant D65 กำหนด

2.1.5 การแห้งของสารเคลือบผิว (Drying of Alkyd Paint)

การแห้งของสารเคลือบผิว อรอุษา สรวารี (2544) [1] กล่าวว่าวิธีการแห้งมี 2 กรรมวิธี ดังนี้

1. การแห้งโดยกรรมวิธีทางฟิสิกส์ (Physical Drying) วิธีการนี้เกิดจากการระเหยของตัวทำละลายกลายเป็นฟิล์มยึดติดกับผิวหน้าพื้นผิวที่ต้องการเคลือบด้วยพันธะทุติยภูมิ (Secondary bond)

2. การแห้งโดยกรรมวิธีทางเคมี (Chemical Drying) วิธีการนี้ฟิล์มสีที่ได้จากการแห้งตัวยึดติดกับผิวหน้าของพื้นผิวที่ต้องการเคลือบด้วยพันธะปฐมภูมิ (Primary bond) ฟิล์มที่ได้จะมีความแข็งแรงและทนทานต่อตัวทำละลาย เป็นการแห้งด้วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction)

โดยสารเคลือบผิวจะดูดออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น จนกลายเป็นฟิล์มที่แข็งแรง อาจเร่งให้แห้งเร็วขึ้นได้โดยการใส่สารเร่งแห้ง (Drier) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กระบวนการแห้งตัวของน้ำมันโดยการออกซิไดส์เอง (Autoxidation)

ในกระบวนการออกซิไดส์เองของน้ำมัน ออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงหมู่เมทิลีนที่อยู่ตำแหน่งแอลฟากับพันธะคู่ เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์

$-CH_2-CH=CH-CH_2 + O_2$ ------> $-CH_2-CH=CH-HCOOH-$

หลังเกิดปฏิกิริยาการออกซิไดส์เอง จะเกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่มีพันธะคู่ 2 พันธะและเป็นการเรียงแบบพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว เรียกลักษณะแบบนี้ว่า คอนจูเกต (Conjugation)

$-CH_2-CH=CH-CH_2-CH=CH-CH_2- + -H$ ------> $-CH_2-CH=CH-\dot{C}H-CH=CH-CH_2-$

$-CH_2-CH=CH-\dot{C}H-CH=CH-CH_2-$ ------> $-CH_2-\dot{C}H-CH=CH-CH=CH-CH_2-$

$+ -CH_2-CH=CH-CH=CH-\dot{C}H-CH_2-$

และ $-CH_2-\dot{C}H-CH=CH-CH=CH-CH_2- + O_2$ ------> $-CH_2-HC\dot{O}O-CH=CH-CH=CH-CH_2-$

$-CH_2-CH=CH-CH=CH-\dot{C}H-CH_2- + O_2$ ------> $-CH_2-CH=CH-CH=CH-HC\dot{O}O-CH_2$

ขั้นตอนที่ 2 : การเกิดฟิล์ม (Film formation) สารประกอบเปอร์ออกไซด์จากขั้นตอนที่ 1 จะทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนซึ่งเชื่อมกันอยู่โดยพันธะปฐมภูมิ โดยมีกลไกเป็นแบบฟรีแรดิคัล (Free radical) ดังนี้

- ขั้นเริ่มต้น (Initiation) น้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์และจะสลายตัวให้ฟรีแรดิคัล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$R-CH=CH-CH_2-R + O_2 \text{ ------> } R-CH=CH-HCOOH-R + \dot{R}^1$$

- ขั้นแผ่ขยาย (Propagation) ฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจากขั้นเริ่มต้น จะเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของโมเลกุลอื่น ๆ ของน้ำมัน เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเดิมโดยมีฟรีแรดิคัลอยู่ที่ปลายของโมเลกุล เกิดปฏิกิริยาไปเรื่อย ๆ

$\dot{R}^1 + R-CH=CH-R$ ------> $R^1-RCH=\dot{C}H-R + R-CH=CH-R$ ------> $R^1-RCH-RCH-RCH-\dot{C}H-R$

- ขั้นสิ้นสุด (Termination) ฟรีแรดิคัลที่ปลายโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จะเข้ารวมตัวกันเอง ได้เป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีโครงสร้างแน่นหนา

$$\dot{R} + \dot{R} \text{ ------> } R-R$$

สำหรับน้ำมันคอนจูเกต หลังจากรับออกซิเจนแล้วจะเกิดเป็นฟรีแรดิคัลได้เลย โดยไม่ต้องเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์ก่อน ฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจะเกิดถึง 2 ตำแหน่งคือ เกิดที่คาร์บอนและออกซิเจน ดังนี้

-CH=CH-CH=CH-CH=CH- + O_2 ------> -CH=CH-CH=CH-·CH-HC-O·O

-CH=CH-CH=CH-CH=CH- + O_2 ------> -CH=CH-·CH-CH=CH-HC-O·O

-CH=CH-CH=CH-CH=CH- + O_2 ------> -·CH-CH=CH-CH=CH-HC-O·O

จากนั้นฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้น จะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่อื่น ๆ ของน้ำมันต่อไป จากการที่น้ำมันคอนจูเกตรับออกซิเจนแล้ว จะเกิดเป็นฟรีแรดิคัลได้ถึง 2 ตำแหน่ง จึงทำให้น้ำมันชนิดนี้แห้งตัวได้เร็วกว่าน้ำมันที่ไม่ใช่น้ำมันคอนจูเกต

ขั้นตอนที่ 3 : กระบวนการแห้งตัวของน้ำมันโดยการเพิ่มขนาดโมเลกุลและทิ้งไว้ให้บ่มตัว (Aging) โดยไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากขั้นตอนแรกของการแห้งตัวของน้ำมันจะไม่เสถียรสลายตัวเป็นฟรีแรดิคัล จะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของน้ำมันไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะต่างกัน

(1) ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะคาร์บอน – คาร์บอน

RC· + ·CR ------> RC-CR

(2) ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะอีเทอร์

RC-O· + ·CR ------> RC-O-CR

(3) ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเปอร์ออกไซด์

RC-O· + ·O-CR ------> RC-O-O-CR

RC-O-O· + ·CR ------> RC-O-O-CR

RC-O-O· + ·O-O-CR ------> RC-O-O-CR + O_2

สารเร่งแห้ง (Drier) ในสารเคลือบผิวมีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันของน้ำมันทำให้เกิดเป็นกิ่งก้านสาขาที่แน่นหนาจนเกิดเป็นฟิล์มแข็ง ปัจจุบันสารเร่งแห้งนิยมเตรียมโลหะจากกรดออกโทอิก (Octoicacid) ที่อยู่ในรูปของสารละลายข้นเหนียว สารเร่งแห้งแต่ละชนิดจะมีผลต่อการแห้งตัวของฟิล์มสีสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด ดังนี้

1. Primary Drier ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา Autoxidation เร่งการสลายตัวของ Hydro peroxide ช่วยในการแห้งตัวชั้นบนของฟิล์มสีจะมีประสิทธิภาพได้ดีขึ้นต้องทำงานร่วมกับ Secondary Drier และ Auxiliary Drier นิยมใช้โลหะโคบอลต์กันอย่างแพร่หลายเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งที่ผิวของฟิล์มสีในขณะที่ชั้นล่างยังคงเหลวอยู่ แต่ถ้าหากใช้โคบอลต์มากเกินไปทำให้แห้งไวเกินไปจะทำให้ฟิล์มสีย่น เกิดการแห้งเปราะและขาดความทนทาน จึงต้องมีการผสมกับโลหะตัวอื่น

2. Secondary Drier ทำหน้าที่ในขั้นตอนการเกิดโพลิเมอไรเซชันการแห้งตัวของฟิล์มสี จะให้ผลตรงข้ามกับโคบอลต์คือ มีผลช่วยฟิล์มสีแห้งตัวทั่วทุกชั้น นิยมใช้เซอร์โคเนียมกันอย่างแพร่หลาย

ทำให้แห้งโดยการสร้างพันธะเคมีกับไฮดรอกซิล (Hydroxyl) และกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Group) ที่มีความสามารถทำให้แอลคีดเรซินแห้งตัว โดยใช้ร่วมกับโคบอลต์และแคลเซียม

3. Auxiliary Drier ทำหน้าที่ส่งเสริมการทำงานของ Primary Drier ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น นิยมใช้แคลเซียมกันอย่างแพร่หลาย เมื่อแคลเซียมทำงานรวมกับโคบอลต์ทำให้เกิดการแห้งตัวชั้นในการสร้างฟรีแรดดิคัลและทำให้พันธะคู่เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันอย่างรวดเร็ว แคลเซียมจะทำให้ผงสีแห้งและกระจายตัว แต่ถ้าหากใช้แคลเซียมมากเกินไปจะมีผลในทางตรงกันข้ามคือ ทำให้ฟิล์มเคลือบผิวไวต่อน้ำ

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารเร่งแห้งโคบอลต์ คือ เร่งการรับออกซิเจนและเร่งการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์เป็นฟรีแรดิคัล

$$Co^{++} + ROOH \text{ ------> } Co^{+++} + RO^{\cdot} + OH^{-}$$

หรือ $$Co^{++} + ROOH \text{ ------> } Co^{+++} + RO^{-} + {}^{\cdot}OH$$

ปฏิกิริยารีดักชันของสารเร่งแห้งโคบอลต์

$$Co^{+++} + ROOH \text{ ------> } Co^{++} + RO_2^{\cdot} + H^{+}$$

$$Co^{+++} + OH^{-} \text{ ------> } Co^{++} + {}^{\cdot}OH$$

$$Co^{+++} + RO^{-} \text{ ------> } Co^{++} + RO^{\cdot}$$

โคบอลต์จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันสลับกันไปมา เปอร์ออกไซด์สลายตัวเป็นฟรีแรดิคัลเร็วขึ้น

Calbo (1987) [7] และ Bielman (1993) [8] กล่าวถึงปริมาณระบบของสารเร่งแห้งโลหะที่เหมาะสมสำหรับสารเคลือบ แต่ละสัดส่วนมีผลกระทบต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและโพลิเมอไรเซชันของสี ระบบของสารเร่งแห้งที่เหมาะสมต่อระยะการแห้งตัวเพื่อประหยัดเวลาในการออกแบบการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสม แสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 ระบบสารเร่งแห้งที่เหมาะสมต่อระยะการแห้งตัวของสีชนิด Long Oil Alkyd

สารเร่งแห้งชนิดโลหะ	ช่วงปริมาณสารเร่งแห้งโลหะที่แนะนำ (% Metal Recommend)	
	ปริมาณทั่วไป	ปริมาณสูงสุด
โคบอลต์ (Co)	0.06	0.20
แมงกานีส (Mn)	0.02	0.10
ตะกั่ว (Pb)	0.50	1.00
ซีรีเนียม (Ce)	0.20	0.80
เซอร์โคเนียม (Zr)	0.30	0.40
แคลเซียม (Ca)	0.02	0.30
แบเรียม (Ba)	0.20	0.40
วานาเดียม (V)	0.03	0.35

ปริมาณสารเร่งแห้งที่แนะนำขึ้นอยู่กับ % โลหะในสารเร่งแห้ง และ % ปริมาณสารไม่ระเหยในสี แต่ละสูตรเพื่อการผลิต สูตรที่ใช้ในการคำนวณสารเร่งแห้งที่แนะนำ ดังสมการที่ 2.3

$$\% \text{ Drier in Recipe} = \left(\frac{\% \text{ Drier Recommend}}{\% \text{ Metal in Drier}}\right) \times \% \text{ Alkyd Resin} \times \left(\frac{\% \text{ Solid Resin}}{100}\right) \qquad (2.3)$$

2.1.7 การปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ (2559) [9]กล่าวถึง การปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มีขั้นตอนดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

ระยะนี้วัตถุประสงค์เพื่อระบุสภาพของปัญหา ขอบเขตของโครงการ วัตถุประสงค์ กำหนดระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดโครงการ ข้อจำกัดของโครงการ กำหนดทีมงานปรับปรุงคุณภาพและแผนการดำเนินงานโครงการ สรุปข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบสัญญาโครงการ

- ระยะการวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

ระยะนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายสภาพของปัญหา ความจำเพาะเจาะจงของปัญหา วัดสภาพของปัญหาเก็บเป็นข้อมูลพื้นฐานก่อนเริ่มดำเนินการปรับปรุง เก็บข้อมูลสร้างตัวชี้วัดสำหรับการประเมินวัดผลการปฏิบัติงาน

- ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ระยะนี้มีวัตถุประสงค์ทำการทดลองเพื่อพิสูจน์สาเหตุหรือปัจจัยที่มีนัยสำคัญของปัญหา จะได้นำไปสู่การปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป เก็บผลการทดลองและนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อปัญหา

- ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve Phase)

ระยะนี้มีวัตถุประสงค์กำหนดวิธีการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุของปัญหา เมื่อทราบปัจจัยนำเข้าที่พิสูจน์แล้วว่ามีผลต่อปัญหา ต้องทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่เป็นตัวแปรอิสระกับตัวแปรตอบสนองเพื่อหาค่าของปัจจัยนำเข้าที่จะทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุดเป็นไปตามเป้าหมายของการปรับปรุง จากนั้นทีมงานนำกระบวนการวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมไปทดลองใช้ (Pilot runs) เพื่อยืนยันว่าวิธีการปรับปรุงให้ผลลัพธ์การปรับปรุงเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ของโครงการ การยืนยันผลจะต้องเก็บข้อมูลผลการปฏิบัติงาน ใช้ขนาดตัวอย่างที่เพียงพอ

- ระยะการตรวจติดตามควบคุม (Control Phase)

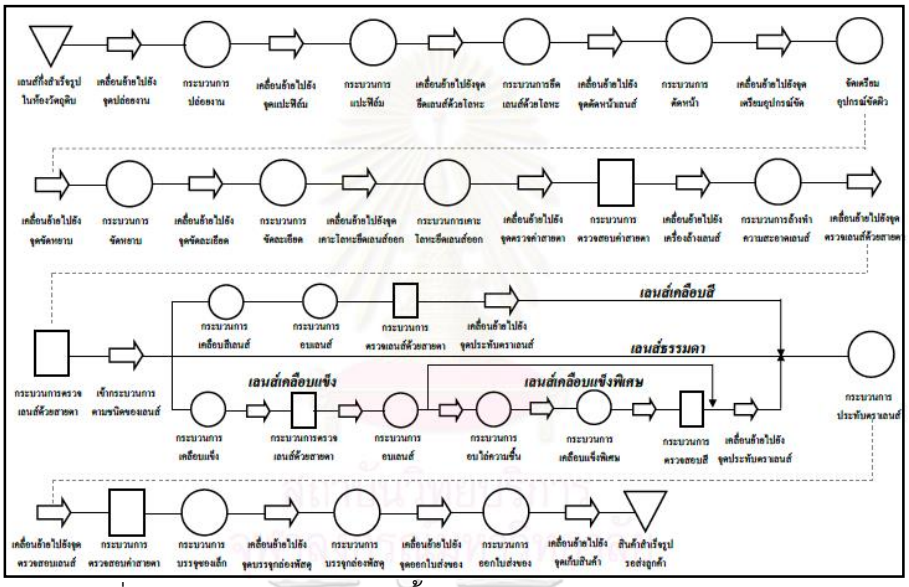
ระยะนี้มีวัตถุประสงค์กำหนดวิธีการรักษาระดับคุณภาพหลังการปรับปรุงกระบวนการ เขียนแผนควบคุม วิธีการ และเครื่องมือ เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม

2.1.8 เครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือทางคุณภาพสนับสนุน (Statistics and QC Tool)

แผนผังการไหลของกระบวนการ (Process flow diagram) เป็นแผนผังที่มีจุดประสงค์เพื่อให้ทราบขั้นตอนการทำงานหรือการไหลของงาน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาที่กำลังจะปรับปรุง โดยมีสัญลักษณ์มาตรฐานดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

○	แทน การปฏิบัติงาน (Operation)
⊃	แทน การรอคอย (Delay)
□	แทน การตรวจสอบ (Inspection)
▽	แทน การเก็บ (Storage)
⇨	แทน การเคลื่อนย้าย (Transport)



รูปที่ 2. 4 แผนผังการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตา

ที่มา : พิมพ์ชนก ไพศาลภาณุมาศ (2550) [10]

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิสำหรับติดตามค่าเฉลี่ย ช่วง และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการและบอกสัญญาณเตือนเมื่อกระบวนการผิดปกติ กระบวนการที่มีความเสถียร (มีค่าเฉลี่ยและความแปรผันคงที่) แสดงว่ากระบวนการอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมได้ เรียกว่า In-control แต่กระบวนการที่ขาดเสถียรภาพ (มีค่าเฉลี่ยและความแปรผันไม่คงที่) แสดงว่ากระบวนการมีสภาวะออกนอกการควบคุม เรียกว่า Out-of-control งานวิจัยพิจารณาเลือกใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ(Attribute Control Chart) เพื่อติดตามดูสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการ นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ (2559) [9] กล่าวถึง แผนภูมิควบคุม p ดังนี้

สัดส่วนของเสีย (p) คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนของเสีย (D) ต่อชิ้นงานทั้งหมด (N) โดยจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบทวินาม (Binomial Distribution) ดังสมการที่ 2.4

$$\text{สัดส่วนของเสีย (p)} = \frac{\text{จำนวนของเสีย } (\mathbf{D})}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด } (\mathbf{N})} \qquad (2.4)$$

การสร้างแผนภูมิควบคุม p

1. กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ขนาดตัวอย่าง และเก็บรวบรวมข้อมูล

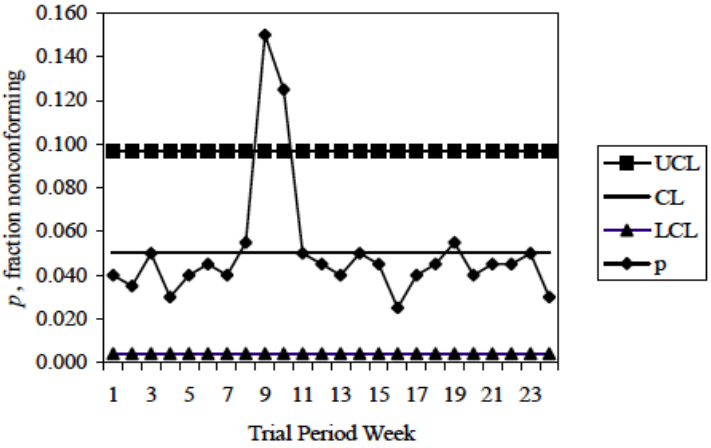
2. คำนวณขีดจำกัดควบคุมแผนภูมิ

UCL (upper control limit: ขีดจำกัดควบคุมบน) $= \bar{\mathbf{p}} + 3\sqrt{\bar{\mathrm{p}}(1-\bar{\mathrm{p}})/n}$

CL (control limit: เส้นกึ่งกลาง) = $\bar{p}$

LCL (lower control limit: ขีดจำกัดควบคุมล่าง) = $\bar{p}$ -3$\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$

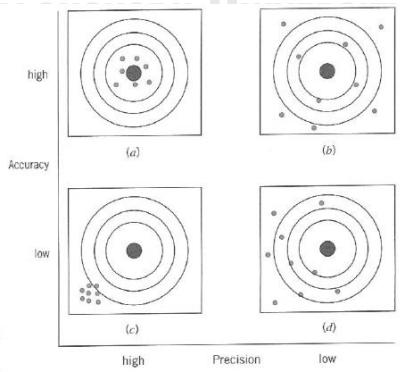
3. นำข้อมูลสัดส่วนของเสียมาเขียนลงแผนภูมิ



รูปที่ 2. 5 แผนภูมิควบคุม p

ที่มา: Allen (2010) [11]

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลของแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดก่อนเก็บข้อมูลเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการ ระบบการวัดที่ดีต้องมีความแม่น (Accuracy) คือ การวัดค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าจริง และต้องมีความเที่ยง (Precision) คือ การวัดค่าที่ได้หลาย ๆ ครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2. 6 ความแม่นยำและความเที่ยงของระบการวัด

ที่มา : นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ (2559) [9]

จากรูปที่ 2.6 (a) แสดงถึงระบบการวัดมีความแม่นและความเที่ยงสูง ค่าที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าจริงและมีความแปรผันต่ำ รูปที่ 2.6 (b) แสดงถึงระบบการวัดมีความแม่นสูงและความเที่ยงต่ำ ค่าที่วัดได้มีกระจายตัวรอบค่าจริงและมีความแปรผันสูง รูปที่ 2.6 (c) แสดงถึงระบบการวัดมีความแม่นต่ำและความเที่ยงสูง ค่าที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยไม่ใกล้ค่าจริงและมีความแปรผันต่ำ รูปที่ 2.6 (d) แสดงถึงระบบการวัดมีความแม่นต่ำและความเที่ยงต่ำ ค่าที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยไม่ใกล้ค่าจริง มีความแปรผันสูง

การนิยามความหมายของคำสำคัญที่เกี่ยวกับระบบการวัด

1. ไบอัส (Bias) หมายถึง ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่วัดได้กับค่าจริง เมื่อค่าจริงเป็นค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้

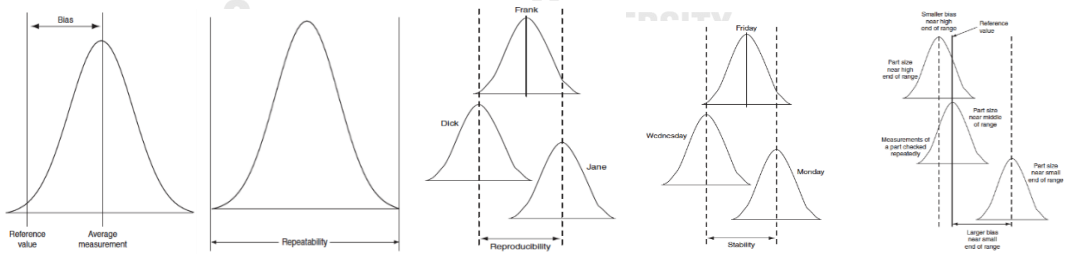
2. รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) หมายถึง ความแปรผันของค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากการวัดของผู้วัด (Appraiser) คนเดียววัดชิ้นงานชิ้นเดียวหลายครั้ง ภายใต้เงื่อนไขเดิม แสดงถึงความแปรผันของเครื่องมือวัด

3. รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความแปรผันของค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากการวัดของผู้วัดหลายคนที่ใช้เครื่องมือวัดเดียวกันวัดชิ้นงานชิ้นเดียว ภายใต้เงื่อนไขแตกต่างกัน แสดงถึงความแปรผันระหว่างผู้วัด

4. ความเสถียรภาพ (Stability) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป ความแปรผันทั้งหมดของระบบการวัดชิ้นงานเดิมซ้ำหลายครั้งในเวลาต่างกัน

5. ความแปรผันเชิงเส้นตรง (Linearity) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเปลี่ยนไปย่านวัด โดยย่านวัดหมายถึงช่วงของค่าน้อยถึงค่ามากที่เครื่องมือนั้นสามารถวัดได้ ความแปรผันเชิงเส้นตรงหมายความว่า เมื่อย่านวัดเปลี่ยนแปลงไป ค่าไบอัสมีการเปลี่ยนแปลงตามอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

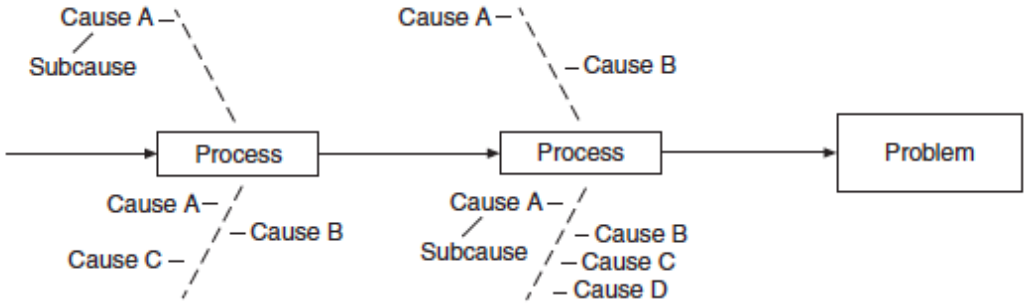


(a) (b) (c) (d) (e)

รูปที่ 2. 7 (a) ไบอัสของระบบการวัด (b) ความแปรผันของรีพีททะบิลิตี้ (c) ความแปรผันของรีโปรดิวซิบิลิตี้ (d) ความเสถียรของระบบการวัด (e) ความเป็นเส้นตรงของระบบการวัด

ที่มา : Pyzdek (2010) [12]

แผนผังสาเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) เป็นแผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) และสาเหตุทั้งหมดที่ก่อให้เกิดปัญหา (All causes) แบ่งหมวดหมู่เป็น 5M 1E: Man, Machine, Material, Method, Measurement และ Environment



รูปที่ 2. 8 ส่วนประกอบของแผนผังสาเหตุและผล

ที่มา : Pyzdek (2010) [12]

เมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) จากแผนผังสาเหตุและผลจะทำให้ทราบถึงปัจจัยตัวแปรนำเข้าทั้งหมดของกระบวนการ คือ สาเหตุทั้งหมดของทุกปัจจัยมาวิเคราะห์เพื่อเรียงลำดับความสำคัญและกรองปัจจัยเหล่านั้นด้วยเมทริกซ์สาเหตุและผล ทำการประเมินคะแนนแต่ละปัจจัยให้กับตัวแปรตอบสนองที่มีความสำคัญกับลูกค้า โดยที่

0 หมายถึง ตัวแปรนำเข้าไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง

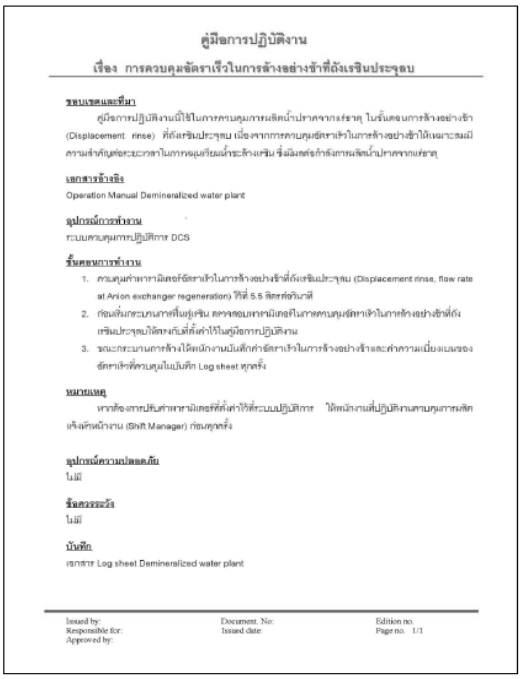
1 หมายถึง ตัวแปรนำเข้ามีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองน้อย

3 หมายถึง ตัวแปรนำเข้ามีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองปานกลาง

9 หมายถึง ตัวแปรนำเข้ามีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองมาก

หลังจากการประเมินเมทริกซ์สาเหตุและผล นำคะแนนมาเรียงลำดับด้วยแผนภูมิพาเรโตทำให้ทราบถึงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ทำให้คัดกรองปัจจัยเพื่อพิจารณาในปรับปรุงกระบวนการ

เอกสารวิธีการทำงาน (Work Instruction: WI) เป็นเอกสารคู่มือการปฏิบัติงานอธิบายถึงขั้นตอนวิธีการทำงานและวิธีการควบคุมกระบวนการ เพื่อให้การปฏิบัติงานลุล่วงไปด้วยดีเป็นไปตามวิธีการเดียวกัน อีกทั้งยังเป็นแนวทางการทบทวนและตรวจติดตามคุณภาพภายใน



คู่มือการปฏิบัติงาน

เรื่อง การควบคุมอัตราเร็วในการล้างอย่างช้าที่ถังเรซินประจุลบ

ขอบเขตและที่มา

คู่มือการปฏิบัติงานนี้ใช้ในการควบคุมการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ ในขั้นตอนการล้างอย่างช้า (Displacement rinse) ที่ถังเรซินประจุลบ เนื่องจากการควบคุมอัตราเร็วในการล้างอย่างช้าให้เหมาะสมมีความสำคัญต่อระยะเวลาในการหมุนเวียนน้ำระดับเรซิน ซึ่งมีผลต่อกำลังการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ

เอกสารอ้างอิง

Operation Manual Demineralized water plant

อุปกรณ์การทำงาน

ระบบควบคุมการปฏิบัติการ DCS

ขั้นตอนการทำงาน

1. ควบคุมค่าพารามิเตอร์อัตราเร็วในการล้างอย่างช้าที่ถังเรซินประจุลบ (Displacement rinse, flow rate at Anion exchanger regeneration) ที่ระดับ 5.5 ลิตรต่อนาที
2. ก่อนเริ่มกระบวนการขึ้นสู่เรซิน สอบทานพารามิเตอร์ในการควบคุมอัตราเร็วในการล้างอย่างช้าที่ถังเรซินประจุลบให้ลงถังที่ตั้งค่าไว้ในคู่มือการปฏิบัติงาน
3. ขณะกระบวนการล้างให้พนักงานบันทึกค่าอัตราเร็วในการล้างอย่างช้าและค่าความเบี่ยงเบนของอัตราเร็วที่ควบคุมในบันทึก Log sheet ทุกครั้ง

หมายเหตุ

หากต้องการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าไว้ที่ระบบปฏิบัติการ ให้พนักงานที่ปฏิบัติงานควบคุมการผลิตแจ้งหัวหน้างาน (Shift Manager) ก่อนทุกครั้ง

อุปกรณ์ความปลอดภัย

ไม่มี

ข้อควรระวัง

ไม่มี

บันทึก

เอกสาร Log sheet Demineralized water plant

Issued by: Document No: Edition no.
Responsible for: Issued date: Page no. 1/1
Approved by:

รูปที่ 2. 9 เอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน
ที่มา: ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์ (2558) [13]

เครื่องมือคุณภาพพื้นฐาน 7 อย่าง (7 QC Tools)

1. แผ่นรายการตรวจสอบ (Check Sheet) คือ แบบฟอร์มที่การออกแบบไว้เพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูล

2. แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) คือ แผนภาพสำหรับเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาตามกฎ 80:20 หมายความว่า ปัญหาที่มีความสำคัญมากจำนวน 80% มักจะมีสาเหตุมาจากประมาณ 20% ของสาเหตุทั้งหมด ในขณะที่อีกประมาณ 80% ของสาเหตุจะมีผลต่อปัญหาที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยอีกจำนวน 20% ของปัญหานั้น

3. แผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกับสาเหตุหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

4. ฮีสโตแกรม (Histogram) คือ ผังที่แสดงการกระจายของข้อมูลชุดหนึ่งแสดงคุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง

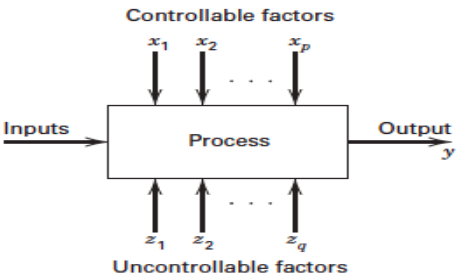
5. แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) คือ ผังที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสองชุดหรือสองตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร

6. กราฟ (Graphs) คือ เครื่องมือใช้ในการนำเสนอข้อมูล มีหลายรูปแบบ เช่น กราฟเส้น แท่ง วงกลม เป็นต้น

7. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ แผนภูมิที่ใช้สำหรับเฝ้าติดตามค่าตัวแปรที่ต้องการ

2.1.9 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ (2559) [9] กล่าวคือ การออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล เพื่อการตรวจสอบว่าตัวแปรนำเข้าหากมีการปรับเปลี่ยนระดับจะส่งผลกระทบต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างไร



รูปที่ 2. 10 รูปแบบทั่วไปของกระบวนการหรือระบบ

ที่มา : Montgomery (2010) [14]

นิยามคำศัพท์ของการออกแบบการทดลอง

1. ผลลัพธ์ (Output) หรือ ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดที่สนใจ
2. ตัวแปรนำเข้า (Input) หรือ ปัจจัย (Factors) คือ ตัวแปรที่สามารถควบคุมและกำหนดค่าได้
3. ตัวแปรควบคุมได้ (Control Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง สามารถควบคุมได้
4. ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ไม่สามารถควบคุมได้
5. ผลกระทบหลักของปัจจัย (Main Effect) คือ ค่าที่แสดงถึงผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนอง
6. ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Effect) คือ ค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของผลกระทบของปัจจัยหนึ่งที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง
7. จำนวนครั้งหรือสภาวะของการทดลอง (Test runs) คือ เซ็ตหรือคอมบิเนชั่นของปัจจัยที่ระดับต่าง ๆ ในการทดลองแต่ละครั้ง

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1. ทดสอบนัยสำคัญผลกระทบหลักของปัจจัย (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง
2. การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองเพื่อใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization technique) ของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประเภทของการออกแบบการทดลอง

1. การทดสอบเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นแบบการทดลองที่มีการทดสอบแต่ละปัจจัยที่สองระดับเท่านั้น แบบการทดลองในประเภทนี้ ได้แก่ แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) และแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) นิยมใช้แบบการทดลองแฟคทอเรียลที่สองระดับ สัญลักษณ์ 2^k

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

รูปที่ 2. 11 แบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับจำนวนปัจจัย 2-15 ปัจจัย และจำนวน Runs

2. การทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ แต่ละปัจจัยต้องถูกทดสอบที่มากกว่าสองระดับ แบบการทดลองในประเภทนี้นิยมใช้แบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ ได้แก่ แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เป็นต้น

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

รูปที่ 2. 12 แบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบสำหรับจำนวนปัจจัย 2-10 ปัจจัย และจำนวน Runs

ที่มา : Minitab 17

2.1.10 การถดถอยและสหสัมพันธ์ (Regression and correlation)

ทางสถิติการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มี 2 ตัวแปรขึ้นไป ประกอบด้วยตัวแปรอิสระหรือตัวแปรทำนาย (Predictor) แทนด้วย x และตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง (Response) แทนด้วย Y ภรณี เจริญภักตร์ (2555) กล่าวถึงการสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร จะรวบรวมข้อมูลที่ต้องการพิจารณาไปเขียนกราฟจุดเรียกว่า แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ทำให้มองเห็นแนวโน้ม (Trend) ทั้งที่เป็นเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรง

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย

1. เพื่อศึกษาหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม
2. เพื่อศึกษาการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม จากชุดตัวแปรอิสระที่เหมาะสม

การถดถอยพหุคูณ มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. การประมาณค่าพารามิเตอร์ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares)

การถดถอยพหุคูณเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการ ดังสมการที่ 2.5

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \qquad (2.5)$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม

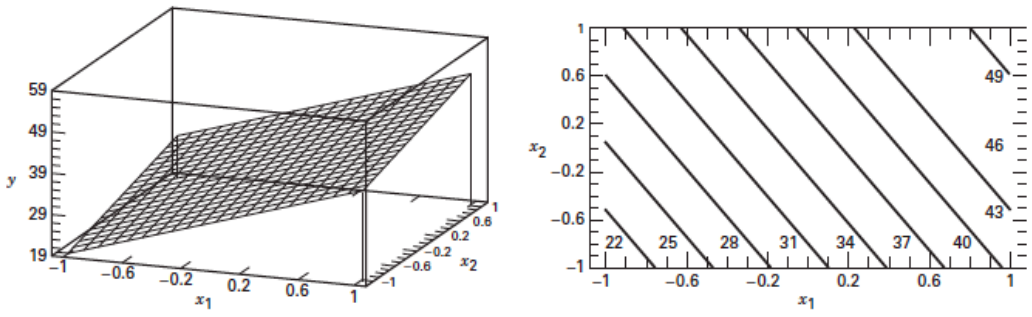
x คือ ตัวแปรอิสระ

β_0 คือ ค่าคงที่สมการถดถอยหรือค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามทุกตัวมีค่าเป็นศูนย์

β_1, β_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficients) ของตัวแปรอิสระ

ε คือ ความคลาดเคลื่อน (Random Error)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2. 13 (a) พื้นผิวผลตอบ (Respond surface) และ (b) เส้นโครงร่าง (Contour plot) แสดงความสัมพันธ์ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ การถดถอยพหุคูณ

ที่มา : Montgomery (2017) [15]

กรณีที่สมการมีตัวแปรอิสระไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (Interaction) β_1 เป็นค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ x_1 เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย โดยที่ x_2 มีค่าเท่าเดิม และในทำนองเดียวกันเมื่อ β_2 เป็นค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ x_2 เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย โดยที่ x_1 มีค่าเท่าเดิม ถ้าสมการมีตัวแปรอิสระมีปฏิสัมพันธ์กันแสดงว่าค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปที่เกิดจากตัวแปรอิสระตัวหนึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระอีกตัวหนึ่งด้วย ทำให้เกิดสมการที่ 2.6

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + \varepsilon \qquad (2.6)$$

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares) สำหรับการประมาณค่าของพารามิเตอร์จากสมการการถดถอย $Y = \beta x + \varepsilon$

หรือ

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \boldsymbol{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \\ \vdots \\ \epsilon_n \end{bmatrix}$$

สามารถหาค่าประมาณของ β จาก $\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y}$

2. การประเมินการมีนัยสำคัญ (Significant) ของสมการการถดถอย อาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2. 3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

Source of variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*
Regression	$SSR = \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{Y} - \left(\frac{1}{n}\right)\mathbf{Y}'\mathbf{J}\mathbf{Y}$	$p-1$	$MSR = \frac{SSR}{p-1}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
Error	$SSE = \mathbf{Y}'\mathbf{Y} - \mathbf{b}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}$	$n-p$	$MSE = \frac{SSE}{n-p}$	
Total	$SST = \mathbf{Y}'\mathbf{Y} - \left(\frac{1}{n}\right)\mathbf{Y}'\mathbf{J}\mathbf{Y}$	$n-1$		

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

p คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

ผลรวมกำลังสองทั้งหมด Total SS = SSR + SSE ระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom) = n-1

ผลรวมกำลังสองถดถอย SSR = Total SS – SSE ระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom) = p-1

ผลรวมกำลังสองคลาดเคลื่อน SSE = Σ (y- $\hat{y}$)^2 ระดับขั้นเสรี (Degree of Freedom) = n-p

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการทดสอบสมมติฐานสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อตรวจสอบสมการการถดถอยแบบตัวแปรอิสระเป็นกลุ่มและตัวแปรอิสระทีละตัวถึงนัยสำคัญในการตัวแปรตาม

ทดสอบตัวแปรอิสระเป็นกลุ่ม ด้วยสถิติ F- test ในช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval)	ทดสอบตัวแปรอิสระทีละตัว ด้วยสถิติ t- test ในช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval)
ตั้งสมมติฐาน H_0: $\beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_3 = 0$ สัมประสิทธิ์การถดถอย ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 0 นั่นคือ สมการการถดถอยไม่มีประโยชน์ในการทำนายตัวแปรตาม H_a: อย่างน้อยมี β 1 ตัวไม่เท่ากับ 0	ตั้งสมมติฐาน H_0: $\beta_i = 0$ สัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระที่ทดสอบไม่มีประโยชน์ในสมการการถดถอย H_a: β_i ไม่เท่ากับ 0
สถิติที่ใช้ทดสอบ $F = \frac{MSR}{MSE}$	สถิติที่ใช้ทดสอบ $t = \frac{bi-0}{SE(bi)}$
การแปลผลการทดสอบ Reject H_0 ถ้า $F > F_\alpha$ เมื่อระดับขั้นเสรี (p-1) และ (n-p) ทุกตัวแปรอิสระในสมการมีประโยชน์ในการทำนายตัวแปรตาม	การแปลผลการทดสอบ Reject H_0 ถ้า $t > t_\alpha$ เมื่อระดับขั้นเสรี (n-p) ตัวแปรอิสระที่ทดสอบมีประโยชน์ในสมการการถดถอย เพื่อทำนายตัวแปรตาม

3. สัมประสิทธิ์สำหรับตัวแปรอิสระหลาย R^2 (Coefficient of multiple determination)

การตัดสินใจสำหรับเลือกใช้สมการถดถอยที่เหมาะสมกรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัวตัดสินใจโดยใช้ค่า R^2 เป็นตัวววัดสัดส่วนความแปรผันทั้งหมดของตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระ

R^2 มีค่าระหว่าง 0 – 1 เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยทุกตัวมีค่าเท่ากับ 1 นั่นหมายถึง ค่าของตัวแปรตามทุกค่าของจำนวนข้อมูลตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มีค่าเท่ากับค่าที่ทำนายได้จากสมการถดถอย การเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการถดถอยจะทำให้ค่า R^2 เปลี่ยน ทำให้เกิดการตัดสินใจควรใช้สมการถดถอยก่อนหรือหลังเพิ่มตัวแปรตาม เรียก R^2 หลังเพิ่มว่า R^2_{adj} (Adjust coefficient) ดังสมการที่ 2.7 และสมการที่ 2.8

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.7) \text{ และ}$$

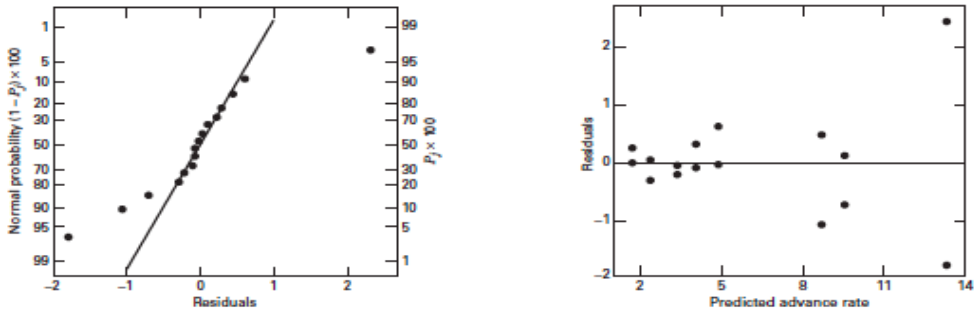
$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\frac{SSE}{n-p}}{\frac{SST}{n-1}} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p}\right)\frac{SSE}{SST} \quad (2.8)$$

4. การตรวจสอบสมมติฐานการถดถอย

ตรวจสอบจากค่าประมาณจากความคลาดเคลื่อน (ε) คือ ส่วนเหลือ (Residual หรือ e) โดย $e_i = y_i - \hat{y}_i$ ตามข้อตกลง

4.1 ε แต่ละค่ามีความเป็นอิสระต่อกัน มีความเป็นอิสระ

4.2 ε มีการแจกแจงแบบปกติโดยที่มีค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวนคงที่ Normal Independent Distribution หรือ NID ~ (0, σ^2)



รูปที่ 2. 14 กราฟการแจกแจงปกติส่วนเหลือและกราฟความแปรปรวนคงที่ส่วนเหลือ

ที่มา : Montgomery (2017) [15]

5. การประมาณค่าและการทำนายแบบช่วงของค่าเฉลี่ยตัวแปรตาม

ช่วงความเชื่อมั่น 100(1-α)% ค่าประมาณตัวแปรตาม Y หรือ Y_0 คือ

$$\hat{Y}_0 - t_{\alpha/2,n-p}\sqrt{MSE\mathbf{X}_0'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}_0} \le Y_0 \le \hat{Y}_0 + t_{\alpha/2,n-p}\sqrt{MSE\mathbf{X}_0'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}_0}$$

ช่วงความเชื่อมั่น 100(1-α)% ค่าทำนายตัวแปรตาม Y หรือ Y_0 คือ

$$\hat{Y}_0 - t_{\alpha/2,n-p}\sqrt{MSE(1+\mathbf{X}_0'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}_0)} \le Y_0 \le \hat{Y}_0 + t_{\alpha/2,n-p}\sqrt{MSE(1+\mathbf{X}_0'(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}_0)}$$

Chulalongkorn University

2.1.11 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Probability Distribution)

ภรณี เจริญภักตร์ (2555) [16] กล่าวถึงการแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution) มีลักษณะเป็นการทดลองที่ทำซ้ำ ๆ กัน n ครั้ง โดย n ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า เรียกการทดลองแต่ละซ้ำว่า Trial การทดลองแต่ละครั้งมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งการทดลองแต่ละครั้งมีผลการทดลองเพียง 2 แบบเท่านั้น คือ ความสำเร็จ (Success) หรือความไม่สำเร็จ (Failure) ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความสำเร็จจากการทดลองแต่ละครั้งมีค่าคงที่เท่ากับ p และความน่าจะเป็นที่จะไม่เกิดความสำเร็จเท่ากับ q ซึ่ง p + q = 1 ดังสมการที่ 2.9

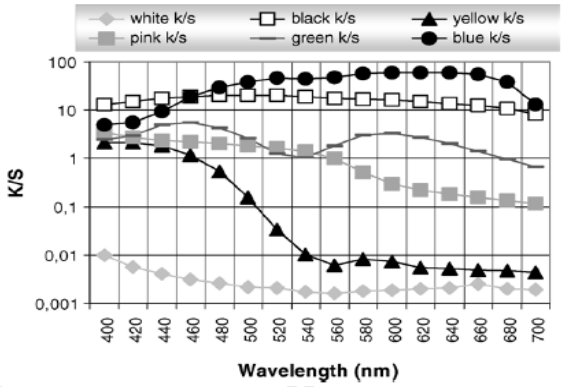
$$b(x\,;\,n,\,p\,) = P(X=x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \qquad ;\, x = 0,\, 1,\, 2,\, \ldots \qquad (2.9)$$

โดยที่ x เป็นตัวแปรสุ่มแสดงจำนวนครั้งของความสำเร็จที่เกิดขึ้นจากการทดลอง n ครั้งในการทดลอง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

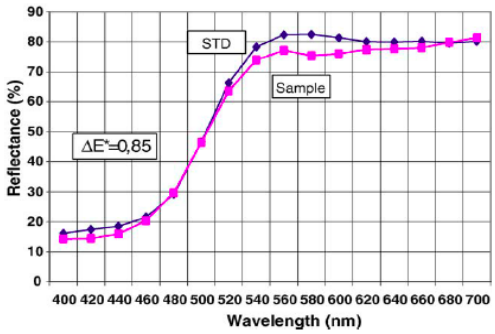
2.2.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการจับคู่สี (Color Matching)

Bondioli et al. (2006) [17] ประยุกต์แนวทางเทคนิคการจับคู่สีในโรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก ปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตในส่วนการเคลือบสี โดย โรงงานกรณีศึกษามีเฉดสีของผลิตภัณฑ์ 5 เฉดสีและใช้แม่สีจำนวน 6 ชนิดในการผสมเพื่อให้ได้เฉดสีตามที่ต้องการ สร้างกราฟเส้นมาตรฐาน (Calibration curve) แต่ละแม่สี เพื่อให้สำหรับเป็นข้อมูลพื้นฐานในซอฟต์แวร์เพื่อการพยากรณ์สูตร ค่าพารามิเตอร์ K และ S เกิดจากการผสมจำนวน 5 สัดส่วน ที่เกิดจากความแตกต่างของ % แม่สี % แม่สีขาว และ % แม่สีดำ งานวิจัยสร้างข้อมูลพื้นฐานจากสูตรเพื่อการผลิตคือ แม่สี 10% แก้วใสในรูปสารละลาย 88% โซเดียมเบนโทไนต์ 2% ค่า K/S ของแม่สีแต่ละความยาวคลื่นเมื่อผสมแม่สี 10% ตามสูตรพบว่า แม่สีดำและแม่สีน้ำเงินมีค่า K/S สูงสุดแสดงว่า สีดำและสีน้ำเงินดูดกลืนแสงมาก การกระเจิงแสงน้อย จากนั้นซอฟต์แวร์จะแปลงค่า K/S เป็นกราฟเส้นค่าการสะท้อนแสงแต่จะมีค่าต่ำสุดกว่าแม่สีตัวอื่น



รูปที่ 2. 15 กราฟการสะท้อนแสงแต่ละแม่สีโรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก

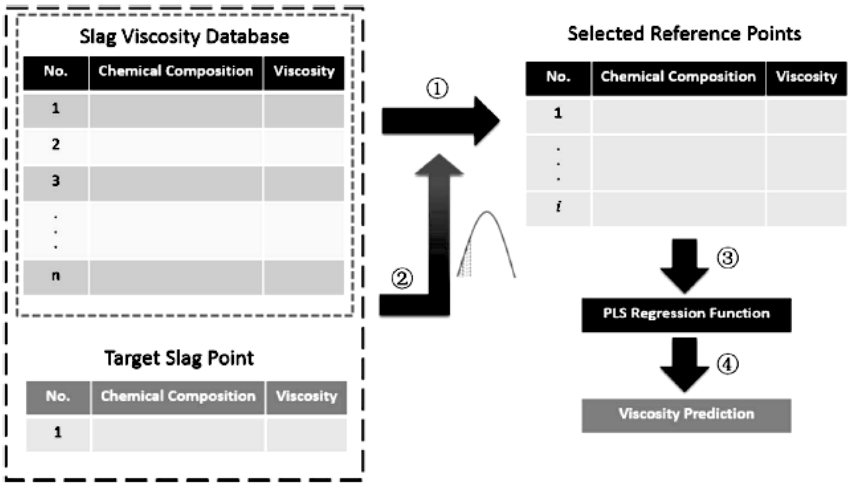
การทดสอบการจับคู่สี (Color Matching) จากเฉดสีของผลิตภัณฑ์ 5 เฉดสีได้แก่ สีเหลือง เหลือง เขียว น้ำเงิน น้ำตาล และเทา เครื่องมือทางสโปกโตรโฟโตรมิเตอร์แยกความแตกต่างของกราฟเส้นการดูดกลืนแสงเป็นลักษณะพิเศษความจำเพาะเจาะจงแต่ละแม่สี คำนวณปริมาณในสูตรเพื่อการผลิตด้วยซอฟต์แวร์ การทดลองในระดับห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์เฉดสีเหลือง พบว่า การใช้เทคนิคการจับคู่สี แสดงกราฟเส้นการสะท้อนแสงของเฉดสีมาตรฐานเทียบกับกราฟของเฉดสีที่ได้จากกาพยากรณ์ เส้นกราฟมีความใกล้เคียงกัน ค่า DE เท่ากับ 0.85 อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้



รูปที่ 2. 16 กราฟการสะท้อนแสงของเฉดสีมาตรฐานของสีเหลืองเทียบกับเฉดสีตัวอย่าง

2.2.2 การประยุกต์ใช้สมการการถดถอย (Regression)

Guo et al.(2016) [18] ศึกษาแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ค่าความหนืดของตะกรันเตาจากการถลุงเหล็ก (Blast-furnace slag) ตะกรันนี้เกิดขึ้นในขั้นตอนการหลอมละลายพร้อมกับเหล็กในเตาถลุงเหล็กซึ่งไม่ใช่โลหะที่ต้องการ งานวิจัยอาศัยเทคนิคสมการการถดถอยกำลังสองน้อยสุดบางส่วนสร้างสมการจากข้อมูลในอดีตจากจุดอ้างอิงของกระบวนการ กำหนดขอบเขตข้อมูลค่าความหนืดเป็นข้อมูลอิสระ จากนั้นประยุกต์สมการถดถอยพหุคูณเพื่อพยากรณ์ค่าความหนืดเทียบกับข้อมูลในอดีต ตัวแปรอิสระของสมการมาจากองค์ประกอบในสูตร 4 ส่วน ได้แก่ CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองคือ ค่าความหนืดของตะกรันเตาจากการถลุงเหล็กที่เกิดขึ้น



1. รวบรวมข้อมูลส่วนขององค์ประกอบและค่าความหนืด และช่วงจุดอ้างอิงจากข้อมูลทั้งหมดเพื่อกำหนดจุดเป้าหมายและเลือกจำนวนจุดอ้างอิง
2. คำนวณค่าความหนืดของจุดเป้าหมายโดยใช้ PLSR นำตัวแปรทั้งหมดทุกตัวเข้าในสมการ
3. ได้สมการเป็นเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบและค่าความหนืด ดังสมการที่ 2.10

$$\ln \eta = \sigma_{CaO} \times x_{CaO} + \sigma_{SiO_2} \times x_{SiO_2} + \sigma_{Al_2O_3} \times x_{Al_2O_3} + \sigma_{MgO} \times x_{MgO} + \beta_0 \quad (2.10)$$

ประเมินความถูกต้องและประสิทธิภาพของสมการ แสดงไว้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการ

Table II. Correlation coefficients of the quaternary system in BFs

Correlation coefficient	MgO	SiO_2	CaO	Al_2O_3
MgO	1.000	0.631	0.796	0.821
SiO_2	0.631	1.000	0.663	0.778
CaO	0.796	0.663	1.000	0.841
Al_2O_3	0.821	0.778	0.841	1.000

ผลการวิจัยพบว่า การพยากรณ์ค่าความหนืดของตะกรันที่อาศัยเทคนิคสร้างสมการถดถอยจากข้อมูลในอดีต สามารถลดผลกระทบความคลาดเคลื่อนจากระบบการวัด การปรับปรุงกระบวนการให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมาก ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์คิดเป็น 6.82% และค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความหนืดต่ำกว่า 0.03 Pa.s

2.2.3 การประยุกต์ใช้สารเร่งแห้งโลหะในสีน้ำมัน (Metal Drier in Alkyd Paint)

Mallégo et al. (2002) [19] วิจัยและศึกษาอิทธิพลสัดส่วนสารเร่งแห้งที่มีผลต่อระยะการแห้งตัวหรือการเกิด Autooxidative crosslink ในฟิล์มสีของสารเคลือบแอลคีด งานวิจัยสนใจปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยาการเชื่อมโยงสายพอลิเมอร์ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งแห้งชนิดของ Primary drier คือ Co, Secondary drier คือ Zr และ Auxiliary drier คือ Ca

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลไลการเกิดปฏิกิริยาการแห้งตัวของแอลคีดเรซินขึ้นอยู่กับการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Redical) นำไปสู่ปฏิกิริยา Oxidation และ Crosslink ต่อไป ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้น (Initiation) การแตกตัวของตัวเริ่มปฏิกิริยาเพื่อเป็นอนุมูลอิสระมีความหนาแน่นอนุภาคอยู่ในระดับต่ำ อนุมูลอิสระ $X^{\cdot}$ จะดึงไฮโดรเจนจากโซ่ของกรดไขมัน (R) เกิดเป็นอนุมูลอิสระของ $R^{\cdot}$

$$X^{\cdot} + RH \longrightarrow R^{\cdot} + XH$$

ขั้นที่ 2 อนุมูลอิสระของ $R^{\cdot}$ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) ในอากาศ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์

$$R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot}$$

ขั้นที่ 3 ปฏิกิริยาขั้นแผ่ขยาย (Propagation) ทำให้เกิดเป็นโซ่ของอนุมูลอิสระอย่างคงที่และมีอัตราการเกิดช้า

$ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\cdot}$

ขั้นที่ 4 เมื่อให้ความร้อนเข้าไปในระบบ ทำให้สารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์โมเลกุลเดี่ยวหรือโมเลกุลคู่แตกตัวเกิดเป็นสารอนุมูลอิสระตัวใหม่ ความหนาแน่นของอนุมูลอิสระที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ใช้เวลานาน ณ อุณหภูมิห้อง

$ROOH \xrightarrow{\Delta} RO^{\cdot} + {}^{\cdot}OH$

$2ROOH \xrightarrow{\Delta} RO^{\cdot} + ROO^{\cdot} + H_2O$

ขั้นที่ 5 ปฏิกิริยาขั้นยุติ (Termination) ความหนาแน่นของสารอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น เกิดปฏิกิริยาการรวมตัวของสารอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (Crosslink) ได้เป็นสารประกอบประเภทแอลไคน์ (C-C) อีเทอร์ (C-O-C) และเปอร์ออกซี (C-O-O-C)

$R^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow R\text{-}R$

$RO^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow ROR$

$ROO^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow ROOR$

จากขั้นตอนที่ 4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นอย่างช้า ในทางอุตสาหกรรมสีแอลคีดเรซินต้องการระยะเวลาการแห้งตัวที่รวดเร็ว สารเร่งแห้งจึงถูกนำมาใช้เร่งปฏิกิริยาประเภทโลหะทรานซิชัน (Transition metal: M) ที่มีจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอน 2 สภาวะ (n และ n+1) เพื่อเร่งให้เกิดสารอนุมูลอิสระเปอร์ออกไซด์ตามกลไลปฏิกิริยาของ Haber-Weiss

$M^{n+} + ROOH \longrightarrow M^{(n+1)+} + RO^{\cdot} + OH^{-}$

$M^{(n+1)+} + ROOH \longrightarrow M^{n+} + ROO^{\cdot} + H^{+}$

กลไลการเกิดปฏิกิริยาการแห้งตัวของแอลคีดเรซินเมื่อใช้สารเร่งแห้ง Co เร่งปฏิกิริยา

Initiation	$RH + Co^{3+} \longrightarrow Co^{2+} + R^{\cdot} + H^{+}$
Peroxide Decomposition	$Co^{2+} + ROOH \longrightarrow Co^{3+} + RO^{\cdot} + OH^{-}$
	$Co^{3+} + ROOH \longrightarrow Co^{2+} + ROO^{\cdot} + H^{+}$
Propagation	$ROO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROOH + R^{\cdot}$
	$R^{\cdot} + O_2 \longrightarrow ROO^{\cdot}$
	$RO^{\cdot} + RH \longrightarrow ROH + R^{\cdot}$
Termination	$R^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow R\text{-}R$ (C-C link dimer)
	$ROO^{\cdot} + R^{\cdot} \longrightarrow ROOR$ (Peroxide linked)
	$ROO^{\cdot} + AH \longrightarrow ROOH + A^{\cdot}$;A = antioxidant

ตารางที่ 2. 5 เปรียบเทียบระยะเวลาการแห้งตัวแต่ละสัดส่วนของสารเร่งแห้ง

Drying Combination and Concentration (wt% on the alkyd)	Surface/Touch-Dry Time (hr)
No drier	>24
0.05% Co	7
0.10% Co	6.50
0.10% Co + 0.15% Zr	6.25
0.10% Co + 0.25% Ca	5
0.10% Co + 0.15% Zr + 0.25% Ca	<4

ผลการวิจัยพบว่า สีตัวอย่างที่ผสมสารเร่งแห้ง 0.10% Co + 0.15% Zr + 0.25% Ca มีระยะเวลาการแห้งตัวน้อยกว่า 4 ชั่วโมง นั่นคือ การนำสีตัวอย่างผสมสารเร่งแห้งทั้งสามชนิดส่งผลให้ระยะเวลาการแห้งตัวเร็วขึ้นกว่าการผสมสารเร่งแห้งเพียงตัวเดียวและการผสมสารเร่งแห้งสองตัว

Gorkum and Bouwman (2005) [20] วิจัยและศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพประเภทของสารเร่งแห้งจำพวกของสารประกอบเชิงซ้อนโลหะสำหรับสีเคลือบแอลคีดหรือสีน้ำมันเปรียบเทียบโดยผสมสารเร่งแห้งระหว่างโคบอลต์/เซอร์โคเนียม/แคลเซียม ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในสีน้ำมัน การใช้เวลาในการแห้งตัวของสี โคบอลต์ > โคบอลต์/เซอร์โคเนียม > โคบอลต์/เซอร์โคเนียม/แคลเซียม แสดงให้เห็นว่าเซอร์โคเนียม และเซอร์โคเนียม/แคลเซียม เมื่อผสมพร้อมกับโคบอลต์มีผลกระทบต่อเวลาในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ไม่เท่ากัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 การประยุกต์แนวทางซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma Approach)

ธีรพร เสนพรหม (2550) [21] วิจัยเรื่องการลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติก วัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากข้อตำหนิประเภทรอยขีดข่วนของแม่แบบแก้วที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตาชนิดบางพิเศษ โดยมีเครื่องมือตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา 5 ระยะ ดังนี้

1) ระยะนิยามปัญหา กำหนดสภาพปัญหาในปัจจุบันที่จะทำการปรับปรุงคือ การลดสัดส่วนของเสียจากตำหนิประเภทรอยขีดข่วนของแม่แบบแก้วที่ใช้ในการผลิตเลนส์สายตา

2) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์ความแม่นและความถูกต้องระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ การประเมินความสามารถของกระบวนการ สร้างแผนภูมิ p สัดส่วนของเสียระดมระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล

3) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย ข้อมูลจะมีการแจกแจงแบบทวินาม ขนาดตัวอย่างในการทดลองมาก Bisgaard and Fuller (1995) [22] เสนอวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างซึ่งเป็นการทดสอบสองหาง (Two-sideed Test) ดังสมการที่ 2.11

$$n = (Z_{1-\sigma/2} + Z_{1-\beta})^2 / (N)(\delta)^2 \quad (2.11)$$

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่างที่ใช้

N = จำนวนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ทำการทดลอง

δ = ค่าความแตกต่างของข้อบกพร่องที่ได้แปลงค่าแล้ว

และจากการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพื่อให้มีความแปรปรวนคงที่ด้วยวิธีรากที่สองของ Arcsin (Arcsin Square Root) จะได้ค่าความแตกต่างของค่าที่รับได้การแปลงข้อมูลแล้ว ดังสมการที่ 2.12

$$\delta = \arcsin\left(\sqrt{Po + (\Delta/2)}\right) - \arcsin\left(\sqrt{Po - (\Delta/2)}\right) \quad (2.12)$$

โดยที่ P_0 = สัดส่วนของเสียโดยประมาณในปัจจุบัน

Δ = ความเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับ

การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) แบบ Two proporation เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยขีดข่วนบนแม่แบบ หาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานอย่างน้อย 4,1944 ตัวต่อหนึ่งการทดลอง ดังสมการที่ 2.13

$$n = \frac{\left(z_{1-\alpha/2}\sqrt{2\bar{p}\bar{q}} + z_{1-\beta}\sqrt{p_1q_1 + p_0q_0}\right)^2}{(p_1 - p_0)^2} \quad (2.13)$$

Chulalongkorn University

- การออกแบบบการทดลอง (Design Of Experiment) แบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยที่เป็นแบบแปรผัน 2_V^{5-1} ซึ่งใช้การทดลอง 20 การทดสอบ (Run) หาขนาดตัวอย่างสำหรับที่ใช้ในทดลองอย่างน้อย 5,190 ตัวต่อแต่ละการทดสอบ

4) ระยะการปรับปรุงแก้ไข กำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้สัดส่วนของแม่แบบเสียต่ำสุด

5) ระยะการติดตามควบคุม ทดสอบเพื่อยืนยันผลเป็นระยะเวลา 1 เดือนตามค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัย จัดทำแผนควบคุม แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย และจัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานใหม่ หลังการปรับปรุงพบว่า สัดส่วนของแม่แบบเสียลดลงจาก 0.25% เหลือ 0.083% คิดเป็น 66.8% เปรียบเทียบสัดส่วนของแม่แบบเสียก่อนการปรับปรุงระดับซิกซ์ ซิกมาก่อนปรับปรุงจาก 4.31 เป็น 4.65 และสามารถลดต้นทุนมูลค่าความสูญเสียได้เท่ากับ 2,398,621 บาทต่อปี

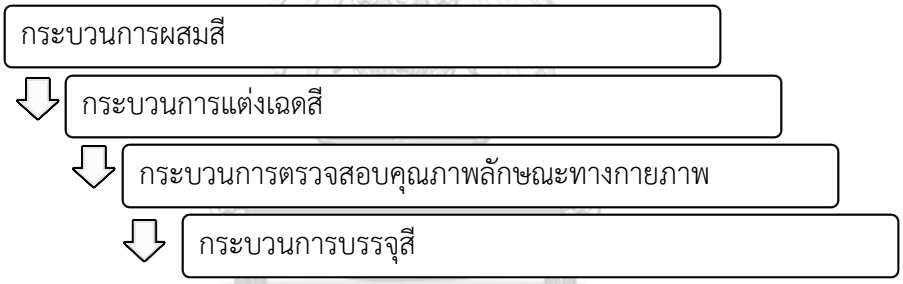
บทที่ 3
ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

3.1 บทนำ

ระยะนิยามปัญหานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจสภาพปัญหาให้ชัดเจน เริ่มต้นด้วยการศึกษากระบวนการผลิตและจัดทำแผนผังการไหลในกระบวนการ กำหนดสภาพปัญหา ทำให้นำไปสู่การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดของการปรับปรุง รวมทั้งการจัดตั้งคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ รวบรวมรายละเอียดทุกองค์ประกอบสร้างสัญญาโครงการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษา จะแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการหลักโดยการผลิตสีจะทำในถังผสมสีทั้งหมดและมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 3. 1 ผังกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. กระบวนการผสมสี (Mixing) พนักงานฝ่ายผลิตเริ่มโหลดวัตถุดิบตามสูตรเพื่อการผลิต ได้แก่ สารยึด ตัวทำละลาย สารเพิ่มเนื้อสี สารเติมแต่ง ที่มีลักษณะเป็นของเหลวลำเลียงผ่านท่อส่งด้วยระบบการควบคุมกึ่งอัตโนมัติสั่งลงในถังผสมสี เปิดเครื่องกวนวัตถุดิบจนเป็นเนื้อเดียวกัน

2. กระบวนการแต่งเฉดสี (Tinting) พนักงานฝ่ายผลิตชั่งน้ำหนักแม่สีและเติมลงในถังผสมสีตามสูตรเพื่อการผลิต จากนั้นลากฟิล์มสีส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณคุณภาพตรวจสอบคุณภาพเฉดสี

3. กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ (Physical Quality Control) พนักงานฝ่ายผลิตนำสีตัวอย่างจากถังผสมสีที่ผ่านคุณภาพเฉดสีตามมาตรฐานแล้วส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณคุณภาพเพื่อตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพตามหัวข้อที่กำหนด

4. กระบวนการบรรจุสี (Filling) พนักงานฝ่ายควบคุมคุณคุณภาพยืนยันคุณภาพสีผ่านตามมาตรฐานแจ้งพนักงานฝ่ายผลิตรับทราบเพื่อเริ่มต้นบรรจุสีลงในภาชนะกระป๋องและกล่อง ตามลำดับ

3.3 แผนผังการไหลในกระบวนการ (Flow Process Chart)

ในการแสดงแผนผังการไหลในกระบวนการทำให้เห็นขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดตั้งแต่วัตถุดิบไหลเข้ากระบวนการผลิตจนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อรอจำหน่าย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3. 1 แผนผังการไหลในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

Flow Process Chart	○ แทน การปฏิบัติงาน				
สถานที่ : ฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ โรงงานกรณีศึกษา	⇨ แทนการเคลื่อนย้าย				
กิจกรรม : กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด	D แทน การรอคอย				
วันที่ : 1 เมษายน พ.ศ. 2561	□ แทน การตรวจสอบ				
	▽ แทน การจัดเก็บ				
กิจกรรม	สัญลักษณ์				
1. กระบวนการผสมสี					
พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบสารยืดลงในถังผสมสี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบตัวทำละลายลงในถังผสมสี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตเปิดเครื่องกวน ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบสารเพิ่มเนื้อสีลงในถังผสมสี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบสารเติมแต่งในถังผสมสี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตรอวัตถุดิบผสมจนเข้ากันเป็นเนื้อเดียว	○	⇨	◗	□	▽
2. กระบวนการแต่งเฉดสี					
พนักงานฝ่ายผลิตชั่งน้ำหนักแม่สีและเติมแม่สีตามสูตรกำหนด กวนจนเข้ากัน	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตลากฟิล์มสีลงบนกระดาษฟิล์มสี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตนำกระดาษฟิล์มสีที่ลากสีแล้วเข้าตู้อบ 60 ºC เป็นเวลา 30 นาที	○	⇨	◗	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตนำกระดาษฟิล์มสีที่แห้งแล้วส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	○	⇨	D	□	▼
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบเฉดสีด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งผลคุณภาพ “ผ่าน” ไปกระบวนการถัดไป	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งผลคุณภาพ “ไม่ผ่าน” ต้องแก้ไขงานใหม่	●	⇨	D	□	▽
3. กระบวนการแต่งเฉดสีตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ					
พนักงานฝ่ายผลิตนำสีตัวอย่างส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	○	⇨	D	□	▼
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อลักษณะของฟิล์มสี	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อความละเอียด	○	⇨	D	■	▽

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

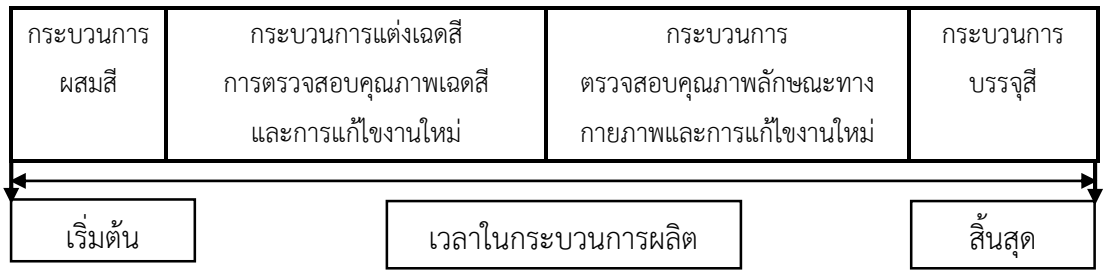
Flow Process Chart	○ แทน การปฏิบัติงาน
สถานที่ : ฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ โรงงานกรณีศึกษา	⇨ แทนการเคลื่อนย้าย
กิจกรรม : กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด	D แทน การรอคอย
วันที่ : 1 เมษายน พ.ศ. 2561	□ แทน การตรวจสอบ
	▽ แทน การจัดเก็บ

กิจกรรม	สัญลักษณ์				
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อความถ่วงจำเพาะ	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อเวลาการแห้งตัว	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อความเงา	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อการบดบังพื้นผิว	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อปริมาณสารที่ไม่ระเหย	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อความหนืด	○	⇨	D	■	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งผลคุณภาพ “ผ่าน” ไปกระบวนการถัดไป	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งผลคุณภาพ “ไม่ผ่าน” ต้องแก้ไขงานใหม่	●	⇨	D	□	▽
4. กระบวนการบรรจุสี					
พนักงานฝ่ายผลิตเตรียมภาชนะบรรจุกระป๋องและกล่อง	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งยืนยันคุณภาพสีผ่านตามมาตรฐาน	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตบรรจุสีลงในกระป๋องและกล่อง	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายคลังสินค้ารับสินค้า และขนส่งไปยังคลังสินค้า	○	➡	D	□	▽
พนักงานฝ่ายคลังสินค้านำสินค้าจัดเก็บบนชั้นวางรอขาย	○	⇨	D	□	▼

ศรีนครินทรวิโรฒ

3.4 สภาพปัญหาและการกำหนดปัญหา

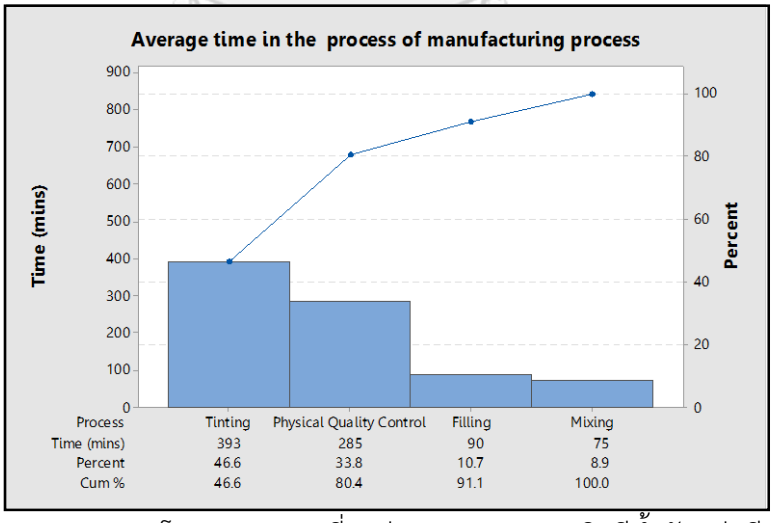
หลังจากการได้ศึกษากระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดแล้ว จึงเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 ทุกรอบการผลิตจำนวน 1,194 รอบการผลิตพบว่า มีปัญหาเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตยาวนานเนื่องจากในกระบวนการผลิตประกอบด้วย 4 กระบวนการย่อย กำหนดคำจำกัดความเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตในขอบเขตงานวิจัยนี้คือ เวลาเริ่มต้นตั้งแต่พนักงานฝ่ายผลิตโหลดวัตถุดิบชนิดแรกลงถังผสมสีในกระบวนการผสมสี ผ่านกระบวนการแต่งเฉดสี ผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ และสิ้นสุดที่กระบวนการบรรจุสีเสร็จเรียบร้อย แสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเวลาถูกบันทึกลงในเอกสารใบสั่งผลิตและซอฟต์แวร์ระบบคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถสรุปเวลารวมเฉลี่ยในแต่ละกระบวนการผลิต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3. 2 องค์ประกอบเวลาในกระบวนการผลิตโรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ 3. 2 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (นาที)	เวลาเฉลี่ย (%)
กระบวนการผสมสี	75	8.9
กระบวนการแต่งเฉดสี	393	46.6
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ	285	33.8
กระบวนการบรรจุสี	90	10.7
เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด	843	100



รูปที่ 3. 3 กราฟพาเรโตแสดงเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

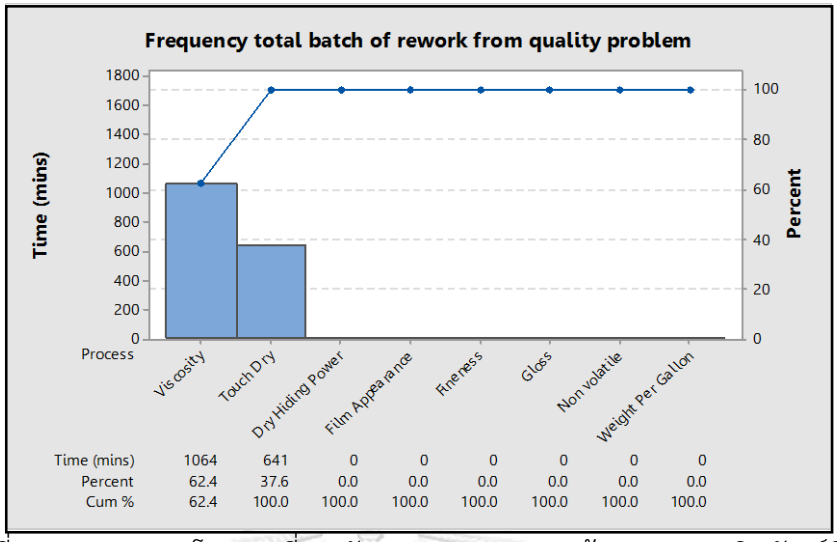
จากรูปที่ 3.3 พบว่า เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต นำข้อมูลมาทำให้อยู่ในรูปกราฟพาเรโตเพื่อเรียงลำดับเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการ ตามรูปที่ 3.3 เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตเท่ากับ 843 นาทีหรือ 14 ชั่วโมง 3 นาทีต่อรอบการผลิต พบว่า 80 % ของเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตที่ยาวนานมาจาก 2 กระบวนการคือ กระบวนการแต่งเฉดสี และกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ ที่มีเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตเท่ากับ 383 นาทีหรือ 6 ชั่วโมง 23 นาทีต่อรอบการผลิต และ 265 นาทีหรือ 4 ชั่วโมง 25 นาทีต่อรอบการผลิต ตามลำดับ หรือคิดรวมกันเป็น 80.4 % ของเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิต สำหรับกระบวนการผสมสี พนักงานฝ่ายผลิตดำเนินการโหลดวัตถุดิบผ่านท่อขนส่งที่มีอัตราเร็วในการโหลดคงที่ลงถังผสมสีเป็นกิจกรรมที่มีความจำเป็นเช่นเดียวกับกระบวนการบรรจุสีที่มีสายการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ ความเร็วในการบรรจุสีลงกระป๋องคงที่ทั้งสองกระบวนการนี้ไม่สามารถปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตได้ งานวิจัยจึงจะศึกษาสภาพการทำงานกระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ เพื่อหาแนวทางลดเวลาในกระบวนการผลิตเท่านั้น

กระบวนการแต่งเฉดสี

เวลาที่ใช้ในกระบวนการแต่งเฉดสีขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของการแต่งเฉดสีให้ผ่านคุณภาพเทียบเท่าเฉดสีมาตรฐาน เกณฑ์การควบคุมคุณภาพกำหนดค่าความแตกต่างสีตัวอย่างเทียบกับสีมาตรฐาน (Color Difference: DE < 0.50) ที่วัดค่าได้จากเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ย 7 รอบต่อรอบการผลิตและมีเวลารวมเฉลี่ย 50 นาทีต่อหนึ่งรอบการแต่งเฉดสีและการตรวจสอบเฉดสี การแก้ไขงานใหม่หรือการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกระบวนการแต่งเฉดสีนี้ทำได้ด้วยการเติมวัตถุดิบแม่สีจนทำให้คุณภาพเฉดสีผ่านช่วงที่ยอมรับได้

กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ

เวลาที่ใช้ในกระบวนการยาวนานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการตรวจสอบให้คุณภาพทุกหัวข้ออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเฉลี่ย 3 รอบต่อรอบการผลิตและเวลารวมเฉลี่ย 75 นาทีต่อหนึ่งรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพและแก้ไขงานใหม่ ในปัจจุบันการตรวจสอบคุณภาพมีทั้งหมด 8 หัวข้อคือ ลักษณะของฟิล์มสี ความหนืด ความละเอียด ความถ่วงจำเพาะ เวลาการแห้งตัว ความเงา การบดบังพื้นผิว และปริมาณสารที่ไม่ระเหย ผู้วิจัยได้ศึกษาความถี่ของปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่ แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3. 4 กราฟพาเรโตความถี่ของปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่

จากรูปที่ 3.4 พบว่า ปัญหาและผลกระทบด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการแก้ไขงานใหม่เกิดจากปัญหา 2 เรื่องคือ อันดับหนึ่งเป็นปัญหาความหนืดสูงกว่าช่วงที่ยอมรับได้มีสัดส่วนปัญหาเฉลี่ย 62.4% และอันดับสองเป็นปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมีสัดส่วนปัญหาเฉลี่ย 37.6% สำหรับปัญหาคุณภาพด้านอื่น ๆ ได้แก่ ลักษณะของฟิล์มสีและความละเอียดควบคุมคุณภาพและตรวจสอบตั้งแต่ขั้นตอนที่เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปทำให้ไม่พบปัญหาเมื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป การบดบังพื้นผิว ความถ่วงจำเพาะ ปริมาณสารที่ไม่ระเหยตรวจสอบเพื่อบันทึกจัดเก็บข้อมูลไว้เท่านั้นไม่มีการเติมวัตถุดิบเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ความเงาจะกำหนดช่วงยอมรับที่มากกว่า 70 หน่วยใน 100 หน่วยซึ่งสูตรเพื่อการผลิตมีแอลคีดเรซินเป็นองค์ประกอบที่มีความเงาสูงอยู่แล้ว ดังนั้นจะไม่พบปัญหาความเงาต่ำกว่าช่วงที่ยอมรับได้ สำหรับความหนืดและเวลาการแห้งตัว เกินช่วงที่ยอมรับเป็นสองหัวข้อที่มีนัยสำคัญที่ลูกค้าสามารถตรวจจับได้ในขณะการใช้งานผลิตภัณฑ์ ประกอบกับทั้งสองหัวข้อนี้มีวัตถุดิบสำหรับการปรับปรุงคุณภาพจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงตัดสินใจพิจารณาเลือกศึกษาแนวทางลดจำนวนรอบในการแก้ไขงานใหม่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้และปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ซึ่งมีสัดส่วนปัญหาคิดรวมกันเป็น 100%

จำนวนรอบในการแก้ไขงานใหม่ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้และปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดส่งผลต่อจำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเฉลี่ยที่คำนวณได้ การแก้ไขงานใหม่หรือการปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ทำได้

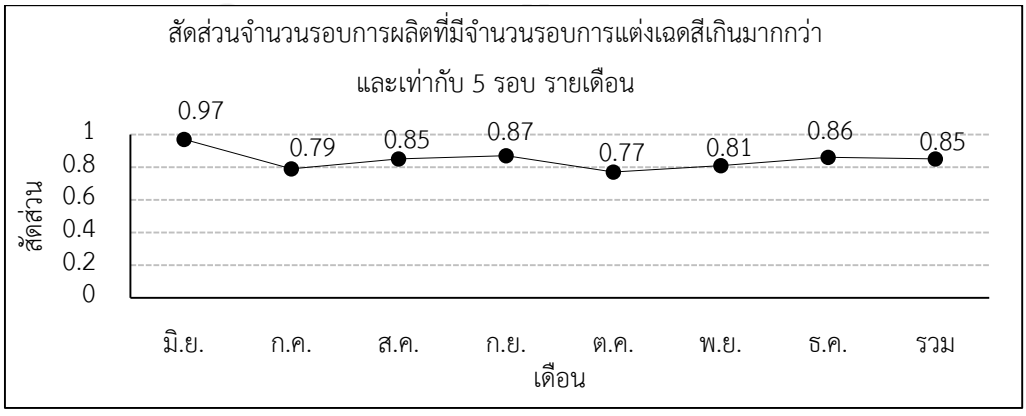
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้วยการเติมวัตถุดิบ ปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมตัวทำละลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนรายการเดียวในสูตรเพื่อการผลิต ปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดปรับปรุงคุณภาพด้วยสารเร่งแห้งทั้ง 3 ชนิดคือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียมในสูตรเพื่อการผลิต ซึ่งปัจจุบันจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพมีตั้งแต่ 1 รอบจนถึง 4 รอบจึงทำให้ความหนืดและเวลาการแห้งตัวของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

การทำให้เวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตต่อรอบการผลิตลดลง ในกระบวนการแต่งเฉดสีสามารถทำได้โดยการลดสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูง ปัจจุบันมีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ย 7 รอบต่อรอบการผลิต เป้าหมายที่จะลดจำนวนรอบลง 50% นั่นคือจาก 7 รอบลดลงเหลือ 4 รอบและในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพสามารถทำได้โดยการลดสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพสูงในปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดและปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้ โดยปกติแล้วในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเมื่อตรวจสอบคุณภาพในครั้งแรกแล้วพบปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมวัตถุดิบตัวทำละลายหรือสารเร่งแห้งตามปัญหาที่พบ การเติมวัตถุดิบ 1 รอบถือว่ามีความจำเป็นที่ต้องทำแต่ถ้าหากต้องเติมวัตถุดิบเกิน 1 รอบคือสิ่งไม่จำเป็น ปัจจุบันสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาด้านคุณภาพ มีดังนี้

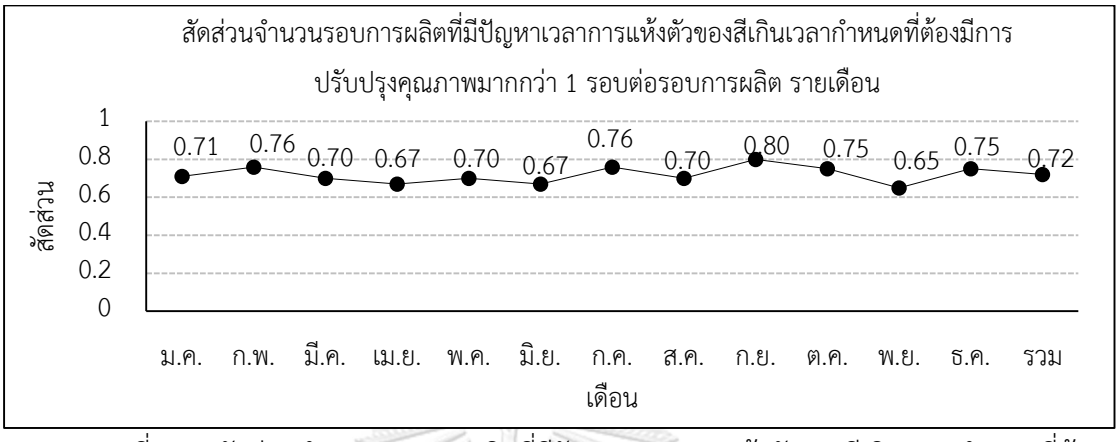
1. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ ในปัจจุบันคิดเป็น 0.85 แสดงในรูปที่ 3.5 เนื่องจากปัจจุบันพบว่ามีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ย 7 รอบต่อรอบการผลิต เป้าหมายที่จะลดจำนวนรอบลง 50% นั่นคือจาก 7 รอบลดลงเหลือ 4 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



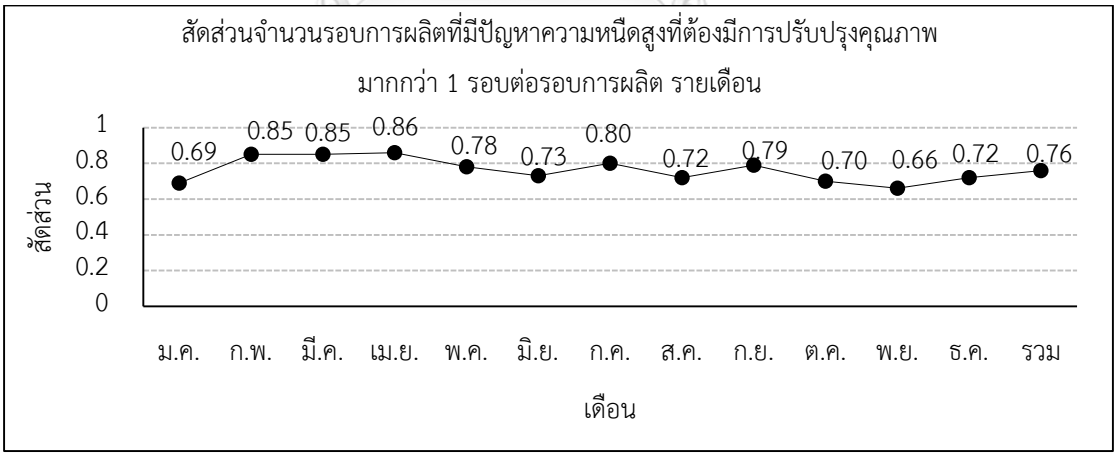
รูปที่ 3. 5 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเกินมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

2. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในปัจจุบันคิดเป็น 0.72 แสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3. 6 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

3. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในปัจจุบันคิดเป็น 0.76 แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3. 7 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2560

3.5 การกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและตัวชี้วัด

กำหนดวัตถุประสงค์ที่จะทำการปรับปรุง คือ การลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด โดยตัวชี้วัดคือ เวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตในหน่วยนาที ซึ่งมีผลกระทบจากสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่เกิดปัญหาด้านคุณภาพ ดังนี้

1. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ ในปัจจุบันคิดเป็น 0.85 กำหนดเป้าหมายลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.85 ลดลงเหลือ 0.43 ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\text{สัดส่วนปัญหาการแต่งเฉดสี} = \frac{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ } \mathbf{5} \text{ รอบ}}{\text{จำนวนรอบการผลิตทั้งหมดที่มีการแต่งเฉดสี}} \qquad (3.1)$$

2. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในปัจจุบันคิดเป็น 0.72 กำหนดเป้าหมายลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.72 ลดลงเหลือ 0.36 ดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$\text{สัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสี} = \frac{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวมากกว่า } \mathbf{1} \text{ รอบ}}{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาคุณภาพการแห้งตัวทั้งหมด}} \qquad (3.2)$$

3. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในปัจจุบันคิดเป็น 0.76 กำหนดเป้าหมายลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.76 ลดลงเหลือ 0.38 ดังแสดงในสมการที่ 3.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\text{สัดส่วนปัญหาความหนืดสูง} = \frac{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากกว่า } \mathbf{1} \text{ รอบ}}{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาคุณภาพความหนืดสูงทั้งหมด}} \qquad (3.3)$$

โรงงานกรณีศึกษาให้น้ำหนักความสำคัญกับต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ หากมีแนวทางการปรับปรุงคุณภาพที่จะสามารถประหยัดต้นทุนรวมได้ควรเลือกเป็นแนวทางหลัก ดังนั้นการดำเนินงานวิจัยขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละปัญหาจะมีเป้าหมายประหยัดต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำที่สุด และมีสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่าจำนวนรอบเป้าหมายต่อรอบการผลิตแต่ละปัญหาต่ำกว่าสัดส่วนเป้าหมายที่กำหนดไว้ในงานวิจัยนั่นคือ ยอมให้มีการแก้ไขงานใหม่ได้บ้างและสามารถประหยัดต้นทุนรวมได้ด้วย

3.6 การกำหนดขนาดตัวอย่าง

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ข้อมูลในการวัดผลเปรียบเทียบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตของแต่ละปัญหาการแก้ไขงานใหม่ของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ โดยใช้สูตรสำหรับการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions ดังแสดงในสมการที่ 3.4 ซึ่งสามารถสรุปการคำนวณขนาดตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.3

$$n = \frac{\left(z_{1-\alpha/2}\sqrt{2\bar{p}\bar{q}} + z_{1-\beta}\sqrt{p_1q_1 + p_0q_0}\right)^2}{(p_1 - p_0)^2} \quad (3.4)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องเก็บก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

p_0 คือ สัดส่วนปัญหาปัจจุบันก่อนปรับปรุงกระบวนการ โดยที่ $q_0 = 1 - p_0$

p_1 คือ สัดส่วนปัญหาเป้าหมายที่จะลดลงหลังปรับปรุงกระบวนการ โดยที่ $q_1 = 1 - p_1$

$\bar{p}$ คือ ค่าเฉลี่ยสัดส่วนปัจจุบันก่อนปรับปรุงกระบวนการและสัดส่วนปัญหาเป้าหมายที่จะลดลงหลังปรับปรุงกระบวนการ $[(p_0 + p_1)/2]$ โดยที่ $\bar{q} = 1 - \bar{p}$

$1-\alpha/2$ คือ ระดับความเชื่อมั่นกำหนดให้เป็น 95%

β คือ กำลังการทดสอบ (Power Value) กำหนดให้เป็น 0.9

ตารางที่ 3. 3 ขนาดตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions

สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต	จำนวนข้อมูลที่มีก่อนปรับปรุง	สัดส่วนปัญหาก่อนปรับปรุง	สัดส่วนปัญหาเป้าหมาย	จำนวนข้อมูลที่ต้องเก็บหลังปรับปรุง
สัดส่วนปัญหาการแต่งเฉดสี	1,194	0.85	0.43	26
สัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด	641	0.72	0.36	39
สัดส่วนปัญหาความหนืดสูง	1,064	0.76	0.38	34

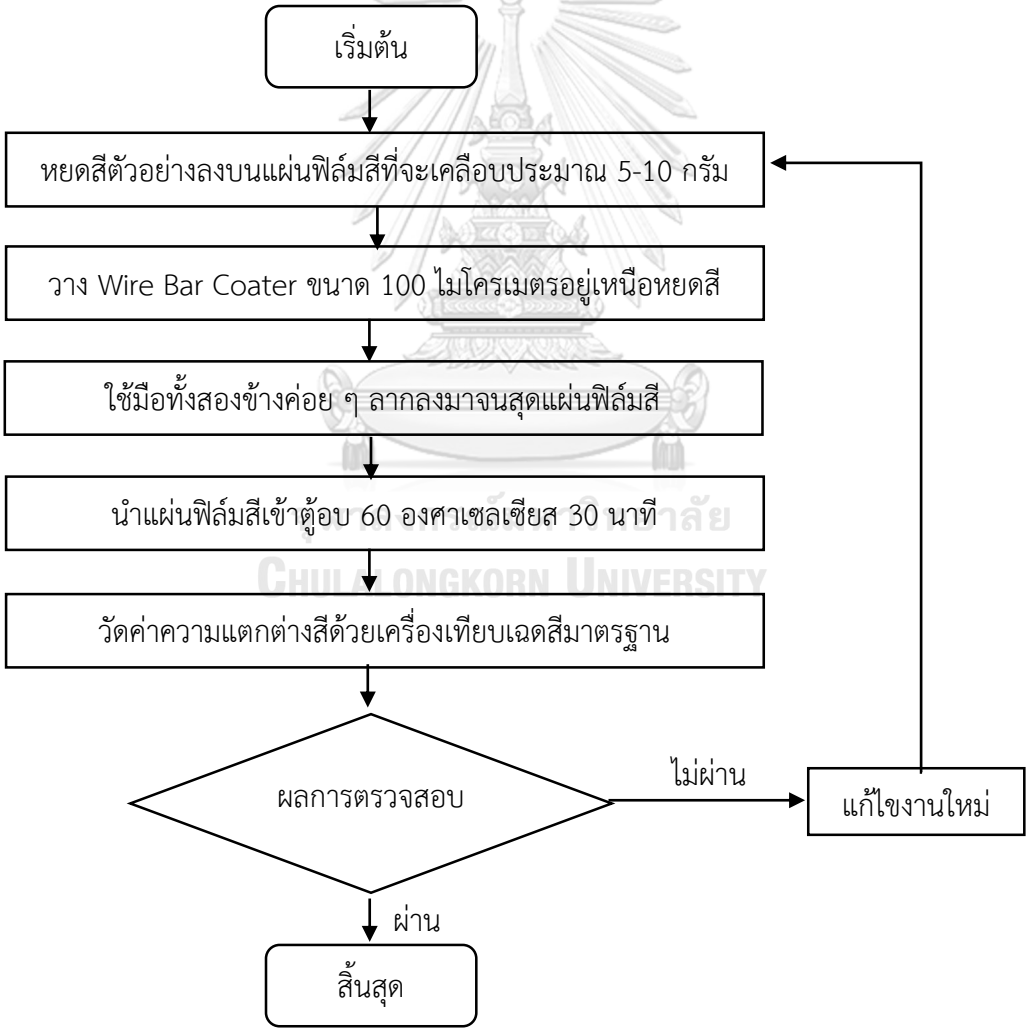
จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่า ในการเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างที่จำเป็นต้องใช้ก่อนและหลังที่ปรับปรุงเท่ากับ 26, 34, 39 ในแต่ละปัญหาตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดตัวอย่างที่มีอยู่แล้วก่อนการปรับปรุงพบว่า จำนวนข้อมูลมีเพียงพอ ส่วนหลังปรับปรุงจะเก็บข้อมูลอย่างน้อยเท่ากับขนาดตัวอย่างตามที่คำนวณได้นี้

3.7 เกณฑ์การกำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพ

ตารางที่ 3. 4 เกณฑ์กำหนดคุณภาพผลิตภัณฑ์สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด

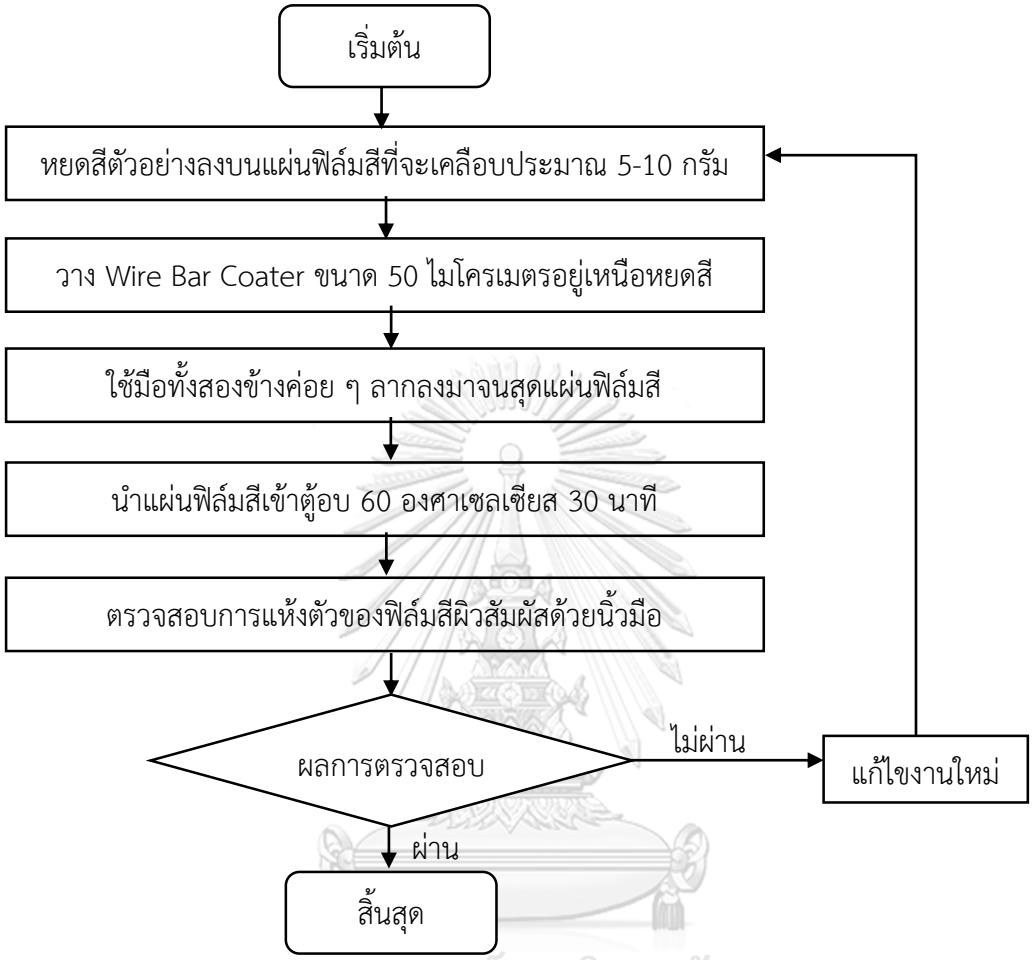
พารามิเตอร์	ค่าที่ยอมรับได้	หน่วย
ค่าความแตกต่างสี *(DE)*	< 0.50	-
เวลาการแห้งตัวของสีผิวสัมผัส (Touch Dry)	ฟิล์มสีแห้ง	-
ค่าความหนืด (Viscosity)	78 - 83	Krebs Unit *(KU)*

3.7.1 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี (DE) ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3. 8 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี

3.7.2 วิธีการตรวจสอบคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีผิวสัมผัส (Touch Dry) ดังแสดงในรูปที่ 3.9

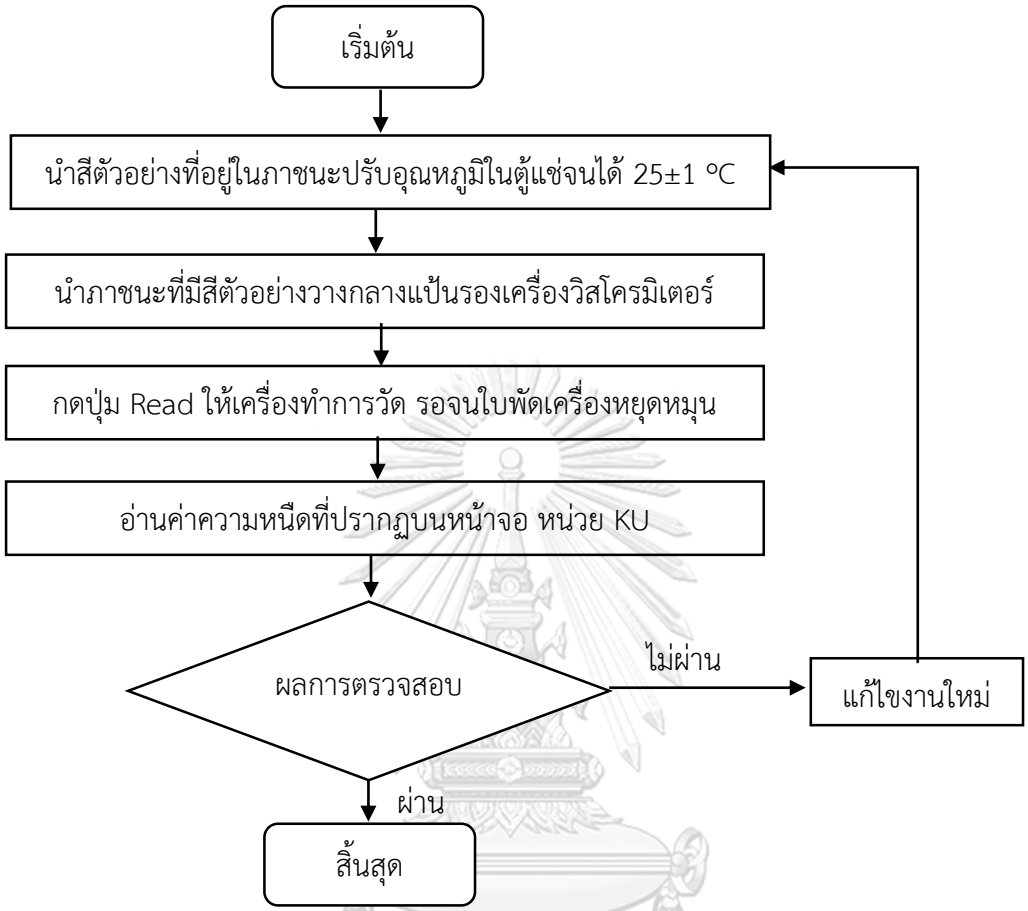


รูปที่ 3. 9 วิธีการตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของฟิล์มสีผิวสัมผัส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

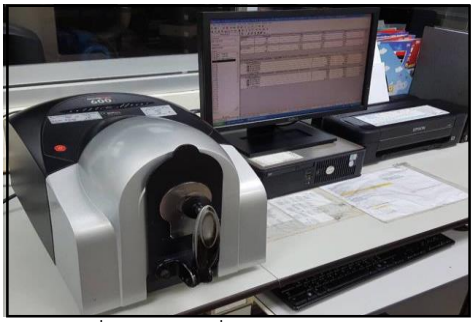
วิธีการตรวจสอบการแห้งตัวของฟิล์มสีผิวสัมผัสจะตรวจสอบหลังจากอบฟิล์มสีในตู้อบความร้อน 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุเวลาจริงที่สีแห้งตัวได้ เนื่องจากแผ่นฟิล์มสีที่ทดสอบยังอยู่ในตู้อบ ผลการตรวจสอบจะระบุเป็น “ผ่าน” เมื่อฟิล์มสีแห้ง และระบุเป็น “ไม่ผ่าน” เมื่อฟิล์มสีไม่แห้งหลังจากเสร็จจากการเข้าตู้อบแล้วเป็นเวลา 30 นาที

3.7.3 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความหนืด (Viscosity) ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3. 10 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความหนืด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3. 11 เครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน

รูปที่ 3. 12 เครื่องวิสโครมิเตอร์

3.8 การจัดตั้งคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ

การจัดตั้งคณะทีมงานเพื่อเข้าร่วมปรับปรุงโครงการ จะคัดเลือกจากผู้มีประสบการณ์และความชำนาญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงการลดเวลาในกระบวนการผลิต ประกอบด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์
- ผู้จัดการฝ่ายผลิต
- พนักงานงานฝ่ายผลิต
- ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมเพื่อการผลิต
- ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ
- พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
- ผู้ดำเนินงานวิจัย

คณะทีมงานปรับปรุงโครงการมีหน้าที่ระดมสมองค้นหาสาเหตุและแนวทางเพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตรวมทั้งการเก็บข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุง สำหรับหน้าที่ของผู้ดำเนินการวิจัยมีดังนี้

- ติดต่อประสานงาน จัดประชุมร่วมกับคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ
- เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด
- การจัดทำข้อมูลพื้นฐานของแม่สีที่ใช้สำหรับการแต่งเฉดสีในกระบวนการผลิต
- การออกแบบและการวางแผนการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี
- การวิเคราะห์หาสมการการถดถอยสำหรับการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- จัดทำแผนควบคุม เพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

3.9 สัญญาโครงการ (Project Charter)

การสร้างสัญญาโครงการเป็นการกำหนดรายละเอียดให้กับโครงการ แสดงให้เห็นถึงการอธิบายสภาพปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ตัวชี้วัดของโครงการ ขอบเขตของโครงการ ข้อจำกัดในการทำโครงการ สมมุติฐานของโครงการ คณะทีมงานปรับปรุงโครงการ และระยะเวลาในการดำเนินโครงการ ของโครงการการลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน โดยสัญญาโครงการได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3. 5 สัญญาโครงการของโครงการการลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน

Project Title: การลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมัน

Business Case:

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ปกป้องพื้นผิวต้องการปรับปรุงการทำงานเพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันทางธุรกิจได้

Problem Statement:

เวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประ หยัด จากข้อมูลในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 ยาวนานเท่ากับ 843 นาทีต่อรอบการผลิต ซึ่งเป็นผลกระทบจากการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบต่อรอบการผลิตซึ่งเกินความจำเป็น ประกอบด้วยสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่เกิดปัญหาการแต่งเฉดสี ปัญหาการแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดเท่ากับ ปัญหาความหนืดสูง0.85, 0.72, 0.76 ของจำนวนรอบการผลิตทั้งหมด ตามลำดับ

Objective Statement:

ปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนจำนวนรอบที่มีปัญหาการแต่งเฉดสี ปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ปัญหาความหนืดสูง โดยตั้งเป้าหมายลดลง 50% ในทุกปัญหา ภายในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561

Project Metrics:

Business Metrics: ข้อร้องเรียนจากลูกค้าด้านคุณภาพและการได้รับผลิตภัณฑ์ล่าช้าหรือความพึงพอใจของฝ่ายผลิต

Primary Metrics: เวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต

Secondary Metrics: เวลาว่างของพนักงานที่สามารถนำไปใช้พัฒนาความรู้ด้านอื่นได้

Consequential Metrics: เวลาที่ต้องคำนวณปริมาณวัตถุดิบก่อนปรับปรุงคุณภาพ

Financial Metrics: ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

Project Scope:

ศึกษากระบวนการ วิธีการและขั้นตอนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เฉพาะเกรดประหยัดเท่านั้น

Project Constraint:

1. คณะทีมงานปรับปรุงโครงการมีเวลาให้โครงการ 6 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
2. ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการก่อนการผลิตจริง

Project Assumption:

1. ผู้ดำเนินงานวิจัยรวบรวมข้อมูลและรายงานความคืบหน้าผลการดำเนินการทุกเดือนต่อคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ
2. ได้รับการสนับสนุนจากคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ เมื่อมีอุปสรรคปัญหาในระหว่างการทำโครงการ

Team Members:

Champion:	ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ
Master Black Belt:	ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาฯ
Process Owner:	ผู้จัดการฝ่ายผลิต
Black Belt:	ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรมเพื่อการผลิต
Green Belt:	พนักงานฝ่ายผลิต
Green Belt:	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
Black Belt:	ผู้ดำเนินงานวิจัย

Project Timeline:

ระยะเวลาดำเนินโครงการ 1 ม.ค. ถึง 31 พ.ย. พ.ศ. 2561

กิจกรรม	เริ่มต้น	สิ้นสุด
Define Phase	1 ม.ค. 61	28 ก.พ. 61
Measure Phase	1 มี.ค. 61	30 มี.ค. 61
Analysis Phase	1 เม.ย. 61	30 พ.ค. 61
Improve Phase	1 มิ.ย. 61	30 ก.ย. 61
Control Phase	1 ต.ค. 61	30 พ.ย. 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.10 สรุประยะการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหาหลังจากศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาแล้ว ได้กำหนดปัญหาและเป้าหมายที่จะทำการปรับปรุงคือ การลดเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด โดยตัวชี้วัดคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่เกิดปัญหาด้านคุณภาพสามปัญหาคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบจะลดให้ได้เหลือ 0.43 จากในปัจจุบัน 0.85 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตจะลดให้ได้เหลือ 0.36 จากในปัจจุบัน 0.72 และสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตจะลดให้ได้เหลือ 0.38 จากในปัจจุบัน 0.76 ซึ่งในจากข้อมูลในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 พบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่เกิดปัญหาด้านคุณภาพแล้วต้องปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบเกินความจำเป็นส่งผลให้กระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด มีเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตเท่ากับ 843 นาทีหรือ 14 ชั่วโมง 3 นาทีต่อรอบการผลิตซึ่งยาวนาน ดังนั้นจึงทำการจัดตั้งคณะทีมงานเข้าร่วมโครงการศึกษาและปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดสัดส่วนจำนวนรอบที่มีปัญหาการแต่งเฉดสี ปัญหาความหนืดสูง ปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ให้ได้ตามเป้าหมายภายในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ระยะการวัดสภาพปัญหา (Measure Phase)

4.1 บทนำ

หลังจากที่ได้นิยามปัญหาแล้วระยะการวัดสภาพปัญหานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางคุณภาพและสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่าความแตกต่างของสีด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน ค่าความหนืดด้วยเครื่องวิสโคมิเตอร์ และเวลาการแห้งตัวของสีด้วยนิ้วมือ เก็บข้อมูลสภาพปัญหาในปัจจุบัน จากนั้นทำการระดมสมอง หาสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล จัดลำดับความสำคัญสาเหตุของปัญหาโดยเมทริกซ์สาเหตุและผล กราฟคะแนนและเปอร์เซ็นต์สะสม คัดเลือกสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลต่อเวลาในกระบวนการผลิตยาวนาน

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดมีความจำเป็น โดยก่อนเริ่มการปรับปรุงกระบวนการต้องมั่นใจว่าระบบการวัดมีความแม่นหรือการได้ค่าวัดที่มีความถูกต้อง มีเสถียรภาพที่ดี การวิเคราะห์ระบบการวัดคุณภาพสีตัวอย่างในห้องปฏิบัติการระหว่างกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา แบ่งตามชนิดของข้อมูลเป็น 2 ประเภท ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแบบหน่วยวัด (Variable Data) การประเมินความแม่น (Accuracy) ของระบบการวัดในงานวิจัยนี้คือ ค่าความแตกต่างสี (DE) วัดด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานและค่าความหนืด (Viscosity) วัดด้วยเครื่องวิสโคมิเตอร์ให้ค่าข้อมูลเป็นแบบหน่วยวัดที่เป็นตัวเลขที่มีความต่อเนื่อง เครื่องมือทั้งสองชนิดมีการสอบเทียบทุก 8 ชั่วโมงจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ การสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ซึ่งได้รับรองระบบคุณภาพจากหน่วยงานภายนอก ดังนั้นเครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือว่าให้ค่าที่ถูกต้อง

การประเมินความเที่ยง (Precision) ของระบบการวัด เนื่องจากมีการใช้พนักงานหลายคนในการวัดค่าจึงต้องการประเมินความเที่ยงเพื่อดูว่าความผันแปรของค่าวัดระหว่างพนักงานอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยเกณฑ์การยอมรับการประเมินความเที่ยงของระบบการวัด อ้างอิงเกณฑ์ของ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Automotive Industry Action Group (2002) [23] แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 สำหรับการกำหนดขนาดตัวอย่าง เพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 1 เกณฑ์การยอมรับการประเมินความเที่ยงของระบบการวัด (AIAG, 2002)

ค่า Gage R&R	ความหมาย
P/TV หรือ P/TV < 10%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
P/TV >= 10% หรือ P/TV < 30%	อาจจะยอมรับได้ โดยพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ
P/TV หรือ P/TV >= 30%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องหาสาเหตุและทำการแก้ไข

ตารางที่ 4. 2 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลต่อเนื่อง

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนผู้ทดสอบ ทำการคัดเลือกพนักงานฝ่ายผลิตที่มีความชำนาญการแต่งเฉดสี จำนวน 3 คน เนื่องจากพนักงานแต่งเฉดสีของฝ่ายผลิตมีหน้าที่ต้องเตรียมแผ่นฟิล์มสีตัวอย่างเพื่อส่งพนักงานวัดเฉดสีของฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพความแตกต่างสี

2. กำหนดจำนวนตัวอย่างและจำนวนการทดลองซ้ำ ผู้วิจัยทำการเตรียมสีตัวอย่างสีน้ำมันเฉดสี ECO001 จำนวน 10 รุ่นการผลิต (ตามตารางที่ 4.2) ช่วงค่าความแตกต่างสีเท่ากับ 0.30 – 2.00 เพื่อให้ข้อมูลค่าความแตกต่างสีกระจายอยู่ในช่วงและอยู่นอกช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานคุณภาพกำหนดค่าความแตกต่างสี < 0.50

3. กำหนดลำดับในการตรวจสอบคุณภาพความแตกต่างสี ลำดับการวัดต้องเป็นแบบสุ่ม นั่นคือพนักงานแต่งเฉดสีของฝ่ายผลิตแต่ละคนได้รับสีตัวอย่าง 10 รุ่นการผลิตที่มีการกำหนดลำดับ

หมายเลขสีตัวอย่างแบบสุ่ม วัดซ้ำตัวอย่างละ 2 ครั้ง (ตามตารางที่ 4.2) พนักงานแต่งเฉดสีของฝ่ายผลิตเตรียมแผ่นฟิล์มสีตัวอย่างเพื่อส่งตรวจสอบคุณภาพความแตกต่างสี พนักงานวัดเฉดสีของฝ่ายควบคุมคุณภาพวัดค่าความแตกต่างสีและบันทึกค่าที่วัดได้ลงในแบบฟอร์ม

4. ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.3 ต้องมีค่าอยู่เกณฑ์การยอมรับการประเมินความเที่ยงของระบบการวัด อ้างอิงเกณฑ์ของ Automotive Industry Action Group (2002) [23] แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 3 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี

ตัวอย่างที่	ผู้ทดสอบคนที่ 1		ผู้ทดสอบคนที่ 2		ผู้ทดสอบคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.83	0.74	0.75	0.82	0.85	0.77
2	0.50	0.62	0.64	0.57	0.57	0.66
3	1.94	1.82	1.88	1.80	1.76	1.83
4	1.24	1.21	1.32	1.27	1.28	1.36
5	0.42	0.50	0.39	0.45	0.47	0.51
6	0.94	1.03	0.95	0.89	1.01	1.07
7	1.52	1.42	1.44	1.32	1.46	1.39
8	0.84	0.91	0.78	0.85	0.79	0.84
9	1.73	1.64	1.72	1.78	1.68	1.62
10	0.34	0.29	0.31	0.37	0.38	0.31

จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 ไปทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหา การแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบที่เกิดจากมาตรฐานคุณภาพความแตกต่างสีเกินช่วงการยอมรับได้ ด้วยซอฟต์แวร์ Minitab โดยมีผลลัพธ์ ดังนี้

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Result

Gage name: Gagre R&R for DE
Date of study: 1 April 2018
Reported by: Phalatkorn Jaipongakkharakul
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	14.4977	1.61086	446.107	0.000
Operators	2	0.0017	0.00085	0.236	0.792
Parts * Operators	18	0.0650	0.00361	1.406	0.199
Repeatability	30	0.0771	0.00257		
Total	59	14.6415			

4

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	14.4977	1.61086	544.337	0.000
Operators	2	0.0017	0.00085	0.288	0.751
Repeatability	48	0.1420	0.00296		
Total	59	14.6415			

5

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.002959	1.09
Repeatability	0.002959	1.09
Reproducibility	0.000000	0.00
Operators	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.267984	98.91
Total Variation	0.270943	100.00

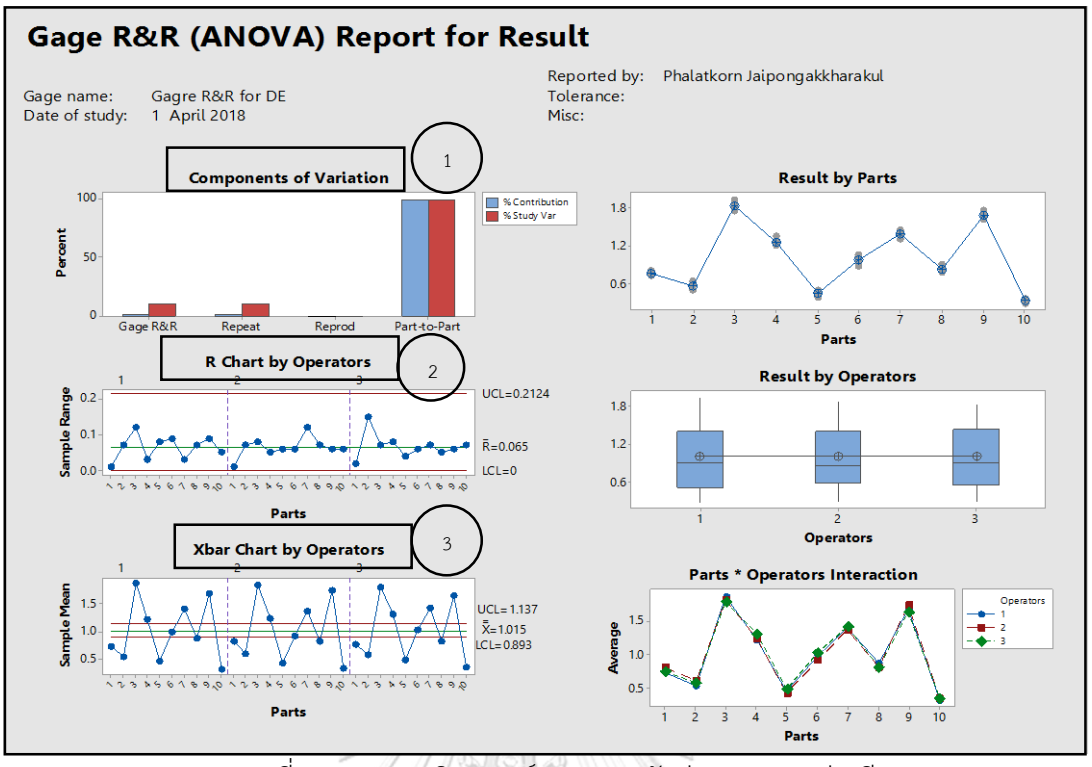
1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.054399	0.32640	10.45
Repeatability	0.054399	0.32640	10.45
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00
Operators	0.000000	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.517671	3.10603	99.45
Total Variation	0.520522	3.12313	100.00

6

Number of Distinct Categories = 13

7



รูปที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความแตกต่างสี

จากรูปที่ 4.1 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบหน่วยวัดของค่าความแตกต่างสี ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบที่เกิดจากมาตรฐานการควบคุมคุณภาพความแตกต่างสีเกินช่วงการยอมรับได้ ดังนี้

1. จากแผนภูมิ Components of Variation พบว่า ความแปรปรวนจากความแตกต่างของตัวอย่างสี (Part- to-Part) มีค่าเท่ากับร้อยละ 98.91 ความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gauge R&R) มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.09 โดยความแปรปรวนส่วนมากมาจากความแตกต่างของตัวอย่างสี

2. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operators พบว่า ข้อมูลมีค่าพิสัย (R) มีค่าความแตกต่างกันเป็นจำนวนมากกว่า 4 ค่า แสดงว่า ระบบการวัดนี้มีคุณสมบัติในการแยกแยะความแตกต่างของตัวอย่างที่วัด

3. จากแผนภูมิควบคุม X-bar Chart by Operators พบว่า ตัวอย่างมีความแตกต่างกัน พิจารณาจำนวนข้อมูลมากกว่า 1 ใน 3 ที่ออกนอกเส้นพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าความแปรผันของกระบวนการได้

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) อิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบ (Parts*Operators)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมมติฐาน H_0: ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

H_1: มีอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-value ของ Part*Operators มีค่าเท่ากับ 0.199 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นยอมรับ H_0 แสดงว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) ของตัวอย่าง (Parts)

สมมติฐาน H_0: ไม่มีอิทธิพลของตัวอย่างต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

H_1: มีอิทธิพลของตัวอย่างต่อความผันแปรของข้อมูลในระบบการวัด

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-value ของ Part มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ตัวอย่างมีอิทธิพลต่อความผันแปรของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ตัวอย่างอย่างน้อย 1 คู่มีค่าความแตกต่างสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) ของผู้ทดสอบ (Operators)

สมมติฐาน H_0: ไม่มีอิทธิพลของผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

H_1: มีอิทธิพลของผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-value ของ Operators มีค่าเท่ากับ 0.751 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นยอมรับ H_0 แสดงว่า ไม่มีอิทธิพลของผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6. ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) พบว่า สัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดเทียบกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.45 ซึ่งมีค่าเกินร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 โรงงานกรณีศึกษาใช้เกณฑ์ยอมรับที่ร้อยละ 30 อ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG (2002) [23]เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องเครื่องมือวัดไม่สามารถลงทุนค่าเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงสูงกว่านี้ได้ จึงยอมรับความเที่ยงของระบบการวัดนี้7. ระบบการวัดจะมีความสามารถในการแยกแยะประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกันของค่าวัด (Number of Distinct Categories: ndc) เท่ากับ 13 กลุ่ม ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 กลุ่ม แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ อ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG (2002)

สรุปผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแบบหน่วยวัดของค่าความแตกต่างสี โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า สามารถยอมรับความเที่ยงของระบบการวัดนี้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความหนืด มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนผู้ทดสอบ ทำการคัดเลือกพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่มีความชำนาญในการตรวจสอบคุณภาพค่าความหนืดสี จำนวน 3 คน

2. กำหนดจำนวนตัวอย่างและจำนวนการทดลองซ้ำ ผู้วิจัยทำการเตรียมสีตัวอย่างสีน้ำมันเฉดสี ECO001 จำนวน 10 รุ่นการผลิต (ตามตารางที่ 4.2) มีช่วงค่าความหนืด 75 – 100 KU เพื่อให้ข้อมูลค่าความหนืดกระจายอยู่ในช่วงและอยู่นอกช่วงที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพค่าความหนืด 77 – 83 KU

3. กำหนดลำดับในการตรวจสอบคุณภาพความหนืด ลำดับการวัดต้องเป็นแบบสุ่ม นั่นคือพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแต่ละคนได้รับสีตัวอย่าง 10 รุ่นการผลิตที่มีการกำหนดลำดับหมายเลขสีตัวอย่างแบบสุ่ม วัดซ้ำตัวอย่างละ 2 ครั้ง (ตามตารางที่ 4.2) พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพวัดค่าความหนืดสีและบันทึกค่าที่วัดได้ลงในแบบฟอร์ม

4. ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความหนืด จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.4 ต้องมีค่าอยู่เกณฑ์การยอมรับการประเมินความเที่ยงของระบบการวัด อ้างอิงเกณฑ์ของ Automotive Industry Action Group (2008) แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 4 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความเที่ยงระบบการวัดค่าความหนืดของสี

ตัวอย่างที่	ผู้ทดสอบคนที่ 1		ผู้ทดสอบคนที่ 2		ผู้ทดสอบคนที่ 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	81.9	83.4	84.1	82.5	83.2	81.8
2	94.8	93.5	93.5	94.0	93.9	92.6
3	91.7	90.7	91.2	92.4	92.3	91.7
4	77.9	79.2	79.1	77.6	78.2	79.4
5	88.1	87.6	87.9	88.3	88.0	89.4
6	75.7	76.7	76.3	75.8	76.1	76.9
7	86.2	84.9	85.9	86.1	86.5	85.2
8	97.5	95.9	97.8	96.5	97.1	95.6
9	79.8	81.1	81.4	79.6	79.8	80.3
10	74.8	73.7	73.0	74.7	75.2	74.3

จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 ไปทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดวัดค่าความหนืด ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบที่เกิดจากมาตรฐานคุณภาพค่าความหนืดเกินช่วงการยอมรับได้ ด้วยซอฟต์แวร์ Minitab โดยมีผลลัพธ์ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Result

Gage name: Gagre R&R for Viscosity
Date of study: 1 April 2018
Reported by: Phalatkorn Jaipongakkharakul
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3168.98	352.109	887.628	0.000
Operators	2	0.08	0.038	0.096	0.909
Parts * Operators	18	7.14	0.397	0.610	0.864
Repeatability	30	19.52	0.651		
Total	59	3195.72			

4

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3168.98	352.109	633.828	0.000
Operators	2	0.08	0.038	0.069	0.934
Repeatability	48	26.67	0.556		
Total	59	3195.72			

5

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.5555	0.94
Repeatability	0.5555	0.94
Reproducibility	0.0000	0.00
Operators	0.0000	0.00
Part-To-Part	58.5922	99.06
Total Variation	59.1478	100.00

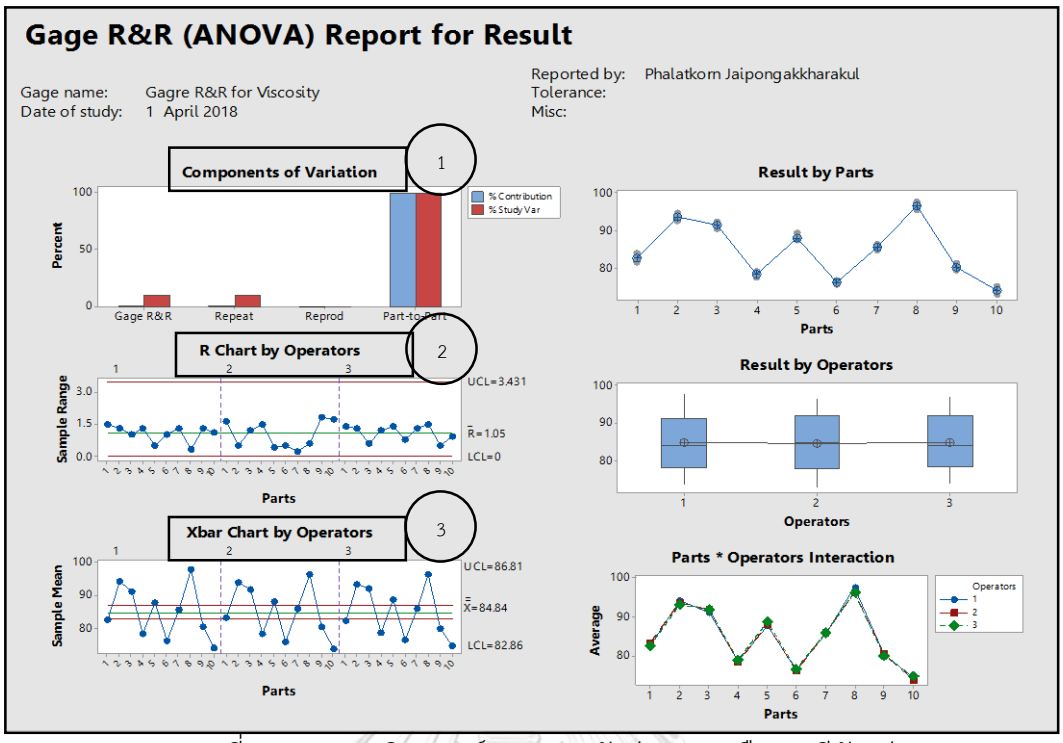
1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.74534	4.4720	9.69
Repeatability	0.74534	4.4720	9.69
Reproducibility	0.00000	0.0000	0.00
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Part-To-Part	7.65456	45.9273	99.53
Total Variation	7.69076	46.1445	100.00

6

Number of Distinct Categories = 14

7



รูปที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าความหนืดของสีตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.2 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบหน่วยวัดของค่าความหนืด ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบที่เกิดจากมาตรฐานการควบคุมคุณภาพค่าความหนืดเกินช่วงการยอมรับได้ ดังนี้

1. จากแผนภูมิ Components of Variation พบว่า ความแปรปรวนจากความแตกต่างของตัวอย่างสี (Part- to-Part) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.06 ความแปรปรวนจากระบบการวัด (Total Gauge R&R) มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.94 โดยความแปรปรวนส่วนมากจากความแตกต่างของตัวอย่างสี

2. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operators พบว่า ข้อมูลมีค่าพิสัย (R) มีค่าความแตกต่างกันเป็นจำนวนมากกว่า 4 ค่า แสดงว่า ระบบการวัดนี้มีคุณสมบัติในการแยกแยะความแตกต่างของตัวอย่างที่วัด

3. จากแผนภูมิควบคุม X-bar Chart by Operators พบว่า ตัวอย่างมีความแตกต่างกัน พิจารณาจำนวนข้อมูลมากกว่า 1 ใน 3 ที่ออกนอกเส้นพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ในการประมาณค่าความแปรผันของกระบวนการได้

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) อิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบ (Parts*Operators)

สมมติฐาน H_0: ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

H_1: มีอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-value ของ Part*Operators มีค่าเท่ากับ 0.864 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นยอมรับ H_0 แสดงว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างตัวอย่างและผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) ของตัวอย่าง (Parts)

สมมติฐาน H_0: ไม่มีอิทธิพลของตัวอย่างต่อความผันแปรของข้อมูล

H_1: มีอิทธิพลของตัวอย่างต่อความผันแปรของข้อมูล

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-value ของ Part มีค่าน้อยกว่า 0.0005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นปฏิเสธ H_0 แสดงว่า ตัวอย่างมีอิทธิพลต่อความผันแปรของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ตัวอย่างอย่างน้อย 1 คู่มีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) ของผู้ทดสอบ (Operators)

สมมติฐาน H_0: ไม่มีอิทธิพลของผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

H_1: มีอิทธิพลของผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูล

ผลลัพธ์ คือ ค่า P-value ของ Operators มีค่าเท่ากับ 0.934 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นยอมรับ H_0 แสดงว่า ไม่มีอิทธิพลของผู้ทดสอบต่อความผันแปรของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6. ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) พบว่า สัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดเทียบกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการมีค่าเท่ากับร้อยละ 9.69 ซึ่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 อยู่ใช้เกณฑ์ที่ยอมรับอ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG (2002) จึงยอมรับความเที่ยงของระบบการวัดนี้

7. ระบบการวัดจะมีความสามารถในการแยกแยะประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกันของค่าวัด (Number of Distinct Categories: ndc) เท่ากับ 14 กลุ่ม ซึ่งมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 กลุ่ม แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้ อ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG (2002)

สรุปผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแบบหน่วยวัดของค่าความหนืด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า สามารถยอมรับความเที่ยงของระบบการวัดนี้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดแบบข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) เนื่องจากมีการใช้พนักงานหลายคนในการวัดจึงต้องการประเมินความสามารถในการวัดซ้ำเพื่อดูว่าความผันแปรหากวัดต่างครั้งกันโดยคนเดิมจะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้หรือไม่ ในงานวิจัยนี้คือ เวลาการแห้งตัวของสี แสดงผลการตรวจสอบเป็น ผ่านและไม่ผ่าน เพื่อดูว่าสีแห้งตัวหรือไม่ การตรวจสอบทำด้วยการใช้นิ้วมือสัมผัสแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการอบตามวิธีการตรวจสอบ ตู้อบเป็นเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบมีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ซึ่งได้รับรองระบบคุณภาพจากหน่วยงานภายนอก ดังนั้นเครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ เกณฑ์การยอมรับการประเมินระบบการวัดข้อมูลตามลักษณะ แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 สำหรับการกำหนดขนาดตัวอย่าง อ้างอิงเกณฑ์ของ Fasser and Brettner (1992) [24] แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4. 5 เกณฑ์การยอมรับการประเมินของระบบการวัด

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน	100%
% ความไม่ไบอัสของพนักงาน	100%
% ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ	100%
% ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ	100%

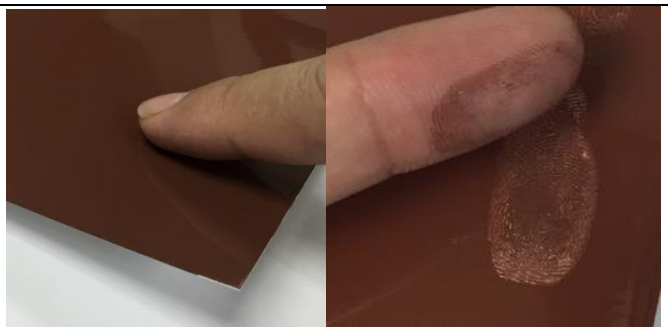
ตารางที่ 4. 6 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินของระบบการวัดข้อมูลตามลักษณะ

จำนวนผู้ทดสอบ	จำนวนชิ้นงานที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การพิจารณาผลคุณภาพคือ ฟิล์มสีที่นำออกมาจากตู้อบใช้นิ้วมือลูบหรือสัมผัสฟิล์มสีเบา ๆ ถ้าสีไม่ติดนิ้วมือ แปลผลว่า “ผ่าน” แต่ถ้าหากมีสีติดนิ้วมือหรือฟิล์มสีหนืบ แปลผลว่า “ไม่ผ่าน” แสดงว่าสีไม่แห้งหรือเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเร่งแห้ง ดังรูปที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4. 7 เกณฑ์การตัดสินใจผลการตรวจสอบเวลาแห้งตัวของสี

	
สีไม่ติดนิ้วมือ แปลผลว่า “ผ่าน”	สีติดนิ้วมือหรือฟิล์มสีหนืบ แปลผลว่า “ไม่ผ่าน”

การวิเคราะห์ระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนผู้ทดสอบ ทำการคัดเลือกพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่มีความชำนาญในการตรวจสอบคุณภาพเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง จำนวน 3 คน

2. กำหนดจำนวนตัวอย่าง ผู้วิจัยทำการเตรียมสีตัวอย่างสีน้ำมันเฉดสี ECO001 จำนวน 12 รุ่นการผลิต (ตามตารางที่ 4.6) ประกอบด้วย สีตัวอย่างที่มีเวลาการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดหรือไม่มีสีติดนิ้วมือ แปลผลว่า “ผ่าน” จำนวน 4 รุ่นการผลิต สีตัวอย่างที่มีเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดหรือมีสีติดนิ้วมือแบบชัดเจน แปลผลว่า “ไม่ผ่าน” จำนวน 4 รุ่นการผลิต สีตัวอย่างสีที่มีเวลาการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดแบบก้ำกึ่งคือ ไม่มีสีติดนิ้วมือและแผ่นฟิล์มสีที่ทดสอบมีลักษณะเหนียวหนืบแต่เมื่อยกนิ้วออกแผ่นฟิล์มสีหลุดออกจากนิ้วมือ แปลผลว่า “ผ่าน” จำนวน 2 รุ่นการผลิต และสีตัวอย่างสีที่มีเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดแบบก้ำกึ่งคือ ไม่มีสีติดนิ้วมือและแผ่นฟิล์มสีที่ทดสอบมีลักษณะเหนียวหนืบเมื่อยกนิ้วออกแผ่นฟิล์มสียังติดตามนิ้วมือ แปลผลว่า “ไม่ผ่าน” จำนวน 2 รุ่นการผลิต

3. กำหนดลำดับในการตรวจสอบคุณภาพเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง ลำดับการวัดต้องเป็นแบบสุ่ม นั่นคือ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแต่ละคนได้รับสีตัวอย่าง 12 รุ่นการผลิตที่มีการกำหนดลำดับหมายเลขสีตัวอย่างแบบสุ่ม วัดซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง (ตามตารางที่ 4.6) ประเมินผลการตรวจสอบสีตัวอย่างนั้นว่า “ผ่าน” และ “ไม่ผ่าน” โดยพนักงานทั้ง 3 คนต้องทดสอบภายในเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้สีตัวอย่างเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาการแห้งตัวของสี พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่างและบันทึกผลการตรวจสอบลงในแบบฟอร์ม

4. ทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.8 ต้องมีค่าอยู่เกณฑ์การยอมรับการประเมินความเที่ยงของระบบการวัดแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 8 ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง

ตัวอย่าง	คุณภาพแท้จริง	คนที่ 1			คนที่ 2			คนที่ 3			ผู้ทดสอบตรวจได้เหมือนกันทุกครั้งและทุกคน	ผู้ทดสอบตรวจได้เหมือนกันอย่างถูกต้อง
		ครั้งที่			ครั้งที่			ครั้งที่				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
4	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
5	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
7	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
8	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
9	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
10	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	Y	Y
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	Y	Y

จากข้อมูลในตารางที่ 4.8 ไปทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบที่เกิดจากมาตรฐานการควบคุมคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ด้วยการวิเคราะห์ Attribute Agreement Analysis จากซอฟต์แวร์ Minitab โดยมีผลลัพธ์ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	12	12	100.00	(77.91, 100.00)
2	12	12	100.00	(77.91, 100.00)
3	12	12	100.00	(77.91, 100.00)

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	12	12	100.00	(77.91, 100.00)
2	12	12	100.00	(77.91, 100.00)
3	12	12	100.00	(77.91, 100.00)

Assessment Disagreement

Appraiser	# NG / G	Percent	# G / NG	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00

Between Appraisers

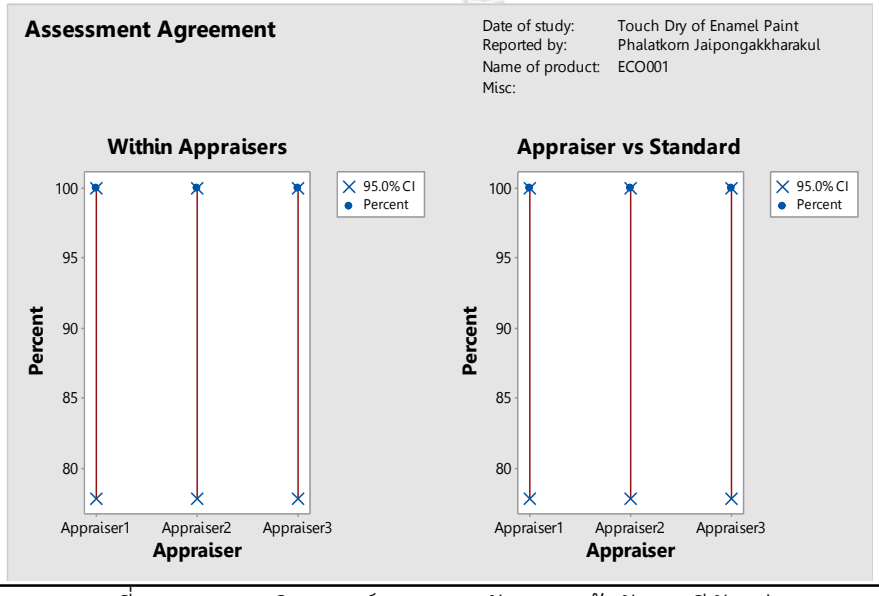
Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
12	12	100.00	(77.91, 100.00)

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
12	12	100.00	(77.91, 100.00)



รูปที่ 4. 3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.3 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลตามลักษณะของเวลาแห้งตัวของสีตัวอย่าง ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบที่เกิดจากมาตรฐานคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน เท่ากับ 100%

เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน เท่ากับ 100%

เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ เท่ากับ 100%

เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ เท่ากับ 100%

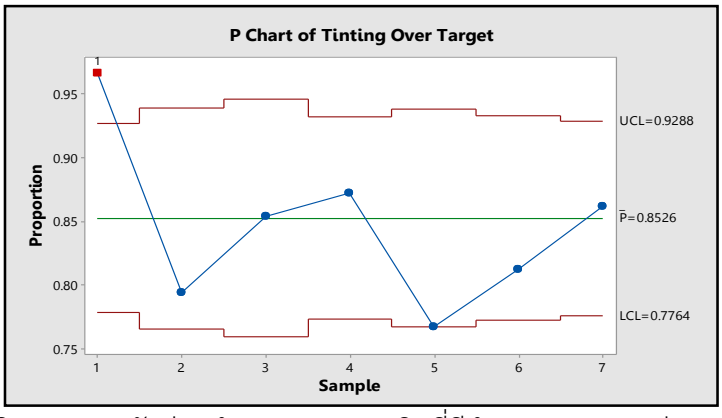
สรุปผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลตามลักษณะของเวลาการแห้งตัวของสีตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทุกคนเข้าใจวิธีการตรวจสอบและสามารถตัดสินใจได้ถูกต้องทุกตัวอย่าง ทั้งสีตัวอย่างที่มีเวลาการแห้งตัวของสีแบบอยู่ในเวลาที่กำหนดและแบบก้ำกึ่ง สีตัวอย่างที่มีเวลาการแห้งตัวของสีแบบเกินเวลาที่กำหนดและแบบก้ำกึ่ง สรุปผลประเมินระบบการวัดนี้สามารถยอมรับได้

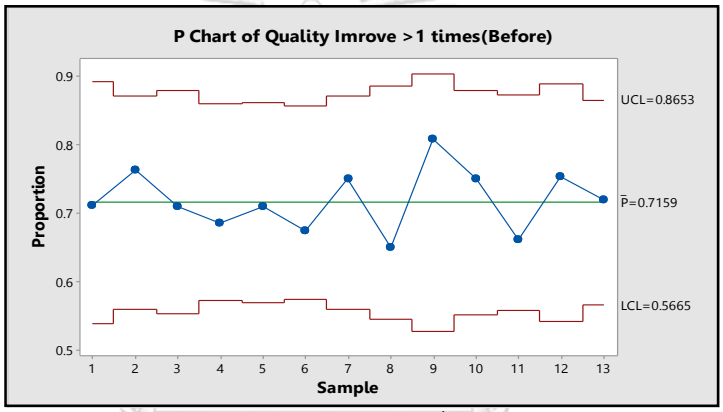
การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด 3 หัวข้อคือ ค่าความแตกต่างสี ค่าความหนืด เวลาการแห้งตัวของสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทำให้มั่นใจว่าระบบการวัดมีความแม่นและความเที่ยง

4.3 การวัดสภาพปัญหาในปัจจุบัน

การเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2560 จำนวน 1,194 รอบการผลิต เวลารวมเฉลี่ยเท่ากับ 843 นาทีต่อรอบการผลิต การเก็บข้อมูลในแต่ละรอบการผลิตเวลารวมเฉลี่ยที่ใช้ในกระบวนการผลิตยาวนานนั้นเกิดจากปัญหาจำนวนวนซ้ำรอบการแต่งเฉดสีสูงในกระบวนการแต่งเฉดสี จำนวนวนซ้ำรอบการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงและปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดเกินช่วงที่ยอมรับได้ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ ซึ่งผู้วิจัยสามารถศึกษาได้จากสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงต่อรอบการผลิตเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาเวลาการแห้งตัวสีเกินเวลาและปัญหาความหนืดสูงที่กำหนดมากกว่า 1 รอบ ข้อมูลในปี พ.ศ. 2560 ทั้งสามสัดส่วนปัญหาที่เก็บข้อมูลจากจำนวนรอบการผลิตแบบรายเดือนที่มีขนาดตัวอย่างไม่คงที่ แสดงข้อมูลเป็นแผนภูมิควบคุม P เมื่อจำนวนรอบการผลิตไม่คงที่โดยจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาจะมีการแจกแจงแบบทวินาม ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6

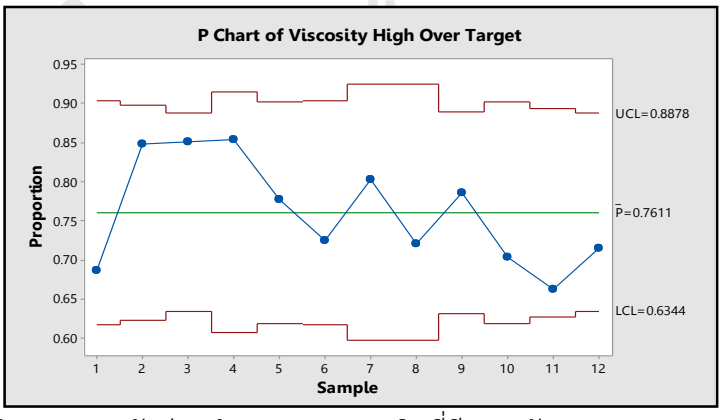


รูปที่ 4. 4 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต ข้อมูลในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ.2560



รูปที่ 4. 5 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4. 6 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560

จากรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 พบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาเวลาการแห้งตัวสีเกินเวลาที่กำหนดและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงมากกว่า 1 รอบ มีค่าอยู่ในสภาวะควบคุมคือนิ่ง ยกเว้นข้อมูลในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2560 ของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิตที่มีสภาวะออกนอกการควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.85, 0.72 และ 0.76 ของจำนวนรอบการผลิตทั้งหมด ตามลำดับ กำหนดเป้าหมายในงานวิจัยปรับปรุงกระบวนการลดสัดส่วนลง 50% ในทุกปัญหาเปรียบเสมือนกับการปรับปรุงกระบวนการลดจำนวนรอบการแต่งเฉดสีและลดจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพที่เกินความจำเป็น จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนในการวิเคราะห์หาสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของทั้งสามปัญหานี้

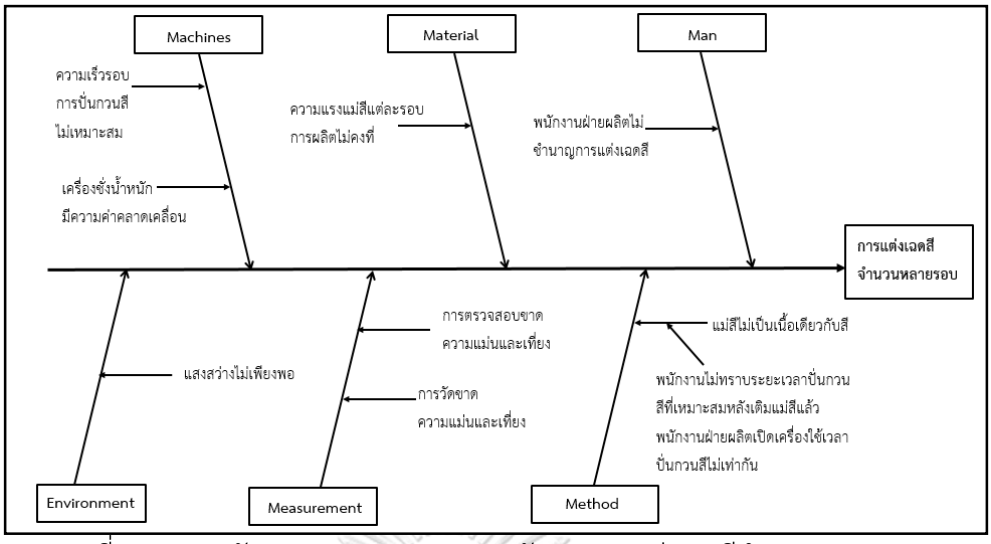
4.4 การระดมสมอง (Brainstorm) เพื่อหาปัจจัยนำเข้าโดยแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ทำการระดมสมองจากคณะทีมงานปรับปรุงโครงการประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สีน้ำมัน ผู้จัดการฝ่ายผลิตสีน้ำมัน ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ และผู้ดำเนินงานวิจัย เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ และปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ นั้นจึงมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ซึ่งแผนผังจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดปัญหานั้น แยกสาเหตุของปัญหาตามหลักการ 5M1E ดังนี้

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุที่เกิดจากระบบการวัด (Measurement)
- สาเหตุที่เกิดจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

ผลจากการระดมจากคณะทีมงานปรับปรุงโครงการเพื่อหาสาเหตุของปัญหาแต่ละปัญหาที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตต่อรอบการผลิตยาวนาน ดังแสดงในรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 7 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

รูปที่ 4.7 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ วิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 5M1E มีรายละเอียดดังนี้

พนักงาน (Man) ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี พนักงานฝ่ายผลิตอาศัยความชำนาญในการเลือกชนิดแม่สีและกำหนดปริมาณการเติมแม่สีแต่ละคนแตกต่างกัน ถ้าเป็นพนักงานใหม่จะสอบถามจากพนักงานที่มีความชำนาญ ทำให้เกิดการลองผิดลองถูก ส่งผลให้มีความแม่นยำต่ำและมีโอกาสที่ต้องแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ดังนั้นปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงานฝ่ายผลิตคาดว่ามีผลต่อปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

เครื่องจักร (Machine) ปัจจัยความคลาดเคลื่อนเครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งน้ำหนักแม่สีมีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1% เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ ปัจจัยความคลาดเคลื่อนเครื่องชั่งน้ำหนักคาดว่าไม่มีผลต่อค่าความแตกต่างสีที่วัดได้ ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมแม่สีเครื่องจักรถูกกำหนดความเร็วตั้งแต่ติดตั้งในครั้งแรกที่ 600 รอบต่อนาทีทำให้ความเร็วรอบในการปั่นคงที่ไม่สามารถที่จะปรับเพิ่มลดความเร็วรอบได้ เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงขอกำหนดให้เป็นค่าคงที่และปรับปรุงปัจจัยอื่นภายในความเร็วรอบที่คงที่ 600 รอบต่อนาที

วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยความแรงแม่สี ผงสีจากแหล่งทางธรรมชาติมีความแรงของสีที่มีความผันแปรสูง ผ่านกระบวนการผลิตมาเป็นแม่สีที่มีลักษณะเป็นของเหลวสะดวกต่อการใช้งานแต่ละรอบการผลิตมีเกณฑ์การควบคุมคุณภาพความแรงแม่สีกำหนดช่วง 95 – 105 หน่วย ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมในทางปฏิบัติ เพราะการปรับปรุงคุณภาพความแรงแม่สีให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

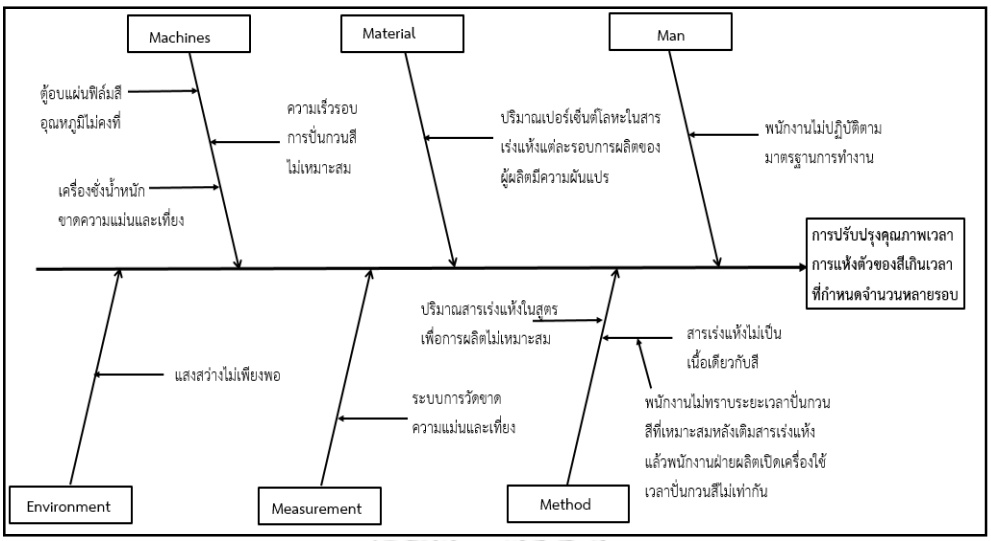
นั้นค่อนข้างยาก ทำให้มีความผันแปรความแรงแม่สีในแต่ละรอบการผลิตอยู่บ้าง หลังจากนั้นแม่สีแต่ละรอบการผลิตถูกจัดเก็บรวมกันผสมลงในถังกักเก็บขนาดใหญ่ความจุ 10,000 กิโลกรัมเพื่อสะดวกต่อการผลิต ทำให้แม่สีมีการผสมกันเป็นเนื้อเดียว ดังนั้นปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตคาดว่ามีผลต่อปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

วิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี หลังเติมแม่สีพนักงานฝ่ายผลิตใช้เวลาปั่นกวนสีไม่เท่ากัน บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 15 นาที บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มลดเวลาได้ครั้งละ 5 นาที แม่สีอาจยังไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสี เมื่อตรวจสอบคุณภาพเฉดสีของสีที่เข้ากันหรือไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวค่าความแตกต่างสีที่วัดได้อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีคาดว่ามีผลต่อค่าความแตกต่างสีที่วัดได้ ต้องทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลค่าความแตกต่างสีที่วัดได้หรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่ใช้ในการปั่นกวนสี

ระบบการวัด (Measurement) ปัจจัยความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานสำหรับวัดค่าความแตกต่างสี พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมีการสอบเทียบเครื่องมือทุก 4 ชั่วโมง มีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 และการสอบเทียบจากผู้ผลิตเครื่องมือทุก 3 เดือน เครื่องมือวัดจึงมีความน่าเชื่อถือ แต่การเตรียมแผ่นฟิล์มสีสำหรับวัดค่าความแตกต่างสีของพนักงานฝ่ายผลิตมีจำนวนหลายคนแต่ละคนลากฟิล์มสีแล้ววัดค่าความแตกต่างสีอาจได้ค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยระบบการวัดคาดว่ามีผลต่อค่าความแตกต่างสีที่วัดได้ ต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

สภาพแวดล้อม (Environment) ปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอ พนักงานฝ่ายผลิตจะเติมแม่สีปริมาณหนึ่งตามสูตรเพื่อการผลิตเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มของเฉดสีด้วยตาให้ใกล้เคียงกับเฉดสีมาตรฐานก่อนที่จะเริ่มส่งแผ่นฟิล์มสีสำหรับตรวจสอบคุณภาพเฉดสีด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน ในช่วงเวลากลางวันมีแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงพอทำให้พิจารณาเฉดสีได้ทันที แต่ในช่วงเวลากลางคืนสามารถพิจารณาเฉดสีภายใต้แสงสว่างที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง Daylight ที่ประดิษฐ์ขึ้นถูกต้องตามมาตรฐาน ดังนั้นปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอคาดว่าไม่มีผลต่อการดูเฉดสีด้วยตา เพื่อพิจารณาเลือกชนิดแม่สีสำหรับการแต่งเฉดสีต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 8 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

รูปที่ 4.8 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ วิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 5M1E มีรายละเอียดดังนี้

พนักงาน (Man) ปัจจัยพนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทำงาน พนักงานฝ่ายผลิตชั่งน้ำหนักสารเร่งแห้งตามปริมาณที่กำหนดแต่เทสารเร่งแห้งลงถังผสมสีไม่หมดเหลือค้างในภาชนะทำให้ปริมาณสารเร่งแห้งไม่ครบตามปริมาณที่กำหนดส่งผลทำให้เวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดอยู่ ดังนั้นปัจจัยพนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทำงานคาดว่ามีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี ต้องสื่อสารให้เห็นถึงความสำคัญปริมาณสารเร่งแห้งส่งผลกระทบต่อการปรับปรุงคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องจักร (Machine) ปัจจัยอุณหภูมิของตู้อบฟิล์มสีไม่คงที่ในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพและปัจจัยเครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่งน้ำหนักสารเร่งแห้งนั้น มีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ยอมรับความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 1% เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นปัจจัยอุณหภูมิของตู้อบฟิล์มสีและปัจจัยเครื่องชั่งน้ำหนักคาดว่าไม่มีผลต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมสารเร่งแห้งเครื่องจักรถูกกำหนดความเร็วตั้งแต่ติดตั้งในครั้งแรกที่ 600 รอบต่อนาทีทำให้ความเร็วรอบในการปั่นคงที่ไม่สามารถที่จะปรับเพิ่มลดความเร็วรอบได้ เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงขอกำหนดให้เป็นค่าคงที่และปรับปรุงปัจจัยอื่นภายในความเร็วรอบที่คงที่ 600 รอบต่อนาที

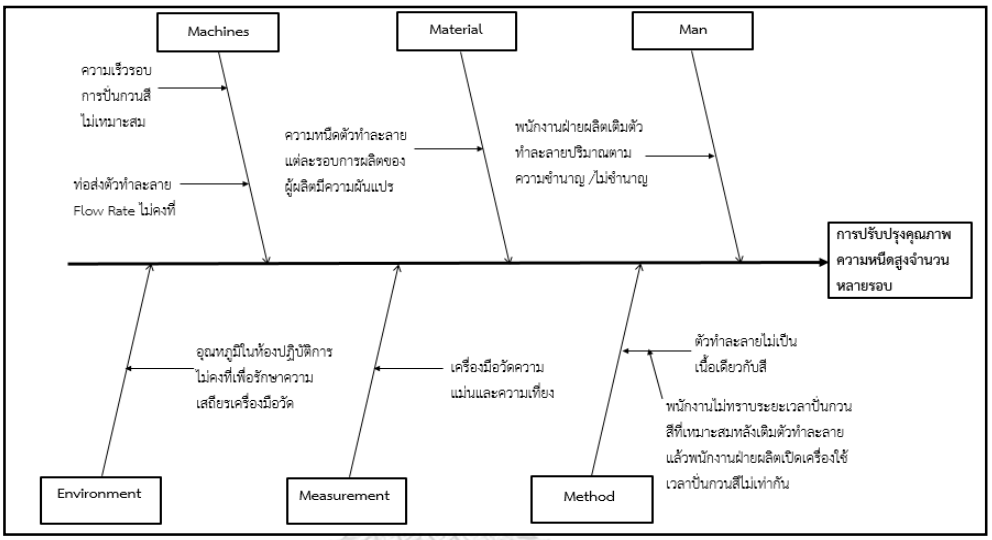
วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต โรงงานกรณีศึกษากำหนดสารเร่งแห้งมีเปอร์เซ็นต์โลหะโคบอลต์อยู่ 10% เปอร์เซ็นต์โลหะ

เซอร์โคเนียมอยู่ 12% และเปอร์เซ็นต์โลหะแคลเซียมอยู่ 10% ในสารละลาย โดยเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งมีผลต่อปฏิกิริยาการเร่งแห้งในสี ต้องเก็บข้อมูลวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการพิจารณาความผันแปรของเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดภายใต้เกณฑ์การควบคุมคุณภาพ ดังนั้นความผันแปรคุณภาพสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตคาดว่าอาจมีผลต่อการแห้งตัวของสี ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรเพื่อการผลิตไม่เหมาะสม สารเร่งแห้งแต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน โคบอลต์เร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งที่ผิวของฟิล์มสี เซอร์โคเนียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งทั่วฟิล์มสี แคลเซียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งตัวชั้นในสุดของฟิล์มสี ปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรแต่ละชนิดที่แตกต่างกันส่งผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีที่อยู่ในเวลาที่กำหนดหรือเกินเวลาที่กำหนด และเมื่อพบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีที่เกินเวลาที่กำหนดฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์กำหนดปริมาณสารเร่งแห้งให้กับพนักงานฝ่ายผลิตเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบหลังจากผสมวัตถุดิบทุกชนิดตามสูตรเพื่อการผลิตแล้วคือ เติมสารเร่งแห้งรอบละ 10% ของน้ำหนักสารเร่งแห้งแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ในสูตรเพื่อการผลิตที่มีน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตไม่เท่ากัน และเติมได้สูงสุดจำนวน 5 รอบต่อรอบการผลิตเท่านั้น นั่นคือ สามารถเติมสารเร่งแห้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพรวมทุกรอบไม่เกิน 50% ของน้ำหนักสารเร่งแห้งทั้งหมดแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ในสูตรเพื่อการผลิตตามน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต หากต้องเติมสารเร่งแห้งมากกว่านั้นต้องขออนุมัติจากฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรเพื่อการผลิตไม่เหมาะสมคาดว่ามีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี

วิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี หลังเติมสารเร่งแห้งพนักงานฝ่ายผลิตใช้เวลาปั่นกวนสีไม่เท่ากัน บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 15 นาที บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มลดเวลาได้ครั้งละ 5 นาที ส่งผลทำให้สารเร่งแห้งยังไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสี เมื่อตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสีที่เข้ากันหรือไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวผลการตรวจสอบที่ได้อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีคาดว่ามีผลต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี ต้องทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่ควรใช้ในการปั่นกวนสี

ระบบการวัด (Measurement) ปัจจัยความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด วิธีการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสีไม่มีเครื่องมือที่สามารถระบุเวลาในหน่วยของนาทีได้ โรงงานกรณีศึกษากำหนดวิธีการตรวจสอบคือ ลากฟิล์มสีด้วย Wire Bar Coater ขนาด 50 ไมครอน 1 เที่ยว อบฟิล์มสีในตู้อบความร้อน 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ทดสอบโดยใช้นิ้วสัมผัสแผ่นฟิล์มสีแล้วระบุผลการตรวจสอบ “ผ่าน” หรือ “ไม่ผ่าน” ดังนั้นปัจจัยความถูกต้องของวิธีการวัดคาดว่ามีผลต่อเวลาการแห้งตัวของสี ต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

สภาพแวดล้อม (Environment) ปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอ วิธีการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสีจะใช้นิ้วสัมผัสแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการอบ หากมีสีติดที่นิ้วมือหรือแผ่นฟิล์มสีมีรอยนิ้วมือจะระบุผลการตรวจสอบ “ไม่ผ่าน” ต้องปรับปรุงคุณภาพ แสงสว่างเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการพิจาณาผลการตรวจสอบคุณภาพ ฝ่ายความปลอดภัยและชีวอนามัยโรงงานกรณีศึกษามีการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างภายในห้องปฏิบัติการฝ่ายควบคุมคุณภาพทุก 3 เดือนและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นปัจจัยแสงสว่างไม่เพียงพอคาดว่าไม่มีผลต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี



รูปที่ 4. 9 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

รูปที่ 4.9 แผนผังแสดงสาเหตุและผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ วิเคราะห์สาเหตุตามหลักการ 5M1E มีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พนักงาน (Man) ปัจจัยปริมาณตัวทำละลาย พนักงานฝ่ายผลิตอาศัยความชำนาญในการกำหนดปริมาณการเติมตัวทำละลายปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง โดยพิจารณาจากน้ำหนักของสีที่ผลิตและจำนวนหน่วยความหนืดที่เกินจากช่วงที่ยอมรับโดยมีพฤติกรรมการเติมแบบปริมาณทั่ว ๆ ไป (Common Quantity) ถ้าเป็นพนักงานใหม่จะสอบถามจากพนักงานที่มีความชำนาญ ทำให้มีความแม่นยำต่ำและมีโอกาสที่ต้องปรับปรุงคุณภาพหลายรอบ เช่น น้ำหนักการผลิต 5,000 กิโลกรัม จำนวนหน่วยที่เกินค่าสูงสุดช่วงความหนืดที่ยอมรับ 3 หน่วย ปริมาณทั่ว ๆ ไปที่จะเติมในครั้งแรกคือ 40 กิโลกรัม หลังจากนั้นส่งตรวจสอบคุณภาพแล้วพบว่าค่าความหนืดเกินช่วงที่ยอมรับอยู่จะกำหนดปริมาณตัวทำละลายที่จะเติมในครั้งต่อไปจากข้อมูลการปรับปรุงคุณภาพในครั้งก่อนหน้า ในอดีตได้มีการเก็บข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่เติมและสามารถปรับค่าความหนืดให้ได้อยู่ในช่วงยอมรับได้ภายใน 1 รอบ ผู้วิจัยจึงมีแนวทางที่จะนำข้อมูลนี้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวทำละลายที่

ต้องใช้ในการปรับค่าความหนืดตามปริมาณค่าความหนืดที่เกินค่าที่ยอมรับและให้สอดคล้องกับน้ำหนักการผลิต โดยปรับได้สำเร็จภายใน 1 รอบ หลังจากได้สมการความสัมพันธ์จะใช้สมการนี้ในการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ต้องเติมเพื่อปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงในอนาคต

เครื่องจักร (Machine) ปัจจัยท่อส่งตัวทำละลาย พนักงานฝ่ายผลิตสั่งเติมตัวทำละลายตามปริมาณที่ต้องการผ่านระบบ Flow Meter จากนั้นตัวทำละลายจะขนส่งผ่านระบบท่อ โดย Flow Rate มีการสอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 ยอมรับความคลาดเคลื่อนปริมาณตัวทำละลายที่สั่งเทียบกับปริมาณตัวทำละลายที่ออกจากท่อส่งจริงไม่เกิน ± 1% ทำให้เชื่อมั่นได้ว่าปริมาณตัวทำละลายที่ออกมาจากท่อส่งใกล้เคียงกับปริมาณตัวทำละลายที่สั่งเติม ดังนั้นปัจจัย Flow Rate จากท่อส่งตัวทำละลายไม่มีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมตัวทำละลายเครื่องจักรถูกกำหนดความเร็วตั้งแต่ติดตั้งในครั้งแรกที่ 600 รอบต่อนาทีทำให้ความเร็วรอบในการปั่นคงที่ไม่สามารถที่จะปรับเพิ่มลดความเร็วรอบได้ เนื่องจากปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงขอกำหนดให้เป็นค่าคงที่และปรับปรุงปัจจัยอื่นภายในความเร็วรอบที่คงที่ 600 รอบต่อนาที

วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยความหนืดตัวทำละลาย ตัวทำละลายมีความหนืดต่ำกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นทำหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงของสีน้ำมันให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับ ลักษณะการผลิตสีน้ำมันของโรงงานกรณีศึกษาที่มีการผสมวัตถุดิบสารยึด สารเพิ่มเนื้อ สารเติมแต่ง แม่สีเสร็จตรวจสอบคุณภาพความหนืดพบปัญหาความหนืดสูงจึงเติมตัวทำละลายเป็นวัตถุดิบตัวสุดท้าย ตัวทำละลายเปรียบเสมือนสารที่รองรับความแปรผันความหนืดของวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิตและมีสัดส่วนน้อยเมื่อเทียบกับสัดส่วนปริมาณวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิต ความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตมีการควบคุมคุณภาพความหนืดแต่มีความผันแปรอยู่บ้าง ดังนั้นปัจจัยความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตคาดว่าอาจมีผลน้อยต่อค่าความหนืดสีของสารหลังผสม หากมีผลกระทบน้อยก็สามารถใช้สมการการถดถอย (Regression) ที่ได้ในการพยากรณ์ได้มีความแม่นยำขึ้น

วิธีการทำงาน (Method) ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี หลังเติมตัวทำละลายพนักงานฝ่ายผลิตใช้เวลาปั่นกวนสีไม่เท่ากัน บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 15 นาที บางครั้งใช้เวลาปั่นกวนสี 20 นาที ซึ่งสามารถเพิ่มลดเวลาได้ครั้งละ 5 นาที ส่งผลทำให้ตัวทำละลายยังไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสี เมื่อตรวจสอบค่าความหนืดของสีที่เข้ากันหรือไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันค่าที่วัดได้อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีคาดว่ามีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ ต้องทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลค่าความหนืดหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่ควรใช้ในการปั่นกวนสี

ระบบการวัด (Measurement) ปัจจัยความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เครื่องวิสโคมิเตอร์สำหรับวัดค่าความหนืด พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมีการสอบเทียบทุก 8 ชั่วโมง การ

สอบเทียบรายเดือนจากหน่วยงานสอบเทียบของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับการรับรองตามระบบ ISO 9001 เครื่องมือจึงมีความน่าเชื่อถือ แต่การปรับอุณหภูมิสีตัวอย่างให้มีอุณหภูมิ 25±1 องศาเซลเซียส ตามวิธีการตรวจสอบสำหรับวัดค่าความหนืด พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพมีจำนวนหลายคนแต่ละคนปรับอุณหภูมิและวัดค่าความหนืดอาจได้ค่าที่แตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยระบบการวัดคาดว่ามีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้ ต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด

สภาพแวดล้อม (Environment) ปัจจัยอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการฝ่ายควบคุมคุณภาพควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสตลอดเวลาเพื่อควบคุมสภาวะเครื่องมือวัดให้คงที่ควบคุมไม่ให้ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความหนืดสีตัวอย่าง ดังนั้นปัจจัยอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการคาดว่าไม่มีผลต่อค่าความหนืดที่วัดได้

4.5 การจัดลำดับความสำคัญสาเหตุของปัญหาโดยเมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Metrix)

จากการระดมสมองโดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล ได้ปัจจัยที่ส่งให้ผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตยาวนานทั้งหมด 22 ปัจจัย จากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุโดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยนำข้อมูลปัจจัยจากแผนผังแสดงสาเหตุและผลมาใส่ลงในตารางเมทริกซ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Metrix) ซึ่งมีการกำหนดอัตราความสำคัญจากสัดส่วนเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในทุกกระบวนการ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 9 การกำหนดอัตราความสำคัญ

กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (%)	อัตราความสำคัญ
กระบวนการแต่งเฉดสี	46.6	5
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ	33.8	3

ให้คณะทีมงานปรับปรุงโครงการทำการลงคะแนนความสำคัญกับทุกปัจจัย การลงคะแนนแต่ละคนมีความเป็นอิสระไม่มีการปรึกษากัน คะแนนที่ให้กำหนดอยู่ในช่วง 0-9 คะแนน โดยมีเกณฑ์ประเมินการให้คะแนนผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต ตามคะแนนดังนี้

0 หมายถึง ปัจจัยไม่มีผลกระทบต่อเวลาในกระบวนการที่กำลังพิจารณา

1 หมายถึง ปัจจัยมีผลกระทบน้อยต่อเวลาในกระบวนการที่กำลังพิจารณา

3 หมายถึง ปัจจัยมีผลกระทบปานกลางต่อเวลาในกระบวนการที่กำลังพิจารณา

9 หมายถึง ปัจจัยมีผลกระทบสูงต่อเวลาในกระบวนการที่กำลังพิจารณา

ผู้วิจัยทำการรวบรวมคะแนนรวมที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัยจากคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ นำคะแนนที่สรุปได้แต่ละปัจจัยคูณกับอัตราความสำคัญของแต่ละกระบวนการที่ส่งต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และใช้กราฟคะแนนและเปอร์เซ็นต์สะสมเพื่อคัดกรองสาเหตุที่จะนำไปปรับปรุงโครงการ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4. 10 เมทริกซ์สาเหตุและผล แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต (Cause and Effect Metrix)

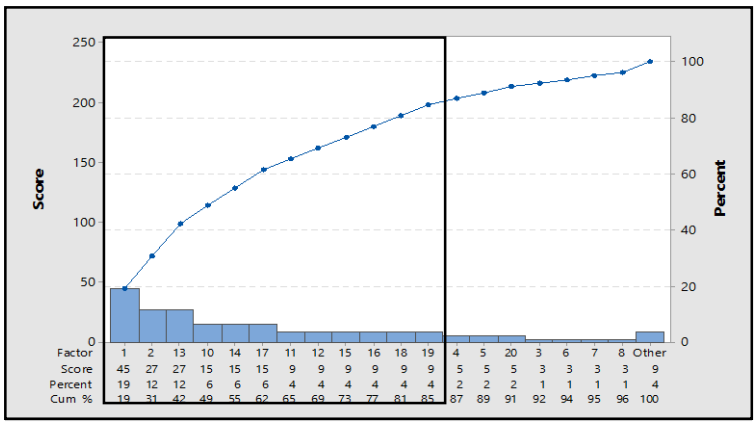
เมทริกซ์สาเหตุและผล					
ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	อัตราความสำคัญ		หมายเหตุ
			กระบวนการไม่เฉดสี	พนักงานมีทักษะเฉดสีกระบวน	
			5	3	
1	Man	ความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี	9	0	45
2		ความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ	0	9	27
3		พนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทำงานสารเร่งแห้งถูกเทลงถังผสมสีไม่หมด	0	1	3
4	Machine	ความคลาดเคลื่อนเครื่องชั่งน้ำหนักแม่สี	1	0	5
5		ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมแม่สี	1	0	5
6		Flow Rate จากท่อส่งตัวทำละลาย	0	1	3
7		ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมตัวทำละลาย	0	1	3
8		อุณหภูมิของตู้อบฟิล์มสีไม่คงที่	0	1	3
9		ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นกวนสีหลังเติมสารเร่งแห้ง	0	1	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 เมทริกซ์สาเหตุและผล แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต (Cause and Effect Metrix) (ต่อ)

เมทริกซ์สาเหตุและผล					
ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	อัตราความสำคัญ		หมายเหตุ
			ผลกระทบโดยตรง	ผลกระทบโดยอ้อมผ่านกลุ่มอื่น	
			5	3	
10	Material	ความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาไม่คงที่	3	0	15
11		ความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตไม่คงที่	0	3	9
12		ความผันแปรของเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตไม่คงที่	0	3	9
13		ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต	0	9	27
14	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี	3	0	15
15		เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย	0	3	9
16		เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง	0	3	9
17	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี	3	0	15
18		ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดค่าความหนืด	0	3	9
19		ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดเวลาการแห้งตัวของสี	0	3	9
20	Environment	แสงสว่างไม่เพียงพอต่อการพิจาณาเฉดสี	1	0	5
21		อุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ	0	1	3
22		แสงสว่างไม่เพียงพอต่อการตรวจสอบเวลาการแห้งตัวของสี	0	1	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



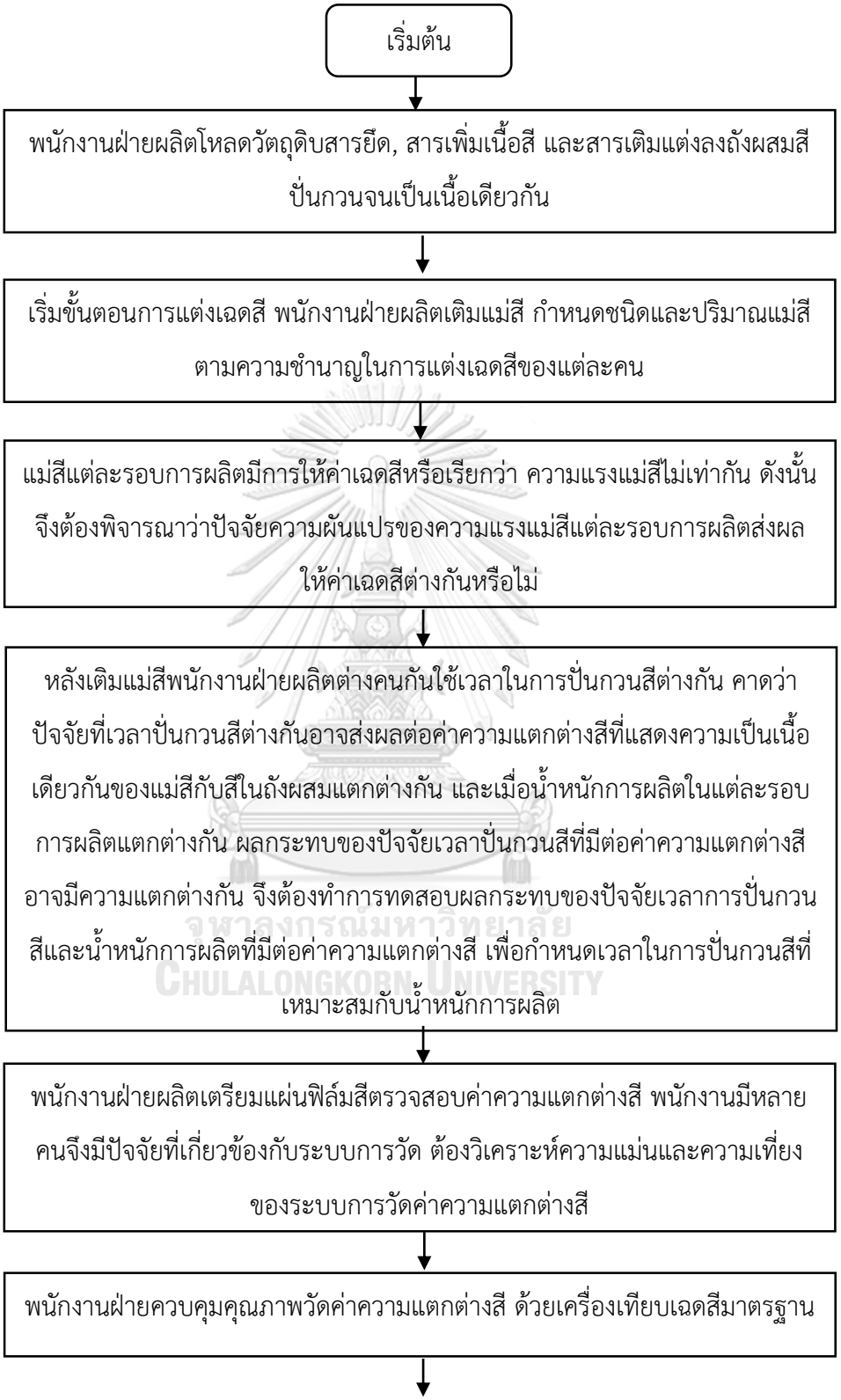
รูปที่ 4. 10 กราฟคะแนนและเปอร์เซ็นต์สะสมของคะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาในกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 4.10 กราฟคะแนนและเปอร์เซ็นต์สะสมของคะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมในกระบวนการผลิต พบว่า 80 % ของคะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยและเวลาในกระบวนการผลิตมาจากปัจจัย 12 ปัจจัย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 ซึ่ง 12 ปัจจัยส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยรวบรวมแนวความคิดปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต และแนวทางในการปรับปรุง แสดงออกมาในรูปแบบแผนภูมิการไหล ดังแสดงในรูปที่ 4.11

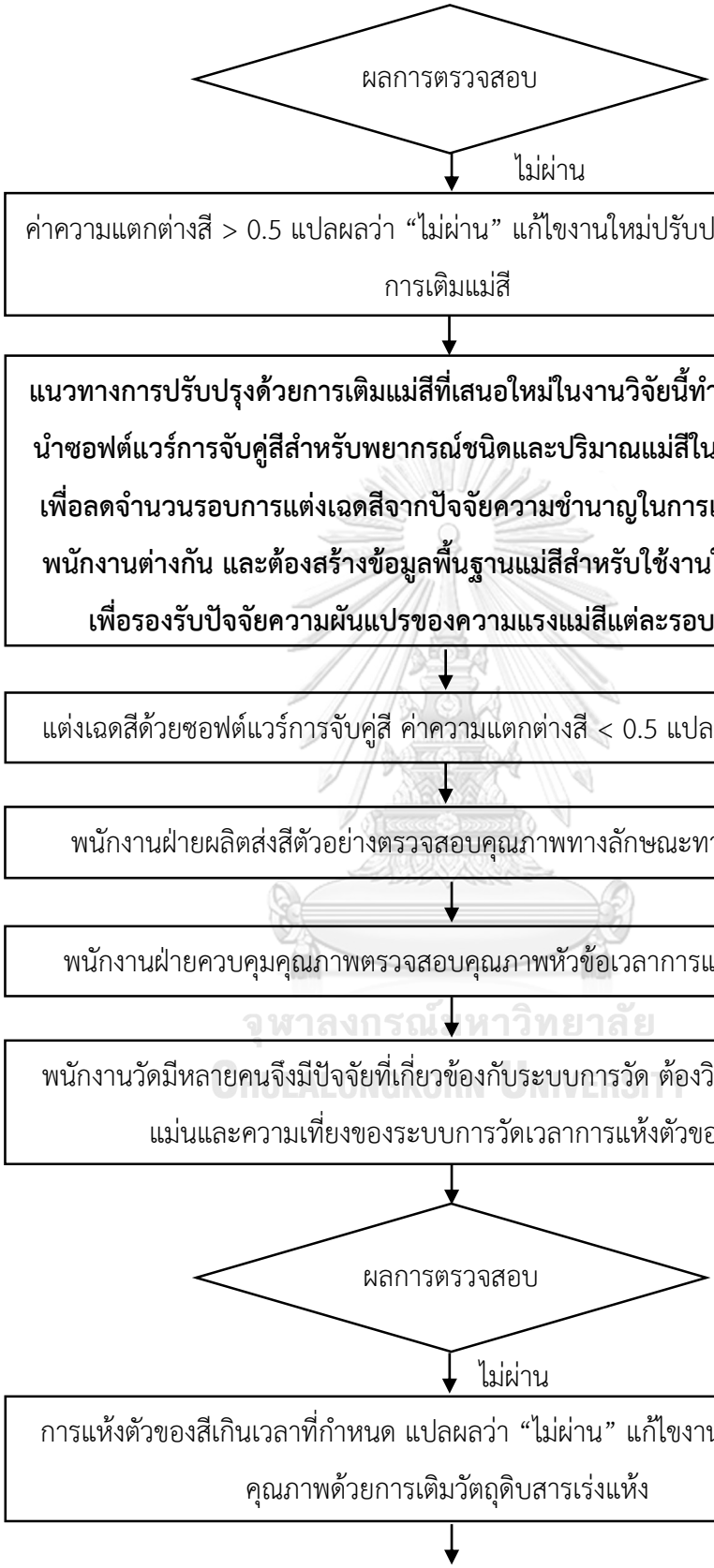
ตารางที่ 4. 11 ผลลัพธ์ลำดับปัจจัย 12 ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต

ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	คะแนน
1	Man	ความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี	45
2	Man	ความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ	27
3	Material	ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต	27
4	Material	ความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต	15
5	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี	15
6	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดค่าความแตกต่างสี	15
7	Material	ความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต	9
8	Material	ความผันแปรของเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต	9
9	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย	9
10	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง	9
11	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดค่าความหนืด	9
12	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดเวลาการแห้งตัวของสี	9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University


ผลการตรวจสอบ
ไม่ผ่าน
ค่าความแตกต่างสี > 0.5 แปลผลว่า “ไม่ผ่าน” แก้ไขงานใหม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมแม่สี
แนวทางการปรับปรุงด้วยการเติมแม่สีที่เสนอใหม่ในงานวิจัยนี้ทำได้โดยทดลองนำซอฟต์แวร์การจับคู่สีสำหรับพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในการแต่งเฉดสีเพื่อลดจำนวนรอบการแต่งเฉดสีจากปัจจัยความชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงานต่างกัน และต้องสร้างข้อมูลพื้นฐานแม่สีสำหรับใช้งานในซอฟต์แวร์เพื่อรองรับปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต
แต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี ค่าความแตกต่างสี < 0.5 แปลผลว่า “ผ่าน”
พนักงานฝ่ายผลิตส่งสีตัวอย่างตรวจสอบคุณภาพทางลักษณะทางกายภาพ
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อเวลาการแห้งตัวของสี
พนักงานวัดมีหลายคนจึงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด ต้องวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดเวลาการแห้งตัวของสี
ผลการตรวจสอบ
ไม่ผ่าน
การแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด แปลผลว่า “ไม่ผ่าน” แก้ไขงานใหม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง

โรงงานกรณีศึกษากำหนดสารเร่งแห้งมีเปอร์เซ็นต์โลหะโคบอลต์ 10% เซอร์โคเนียม 12% และแคลเซียม 10% ในสารละลายซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาการเร่งแห้งในสี ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตหากมีค่าน้อยทำให้เชื่อได้ว่าทุกรอบการผลิตมีค่าเปอร์เซ็นต์โลหะตามปริมาณที่กำหนด จึงต้องศึกษาในเรื่องนี้

↓

การปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบคือ เติมสารเร่งแห้งรอบละ 10% ของน้ำหนักสารเร่งแห้งแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ในสูตรเพื่อการผลิตและเติมได้สูงสุด 5 รอบเท่านั้น ทำให้เกิดปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบ ดังนั้นปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรเพื่อการผลิตไม่เหมาะสมจึงมีผลต่อการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

↓

หลังเติมสารเร่งแห้งพนักงานฝ่ายผลิตต่างคนกันใช้เวลาในการปั่นกวนสีต่างกัน คาดว่าปัจจัยที่เวลาปั่นกวนสีต่างกันอาจส่งผลต่อเวลาการแห้งตัวของสีที่แสดงความเป็นเนื้อเดียวกันของสารเร่งแห้งกับสีในถังผสมแตกต่างกัน และเมื่อน้ำหนักการผลิตในแต่ละรอบการผลิตแตกต่างกัน ผลกระทบของปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่มีต่อเวลาการแห้งตัวของสีอาจมีความแตกต่างกัน จึงต้องทำการทดสอบผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อเวลาการแห้งตัวของสีเพื่อกำหนดเวลาในการปั่นกวนสีที่เหมาะสมกับน้ำหนักการผลิต

↓

แนวทางการปรับปรุง ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองหาปริมาณสารเร่งแห้งทั้งสามชนิดที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิตเพื่อลดจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพจากปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งในสูตรเพื่อการผลิตไม่เหมาะสม

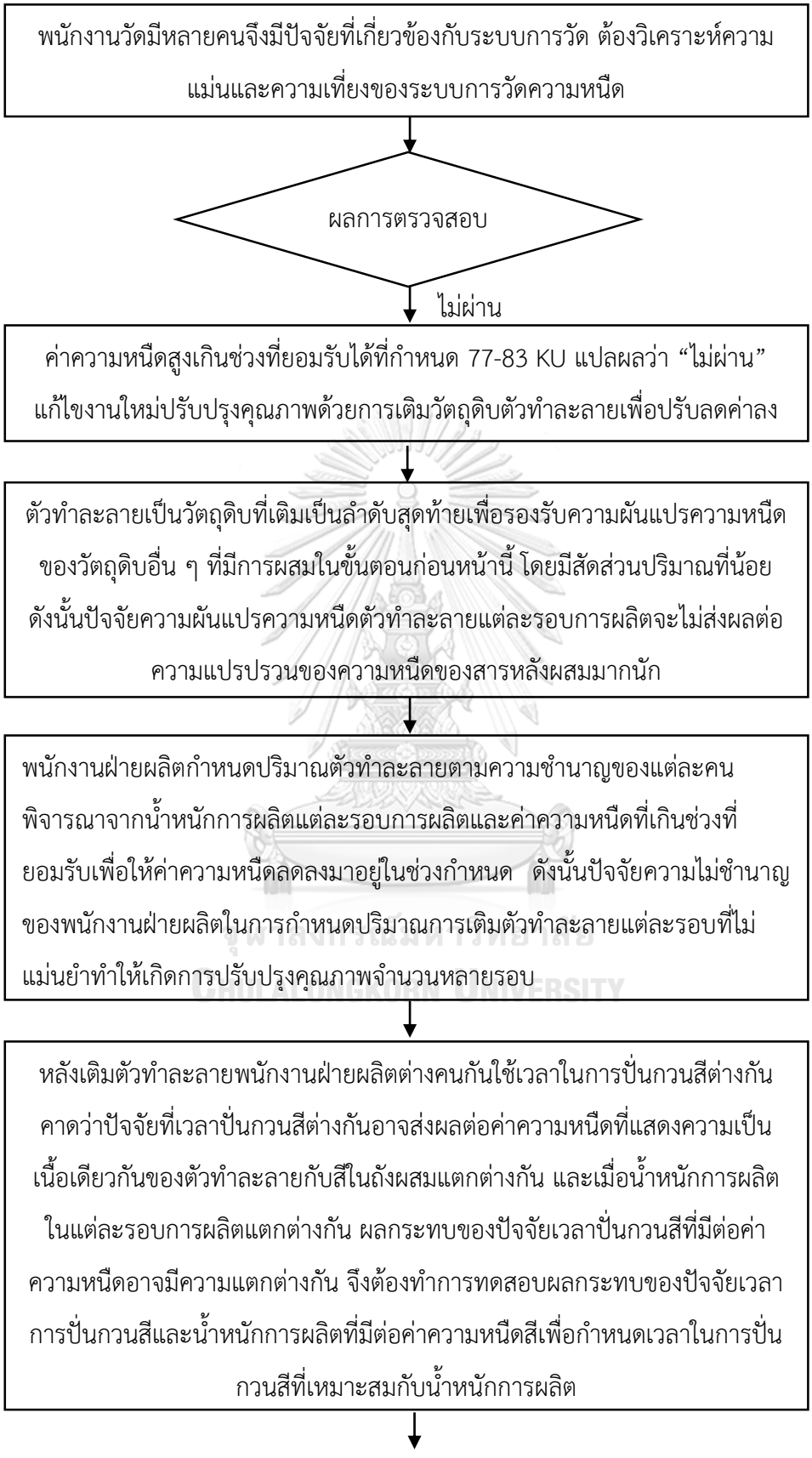
↓

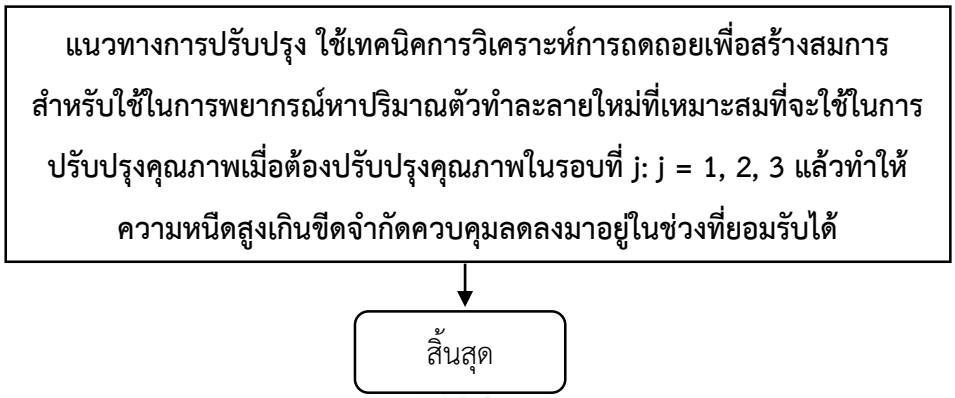
การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด แปลผลว่า “ผ่าน”

↓

พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพหัวข้อความหนืด

↓


พนักงานวัดมีหลายคนจึงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด ต้องวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดความหนืด
ผลการตรวจสอบ
ไม่ผ่าน
ค่าความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้ที่กำหนด 77-83 KU แปลผลว่า “ไม่ผ่าน” แก้ไขงานใหม่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมวัตถุดิบตัวทำละลายเพื่อปรับลดค่าลง
ตัวทำละลายเป็นวัตถุดิบที่เติมเป็นลำดับสุดท้ายเพื่อรองรับความผันแปรความหนืดของวัตถุดิบอื่น ๆ ที่มีการผสมในขั้นตอนก่อนหน้านี้ โดยมีสัดส่วนปริมาณที่น้อย ดังนั้นปัจจัยความผันแปรความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตจะไม่ส่งผลต่อความแปรปรวนของความหนืดของสารหลังผสมมากนัก
พนักงานฝ่ายผลิตกำหนดปริมาณตัวทำละลายตามความชำนาญของแต่ละคน พิจารณาจากน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตและค่าความหนืดที่เกินช่วงที่ยอมรับเพื่อให้ค่าความหนืดลดลงมาอยู่ในช่วงกำหนด ดังนั้นปัจจัยความไม่ชำนาญของพนักงานฝ่ายผลิตในการกำหนดปริมาณการเติมตัวทำละลายแต่ละรอบที่ไม่แม่นยำทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบ
หลังเติมตัวทำละลายพนักงานฝ่ายผลิตต่างคนกันใช้เวลาในการปั่นกวนสีต่างกัน คาดว่าปัจจัยที่เวลาปั่นกวนสีต่างกันอาจส่งผลต่อค่าความหนืดที่แสดงความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวทำละลายกับสีในถังผสมแตกต่างกัน และเมื่อน้ำหนักการผลิตในแต่ละรอบการผลิตแตกต่างกัน ผลกระทบของปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่มีต่อค่าความหนืดอาจมีความแตกต่างกัน จึงต้องทำการทดสอบผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อค่าความหนืดสีเพื่อกำหนดเวลาในการปั่นกวนสีที่เหมาะสมกับน้ำหนักการผลิต



รูปที่ 4. 11 แผนภูมิการไหลของงานแนวความคิดปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต และแนวทางในการปรับปรุง

จาก 12 ปัจจัยพบว่ามี 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.2 เรื่องการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดแล้ว พบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะเหลือ 9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต จากนั้นคัดเลือกแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาทั้ง 3 ปัญหาคือ ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.12 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.13 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบแสดงไว้ในตารางที่ 4.14 มาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 12 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อปรับปรุงปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ และแนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง

ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	แนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง
1	Man	ความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี	ซอฟต์แวร์เทคนิคการจับคู่สี
2	Material	ความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต	ศึกษาความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต
3	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี	ศึกษาผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อค่าความแตกต่างสี

สรุปปัจจัยที่ถูกคัดเลือกและแนวทางเพื่อปรับปรุงปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ มีดังนี้

1. ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการนำเทคนิคการจับคู่สีเป็นซอฟต์แวร์ติดตั้งอยู่ในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานใช้ในการแต่งเฉดสีผลิตภัณฑ์กลุ่มสีน้ำทาอาคาร เทคนิคนี้จะพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีที่กำลังแต่งเฉดสีทดลองผสมสีกันภายในซอฟต์แวร์ทำให้ทราบค่าความแตกต่างสีระหว่างเฉดสีตัวอย่างเทียบกับเฉดสีมาตรฐานที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าโดยมีพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ก่อนกำหนดชนิดและปริมาณแม่สีให้พนักงานฝ่ายผลิตเติมจริงในถังผสมสี ผู้วิจัยจะนำเทคนิคการจับคู่สีมาประยุกต์ใช้ในการแต่งเฉดสีผลิตภัณฑ์กลุ่มสีน้ำมัน ลดปัญหาความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงานและลดจำนวนรอบวนซ้ำการแต่งเฉดสี

2. ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต ผู้วิจัยศึกษาความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต แต่แนวทางที่ต้องสร้างข้อมูลพื้นฐาน (Data Base) ของแม่สีแต่ละชนิดเพื่อบันทึกลงในซอฟต์แวร์ก่อนเริ่มใช้เทคนิคการจับคู่สีได้จะต้องมีการเลือกความแรงแม่สีค่าหนึ่งเพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐานซึ่งจะสามารถรองรับความผันแปรแม่สีแต่ละรอบการผลิตได้โดยส่งผลต่อขั้นตอนการจับคู่สีคือ การพยากรณ์ปริมาณแม่สีครั้งแรกจากข้อมูลพื้นฐานที่สร้างจากความแรงแม่สีต่ำเมื่อแต่งเฉดสีจริงแม่สีมีความแรงแม่สีสูงส่งผลให้แม่สีถูกใส่เกินความจำเป็น เฉดสีเข้มเกิน การแต่งเฉดสีต่อไปค่อนข้างยากอาจต้องมีการลดทอนความเข้มของเฉดสีด้วยแม่สีหรือวัตถุดิบอื่นแล้วจึงเริ่มแต่งเฉดสีใหม่ แต่ในทางกลับกันการพยากรณ์ปริมาณแม่สีครั้งแรกจากข้อมูลพื้นฐาน ที่สร้างจากความแรงแม่สีสูงเมื่อแต่งเฉดสีจริงแม่สีมีความแรงแม่สีต่ำส่งผลให้แม่สีถูกใส่น้อยกว่าหรือเท่ากับความจำเป็น เฉดสีจะอ่อนไม่เข้มเกิน ทำให้มีแนวทางในการเพิ่มแม่สีและสามารถแต่งเฉดสีต่อไปได้ โดยการเพิ่มปริมาณแม่สีในการพยากรณ์ครั้งต่อ ๆ ไปจะง่ายกว่าการแก้ไขเฉดสีที่เข้มเกินไป ผู้วิจัยจึงเลือกความแรงแม่สีสูงคือ 105 หน่วยมาใช้สร้างข้อมูลพื้นฐานเพื่อรองรับความผันแปรของความแรงแม่สีนี้

3. ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี ศึกษาผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อค่าความแตกต่างสี เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่เหมาะสมในการปั่นกวนสี

ตารางที่ 4. 13 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อปรับปรุงปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ และแนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง

ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	แนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง
1	Material	ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต	เทคนิคการออกแบบการทดลอง
2	Material	ความผันแปรของเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต	ศึกษาความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต
3	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง	ศึกษาผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อเวลาการแห้งตัวของสี

สรุปปัจจัยที่ถูกคัดเลือกและแนวทางเพื่อปรับปรุงปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ มีดังนี้

1. ปัจจัยสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต สารเร่งแห้งแต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน โคบอลต์เร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งที่ผิวของฟิล์มสี เซอร์โครเนียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งทั่วฟิล์มสี แคลเซียมเร่งการเกิดปฏิกิริยาการแห้งตัวชั้นในสุดของฟิล์มสี และปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบไม่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยเลือกการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) ในการหาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิต โดยกำหนดปัจจัยนำเข้า คือ ปริมาณสารเร่งแห้ง 3 ชนิดคือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียม และมีตัวแปรตอบสนองคือ ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้ง ทำให้ลดจำนวนรอบการแก้ไขงานใหม่ได้

2. ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต โรงงานกรณีศึกษากำหนดสารเร่งแห้งโคบอลต์มีเปอร์เซ็นต์โลหะ 10% เซอร์โคเนียมมีเปอร์เซ็นต์โลหะ 12% และแคลเซียมมีเปอร์เซ็นต์โลหะ 10% ในสารละลาย เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาการเร่งแห้งในสี เก็บข้อมูลวิเคราะห์ความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตเทียบกับเกณฑ์ควบคุมคุณภาพ ทำให้เชื่อได้ว่าทุกรอบการผลิตมีค่าเปอร์เซ็นต์โลหะตามปริมาณที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี ศึกษาผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อเวลาการแห้งตัวของสี เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่เหมาะสมในการปั่นกวนสี

ตารางที่ 4. 14 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อปรับปรุงปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ และแนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง

ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	แนวทางการวิเคราะห์และการปรับปรุง
1	Man	ความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ	เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย
2	Material	ความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิต	ศึกษาความผันแปรความหนืดตัวละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต
3	Method	เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย	ศึกษาผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อค่าความหนืด

สรุปปัจจัยที่ถูกคัดเลือกและแนวทางเพื่อปรับปรุงปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ มีดังนี้

1. ปัจจัยปริมาณตัวทำละลาย ความไม่ชำนาญของพนักงานฝ่ายผลิตในการกำหนดปริมาณการเติมตัวทำละลายแต่ละรอบในการปรับปรุงคุณภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ งานวิจัยจะนำข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ i; i = 1, 2, 3 แล้วทำให้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้จากอดีตที่ผ่านมาและใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อสร้างสมการสำหรับใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อต้องปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ j; j = 1, 2, 3 แล้วทำให้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้รองรับความผันแปรค่าความหนืดของวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิต เป็นแนวทางให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพสามารถระบุปริมาณตัวทำละลาย เพื่อส่งให้พนักงานฝ่ายผลิตเติมมีความแม่นยำมากขึ้น ทำให้ลดจำนวนรอบการแก้ไขงานใหม่ กำหนดตัวแปรอิสระ คือ น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบและจำนวนหน่วยความหนืดที่เปลี่ยนแปลง กำหนดตัวแปรตาม คือ ปริมาณตัวทำละลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ปัจจัยความหนืดตัวทำละลาย วิเคราะห์ความผันแปรความหนืดตัวละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตส่งผลต่อความหนืดของสารหลังผสมหรือไม่

3. ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสี ศึกษาผลกระทบของปัจจัยเวลาการปั่นกวนสีและน้ำหนักการผลิตที่มีต่อค่าความหนืด เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละรอบที่เหมาะสมในการปั่นกวนสี

4.6 สรุประยะการวัดสภาพปัญหา

ในขั้นตอนการวัดสภาพปัญหาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักคือ

การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ข้อมูลแบบหน่วยวัด (Variable Data) คือ ค่าความแตกต่างสีด้วยเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานและค่าความหนืดด้วยเครื่องวิสโคมิเตอร์ ผลการวิเคราะห์พบว่า ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.45 และร้อยละ 9.69 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 30 อยู่ใช้เกณฑ์ที่ยอมรับอ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG (2008) ข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) คือ เวลาการแห้งตัวของสีตรวจสอบด้วยการใช้นิ้วมือสัมผัสแผ่นฟิล์มสีที่ผ่านการอบตามวิธีการตรวจสอบ ผลการวิเคราะห์พบว่า เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ เท่ากับ 100% อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ จากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด 3 หัวข้อคือ ค่าความแตกต่างสี ค่าความหนืด เวลาการแห้งตัวของสีอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทำให้มั่นใจว่าระบบการวัดมีความแม่นและเที่ยงเพียงพอ

เก็บข้อมูลสภาพปัญหาในปัจจุบัน รวบรวมข้อมูลทั้งสามสัดส่วนปัญหาจากจำนวนรอบการผลิตแบบรายเดือนที่มีขนาดตัวอย่างไม่คงที่ แสดงข้อมูลเป็นแผนภูมิควบคุม P พบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาเวลาการแห้งตัวสีเกินเวลาที่กำหนดและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงมากกว่า 1 รอบ เท่ากับ 0.85, 0.72, 0.76 ของจำนวนรอบการผลิตทั้งหมด ตามลำดับ

ทำการระดมสมองจากคณะทีมงานปรับปรุงโครงการ หาสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ และปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบที่ส่งให้ผลต่อเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตยาวนานทั้งหมด โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ได้ทั้งหมด 22 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยทำการจัดลำดับความสำคัญโดยใช้ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Metrix) และกราฟเรียงลำดับ

คะแนนเหลือ 12 ปัจจัย ตัดปัจจัยระบบการวัดค่าความแตกต่างสี การแห้งตัวของสี ค่าความหนืดเมื่อวิเคราะห์แล้วอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงเหลือ 9 ปัจจัยที่จะนำไปศึกษาต่อ จากนั้นจัดกลุ่มปัจจัยเพื่อให้สอดคล้องกับแต่ละปัญหาได้ดังนี้

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต ความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิต เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย

จากนั้นจะนำปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกไปวิเคราะห์ในบทต่อ ๆ ไปเพื่อทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อแต่ละปัญหา จากนั้นจะนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปปรับปรุงเพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อลดสัดส่วนจำนวนรอบที่มีปัญหาการแต่งเฉดสี ปัญหาความหนืดสูง และปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

5.1 บทนำ

ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา นำปัจจัยที่ถูกคัดเลือกจากระยะก่อนหน้านี้ทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยที่มีส่งผลต่อแต่ละปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบ เพื่อให้ได้ปัจจัยที่สำคัญนำไปวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขในขั้นตอนต่อไป

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบมีทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ

1. ความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต
2. เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี
3. ความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ

1. ความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิต
2. เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย
3. ความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ

1. ความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิต
2. เวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง
3. ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

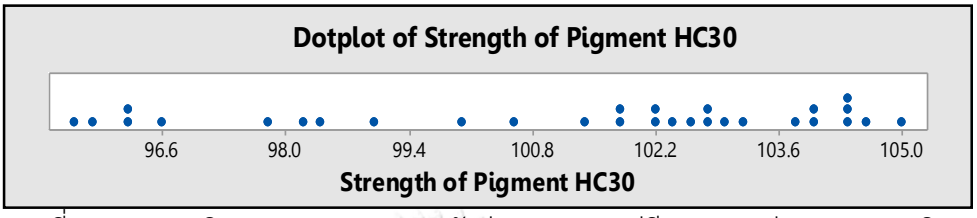
5.2 การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

5.2.1 ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลความแรงแม่สีหรือเรียกว่า ค่าเฉดสีของแม่สีแต่ละรอบการผลิต เพื่อดูความแปรปรวนของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต ผู้วิจัยเลือกเก็บข้อมูลความแรงแม่สีน้ำเงิน HC30 พิจารณาจากมีปริมาณการใช้งานสูงสุดและเป็นแม่สีหลักในการแต่งเฉดสี จำนวน 30 รอบการผลิต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และข้อมูลแผนภูมิจุดการกระจายตัวดังแสดงในรูปที่ 5.1

ตารางที่ 5. 1 ความแรงแม่สี HC30 จำนวน 30 รอบการผลิต

104.39	102.32	102.78	101.78	103.98	99.08	104.98	102.14	96.20	103.95
102.19	96.62	100.63	98.42	101.32	96.20	102.96	103.73	98.10	95.65
100.06	104.31	103.20	97.89	95.82	102.63	102.85	99.39	104.53	102.74



รูปที่ 5. 1 แผนภูมิจุดแสดงการกระจายตัวค่าความแรงแม่สี HC30 แต่ละรอบการผลิต

จากแผนภูมิจุดพบว่า ความแรงแม่สี HC30 กระจายตัวตลอดช่วง 100±5 หน่วยตามเกณฑ์การควบคุมคุณภาพ ซึ่งความผันแปรความแรงของแม่สีระหว่างรอบการผลิตมีค่าสูง การปรับปรุงคุณภาพความแรงแม่สีในขั้นตอนการผลิตปัจจุบันก็ค่อนข้างยากและใช้เวลานาน เนื่องจากผงสีที่มาจากแหล่งธรรมชาติแต่ละรอบของผู้ผลิตมีช่วงที่กว้างควบคุมได้ยาก ถ้าความแรงแม่สีแตกต่างไปจาก 100 หน่วยตามค่าที่คาดไว้ว่าควรจะเป็นจะเกิดผลคือ ถ้าค่าความแรงแม่สีมากกว่า 100 หน่วยจะส่งผลให้แม่สีรอบการผลิตนั้นให้ค่าเฉดสีสูงกว่าค่าเฉดสีมาตรฐานและถ้าค่าความแรงแม่สีน้อยกว่า 100 หน่วยจะส่งผลให้แม่สีรอบการผลิตนั้นจะให้ค่าเฉดสีต่ำกว่าค่าเฉดสีมาตรฐาน ดังนั้นปัจจัยความแรงแม่สีแต่ละรอบมีผลต่อค่าความแตกต่างสีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีส่งผลทำให้พบปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ในการปรับปรุงกระบวนการสำหรับปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ผู้วิจัยจะทดลองนำซอฟต์แวร์การจับคู่สีมาใช้ในการแต่งเฉดสีให้ซอฟต์แวร์พยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีทดลองผสมสีกันภายในซอฟต์แวร์ก่อนผสมแม่สีจริงในถังผสมสีเพื่อลดจำนวนรอบการแต่งเฉดสี แต่จะต้องมีการสร้างข้อมูลพื้นฐานแม่สีให้กับซอฟต์แวร์ที่ปริมาณต่าง ๆ จากความแรงแม่สีเพียงค่าหนึ่งก็สามารถรองรับความผันแปรของความแรงแม่สีได้ เนื่องจากการสร้างข้อมูลพื้นฐานจากแม่สีค่าหนึ่ง ปริมาณแม่สีเพิ่มขึ้นค่าการสะท้อนแสงจะลดลงเป็นสัดส่วน ซึ่งในข้อมูลพื้นฐานแม่สีหนึ่งชุดจึงต้องใช้ความแรงแม่สีค่าเท่ากันทั้งชุดข้อมูล สำหรับขั้นตอนการพยากรณ์แต่งเฉดสีจริงครั้งแรกความแรงแม่สีที่ถูกใช้แต่งอาจจะมีค่าน้อยกว่า มากกว่า หรือเท่ากับความแรงแม่สีที่ใช้สร้างข้อมูลซึ่งซอฟต์แวร์จะไม่ทราบในตอนต้น แต่จะทราบเมื่อมีการวัดค่าเฉดสีหลังเติมแม่สีแล้ว ซอฟต์แวร์จะทำการปรับข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ให้เข้ากับความแรงแม่สีที่ใช้จริง ณ ขณะนั้นสำหรับการพยากรณ์ในครั้งที่สองและต่อ ๆ ไป ผู้วิจัยจึงเลือกความแรงแม่สีที่ 105 หน่วยซึ่งเป็นค่าสูงสุดของเกณฑ์การควบคุมคุณภาพเพราะในขั้นตอนการแต่งเฉดสีจริงคือ ในการพยากรณ์ปริมาณแม่สีครั้งแรกจากข้อมูลพื้นฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่สร้างจากความแรงแม่สี 105 หน่วยแต่ในความเป็นจริงแม่สีที่ความแรงแม่สีต่ำกว่าส่งผลให้ปริมาณแม่สีไม่ถูกใส่เกินความจำเป็น ค่าเฉดสีที่ได้จะต่ำกว่าหรือมีโอกาสที่จะเท่ากับค่าเฉดสีมาตรฐาน ทำให้มีแนวทางในการเพิ่มปริมาณแม่สีในการพยากรณ์ครั้งต่อ ๆ ไปได้

5.2.2 ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี

ผู้วิจัยทำการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมแม่สีว่ามีผลต่อค่าความแตกต่างสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างสีหลังจากพนักงานเติมแม่สีลงถังผสมและใช้เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที จำนวน 30 รอบการผลิตดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ผู้วิจัยต้องการทดสอบว่าเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีต่างกันมีผลต่อค่าความแตกต่างสีหรือไม่อย่างไรและมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตหรือไม่ จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยโดยทั่วไปเทคนิคนี้จะใช้ในการสร้างสมการพยากรณ์เพื่อทำนายตัวแปรตอบสนองใหม่ แต่ในกรณีนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีว่ามีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแตกต่างสีหรือไม่เท่านั้น ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

โดยที่ ตัวแปรอิสระ X_1 = น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบ (Weight)

X_2 = เวลาในการปั่นกวนสี (Time)

ตัวแปรตอบสนอง Y = ค่าความแตกต่างสี (DE)

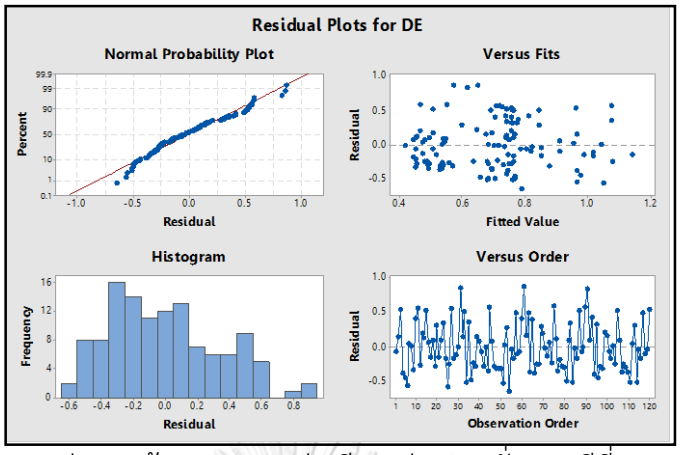
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 2 ค่าความแตกต่างสีหลังเติมแม่สีและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ

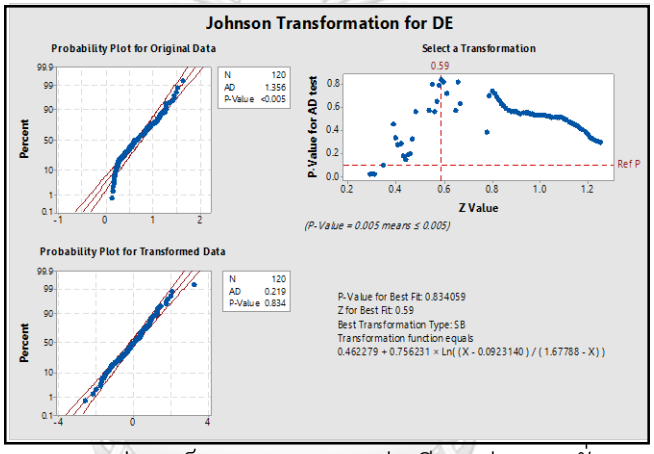
รอบการผลิตที่	น้ำหนักการผลิต (Kg)	ค่าความแตกต่างสี ณ เวลาปั่นกวนสีใด ๆ			
		5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
1	989	0.8	1.51	1.44	1.45
2	454	1.12	0.92	0.86	0.84
3	472	1.5	1.27	1.18	1.16
4	451	0.59	0.27	0.34	0.36
5	408	0.54	1.14	1.10	1.08
6	454	0.42	0.30	0.33	0.31
7	692	0.96	0.48	0.39	0.41
8	506	0.98	0.48	0.44	0.43
9	858	0.56	0.82	0.89	0.86
10	1703	1.16	0.63	0.66	0.67
11	2526	1.28	0.44	0.40	0.39
12	1620	0.51	0.29	0.35	0.36
13	3246	0.95	0.54	0.51	0.50
14	1858	0.88	0.19	0.23	0.25
15	1689	1.29	1.13	1.05	1.03
16	1796	0.82	0.62	0.57	0.60
17	1840	0.60	0.27	0.12	0.14
18	1944	0.84	0.22	0.26	0.24
19	1795	0.47	0.24	0.18	0.21
20	1518	1.09	0.26	0.20	0.17
21	4586	0.85	0.25	0.18	0.17
22	3329	0.86	0.58	0.55	0.54
23	4906	1.43	1.13	1.08	1.07
24	4694	0.86	0.15	0.19	0.21
25	4823	0.49	0.79	0.71	0.70
26	4921	0.84	0.69	0.59	0.60
27	4907	1.64	1.34	1.26	1.26
28	5121	0.99	0.81	0.74	0.73
29	4690	0.91	0.72	0.69	0.68
30	4784	1.04	1.23	1.28	1.27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

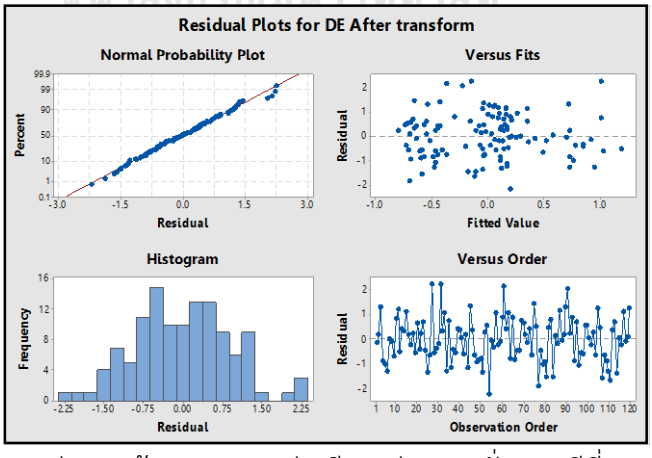
5.2.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 5. 2 กราฟส่วนตกค้างความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที



รูปที่ 5. 3 กราฟความน่าจะเป็นของความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation



รูปที่ 5. 4 กราฟส่วนตกค้างความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที หลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation

การตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลค่าความแตกต่างสี

การตรวจสอบข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้าง ตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ ทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 5.3 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ <0.005 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ข้อมูลจึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ ผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation ของข้อมูลและทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.834 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลหลังจากการแปลงแล้วข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับลำดับของข้อมูล ข้อมูลหลังแปลงด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation ตามรูปที่ 5.4 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระต่อกัน

3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับค่าฟิตของข้อมูลก่อนและหลังแปลงด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation ตามรูปที่ 5.4 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

Regression Analysis: DE After transform versus X1 (Weight), X2(Time)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	26.810	5.3621	6.32	0.000
X1 (Weight)	1	7.147	7.1465	8.43	0.004
X2(Time)	1	5.132	5.1319	6.05	0.015
X1 (Weight)*X1 (Weight)	1	11.809	11.8087	13.92	0.000
X2(Time)*X2(Time)	1	3.770	3.7701	4.44	0.037
X1 (Weight)*X2(Time)	1	0.225	0.2252	0.27	0.607
Error	114	96.692	0.8482		
Lack-of-Fit	110	92.827	0.8439	0.87	0.661
Pure Error	4	3.865	0.9662		
Total	119	123.502			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.920963	21.71%	18.27%	13.51%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.973	0.590	3.35	0.001	
X1 (Weight)	-0.000788	0.000271	-2.90	0.004	30.76
X2(Time)	-0.2166	0.0881	-2.46	0.015	34.29
X1 (Weight)*X1 (Weight)	0.000000	0.000000	3.73	0.000	25.76
X2(Time)*X2(Time)	0.00709	0.00336	2.11	0.037	32.25
X1 (Weight)*X2(Time)	-0.000005	0.000009	-0.52	0.607	8.04

Regression Equation

DE After transform = 1.973 - 0.000788 X1 (Weight) - 0.2166 X2(Time)
+ 0.000000 X1 (Weight)*X1 (Weight) + 0.00709 X2(Time)*X2(Time)
- 0.000005 X1 (Weight)*X2(Time)

รูปที่ 5. 5 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบของข้อมูลค่าความแตกต่างสี

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่า เทอมผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.607 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า ไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่มีผลต่อความแตกต่างสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีผลกระทบหลักจากปัจจัยเวลาปั่นกวนสีหลังจากนี้ผู้วิจัยจะทดสอบสมมติฐานปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความแตกต่างสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ ด้วยการวิเคราะห์โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย จะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรแบบ Tukey's Test เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากัน เมื่อความแปรปรวนของประชากรที่เวลาปั่นกวนสีที่ค่าต่าง ๆเท่ากัน ซึ่งจะทำการทดสอบดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

5.2.2.2 การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่แตกต่างกัน

สมมติฐาน H_0 = ความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสี ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 4 เวลาไม่แตกต่างกัน

H_1 = ความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน

Test for Equal Variances: DE after transform versus Time

Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	α = 0.05

95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Time	N	StDev	CI
10 min	30	1.03251	(0.805484, 1.44371)
15 min	30	1.06085	(0.811865, 1.51209)
20 min	30	1.02393	(0.797420, 1.43418)
5 min	30	0.80545	(0.492345, 1.43735)

Individual confidence level = 98.75%

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	–	0.544
Levene	1.44	0.233

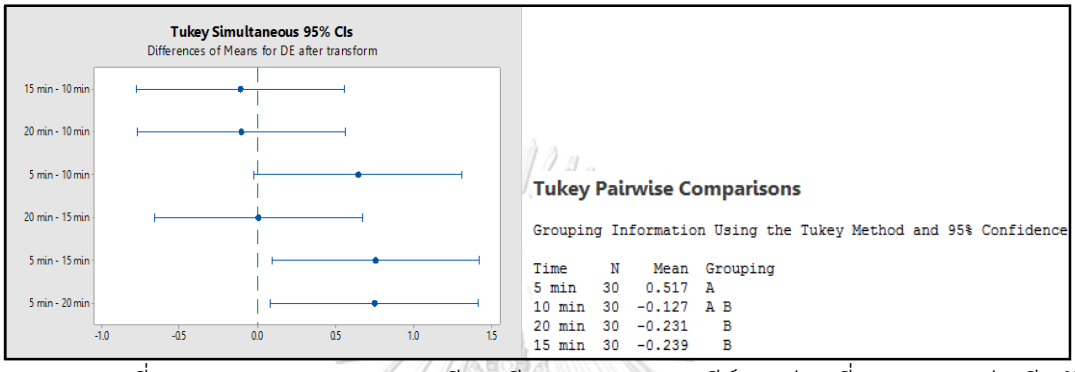
รูปที่ 5. 6 ผลการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสีระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที

จากการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.554 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าความแปรปรวนของค่าความแตกต่างสี ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.2.2.3 การเปรียบเทียบพหุคูณในกรณีที่มีความแปรปรวนเท่ากัน จะใช้สถิติทดสอบของทูกีย์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างสี ณ เวลาปั่นกวนสีแตกต่างกันว่าคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน สมมติฐานการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐาน H_0 = ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสี ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 4 เวลาไม่แตกต่างกัน

H_1 = ค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน



รูปที่ 5. 7 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์ของค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีหลังเติมแม่สีและใช้เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที

จากการเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์พบว่า เวลาปั่นกวนสีที่ 5 และ 10 นาทีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีไม่แตกต่างกันและเวลาปั่นกวนสีที่ 10, 15 และ 20 นาทีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีก็ไม่แตกต่างกัน แต่เวลาปั่นกวนสีที่ 5 นาทีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีแตกต่างจากที่ 15 และ 20 นาที หมายถึง แม่สีมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นเมื่อเวลาในการปั่นกวนสีมากขึ้นทำให้ความแตกต่างสีที่วัดได้ ณ เวลาดังกล่าวแตกต่างกัน พิจารณาเวลาปั่นกวนสีที่ 10 และ 15 นาทีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจะใช้เวลาปั่นกวนสี 10 หรือ 15 นาทีก็ได้ ผู้วิจัยเลือก 15 นาที เพราะเวลาปั่นกวนสีที่ 10 นาทียังมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีไม่แตกต่างกับที่ 5 นาที และเวลาปั่นกวนสีที่ 10 นาทีถ้าแม่สีไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสีมีโอกาสที่จะต้องเติมแม่สีเพื่อปรับปรุงคุณภาพอีกครั้งทำให้ระยะเวลาในการแก้ไขงานใหม่และการตรวจสอบคุณภาพเพิ่มขึ้น 50 นาที ฉะนั้นการเพิ่มเวลาปั่นกวนสีอีกเพียง 5 นาทีจะให้ค่าความแตกต่างสีที่ถูกต้องจากการที่แม่สีเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสีแน่นอนกว่า ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีที่แตกต่างกันที่มีผลต่อค่าความแตกต่างสีจึงกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบเพื่อให้มั่นใจว่าแม่สีที่เติมลงไปเป็นเนื้อเดียวกับสีคือ 15 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

5.3.1 ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิต

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) เพื่อดูความผันแปรของเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดเพื่อให้มั่นใจว่าสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตมีเปอร์เซ็นต์โลหะตามที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือ ค่าเปอร์เซ็นต์โลหะโคบอลต์ในสารเร่งแห้งโคบอลต์ เปอร์เซ็นต์โลหะเซอร์โครเนียมในสารเร่งแห้งเซอร์โครเนียม และเปอร์เซ็นต์โลหะเซอร์แคลเซียมในสารเร่งแห้งแคลเซียม คือ 10 ± 0.10%, 12 ± 0.10% และ 10 ± 0.10% ตามลำดับ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งชนิดละจำนวน 40 รอบการผลิต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และคำนวณขนาดตัวอย่างที่จำเป็นในการประเมินความสามารถของกระบวนการดังแสดงในสมการที่ 5.1 และผลการคำนวณดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5. 3 เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต

โคบอลต์	9.98	10.03	9.99	10.00	10.00	10.01	10.02	9.97	10.05	10.00
	10.00	9.97	10.00	10.00	9.98	10.02	9.99	10.02	10.03	10.02
	9.99	9.98	9.98	10.03	10.00	10.01	9.99	10.03	10.01	10.03
	9.97	10.02	9.99	10.01	10.02	10.01	9.99	9.97	10.03	10.01
เซอร์โคเนียม	12.00	11.98	11.97	11.98	12.02	12.01	11.99	12.00	12.01	12.02
	12.01	12.01	11.97	11.98	12.02	12.02	11.98	12.00	12.03	12.01
	11.99	11.99	12.01	12.04	11.99	12.01	12.02	11.99	11.99	12.02
	12.00	12.01	12.02	12.00	12.02	11.99	12.00	11.98	12.00	12.03
แคลเซียม	10.03	9.99	10.00	10.00	9.97	9.99	10.02	9.97	10.00	10.00
	10.02	9.97	10.03	10.00	10.02	10.01	10.02	10.03	10.01	10.03
	10.02	9.98	10.04	10.01	10.02	10.00	9.98	10.01	10.01	9.98
	10.00	9.99	9.99	10.02	9.99	10.00	10.00	10.02	10.00	9.98

$$n = (Z_\alpha)^2 \frac{\left[\frac{1}{9\left(\hat{C}_{pk}\right)^2}+\frac{1}{2}\right]}{\left[1-\frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}}\right]^2} \qquad (5.1)$$

โดยที่ n คือ ขนาดตัวอย่าง

Z_αคือ ค่าปกติมาตรฐานที่สอดคล้องกับระดับความเชื่อมั่น (1-α) % กำหนดให้เป็น 95%

$\hat{C}_{pk}$คือ ค่าประมาณดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจากกลุ่มตัวอย่าง

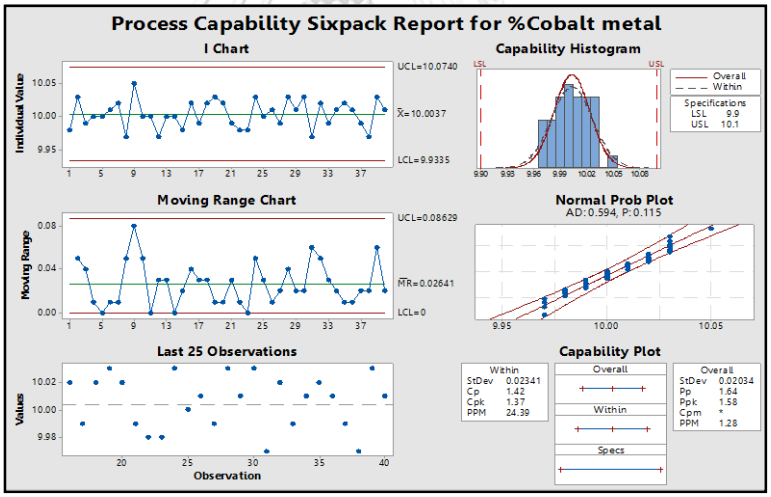
$C_{pk}/\hat{C}_{pk}$ คือ ค่าประมาณดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการที่แท้จริงเทียบกับดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจากกลุ่มตัวอย่าง กำหนดให้เป็น 0.8

ตารางที่ 5. 4 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินความสามารถของกระบวนการ

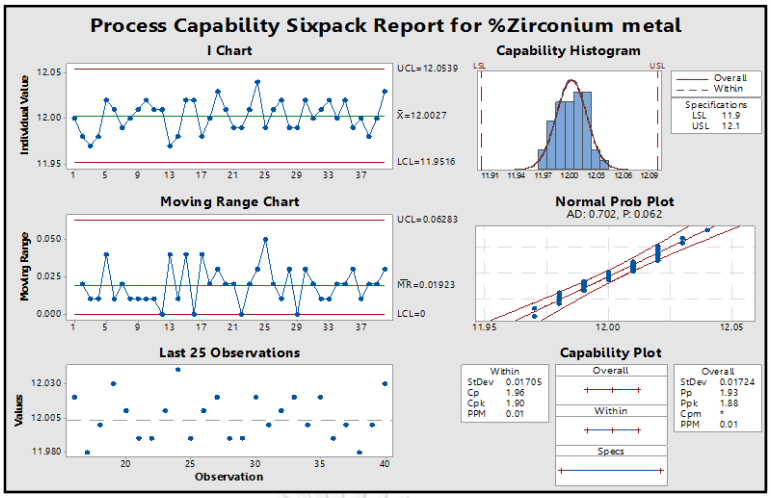
สารเร่งแห้ง	ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	$\hat{C}_{pk}$	$C_{pk}/\hat{C}_{pk}$	จำนวนข้อมูลที่ต้องเก็บ
โคบอลต์	1.645	1.42	0.8	38
เซอร์โคเนียม	1.645	1.96	0.8	36
แคลเซียม	1.645	1.69	0.8	38

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่า ขนาดตัวอย่าง 40 รอบการผลิตที่มีอยู่แล้วก่อนมีเพียงพอสามารถประเมินความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งในแต่ละชนิด ดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

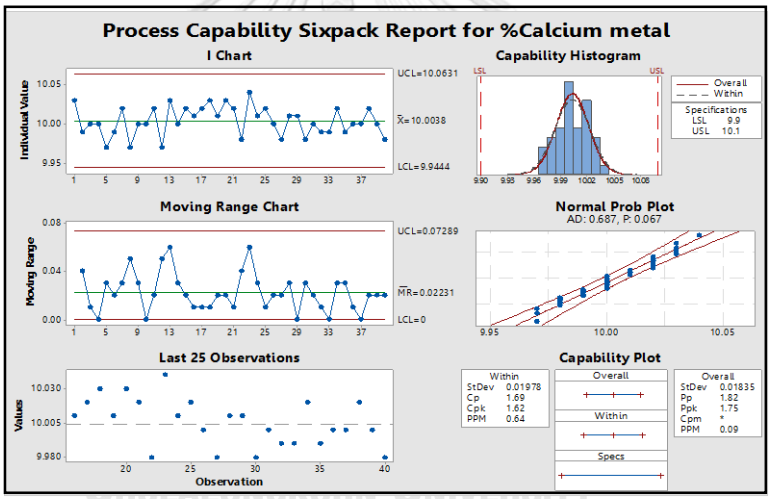
5.3.1.1 การประเมินความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะโคบอลต์ในสารเร่งแห้งโคบอลต์ เปอร์เซ็นต์โลหะเซอร์โครเนียมในสารเร่งแห้งเซอร์โครเนียม และเปอร์เซ็นต์โลหะเซอร์แคลเซียมในสารเร่งแห้งแคลเซียม ด้วยโปรแกรม Minitab มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5. 8 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งโคบอลต์



รูปที่ 5. 9 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งเซอร์โครเนียม



รูปที่ 5. 10 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแคลเซียม

สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีรายละเอียด ดังนี้

1. แผนภูมิฮิสโตแกรมแสดงความสามารถ ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ค่ากลางของขีดจำกัดข้อกำหนด หมายถึงความผันแปรของกระบวนการมีความแปรผันน้อย เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งโคบอลต์ เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งเซอร์โครเนียม เปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแคลเซียมมีค่าใกล้เคียง 10%, 12% และ 10% ตามลำดับ

2. การทดสอบสมมติฐานข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.115, 0.062 และ 0.067 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่

ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จากนั้นพิจารณาแผนภูมิควบคุม I และ Moving Range charts พบว่า ทุกจุดอยู่ภายในขีดจำกัดควบคุม และสรุปได้ว่ากระบวนการนี้อยู่ในสภาวะควบคุมได้ (In control)

3. ค่า Cp และ Cpk มีค่าเท่ากับ 1.42 และ 1.37 ในเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งโคบอลต์ มีค่าเท่ากับ 1.96 และ 1.90 ในเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งเซอร์โครเนียม และมีค่าเท่ากับ 1.69 และ 1.62 ในเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแคลเซียม ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ยอมรับที่ 1.33 แสดงถึงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการนี้มีค่าน้อยอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากการประเมินความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้ง พบว่า ความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิตมีค่าน้อย และค่าเปอร์เซ็นต์โลหะส่วนใหญ่มีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย ทำให้เชื่อได้ว่าสารเร่งแห้งแต่ละชนิดในแต่ละรอบมีค่าตามมาตรฐาน ฉะนั้นในขั้นตอนการกำหนดระดับปัจจัยการออกแบบการทดลองขั้นตอนการคำนวณปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมกับสูตรเพื่อการผลิต ผู้วิจัยกำหนดให้เป็นค่าคงที่ คือ สารเร่งแห้งโคบอลต์ 10% สารเร่งแห้งเซอร์โคเนียม 12% และสารเร่งแห้งแคลเซียม 10%

5.3.2 ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง

ผู้วิจัยทำการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมสารเร่งแห้งว่ามีผลต่อการแห้งตัวของสีหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างสีหลังจากพนักงานเติมสารเร่งแห้งลงถังผสมและใช้เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที จำนวน 30 รอบการผลิตดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.5 ซึ่งมีน้ำหนักการผลิตแตกต่างกัน โดยแบ่งกลุ่มตามน้ำหนักการผลิตได้ 3 กลุ่มคือ ต่ำ (<1,000 กิโลกรัม), กลาง (1,001-3000 กิโลกรัม) และสูง (>3,000 กิโลกรัม) ผู้วิจัยต้องการทดสอบว่าเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีมีผลต่อการแห้งตัวของสีหรือไม่อย่างไร และมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตหรือไม่ จึงได้สรุปข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5.6 และได้ผลดังแสดงในกราฟผลกระทบร่วม ดังแสดงในรูปที่ 5.11 กำหนดสัญลักษณ์สำหรับผลการตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของสี G คือ “ผ่าน” หมายถึง สีแห้งตัวในช่วงเวลาที่กำหนด และ NG คือ “ไม่ผ่าน” หมายถึง สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด สามารถคำนวณ p ได้จากสมการที่ 5.2

$$P = \frac{x}{n} \tag{5.2}$$

โดยที่ p คือ สัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดต่อจำนวนรอบทั้งหมดที่ทดสอบ

x คือ จำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด

n คือ จำนวนรอบทั้งหมดที่ทดสอบ

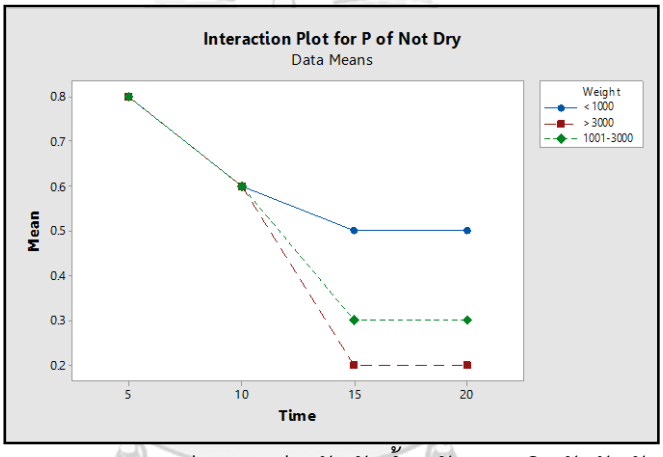
ตารางที่ 5. 5 ผลการตรวจสอบการแห้งตัวของสีหลังเติมสารเร่งแห้งและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ

รอบการผลิตที่	การแบ่งกลุ่มตามน้ำหนัก	น้ำหนักการผลิต (Kg)	การแห้งตัวของสี ณ เวลาปั่นกวนสีใด ๆ			
			5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
1	<1000	645	NG	NG	NG	NG
2		785	NG	G	G	G
3		834	NG	NG	NG	NG
4		815	G	G	G	G
5		746	NG	NG	G	G
6		811	NG	NG	NG	NG
7		595	NG	NG	NG	NG
8		881	NG	G	G	G
9		525	NG	NG	NG	NG
10		752	G	G	G	G
11	1000-3000	2974	G	G	G	G
12		1317	G	G	G	G
13		1606	NG	NG	NG	NG
14		2754	NG	NG	G	G
15		1003	NG	NG	NG	NG
16		1162	NG	G	G	G
17		1609	NG	NG	NG	NG
18		1423	NG	NG	G	G
19		2463	NG	NG	G	G
20		1680	NG	G	G	G
21	>3001	4702	NG	G	G	G
22		4667	NG	NG	G	G
23		3139	NG	NG	NG	NG
24		4732	G	G	G	G
25		4919	NG	NG	NG	NG
26		4666	G	G	G	G
27		4905	NG	NG	G	G
28		4687	NG	NG	G	G
29		4693	NG	NG	G	G
30		3632	G	G	G	G

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 6 จำนวนรอบและสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดหลังเติมสารเร่งแห้งและใช้เวลาปั่นกวนสีใด ๆ เพื่อทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

แบ่งกลุ่มตามน้ำหนักการผลิต (Kg)	จำนวนรอบและสัดส่วนที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีใด ๆ							
	5 นาที		10 นาที		15 นาที		20 นาที	
	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วน	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วน	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วน	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วน
<1000	8	0.80	6	0.60	5	0.50	5	0.50
1000-3000	8	0.80	6	0.60	3	0.30	3	0.30
>3001	8	0.80	6	0.60	2	0.20	2	0.20



รูปที่ 5. 11 กราฟผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสี เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3.2.1 การทดสอบความเป็นอิสระ (Test of independence) เพื่อทดสอบความเป็นอิสระหรือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาปั่นกวนสี (Weight*Time) ด้วยสมมติฐานดังนี้

สมมติฐาน H_0: ปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสีไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1: ปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสีมีความสัมพันธ์กัน

Tabulated Statistics: Weight, Time

Using frequencies in No. Batch of Not dry

Rows: Weight Columns: Time

	5	10	15	20	All
<1000	8	6	5	5	24
	9.290	6.968	3.871	3.871	
	0.17921	0.13441	0.32930	0.32930	
>3000	8	6	2	2	18
	6.968	5.226	2.903	2.903	
	0.15293	0.11470	0.28100	0.28100	
1001-3000	8	6	3	3	20
	7.742	5.806	3.226	3.226	
	0.00860	0.00645	0.01581	0.01581	
All	24	18	10	10	62

Cell Contents: Count
Expected count
Contribution to Chi-square

Pearson Chi-Square = 1.849, DF = 6, P-Value = 0.933
Likelihood Ratio Chi-Square = 1.866, DF = 6, P-Value = 0.932

รูปที่ 5. 12 ผลการวิเคราะห์ความเป็นอิสระระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาปั่นกวนสี เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด

การวิเคราะห์ความเป็นอิสระค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.933 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า ปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสีไม่มีความสัมพันธ์กันที่มีผลต่อจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดหรือสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ถ้าหากมีผลกระทบระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาปั่นกวนสีจริง นั่นคือ ในการผลิตจริงเมื่อต้องมีเติมวัตถุดิบเพื่อปรับปรุงคุณภาพ พนักงานจะต้องพิจารณาน้ำหนักการผลิตก่อนแล้วจึงเลือกเวลาในการปั่นกวนให้เหมาะสมแต่ละรอบซึ่งทำได้ยากและพนักงานจะเกิดความสับสน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสับสนควรหาที่เวลาปั่นกวนสีค่าเดียว ที่ทำให้มั่นใจได้ว่าวัตถุดิบที่เติมลงไปสำหรับปรับปรุงคุณภาพ ไม่ว่าจะน้ำหนักการผลิตใดๆ จะทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันกับสีในถังผสมแล้วและสะดวกในการปรับตั้งเครื่องจักรในการปั่นกวนสีด้วย จากกราฟผลกระทบร่วม ณ เวลาปั่นกวนสี 5 นาที น้ำหนักการผลิตเปลี่ยนแปลงจากต่ำไปสูง สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดมีค่าเท่ากัน เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาปั่นกวนสีเพิ่มขึ้นเป็น 10 นาที น้ำหนักการผลิตเปลี่ยนแปลงจากต่ำไปสูง สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเวลาปั่นกวนสีนานขึ้นสารเร่งแห้งสามชนิดที่ถูกเติมลงไปสามารถกระจายตัวไปได้ทั่วถึงจนเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันกับสีในถังผสมมากขึ้น การทำหน้าที่ปฏิกิริยาการเร่งแห้งในสีเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น สีแห้งเร็วขึ้น สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดจึงลดลง และจากกราฟยังเห็นได้ว่าไม่ว่าที่น้ำหนักการผลิตใด สัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดที่ 10 และ 15 นาทีจะลดลงกว่าที่ 5 นาทีอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่เมื่อเวลาปั่นกวนสีเป็น 15 และ 20 นาทีสัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดมีค่าใกล้เคียงกัน หลังจากนี้ผู้วิจัยจะทดสอบ

สมมติฐานปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ

5.3.2.2 การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างสัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดเมื่อเวลาปั่นกวนสีที่แตกต่างกันของข้อมูลแต่ละคู่เวลาที่ทดสอบ ทดสอบด้วยการทำ Two Proportions Z Test ด้วยโปรแกรม Minitab ผลแสดงไว้ในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5. 7 สัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดต่อจำนวนรอบทั้งหมดที่ทดสอบ

ตัวแปร	ผลการตรวจสอบการแห้งตัวของสีหลังเติมสารเร่งแห้ง ณ เวลานั้น ๆ			
	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
x	21	19	10	10
n	30	30	30	30
p	0.70	0.63	0.33	0.33

สมมติฐาน H_0 = สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 1 เท่ากับ ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 2

H_1 = สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 1 มากกว่า ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5. 8 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีใด ๆ

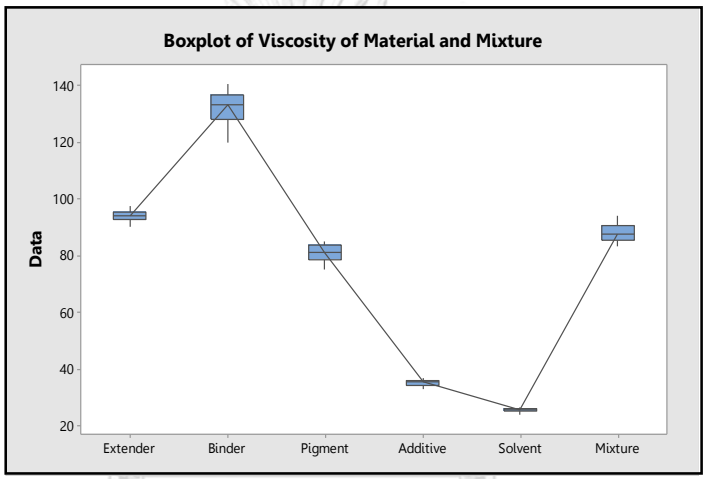
เวลาที่ 1	p_1	เวลาที่ 2	p_2	ผลการทดสอบจากโปรแกรม Minitab	p-Value
5 นาที	0.70	10 นาที	0.63	**Test and CI for Two Proportions** Sample X N Sample p 1 21 30 0.700000 2 19 30 0.633333 Difference = p (1) - p (2) Estimate for difference: 0.0666667 95% lower bound for difference: -0.133037 Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 0.55 P-Value = 0.291	0.291
10 นาที	0.63	15 นาที	0.33	**Test and CI for Two Proportions** Sample X N Sample p 1 19 30 0.633333 2 10 30 0.333333 Difference = p (1) - p (2) Estimate for difference: 0.3 95% lower bound for difference: 0.0975550 Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 2.44 P-Value = 0.007	0.007
15 นาที	0.33	20 นาที	0.33	**Test and CI for Two Proportions** Sample X N Sample p 1 10 30 0.333333 2 10 30 0.333333 Difference = p (1) - p (2) Estimate for difference: 0 95% lower bound for difference: -0.200205 Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 0.00 P-Value = 0.500	0.500

จากการทดสอบสมมติฐานพบว่า คู่ที่ 1 สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 5 และ 10 นาทีไม่มีความแตกต่างกัน คู่ที่ 2 สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 10 นาทีมีค่ามากกว่า ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 15 นาที และคู่ที่ 3 สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 15 และ 20 นาทีไม่มีความแตกต่างกัน ที่สรุปได้ว่าที่ใช้เวลาในการปั่นกวนสี 5 และ 10 นาที สัดส่วนจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดมีความแตกต่างกันกับเมื่อใช้เวลาในการปั่นกวนสี 15 นาที หลังจากที่พนักงานเติมสารเร่งแห้งและใช้เวลาปั่นกวนสีที่ 5 และ 10 นาที สารเร่งแห้งที่เติมลงไปยังไม่เป็นเนื้อเดียวแต่สีที่เวลา 15 นาทีเข้ากันมากกว่า 10 นาที ซึ่งถ้าสารเร่งแห้งกระจายตัวกับสีไม่ทั่วถึงการเกิดปฏิกิริยาการเร่งแห้งจะช้าการแห้งตัวของสีจึงเกินเวลาที่กำหนด ทำให้การแห้งตัวของสีที่ตรวจสอบได้ ณ เวลา 10 และ 15 นาที แตกต่างกัน แต่ ณ เวลาที่ใช้ในการปั่นกวนสี 15 และ 20 นาที สัดส่วนเท่ากัน แสดงว่าในช่วงเวลาปั่นกวนสี 15 นาทีถึง 20 นาทีสารเร่งแห้งเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสีแล้ว แต่สัดส่วนของจำนวนรอบที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดยังมากอยู่คือ 33 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณสารเร่งแห้งที่ใส่ไม่เหมาะสม ซึ่งต้องศึกษาหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนี้ต่อไป ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีที่แตกต่างกันหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้งมีผลต่อการแห้งตัวของสี เพื่อใช้เวลาการปั่นกวนสีให้น้อยที่สุดและคุณภาพสีถูกต้องกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้งเพื่อให้มั่นใจว่าสารเร่งแห้งที่เติมลงไปเป็นเนื้อเดียวกับสีในถังผสมสีคือ 15 นาที

5.4 การทดสอบนัยสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

5.4.1 ปัจจัยความหนืดตัวละลายแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต

ผู้วิจัยเปรียบเทียบความแปรปรวนความหนืดของตัวทำละลายเทียบกับความแปรปรวนความหนืดของสารหลังผสม เพื่อดูว่าปัจจัยความแปรปรวนของความหนืดตัวทำละลายมีผลกระทบต่อค่าความหนืดของสารหลังผสมเพียงใด โดยเก็บข้อมูลความหนืดของวัตถุดิบหลักห้าชนิดและสารหลังผสมจำนวน 30 รอบการผลิตและแสดงข้อมูลด้วยแผนภูมิบอกซ์และวิสเคอร์ (Box and Whisker Plot) ดังแสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5. 13 แผนภูมิบอกซ์และวิสเคอร์เปรียบเทียบความหนืดของวัตถุดิบห้าชนิดและสารหลังผสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากแผนภูมิบอกซ์และวิสเคอร์พบว่า ความแปรปรวนของความหนืดของตัวทำละลายมีค่าน้อยกว่าความแปรปรวนของความหนืดของสารเติมแต่ง สารเพิ่มเนื้อ แม่สี สารหลังผสม และสารยึดตามลำดับ ในกระบวนการผลิตสีน้ำมันของโรงงานกรณีศึกษาจะผสมวัตถุดิบ 4 ชนิดได้แก่ สารยึด สารเพิ่มเนื้อ แม่สี สารเติมแต่งรวมกันเป็นสัดส่วนมากกว่า 95% ของปริมาณรวมทั้งหมดของสูตรสี เรียกว่า สารหลังผสม จากนั้นสารหลังผสมนี้จะถูกตรวจสอบคุณภาพหัวข้อตามที่กำหนดและต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ วัตถุดิบแต่ละชนิดซึ่งมีค่าความแปรปรวนของค่าความหนืดแตกต่างกันส่งผลให้ค่าความหนืดสารหลังผสมมีค่าแตกต่างกันด้วย ตัวทำละลายจะเป็นวัตถุดิบตัวสุดท้ายที่เติมหลังจากที่พบว่าสารหลังผสมมีค่าความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้จึงเปรียบเสมือนสารที่รองรับความผันแปรความหนืดของวัตถุดิบอื่นในสูตรเพื่อการผลิต ด้วยความแปรปรวนของตัวทำละลายที่มีค่าน้อยเทียบกับวัตถุดิบอื่นและสารหลังผสมส่งผลดีต่อความแม่นยำของค่าความหนืดเป้าหมายที่ต้องการหลังจากที่มีการปรับปรุงกระบวนการด้วยการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ต้องใช้สำหรับการปรับปรุง

คุณภาพความหนืดสูงในสารหลังผสมให้อยู่ในช่วงที่กำหนด ดังนั้นระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการโดยการใช้สมการถดถอยในการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงนั้น ปริมาณตัวทำละลายที่ใส่ที่เท่ากันต่างรอบการผลิตกันก็จะได้ความหนืดของตัวทำละลายหลังปรับปรุงคุณภาพในต่างรอบการผลิตมีค่าใกล้เคียงกันและจะไม่ส่งผลต่อความแปรปรวนของค่าความหนืดของสารหลังผสมอันเกิดจากความแปรปรวนของค่าความหนืดของตัวทำละลายมากนัก

5.4.2 ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย

ผู้วิจัยทำการทดสอบสมมติฐานเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมตัวทำละลายมีผลต่อค่าความหนืดหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ หลังจากผู้วิจัยเก็บตัวอย่างสีจากพนักงานเติมตัวทำละลายลงถังผสมและใช้เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที จำนวน 30 รอบการผลิต ซึ่งมีน้ำหนักการผลิตแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.9 ผู้วิจัยต้องการทดสอบว่าเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีต่างกันมีผลต่อค่าความหนืดหรือไม่อย่างไรและมีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตหรือไม่ จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยโดยทั่วไปเทคนิคนี้จะใช้ในการสร้างสมการพยากรณ์เพื่อทำนายตัวแปรตอบสนองใหม่ แต่ในกรณีนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีว่ามีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อความหนืดหรือไม่เท่านั้น ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

โดยที่ ตัวแปรอิสระ X_1 = น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบ (Weight)

X_2 = เวลาในการปั่นกวนสี (Time)

ตัวแปรตอบสนอง Y = ค่าความหนืด (Viscosity)

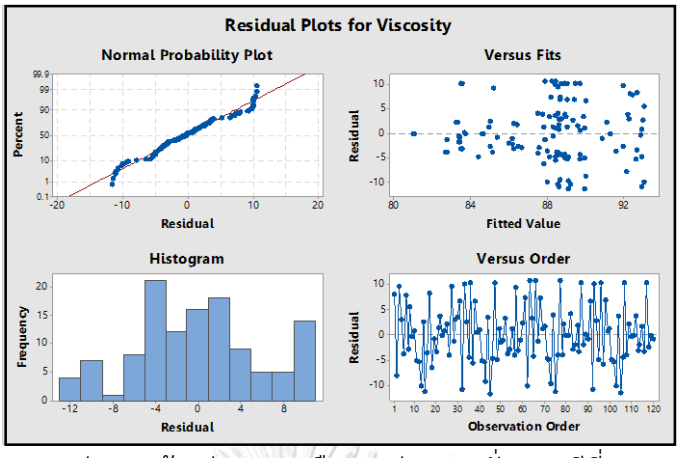
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 9 ค่าความหนืดหลังเติมตัวทำละลายและใช้เวลาปั่นกวนสิ้ใด ๆ

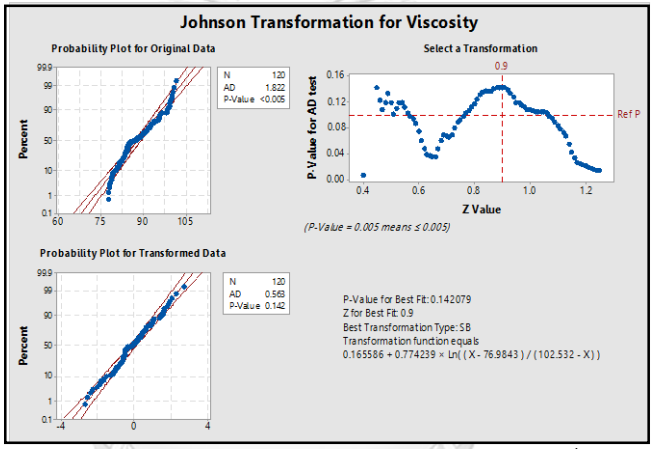
รอบการผลิตที่	น้ำหนักการผลิต (Kg)	ค่าความหนืด ณ เวลาปั่นกวนสิ้ใด ๆ			
		5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที
1	898	100.4	96.1	95.4	95.4
2	754	84.3	78.6	78.0	77.9
3	650	101.6	99.1	98.4	98.3
4	844	95.2	92	91.4	91.4
5	447	88	84.3	83.3	83.3
6	980	100.1	99.7	98.9	98.9
7	667	89.2	83.6	86.6	82.8
8	1999	98.5	96.5	95.9	95.9
9	2576	92.5	90.2	89.5	89.4
10	1551	93.7	91	90.3	90.3
11	1570	88	84.9	84.1	84.2
12	1178	87.4	84.4	83.6	83.7
13	1764	83	81	79.2	79.2
14	2260	95.6	93.3	92.5	92.6
15	1560	81.9	78.4	77.6	77.7
16	1217	89.2	85.2	84.5	84.6
17	1215	100.9	99.9	99.1	99.1
18	4905	81.5	79.5	78.8	78.8
19	4761	87.6	86.2	85.4	85.5
20	5316	82.9	81.4	80.8	80.7
21	4377	91.1	85.1	84.4	84.5
22	3164	95.9	92.3	91.6	91.5
23	3687	91.2	84.3	83.6	83.6
24	4732	89.3	82.3	81.4	81.5
25	3773	93.3	89	88.1	88.1
26	4693	84.6	81.2	80.3	80.3
27	4690	98	94.4	93.6	93.7
28	3880	89.7	84.6	84.0	83.9
29	4638	91.7	84.4	83.7	83.6
30	4732	92.0	87.3	82.6	82.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

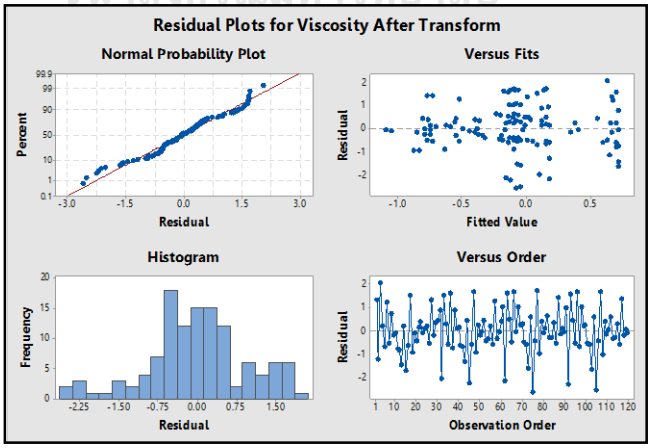
5.4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 5. 14 กราฟส่วนตกค้างค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที



รูปที่ 5. 15 กราฟความน่าจะเป็นของค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ก่อนและหลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation



รูปที่ 5. 16 กราฟส่วนตกค้างค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที หลังแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation

การตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลค่าความหนืด

การตรวจสอบข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้าง ตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ ทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 5.15 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ <0.005 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ข้อมูลจึงไม่เป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ ผู้วิจัยจึงแปลงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation ของข้อมูลและทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.142 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลหลังจากการแปลงแล้วข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับลำดับของข้อมูล ข้อมูลหลังแปลงด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation ตามรูปที่ 5.16 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระต่อกัน

3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับค่าฟิตของข้อมูลก่อนและหลังแปลงด้วยฟังก์ชัน Johnson Transformation ตามรูปที่ 5.16 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

Regression Analysis: Viscosity After Transform versus X1 (Weight), X2(Time)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	24.066	4.81330	4.98	0.000
X1 (Weight)	1	0.629	0.62943	0.65	0.421
X2(Time)	1	4.131	4.13089	4.28	0.041
X1 (Weight)*X1 (Weight)	1	2.084	2.08370	2.16	0.145
X2(Time)*X2(Time)	1	2.490	2.49034	2.58	0.111
X1 (Weight)*X2(Time)	1	0.003	0.00345	0.00	0.952
Error	114	110.093	0.96573		
Lack-of-Fit	110	109.724	0.99749	10.83	0.015
Pure Error	4	0.369	0.09213		
Total	119	134.159			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.982714	17.94%	14.34%	9.65%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.321	0.676	1.95	0.053	
X1 (Weight)	0.000272	0.000337	0.81	0.421	38.30
X2(Time)	-0.1959	0.0947	-2.07	0.041	34.84
X1 (Weight)*X1 (Weight)	-0.000000	0.000000	-1.47	0.145	33.30
X2(Time)*X2(Time)	0.00576	0.00359	1.61	0.111	32.25
X1 (Weight)*X2(Time)	0.000001	0.000010	0.06	0.952	8.59

Regression Equation

Viscosity After Transform = 1.321 + 0.000272 X1 (Weight) - 0.1959 X2(Time)
- 0.000000 X1 (Weight)*X1 (Weight) + 0.00576 X2(Time)*X2(Time)
+ 0.000001 X1 (Weight)*X2(Time)

รูปที่ 5. 17 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบของข้อมูลค่าความหนืด

จากผลการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่า เทอมผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตและปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.952 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า ไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตกับปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่มีผลต่อความหนืด ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีผลกระทบหลักจากปัจจัยเวลาปั่นกวนสีหลังจากนี้ผู้วิจัยจะทดสอบสมมติฐานปัจจัยเวลาปั่นกวนสีที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าความหนืดหรือไม่ เพื่อกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบ ด้วยการวิเคราะห์โดยวิธีการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย จะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรแบบ Tukey's Test เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเท่ากันเมื่อความแปรปรวนของประชากรที่เวลาปั่นกวนสีที่ค่าต่าง ๆเท่ากัน ซึ่งจะทำการทดสอบดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

5.4.2.4 การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่แตกต่างกัน

สมมติฐาน H_0 = ความแปรปรวนของค่าความหนืด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 4 เวลาไม่แตกต่างกัน

H_1 = ความแปรปรวนของค่าความหนืดอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน

Test for Equal Variances: ViscosityMixture aftertransform versus Time

Method

Null hypothesis	All variances are equal
Alternative hypothesis	At least one variance is different
Significance level	α = 0.05

95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Time	N	StDev	CI
10 min	30	1.00288	(0.751961, 1.45901)
15 min	30	1.07467	(0.799784, 1.57518)
20 min	30	1.07367	(0.806302, 1.55953)
5 min	30	0.94658	(0.684053, 1.42883)

Individual confidence level = 98.75%

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.899
Levene	0.17	0.913

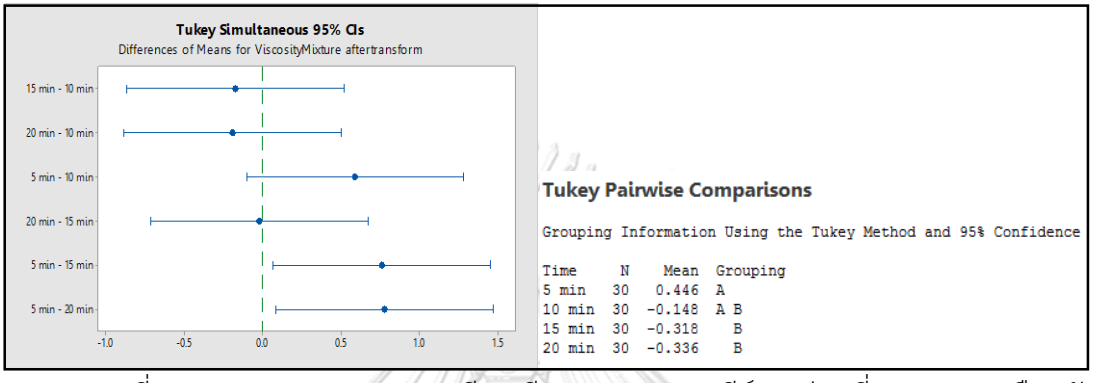
รูปที่ 5. 18 ผลการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของค่าความหนืดระหว่างเวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที

จากการทดสอบสมมติฐาน ค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.899 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าความแปรปรวนของค่าความหนืด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.4.2.5 การเปรียบเทียบพหุคูณในกรณีที่มีความแปรปรวนเท่ากัน จะใช้สถิติทดสอบของทูกีย์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแตกต่างสี ณ เวลาปั่นกวนสีแตกต่างกันว่าคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันหรือไม่แตกต่างกัน สมมติฐานการทดสอบเป็นดังนี้

สมมติฐาน H_0 = ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืด ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 4 เวลาไม่แตกต่างกัน

H_1 = ค่าเฉลี่ยของค่าความหนืดอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน



รูปที่ 5. 19 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์ของค่าเฉลี่ยของความหนืดหลังเติมตัวทำละลาย ณ เวลาปั่นกวนสีที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที

จากการเปรียบเทียบพหุคูณแบบทูกีย์พบว่า เวลาปั่นกวนสีที่ 5 และ 10 นาทีค่าเฉลี่ยความหนืดไม่แตกต่างกันและเวลาปั่นกวนสีที่ 10, 15 และ 20 นาทีค่าเฉลี่ยความหนืดก็ไม่แตกต่างกัน แต่เวลาปั่นกวนสีที่ 5 นาทีค่าเฉลี่ยความหนืดแตกต่างจากที่ 15 และ 20 นาที หมายถึง ตัวทำละลายมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นเมื่อเวลาในการปั่นกวนสีมากขึ้น ทำให้ความหนืดที่วัดได้ ณ เวลาดังกล่าวแตกต่างกัน พิจารณาเวลาปั่นกวนสีที่ 10 และ 15 นาทีค่าเฉลี่ยความหนืดไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจะใช้เวลาปั่นกวนสี 10 หรือ 15 นาทีก็ได้ ผู้วิจัยเลือก 15 นาที เพราะเวลาปั่นกวนสีที่ 10 นาทียังมีค่าเฉลี่ยความหนืดไม่แตกต่างกับที่ 5 นาที และเวลาปั่นกวนสีที่ 10 นาทีถ้าตัวทำละลายไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสีมีโอกาสที่จะต้องเติมตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพอีกครั้งทำให้ระยะเวลาในการแก้ไขงานใหม่และการตรวจสอบคุณภาพเพิ่มขึ้น 75 นาที ฉะนั้นการเพิ่มเวลาปั่นกวนสีอีกเพียง 5 นาทีจะให้ค่าความหนืดที่ถูกต้องจากการที่ตัวทำละลายเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกับสีแน่นอนกว่า ดังนั้นปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีที่แตกต่างกันที่มีผลต่อค่าความหนืดจึงกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบเพื่อให้มั่นใจว่าตัวทำละลายที่เติมลงไปเป็นเนื้อเดียวกับสีคือ 15 นาที

5.5 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตมีผลต่อค่าความแตกต่างสี แต่ในระยะการปรับปรุงแก้ไขผู้วิจัยจะนำเทคนิคการจับคู่สีมาทดลองใช้คาดว่าจะรองรับความผันแปรของความแรงแม่สีนี้ได้และลดปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงานได้ และปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมแม่สีมีผลค่าความแตกต่างสีจึงได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบคือ 15 นาทีเพื่อให้มั่นใจว่าแม่สีที่เติมลงไปเป็นเนื้อเดียวกับสีแล้ว

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละรอบการผลิตมีค่าน้อย ทำให้เชื่อได้ว่าสารเร่งแห้งโคบอลต์มีเปอร์เซ็นต์โลหะ 10.00% เซอร์โคเนียมมีเปอร์เซ็นต์โลหะ 12.00% และแคลเซียมมีเปอร์เซ็นต์โลหะ 10.00% อยู่ในสารละลายทุกรอบการผลิต และปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมสารเร่งแห้งมีผลต่อการแห้งตัวของสีเกินหรือไม่เกินเวลาที่กำหนดได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบคือ 15 นาทีเพื่อให้มั่นใจว่าสารเร่งแห้งที่เติมลงไปเป็นเนื้อเดียวกับสีแล้ว สำหรับปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิตผู้วิจัยจะปรับปรุงในระยะการปรับปรุงแก้ไข

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความแปรปรวนของความหนืดตัวละลายแต่ละรอบการผลิตมีผลกระทบน้อยต่อความหนืดของสารหลังผสมเมื่อกำหนดปริมาณตัวทำละลายที่ค่าหนึ่ง ๆ เมื่อถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ และปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมตัวทำละลายมีผลต่อค่าความหนืดจึงได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบคือ 15 นาทีเพื่อให้มั่นใจว่าตัวทำละลายที่เติมลงไปเป็นเนื้อเดียวกับสีแล้ว สำหรับปัจจัยความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพผู้วิจัยจะปรับปรุงในระยะการปรับปรุงแก้ไข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 6
ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

6.1 บทนำ

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อปัญหาการปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบเพื่อนำไปใช้ในระดับการผลิตจริงแบบต่อเนื่อง

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานไม่ทราบคุณสมบัติการให้ค่าเฉดสีของแม่สีแต่ละชนิดและปริมาณแม่สีที่แน่นอนในการแต่งเฉดสี ผู้วิจัยมีแนวทางการปรับปรุงคือ การทดลองใช้เทคนิคการจับคู่สีซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในกระบวนการแต่งเฉดสีแทนการแต่งเฉดสีที่อาศัยการลองผิดลองถูกในการผสมสีจริงในถังผสมสีตามความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน เทคนิคนี้จะพยากรณ์ผลการผสมสีกันของแม่สีตามชนิดและปริมาณที่สามารถปรับเพิ่มลดภายในซอฟต์แวร์ก่อนแม่สีจริง จะช่วยลดจำนวนรอบในการแต่งเฉดสีลงได้ ซึ่งก่อนใช้งานซอฟต์แวร์ได้ต้องสร้างข้อมูลพื้นฐานของแม่สีแต่ละชนิดให้ซอฟต์แวร์มีข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแม่สีกับค่าเฉดสีที่ให้

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต ผู้วิจัยมีแนวทางการปรับปรุงคือ ใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบชนิดส่วนประสมกลางเพื่อหาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำที่สุดและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่ต้องปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตได้ตามเป้าหมายในงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

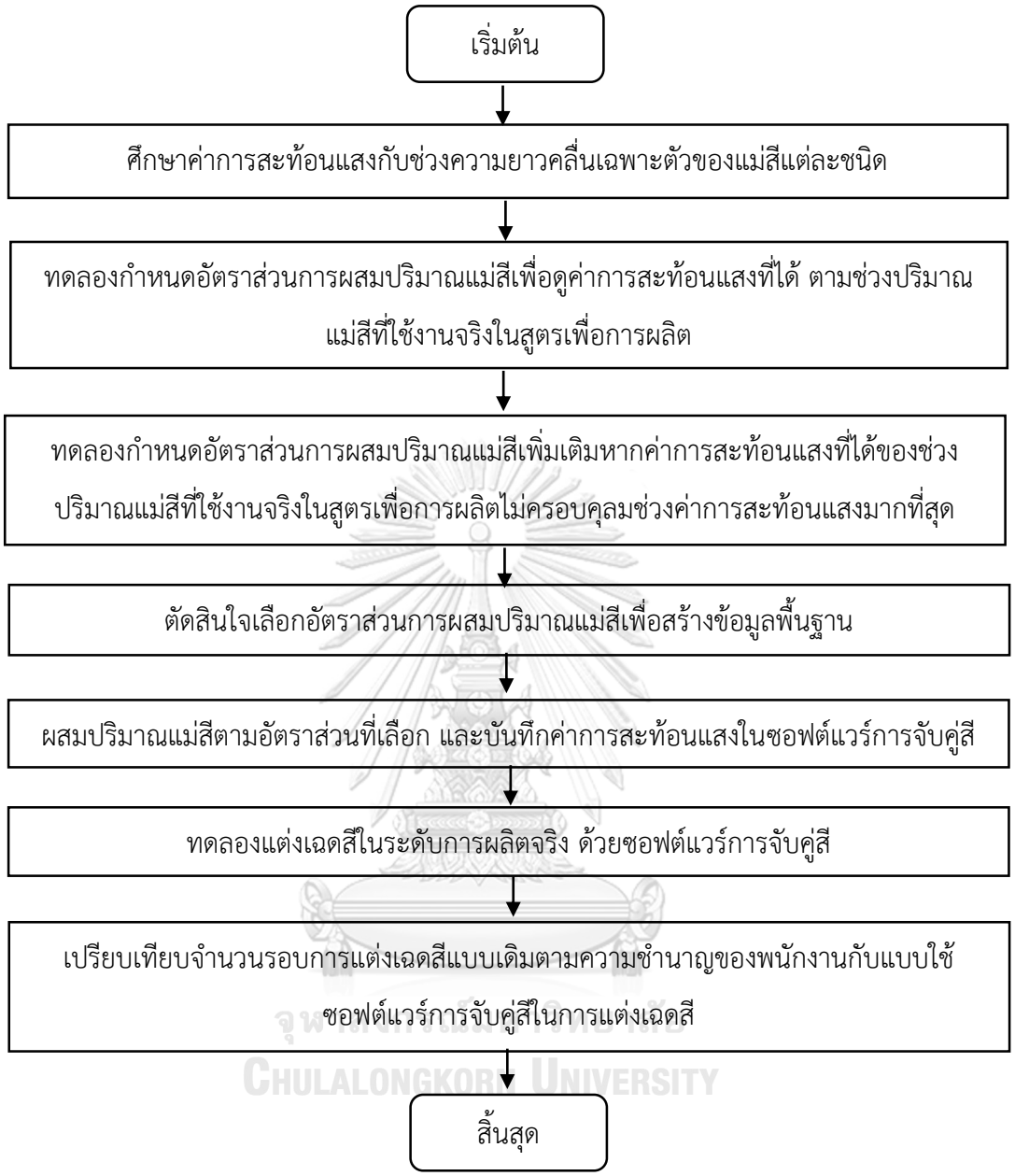
ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความไม่ชำนาญในการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ผู้วิจัยมีแนวทางการปรับปรุงคือ การใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อสร้างสมการสำหรับใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายใหม่ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อต้องปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ j: j = 1, 2, 3 แล้วทำให้ความหนืดสูงเกินขีดจำกัดควบคุมลดลงมาอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้โดยต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำที่สุดและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่ต้องปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตได้ตามเป้าหมายในงานวิจัย

6.2 ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี

เทคนิคการจับคู่สี (Color matching) เป็นเทคนิคการจับคู่สีระหว่างเฉดสีมาตรฐานกับเฉดสีตัวอย่างให้มีความตรงกัน วัตถุประสงค์เทคนิคการจับคู่สีเพื่อการผสมเฉดสีตัวอย่างให้มีความถูกต้องตามชนิดแม่สีและปริมาณแม่สีเมื่อเทียบกับเฉดสีมาตรฐาน การจับคู่สีเป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานโดยมีหลักการคือทดลองผสมสีกันภายในซอฟต์แวร์ทำให้ทราบค่าความแตกต่างสีระหว่างเฉดสีตัวอย่างเทียบกับเฉดสีมาตรฐานล่วงหน้าก่อนเติมจริง

สาเหตุที่ทำให้การแต่งเฉดสีมีจำนวนหลายรอบคือ พนักงานแต่งเฉดสีไม่ทราบคุณสมบัติการให้ค่าเฉดสีของแม่สีแต่ละชนิดและปริมาณแม่สีที่แน่นอนในการแต่งเฉดสี ทำให้การแต่งเฉดสีในแต่ละรอบเป็นการลองผิดลองถูก เกิดจากการแต่งเฉดสีวนซ้ำจำนวนหลายรอบ ทางเลือกหนึ่งที่พอจะทำได้คือ พนักงานต้องทดลองผสมสีในปริมาณน้อยเพื่อดูแนวโน้มค่าเฉดสีที่จะได้ก่อนที่จะเติมปริมาณจริงในถังผสมสี แต่มีข้อเสียคือ สูญเสียเวลาโดยไม่จำเป็นเพราะถึงอย่างไรก็ต้องเติมแม่สีในระดับการผลิตจริง โรงงานกรณีศึกษาในส่วนงานสีน้ำทาอาคารได้มีการใช้เทคนิคการจับคู่สีก่อนการผสมสีจริงในกระบวนการผลิตทำให้ลดจำนวนรอบการแต่งเฉดสีได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดจะทดลองใช้นำเทคนิคการจับคู่สีนี้มาประยุกต์ใช้กับการแต่งเฉดสีน้ำมัน โดยมีพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้ใช้งานซอฟต์แวร์ก่อนกำหนดชนิดและปริมาณแม่สีให้พนักงานฝ่ายผลิตเติมจริงในถังผสมสีเพื่อลดปัญหาความไม่ชำนาญในการแต่งสี โดยก่อนเริ่มใช้เทคนิคนี้ได้ต้องสร้างข้อมูลพื้นฐานหรือกราฟเส้นมาตรฐานสำหรับใช้งานซอฟต์แวร์จากความแรงแม่สีสูงมารองรับความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตของแต่ละแม่สีให้มีความครอบคลุมพื้นที่การสะท้อนแสงมากที่สุด เพื่อให้ซอฟต์แวร์มีฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงปริมาณต่าง ๆ ของแต่ละชนิดแม่สี แนวทางการสร้างข้อมูลพื้นฐานสำหรับบันทึกลงในซอฟต์แวร์การจับคู่สี แสดงในรูปที่ 6.1

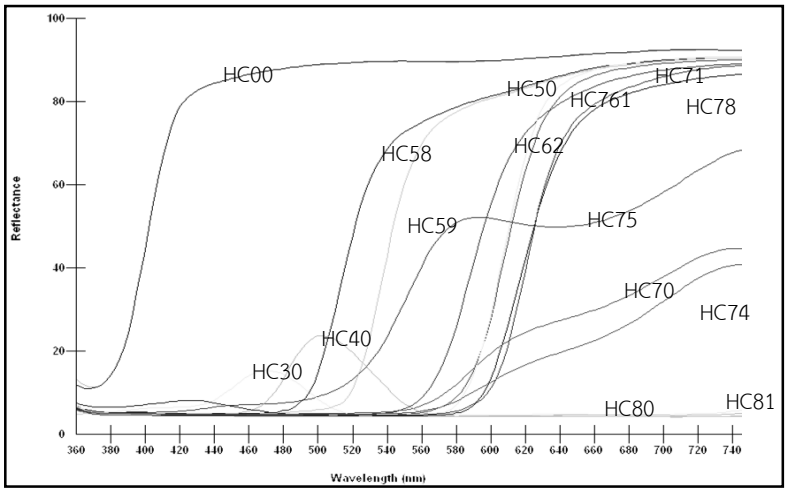
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6. 1 แนวทางการสร้างข้อมูลพื้นฐานสำหรับบันทึกลงในซอฟต์แวร์การจับคู่สี

6.2.1 การศึกษาค่าการสะท้อนแสงกับช่วงความยาวคลื่นเฉพาะตัวของแม่สีแต่ละชนิด

ผู้วิจัยทดลองผสมแม่สีและสีเบสแล้ววัดค่าการสะท้อนแสงที่ของแม่สีแต่ละชนิดที่โรงงานกรณีศึกษาใช้งานพบว่า แม่สีแต่ละชนิดมีค่าการสะท้อนแสงแตกต่างกันที่ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้รูปที่ 6.2 และตารางที่ 6.1 โดยมีข้อกำหนดเลือกใช้ความแรงแม่สีที่ใกล้เคียงกับ 105 หน่วยมากที่สุดในการสร้างข้อมูลพื้นฐาน



รูปที่ 6. 2 กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีโรงงานกรณีศึกษา 15 ชนิด

ตารางที่ 6. 1 ค่าการสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นของแม่สีแต่ละชนิด

ลำดับที่	เฉดสี	ชื่อในสูตรเพื่อการผลิต	ค่าการสะท้อนแสง	ช่วงความยาวคลื่น (นาโนเมตร)
1	ขาว	HC00	83.41	380-700
2	น้ำเงิน	HC30	15.35	460-480
3	เขียว	HC40	23.95	490-510
4	เหลือง	HC50	52.96	590-600
5	เหลือง	HC58	72.09	540-560
6	เหลือง	HC59	71.11	550-570
7	แดง	HC70	24.58	620-630
8	แดง	HC71	83.19	680-690
9	แดง	HC74	18.28	620-630
10	แดง	HC75	84.41	640-650
11	แดง	HC78	80.27	660-670
12	แดง	HC761	86.26	650-660
13	ส้ม	HC62	76.66	620-640
14	ดำ	HC80	4.68	380-700
15	ดำ	HC81	4.89	380-700

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

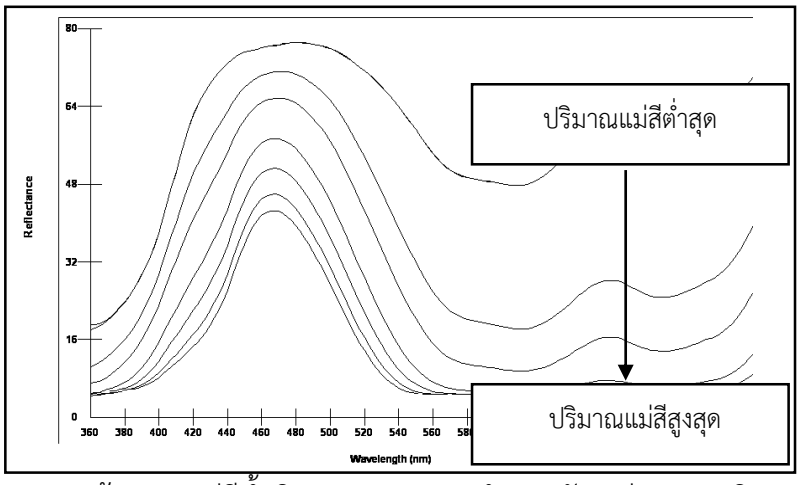
6.2.2 การทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมปริมาณแม่สีเพื่อดูค่าการสะท้อนแสงที่ได้ตามช่วงปริมาณแม่สีที่ใช้งานจริง

ผู้วิจัยทดลองผสมแม่สีที่ปริมาณแม่สีต่าง ๆ เพื่อวัดค่าการสะท้อนแสงทำให้เกิดเส้นกราฟการสะท้อนแสง เมื่อพิจารณาปริมาณแม่สีจริงในสูตรเพื่อการผลิต พบว่า การกระจายตัวของสัดส่วนปริมาณแม่สีอยู่ในช่วง 0.1-6% ของสูตรเพื่อการผลิต นอกจากนั้นจะเป็นองค์ประกอบของสีอื่นๆ ได้แก่ สารเพิ่มเนื้อ สารยึด สารเติมแต่ง ตัวทำละลาย องค์ประกอบของสีเหล่านี้รวมกันว่า สีเบสใส ผู้วิจัยจึงทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมปริมาณแม่สีที่ช่วง 0.1-6% และเพิ่มปริมาณแม่สีครั้งละ 1% จากนั้นในแต่ละอัตราส่วนจะเติมสีเบสใสจนครบ 100% วัดค่าการสะท้อนแสง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6. 2 ค่าการสะท้อนแสงที่ทดลองผสมปริมาณแม่สีที่ปริมาณต่าง ๆ

อัตราส่วนที่	แม่สี (%)	สีเบสใส (%)	ค่าการสะท้อนแสง	L	a	b	เฉดสี
1	0.1	99.9	76.71	82.14	-10.53	-10.62	
2	0.5	99.5	71.72	67.50	-20.66	-28.66	
3	1.0	99.0	65.72	59.35	-23.44	-35.97	
4	2.0	98.0	57.32	49.87	-20.46	-41.70	
5	3.0	97.0	51.17	45.17	-15.92	-41.92	
6	4.0	96.0	45.78	41.69	-11.55	-40.85	
7	5.0	95.0	42.09	39.72	-9.15	-39.73	
8	6.0	94.0	41.99	39.92	-9.09	-39.98	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6. 3 กราฟการสะท้อนของแม่สีน้ำเงิน HC30 ทดลองกำหนดอัตราส่วนผสมปริมาณแม่สีต่าง ๆ

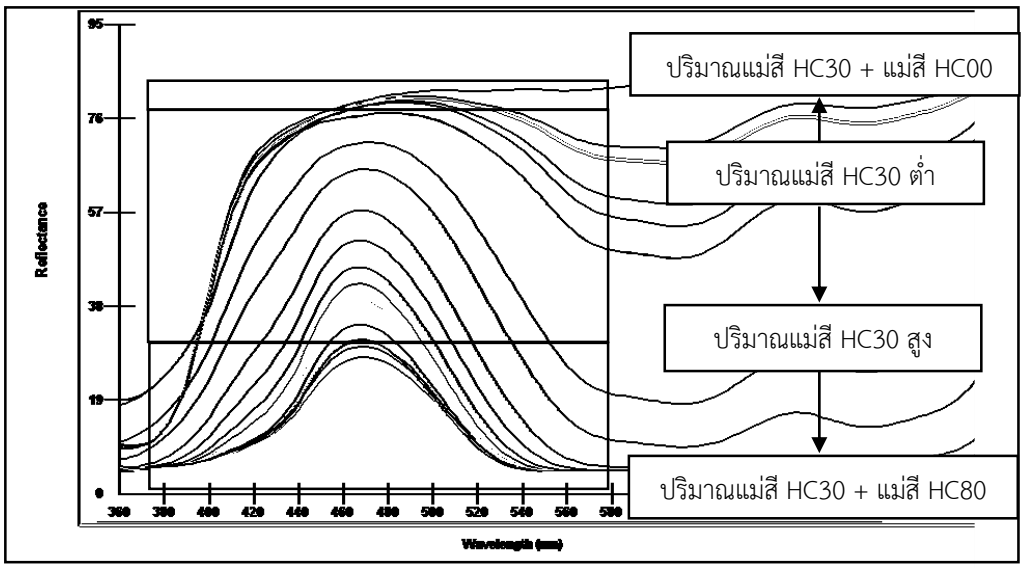
จากรูปที่ 6.3 พบว่า ปริมาณแม่สีแปรผันแบบผกผันกับค่าการสะท้อนแสงคือ ที่ปริมาณแม่สีน้อยจะสะท้อนแสงออกมาได้มากว่าปริมาณแม่สีมากขึ้น และในแต่ละอัตราส่วนจะมีค่าเฉดสี L, a, b จะถูกใช้ในขั้นตอนการพยากรณ์ปริมาณแม่สีภายในซอฟแวร์ตามหลักการเบื้องต้นคือ เมื่อใส่แม่สีที่ปริมาณหนึ่ง จะเกิดการพยากรณ์เส้นกราฟการสะท้อนแสงขึ้นในซอฟแวร์ ผู้ใช้ซอฟแวร์จะเพิ่มลดปริมาณแม่สีให้เส้นกราฟการสะท้อนแสงของการพยากรณ์ทับกับเส้นกราฟการสะท้อนแสงของเฉดสีมาตรฐาน การพยากรณ์จะเกิดค่า L, a, b อีกชุดหนึ่งตามข้อมูลพื้นฐานที่ได้บันทึกไว้แล้ว จากนั้นจะถูกนำไปคำนวณทำให้ทราบค่าความแตกต่างสีล่วงหน้า ดังนั้นผู้วิจัยต้องสร้างเส้นกราฟการสะท้อนแสงเพิ่มเติมให้ครอบคลุมไปค่าการสะท้อนแสงต่ำและสูงเท่าที่ความสามารถแม่สีจะให้ค่าได้

6.2.3 การทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมปริมาณแม่สีเพิ่มเติม

จากอัตราส่วนที่ 1 มีปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 0.1% พบว่า ค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 76.71 ต้องมีการลดปริมาณแม่สีลงให้น้อยกว่า 0.1% เพื่อให้ค่าการสะท้อนแสงสูงกว่านี้และจากสัดส่วนที่ 7 กับ 8 มีปริมาณแม่สี 5% และ 6% ตามลำดับพบว่า ค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 42.09 และ 41.99 ตามลำดับทำให้เห็นเส้นกราฟการสะท้อนแสงทับกันสนิทหมายถึง ปริมาณแม่สีเท่ากับหรือมากกว่า 5% ค่าการสะท้อนแสงจะไม่ต่ำไปกว่าค่า 41.99 หมายถึง แม่สีน้ำเงิน HC30 มีความเข้มได้มากที่สุดเท่านี้ให้กำหนดปริมาณแม่สีคงที่ 5% และหาวิธีลดค่าการสะท้อนแสงลงให้ต่ำกว่านี้

1. ในอุตสาหกรรมสีการเพิ่มค่าการสะท้อนแสงจะเติมแม่สีขาวลงไปในแม่สีเฉดเพื่อทำให้แม่สีมีความสว่างขึ้นเรียกว่า Under tone ผู้วิจัยจะเติมแม่สีขาว HC00 ที่กำหนดปริมาณไว้ที่ 6% (6% ปริมาณแม่สีที่มากที่สุดในช่วงใช้งานจริง) ลงในแม่สีน้ำเงิน HC30 โดยปรับลดปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 เป็น 0.08%, 0.06%, 0.04%, 0.02% ตามลำดับและเติมสีเบสใสจนครบ 100%

2. ในอุตสาหกรรมสีการลดค่าการสะท้อนแสงจะเติมแม่สีดำลงไปในแม่สีที่มีเฉดสีเพื่อเล็กน้อยเพื่อทำให้แม่สีมีความมืดขึ้นเรียกว่า Mass tone ผู้วิจัยจะเติมแม่สีดำ HC80 ลงในแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่กำหนดปริมาณไว้ที่ 6% - 10% เพิ่มครั้งละ 1% (ปริมาณเพิ่มขึ้นจากช่วงที่ใช้งานจริง) เติมแม่สีดำ HC80 ปริมาณเพิ่มเป็น 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08%, 0.10% ตามลำดับและเติมสีเบสใสจนครบ 100% กราฟการสะท้อนของแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่ทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมเพิ่มเติมดังแสดงในรูปที่ 6.4 และตารางสรุปค่าการสะท้อนแสงแต่ละปริมาณแม่สี แสดงไว้ในตารางที่ 6.3



รูปที่ 6. 4 กราฟการสะท้อนของแม่สีน้ำเงิน HC30 ทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมเพิ่มเติม

ตารางที่ 6. 3 ค่าการสะท้อนแสงแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่ทดลองกำหนดอัตราส่วนการผสมเพิ่มเติม

อัตราส่วนที่	แม่สี HC30 (%)	แม่สี HC00 (%)	แม่สี HC80 (%)	สีเบสใส (%)	ค่าการสะท้อนแสง	ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสง (%)	L	a	b	เฉดสี
1	0.02	6	-	93.98	79.19	-	89.33	-4.44	-0.41	
2	0.04	6	-	93.96	79.18	0.01	89.08	-5.49	-1.27	
3	0.06	6	-	93.94	78.63	0.69	86.18	-8.21	-5.15	
4	0.08	6	-	93.92	78.49	0.18	84.86	-9.61	-7.21	
5	0.1	-	-	99.9	76.71	2.27	82.14	-10.53	-10.62	
6	0.5	-	-	99.5	71.72	6.51	67.50	-20.66	-28.66	
7	1.0	-	-	99.0	65.72	8.37	59.35	-23.44	-35.97	
8	2.0	-	-	98.0	57.32	12.78	49.87	-20.46	-41.70	
9	3.0	-	-	97.0	51.17	10.73	45.17	-15.92	-41.92	
10	4.0	-	-	96.0	45.78	10.53	41.69	-11.55	-40.85	
11	5.0	-	-	95.0	42.09	8.06	39.72	-9.15	-39.73	
12	6.0	-	-	94.0	41.99	0.24	39.92	-9.09	-39.98	
13	6.0	-	0.02	93.98	34.26	18.41	36.54	-6.45	-35.08	
14	7.0	-	0.04	92.96	31.22	8.87	35.34	-5.67	-33.15	
15	8.0	-	0.06	91.94	30.78	1.41	35.79	-6.70	-32.77	
16	9.0	-	0.08	90.92	30.03	2.44	35.57	-7.06	-31.89	
17	10.0	-	0.10	89.90	30.02	0.03	34.98	-6.59	-30.14	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 6.4 และตารางที่ 6.3 สามารถอธิบายค่าการสะท้อนแสง ได้ดังนี้

กลุ่ม 1 อัตราส่วนการผสมที่ 1-4 (กรอบบน) เป็นอัตราส่วนแม่สีน้ำเงิน HC30 6% และเติมแม่สีขาว HC00 ปริมาณ 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08% พบว่า มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 79.19, 79.18, 78.63 และ 78.49 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากราฟเส้นการสะท้อนแสงระยะห่างระหว่างเส้นแคบมากจนเกือบทับกันสนิทแสดงว่า แม่สีน้ำเงิน HC30 มีความสว่างได้สูงสุดที่ค่าการสะท้อนแสงเฉลี่ย 79 และปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่ 0.02% และ 0.04% คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสง 0.01% ซึ่งต่ำมากจนถือว่ามีค่าเท่ากัน จึงไม่จำเป็นต้องผสมให้ปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 น้อยกว่านี้เพื่อให้มีค่าการสะท้อนแสงสูงกว่านี้แล้ว

กลุ่ม 2 อัตราส่วนส่วนการผสมที่ 5-12 (กรอบกลาง) เส้นกราฟการสะท้อนแสงบนสุดลงมาล่างสุดของกรอบจะเป็นการเพิ่มอัตราส่วนแม่สีน้ำเงิน HC30 ในช่วงที่ใช้งานจริงคือ 0.1%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% , 5% , 6% พบว่า มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 76.71, 71.72, 65.72, 57.32, 51.17, 45.78, 42.09 และ 41.99 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากราฟเส้นการสะท้อนแสงมีระยะห่างระหว่างเส้นแต่ละอัตราส่วนชัดเจน แต่จะมีเส้นกราฟที่มีระยะห่างระหว่างแคบมากจนเกือบทับกันสนิทคือที่ปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 เป็น 5% และ 6% คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสง 0.24% ซึ่งต่ำจนถือว่ามีค่าเกือบเท่ากัน

กลุ่มที่ 3 อัตราส่วนการผสมที่ 13-17 (กรอบล่าง) เป็นอัตราส่วนของเติมแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่ 6%, 7%, 8%, 9%, 10% และเติมแม่สีดำ HC80 ปริมาณ 0.02%, 0.04%, 0.06%, 0.08%, 0.10% เพิ่มขึ้นตามลำดับ พบว่า มีค่าการสะท้อนแสงเท่ากับ 34.26, 31.22, 30.78, 30.03 และ 30.02 ตามลำดับ เมื่อพิจารณากราฟเส้นการสะท้อนแสงระยะห่างระหว่างเส้นแคบมาก และจะมีเส้นกราฟที่มีระยะห่างระหว่างแคบมากจนเกือบทับกันสนิทคือที่ปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 เป็น 9%+แม่สีดำ HC80 0.08% และที่ปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 เป็น 10%+แม่สีดำ HC80 0.10% คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสง 0.03% ซึ่งต่ำมากจนถือว่ามีค่าเท่ากัน จึงไม่จำเป็นต้องผสมให้ปริมาณแม่สีน้ำเงิน HC30 และแม่สีดำ HC80 มากกว่านี้เพื่อให้มีค่าการสะท้อนแสงต่ำกว่านี้แล้ว

6.2.4 การตัดสินใจเลือกอัตราส่วนการผสมปริมาณแม่สีเพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐาน

จากที่ผู้วิจัยได้ทดลองผสมแม่สีน้ำเงิน HC30 ที่ปริมาณต่าง ๆ ทั้งหมด 17 อัตราส่วนพบว่า มีบางอัตราส่วนที่ค่าการสะท้อนแสงใกล้เคียงกันมากจนสามารถตัดออกบางอัตราส่วนได้ โดยมีเกณฑ์คือ ค่าความเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าการสะท้อนแสงของคู่อัตราส่วนการผสมก่อนและหลังที่ติดกัน <5% ผู้วิจัยจะตัดอัตราส่วนการผสมนั้น ทำให้ได้อัตราส่วนการผสมดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6. 4 อัตราส่วนการผสมแม่สี เพื่อสร้างกราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิด

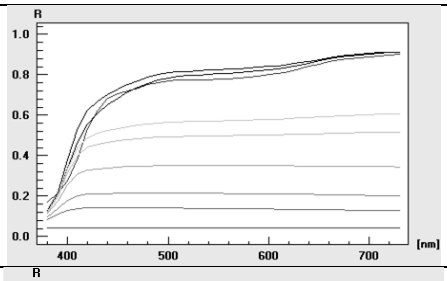
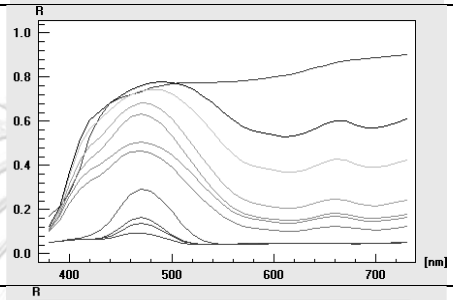
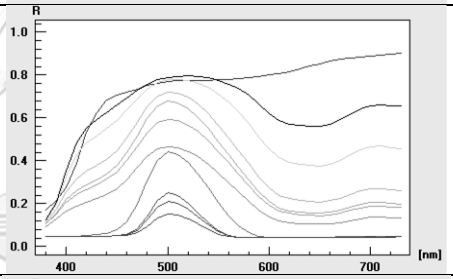
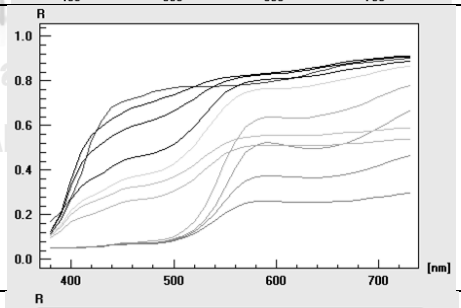
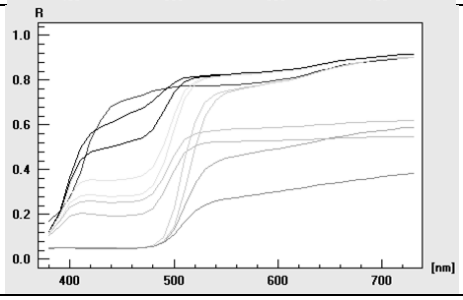
อัตราส่วนที่	แม่สีชนิดที่จะผสม(%)	แม่สี HC00 (%)	แม่สี HC80 (%)	สีเบสใส (%)	รวม (%)
1	0.02	6	-	93.98	100
2	0.5	-	-	99.5	100
3	1.0	-	-	99.0	100
4	2.0	-	-	98.0	100
5	3.0	-	-	97.0	100
6	4.0	-	-	96.0	100
7	5.0	-	-	95.0	100
8	6.0	-	0.02	93.98	100
9	7.0	-	0.04	92.96	100
10	10.0	-	0.10	89.90	100

6.2.5 การผสมปริมาณแม่สีตามอัตราส่วนที่เลือก และบันทึกค่าการสะท้อนแสงสร้างข้อมูลพื้นฐานในซอฟต์แวร์การจับคู่สี

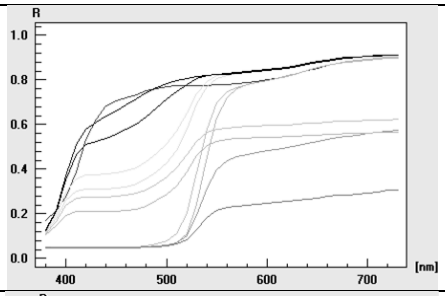
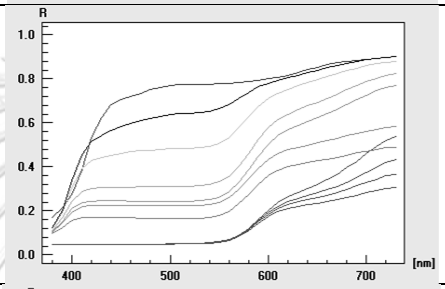
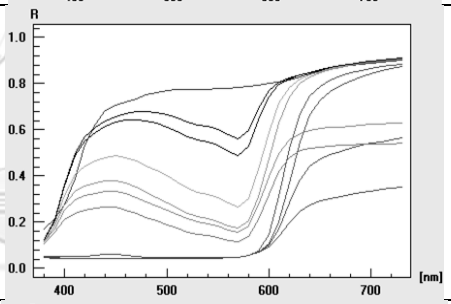
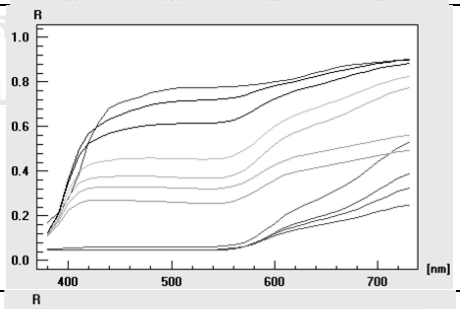
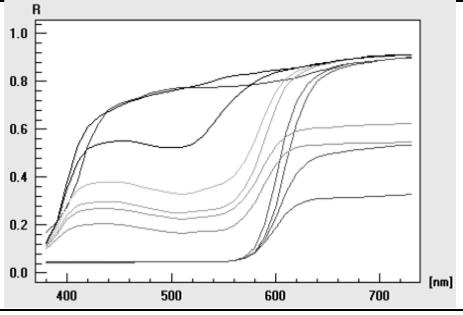
ผู้วิจัยผสมปริมาณแม่สีตามอัตราส่วนตามตารางที่ 6.4 โดยแม่สี 1 ชนิดจะผสมจนครบทั้ง 10 อัตราส่วนแล้วนำสารหลังผสมลากเป็นแผ่นฟิล์มสีวัดค่าการสะท้อนแสงบันทึกไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน ทำจนครบทั้ง 15 ชนิดแม่สี กราฟการสะท้อนแสงแต่ละชนิดแม่สีแสดงไว้ในตารางที่ 6.5 พบว่า กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิดครอบคลุมพื้นที่การสะท้อนแสงของแม่สีตั้งแต่ค่าต่ำสุดและสูงสุดของแม่สีนั้น ๆ ที่มีความเฉพาะตัว และค่าเฉลี่ยความแตกต่างสีของทุกอัตราส่วนในการผสมของแต่ละชนิดแม่สีมีค่าน้อยกว่า 2.0

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6. 5 กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิดที่บันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐานในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน

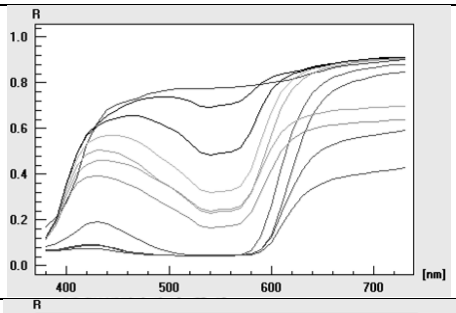
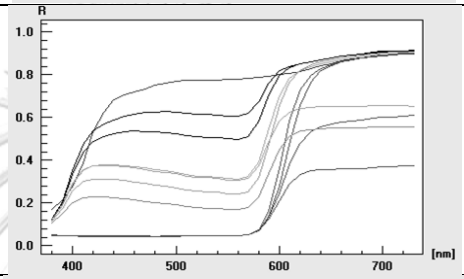
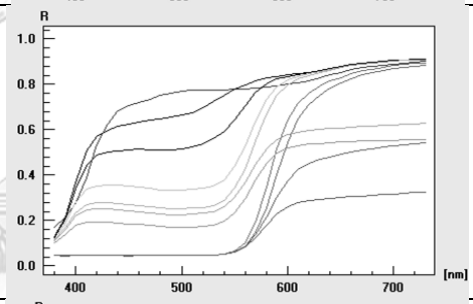
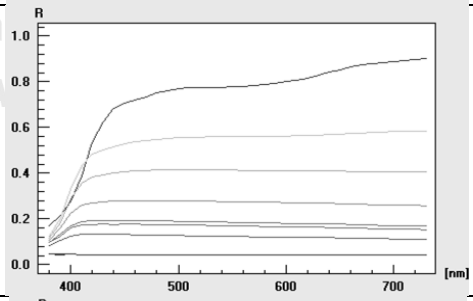
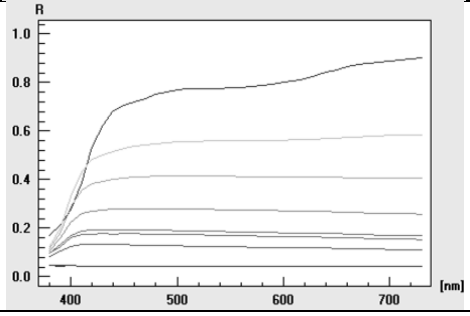
ลำดับที่	เฉดสี	ชื่อในสูตรเพื่อการผลิต	กราฟการสะท้อนแสง	ความแรงแม่สี	Average DE
1	ขาว	HC00		104.95	1.0
2	น้ำเงิน	HC30		104.98	1.5
3	เขียว	HC40		104.92	0.9
4	เหลือง	HC50		104.98	0.7
5	เหลือง	HC58		104.97	0.8

ตารางที่ 6.5 กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิดที่บันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐานในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับที่	เฉดสี	ชื่อในสูตรเพื่อการผลิต	กราฟการสะท้อนแสง	ความแรงแม่สี	Average DE
6	เหลือง	HC59		104.97	1.6
7	แดง	HC70		104.99	0.6
8	แดง	HC71		104.98	1.2
9	แดง	HC74		104.97	0.7
10	แดง	HC75		104.98	1.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.5 กราฟการสะท้อนแสงของแม่สีแต่ละชนิดที่บันทึกเป็นข้อมูลพื้นฐานในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน (ต่อ)

ลำดับที่	เฉดสี	ชื่อในสูตรเพื่อการผลิต	กราฟการสะท้อนแสง	ความแรงแม่สี	Average DE
11	แดง	HC78		104.95	1.8
12	แดง	HC761		104.97	0.7
13	ส้ม	HC62		104.98	1.6
14	ดำ	HC80		104.94	0.8
15	ดำ	HC81		104.97	0.7

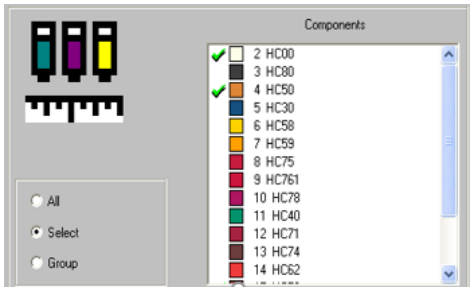
6.2.6 การทดลองพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในการแต่งเฉดสีในระดับการผลิตจริงด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี

ผู้วิจัยทดลองพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในการแต่งเฉดสีในระดับการผลิตจริง ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีในเฉดสี ECO163 พิจารณาเลือกเฉดสีที่มีจำนวนรอบการผลิตสูงที่สุด ในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 แสดงแผนผังการไหลในกระบวนการแต่งเฉดสี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6. 6 แผนผังการไหลในกระบวนการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี

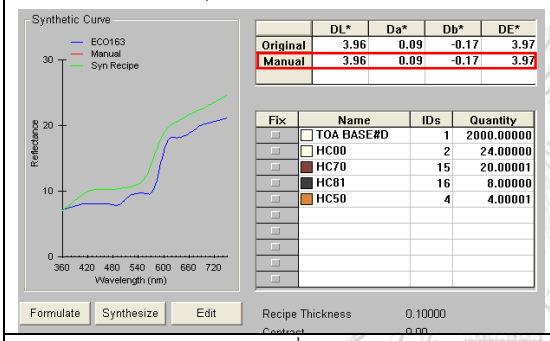
Flow Process Chart	○ แทน การปฏิบัติงาน				
สถานที่ : ฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ โรงงานกรณีศึกษา	⇨ แทนการเคลื่อนย้าย				
กิจกรรม : กระบวนการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี	D แทน การรอคอย				
วันที่ : 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561	□ แทน การตรวจสอบ				
	▽ แทน การจัดเก็บ				
กิจกรรม	สัญลักษณ์				
พนักงานฝ่ายผลิตผสมวัตถุดิบตามปริมาณที่กำหนดไว้ในสูตรเพื่อการผลิต ได้แก่ สารยึด สารเพิ่มเนื้อสี สารเติมแต่ง และตัวทำละลายลงในถังผสมสี ยกเว้นแม่สี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเลือกค่าเฉดสี ECO163 มาตรฐานที่บันทึกไว้เครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน พิจารณาที่แหล่งกำเนิดแสง D65	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการออกสูตรสี (Formulation) เพื่อกำหนดชนิดและปริมาณแม่สีโดยเลือกข้อมูลพื้นฐานที่บันทึกไว้	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพใส่น้ำหนักการผลิตลงในซอฟต์แวร์	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเลือกชนิดแม่สีตามสูตรเพื่อการผลิต	●	⇨	D	□	▽
แม่สี HC00, HC50, HC70, HC81					
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกดปุ่ม Formulation	●	⇨	D	□	▽

Standard	Illum	L*	a*	b*
ECO163	D65	39.629	12.045	9.475



ตารางที่ 6.6 แผนผังการไหลในกระบวนการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี (ต่อ)

Flow Process Chart	○ แทน การปฏิบัติงาน
สถานที่ : ฝ่ายผลิตและฝ่ายควบคุมคุณภาพ โรงงานกรณีศึกษา	⇨ แทนการเคลื่อนย้าย
กิจกรรม : กระบวนการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี	D แทน การรอคอย
วันที่ : 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561	□ แทน การตรวจสอบ
	▽ แทน การจัดเก็บ

กิจกรรม	สัญลักษณ์				
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพปรับลดปริมาณแม่สีตามสูตรเพื่อการผลิต ในช่อง Quantity และกดปุ่ม Synthesize ค่า DE ที่พยากรณ์ได้จะปรากฏขึ้น 	●	⇨	D	□	▽
บันทึกชนิดและปริมาณแม่สีที่พยากรณ์เรียกว่ารอบ “Formulation”	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งชนิดและปริมาณแม่สีให้กับพนักงานฝ่ายผลิต	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตชั่งน้ำหนักแม่สีและเติมแม่สีตามสูตรกำหนด กวนจนเข้ากัน	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตลากฟิล์มสีลงบนกระดาษฟิล์มสี	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตนำกระดาษฟิล์มสีที่ลากสีแล้วเข้าตู้อบ 60 ºC เป็นเวลา 30 นาที	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายผลิตนำกระดาษฟิล์มสีที่แห้งแล้วส่งพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบเฉดสี วัดค่าเฉดสีรอบที่ 1 (Trial 1) หากค่า DE > 0.5 พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพจะใช้ซอฟต์แวร์การจับคู่สีต่อ ทำการปรับลดปริมาณแม่สีในช่อง Quantity และกดปุ่ม Synthesize ค่า DE ที่พยากรณ์ได้จะปรากฏขึ้น	●	⇨	D	□	▽
บันทึกชนิดและปริมาณแม่สีที่พยากรณ์เรียกว่ารอบ “Color Matching 1”	●	⇨	D	□	▽
ดำเนินการไปเรื่อย ๆ เมื่อ DE < 0.5 จึงหยุด โดยในแต่ละรอบของการพยากรณ์จะบันทึกค่าเป็นรอบ “Color Matching i” i=1,...,n	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพหยุดการทำการจับคู่สี (Color Matching)	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งปริมาณแม่สีรวมพนักงานฝ่ายผลิตรับทราบ	●	⇨	D	□	▽
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแจ้งผลคุณภาพเฉดสี “ผ่าน” กับพนักงานฝ่ายผลิต	●	⇨	D	□	▽

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 7 ผลการแต่งเฉดสี ECO163 ด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี ในขั้นตอนการแต่งเฉดสีจริง

หัวข้อ	ค่าพยากรณ์				ค่าจริง			
	DL	Da	Db	**DE**	DL	Da	Db	**DE**
รอบการผลิตที่ 1 เฉดสี ECO163 (เฉดสีน้ำตาล) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 2 รอบ								
Formulation	3.96	0.08	-0.17	**3.96**	1.87	0.14	-0.51	**1.94**
Color Matching 1	0.89	-0.77	-0.06	**0.89**	0.75	-0.10	-0.13	**0.77**
Color Matching 2	0.31	0.29	-0.11	**0.31**	0.28	0.02	-0.11	**0.30**

โดยที่ Formulation คือ รอบการออกสูตรสีตั้งต้น เมื่อพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพพยากรณ์เพื่อกำหนดชนิดและปริมาณแม่สีครั้งแรกสุดให้พนักงานฝ่ายผลิตเติม จะถูกบันทึกในชื่อรอบนี้ว่า Formulation

Color Matching 1 คือ การจับคู่สีรอบที่ 1 หลังจากออกสูตรสีตั้งต้นแล้วพนักงานฝ่ายผลิตจะเติมชนิดและปริมาณแม่สีตามที่กำหนดจะส่งแผ่นฟิล์มสีมาตรวจสอบคุณภาพเฉดสีรอบที่ 1 (Trial 1) แล้วพบว่าค่าความแตกต่างสีสูงกว่าช่วงที่ยอมรับได้ จะใช้ข้อมูลฐานแม่สีทำการจับคู่สี จะได้ค่าพยากรณ์ DE ชนิดและปริมาณแม่สีเพื่อแจ้งฝ่ายผลิต จะถูกบันทึกในชื่อรอบว่า Color Matching 1 หลังจากนั้นจะทำแบบนี้ไปจนกว่าค่าความแตกต่างสีจะลดลงมาอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แต่ละรอบการพยากรณ์จะบันทึกในชื่อรอบ Color Matching รอบที่ i; i = 1, ..., n รอบ

การใช้เทคนิคการจับคู่สีสำหรับแต่งเฉดสี ECO163 รอบการผลิตนี้คิดจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเป็น 2 รอบ โดยรอบขั้นตอนการออกสูตรสีตั้งต้นไม่นับรวมเนื่องจากก่อนปรับปรุงพนักงานฝ่ายผลิตมีการเติมแม่สีมาแล้วตามประสบการณ์ถึงมีการวัดค่าเฉดสีรอบที่ 1 ได้ ส่วนหลังปรับปรุงพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกำหนดชนิดและปริมาณแม่สีให้พนักงานฝ่ายผลิตเติมก่อนการวัดค่าเฉดสีรอบที่ 1 ผู้วิจัยจึงทดลองแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีในระดับการผลิตจริงเพิ่มเติมในเฉดสีอื่นก่อนตัดสินใจซอฟต์แวร์การจับคู่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีอย่างต่อเนื่อง ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 8 ผลทดลองการแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สี ก่อนใช้จริงอย่างต่อเนื่อง

หัวข้อ	ค่าพยากรณ์				ค่าจริง			
	DL	Da	Db	DE	DL	Da	Db	DE
รอบการผลิตที่ 2 เฉดสี ECO303 (เฉดสีฟ้า) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 3 รอบ								
Formulation	2.83	-1.87	-2.00	3.98	1	0.65	-0.31	1.23
Color Matching 1	1.18	-0.00	-0.52	1.18	1.04	-0.57	-0.3	1.22
Color Matching 2	0.42	-0.08	-0.09	0.44	0.33	-0.39	-0.04	0.51
Color Matching 3	0.11	-0.03	-0.06	0.13	0.13	0.11	-0.04	0.17
รอบการผลิตที่ 3 เฉดสี ECO655 (เฉดสีเขียว) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 2 รอบ								
Formulation	3.84	-0.67	-0.88	4.00	1.23	-1.97	0.34	2.35
Color Matching 1	1.31	0.13	0.15	1.33	1.14	-0.25	0.13	1.17
Color Matching 2	0.29	0.04	-0.00	0.29	0.08	0.10	-0.27	0.30
รอบการผลิตที่ 4 เฉดสี ECO115 (เฉดสีเหลือง) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 4 รอบ								
Formulation	2.83	-1.87	-2.01	3.94	2.23	-1.21	1.21	2.23
Color Matching 1	1.17	-0.85	-0.24	1.47	0.80	0.07	0.71	1.08
Color Matching 2	0.56	0.13	0.23	0.62	0.59	0.40	-0.39	0.82
Color Matching 3	0.31	0.22	-0.11	0.40	0.31	-0.34	0.29	0.55
Color Matching 4	0.21	-0.21	0.09	0.31	0.11	-0.14	-0.12	0.22
รอบการผลิตที่ 5 เฉดสี ECO687 (เฉดสีเทา) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 2 รอบ								
Formulation	1.53	-1.91	-2.49	3.49	0.40	0.18	0.95	1.04
Color Matching 1	0.41	-0.40	0.33	0.67	0.11	-0.00	0.52	0.53
Color Matching 2	0.27	-0.23	-0.01	0.36	0.02	-0.14	0.23	0.27
รอบการผลิตที่ 6 เฉดสี ECO584 (เฉดสีน้ำตาล) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 4 รอบ								
Formulation	3.53	-0.78	-0.82	3.71	0.83	1.12	1.62	2.14
Color Matching 1	1.21	-0.22	-0.27	1.26	0.58	0.42	1.27	1.46
Color Matching 2	0.35	0.31	0.13	0.49	0.4	0.18	0.55	0.70
Color Matching 3	0.21	0.00	0.22	0.30	0.11	-0.00	0.52	0.53
Color Matching 4	0.02	-0.18	0.07	0.19	0.02	-0.14	0.23	0.27
รอบการผลิตที่ 7 เฉดสี ECO115 (เฉดสีส้ม) จำนวนรอบการแต่งเฉดสีเท่ากับ 5 รอบ								
Formulation	2.88	1.62	-0.88	3.42	1.86	0.75	-0.67	2.11
Color Matching 1	0.19	-0.25	0.94	1.00	0.46	0.24	-0.78	0.94
Color Matching 2	0.38	-0.16	0.32	0.52	0.36	-0.36	0.62	0.80
Color Matching 3	0.04	-0.02	0.22	0.22	0.07	-0.29	0.50	0.58
Color Matching 4	0.01	-0.12	0.1	0.16	0.03	-0.28	0.42	0.51
Color Matching 5	0.00	-0.02	0.0	0.02	0.00	-0.11	0.02	0.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 6.7 และ 6.8 ผลการทดลองการแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในระดับการผลิตจริงก่อนใช้จริงแบบต่อเนื่องจำนวน 7 รอบการผลิต พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ยเท่ากับ 4 รอบต่อรอบการผลิต ซึ่งก่อนปรับปรุงที่เป็นการแต่งเฉดสีด้วยความชำนาญของพนักงานมีค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ย 7 รอบต่อรอบการผลิตและมีเวลารวมเฉลี่ย 50 นาทีต่อหนึ่งรอบการแต่งเฉดสีและการตรวจสอบเฉดสี โดยในงานวิจัยกำหนดสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเกินจำนวนรอบเป้าหมายคือมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบลดลง 50 % จาก 0.85 เหลือ 0.43 ฉะนั้นการใช้ซอฟต์แวร์การจับคู่สีช่วยในการแต่งเฉดสีมี 1 ใน 7 รอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 0.14 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายหลักของงานวิจัย ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจใช้ซอฟต์แวร์เทคนิคการจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีในระดับการผลิตจริงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบจำนวนรอบการแต่งเฉดสีการใช้เทคนิคการจับคู่สีทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสีลดลงกว่าก่อนปรับปรุงที่อาศัยความชำนาญของพนักงานฝ่ายผลิต
และรองรับความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตได้ในระดับหนึ่ง

6.3 ปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต

โรงงานกรณีศึกษามีวิธีการการตรวจสอบการแห้งตัวของสีน้ำมันจากแผ่นฟิล์มสีหลังจากอบจากตู้อบความร้อน 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีหากตรวจสอบพบว่าสีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมสารเร่งแห้งในขณะที่กำลังดำเนินการผลิตทันที ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาพบปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดอยู่สาเหตุหลักคือ สัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาเร่งแห้งได้ช้ากว่าเกณฑ์การควบคุมคุณภาพ ทำให้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพโดยการเติมสารเร่งแห้งเพิ่มจากสูตรเพื่อการผลิตจำนวนหลายรอบ ผู้วิจัยจะใช้การออกแบบการทดลองหาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิต

6.3.1 การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแห้งตัวของสีเคลือบแอลคีดได้แก่ สารเร่งแห้งทั้ง 3 ชนิดดังนี้

1. ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของแอลคีดเรซินให้กลายเป็นอนุมูลอิสระเพื่อไปทำปฏิกิริยา Autoxidation กับออกซิเจน (O_2) ในอากาศเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เพื่อไปทำปฏิกิริยาในขั้นต่อไป

2. ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งเซอร์โคเนียม ทำหน้าที่ในขั้นตอนการเกิดพอลิเมอไรเซชันของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเกิดการแห้งตัวของฟิล์มสี มีผลช่วยฟิล์มสีแห้งตัวทั่วทุกชั้น

3. ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งแคลเซียม ทำหน้าที่ส่งเสริมการทำงานของโคบอลต์ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ช่วยทำให้เกิดการแห้งตัวชั้นใน การสร้างฟรีแรดดิคัลและทำให้พันธะคู่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าหากใช้แคลเซียมมากเกินไป ทำให้ฟิล์มเคลือบผิวไวต่อน้ำ

6.3.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองของงานวิจัยสำหรับจุดประสงค์หาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมสำหรับสูตรเพื่อการผลิตที่ทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดต่ำที่สุด และต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้งต่ำที่สุด จะใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และแบบการทดลองแบบ Box-Behnken งานวิจัยนี้มีปัจจัยสำหรับทำการศึกษา 3 ปัจจัย แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง จะใช้จำนวน 20 การทดลองและแบบการทดลองแบบ Box-Behnken จะใช้จำนวน 15 การทดลอง สรุปงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งใช้จำนวนการทดลองมากกว่าแบบ Box-Behnken แต่คุณภาพในการพยากรณ์ของสมการที่ได้ดีกว่าจึงตัดสินใจยอมทำเพิ่ม 5 การทดลอง

เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีขนาดการผลิตมีตั้งแต่ 500-6000 กิโลกรัมซึ่งค่อนข้างสูงและมีความหลากหลาย การออกแบบการทดลองที่ใช้การทดลองหลายระดับ ขนาดตัวอย่างที่ใช้เพื่อหาสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดในระดับการผลิตนั้นอาจใช้เวลานาน และยากต่อการควบคุมการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยจะทำการทดลองในระดับปฏิบัติการเพื่อประหยัดเวลาในการทำการทดลอง การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางด้วยโปรแกรม Minitab สร้างเมทริกซ์การออกแบบ กำหนดให้มีลำดับการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) ดังแสดงในรูปที่ 6.5 และตารางที่ 6.9 เพื่อลดผลของปัจจัยรบกวนภายนอกที่อาจมีผลต่อการทดลองและค่าที่สังเกตได้จากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน

การทดลองประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1) ส่วนของการทดลองแฟคทอเรียล 2^k (Factorial Runs) ที่ระดับ ± 1

โดยที่ 2 = จำนวนระดับที่ทดสอบแต่ละปัจจัย

k = จำนวนปัจจัย

ดังนั้น $2^k = 2^3 = 8$ การทดลอง

2) ส่วนของจุดแกน (Axial Runs) ที่ระดับ ± α

โดยที่ $\alpha = (2^k)^{1/4}$

k = จำนวนปัจจัย

$\alpha = (2^3)^{1/4} = 2^{3/4} = 1.682$

ดังนั้นจะทดลองแต่ละปัจจัยที่ระดับ α = ± 1.682 ทั้งหมด 3 ปัจจัย = 6 การทดลอง

3) ส่วนของจุดศูนย์กลางทดลอง (Center Runs) ที่ระดับ 0

จากแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางจะทดลองที่จุดศูนย์กลาง = 6 การทดลอง

Central Composite Design

```
Factors:       3     Replicates:     1
Base runs:    20     Total runs:    20
Base blocks:   1     Total blocks:   1

Two-level factorial: Full factorial

Cube points:             8
Center points in cube:   6
Axial points:            6
Center points in axial:  0

α: 1.68179
```

รูปที่ 6. 5 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 6. 9 เมทริกซ์การทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C
6	1	1	1	1	-1	1
3	2	1	1	-1	1	-1
17	3	0	1	0	0	0
7	4	1	1	-1	1	1
16	5	0	1	0	0	0
9	6	-1	1	-1.682	0	0
18	7	0	1	0	0	0
10	8	-1	1	1.682	0	0
13	9	-1	1	0	0	-1.682
19	10	0	1	0	0	0
20	11	0	1	0	0	0
5	12	1	1	-1	-1	1
2	13	1	1	1	-1	-1
12	14	-1	1	0	1.682	0
4	15	1	1	1	1	-1
11	16	-1	1	0	-1.682	0
14	17	-1	1	0	0	1.682
15	18	0	1	0	0	0
1	19	1	1	-1	-1	-1
8	20	1	1	1	1	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.3.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลอง

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางสำหรับ 3 ปัจจัยกรณีปัจจัยเป็นแบบแปรผัน Bisgaard และ Fuller (1995) นำเสนอสมการในการคำนวณหาขนาดตัวอย่าง กรณีที่ตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลประเภทสัดส่วน ดังสมการที่ 6.1 และ 6.2

$$n = (Z_{1-\sigma/2} + Z_{1-\beta})^2 / (N)(\delta)^2 \quad (6.1)$$

สำหรับงานวิจัยนี้สามารถคำนวณหาขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

โดยที่ n = ขนาดตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องใช้ในแต่ละการทดลอง

p_0 = 0.72 (สัดส่วนจำนวนรอบการแก้ไขงานใหม่ของผลิตภัณฑ์ในหัวข้อการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตในปัจจุบัน)

Δ = 0.36 (ความเปลี่ยนแปลงที่ต้องการตรวจจับได้ คำนวณจากเป้าหมายที่ต้องการลดสัดส่วนปัญหาจาก 0.72 เป็น 0.36 คือ 0.72-0.36 = 0.36)

N = 8 การทดลอง (จำนวนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ทำการทดลอง)

α = 0.05 จะได้ $Z_{1-\sigma/2}$ = 1.96 และ β = 0.1 จะได้ $Z_{1-\beta}$ = 1.282

δ = ค่าความแตกต่างของค่าที่ได้รับการแปลงข้อมูลแล้ว ดังสมการที่ 6.2

$$\delta = \arcsin\left(\sqrt{p_0 + (\Delta/2)}\right) - \arcsin\left(\sqrt{p_0 - (\Delta/2)}\right) \quad (6.2)$$

จากสมการที่ 6.2 จะได้

$$\delta = \arcsin\left(\sqrt{0.72 + (0.36/2)}\right) - \arcsin\left(\sqrt{0.72 - (0.36/2)}\right)$$

δ = 0.42

จากสมการที่ 6.1 จะได้

$n = (1.96+1.282)^2 / (8)(0.42)^2$

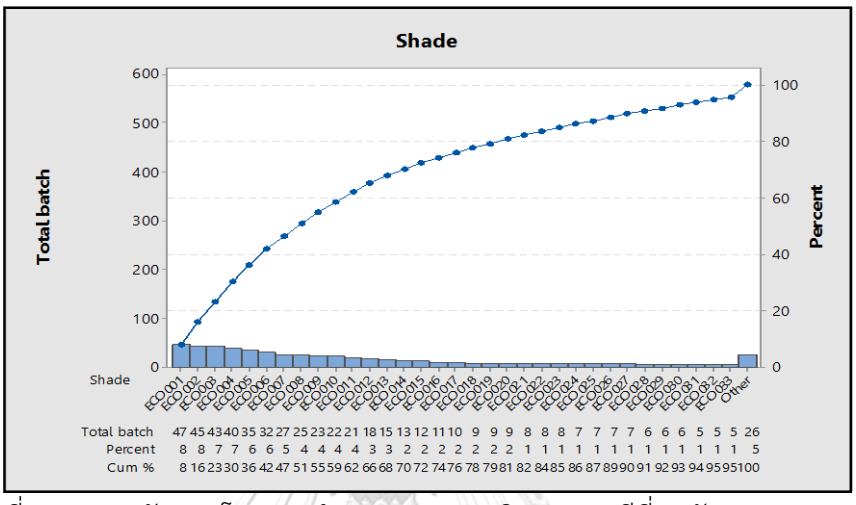
n = 7.32 ตัวอย่าง

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่า ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแต่ละการทดลองของการออกแบบการทดลองที่กำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับ 8 ตัวอย่าง สำหรับการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่ต้องการทั้งหมดในการออกแบบการทดลองที่มีการทดลองจำนวนทั้งหมด 20 การทดลองจะต้องใช้เท่ากับ 160 ตัวอย่าง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.3.4 การเลือกตัวอย่างเพื่อทดสอบ

การเลือกตัวอย่างสำหรับทดสอบพิจารณาเลือกจากเฉดสีที่มีจำนวนรอบการผลิตสูงสุดที่พบปัญหาคุณภาพเรื่องการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนด จากข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 ดังแสดงในรูปที่ 6.6



รูปที่ 6. 6 แผนผังพาเรโตแสดงจำนวนรอบการผลิตของเฉดสีที่พบปัญหาคุณภาพเรื่องการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนด จากข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560

จากรูปที่ 6.6 แสดงจำนวนรอบการผลิตของเฉดสีที่พบปัญหาคุณภาพเรื่องการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนด จากข้อมูลในเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ.2560 จำนวน 641 รอบการผลิต จาก 48 เฉดสี พบว่า 80% ของจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาเรื่องการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนด เกิดจากเฉดสีจำนวน 20 เฉดสี เนื่องจากไม่สามารถเลือกทดลองสีตัวอย่างได้ครบ 20 เฉดสี ผู้วิจัยเลือกสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด เฉดสี ECO001 โดยพิจารณาจากจำนวนรอบการผลิตของเฉดสีที่พบปัญหาคุณภาพเรื่องการแห้งตัวของฟิล์มสีเกินเวลาที่กำหนดสูงที่สุดจำนวนเฉดสีเดียว เพื่อเป็นเฉดสีต้นแบบทำการทดลองตามแนวทางการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปริมาณสารเร่งแห้ง

6.3.5 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า

Calbo (1987) and Bielman (1993) ได้แนะนำปริมาณของสารเร่งแห้งโลหะที่เหมาะสมต่อระยะการแห้งตัวของสีน้ำมันประเภท Alkyd Resin ชนิด Long-oil Alkyd Paint ดังแสดงไว้ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6. 10 ปริมาณของสารเร่งแห้งโลหะที่เหมาะสมต่อระยะการแห้งตัวของสีน้ำมันประเภท Alkyd Resin ชนิด Long-oil Alkyd Paint

สารเร่งแห้ง	ช่วงเปอร์เซ็นต์ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะที่แนะนำ (% Metal Recommend)	
	% ปริมาณทั่วไป	% ปริมาณสูงสุด
โคบอลต์ (Co)	0.06	0.20
เซอร์โคเนียม (Zr)	0.30	0.40
แคลเซียม (Ca)	0.02	0.30

ฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา คำนวณหา % ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะในสูตรเพื่อการผลิตจากสมการที่แนะนำจาก Calbo (1987) and Bielman (1993) ดังสมการที่ 6.3 ซึ่งการคำนวณหา % ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 ดังนี้

$$\%\ \text{Drier in Recipe} = \left(\frac{\%\ \textbf{Drier Recommend}}{\%\ \textbf{Metal in Drier}}\right) \times \%\ \text{Alkyd Resin} \times \left(\frac{\%\ \textbf{Solid Resin}}{\textbf{100}}\right) \quad (6.3)$$

โดยที่

% Drier in Recipe คือ % ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะในสูตรเพื่อการผลิต

% Drier Recommend คือ % ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะที่แนะนำให้เหมาะสมกับสูตรเพื่อการผลิต โดยฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์กำหนดให้ % ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะในสูตรเพื่อการผลิต (% Drier in recipe) จากค่ากลางของช่วงปริมาณสารเร่งแห้งโลหะ(% Drier Recommend) ที่แนะนำจาก Calbo (1987) and Bielman (1993) เป็นปริมาณจริงที่ใช้ในสูตรเพื่อการผลิต ดังแสดงไว้ดังตารางที่ 6.11

Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 11 เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะที่ใช้จริงในสูตรเพื่อการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

สารเร่งแห้งชนิดโลหะ	ช่วง % ปริมาณสารเร่งแห้งโลหะที่แนะนำ (% Drier Recommend)		
	% ปริมาณทั่วไป	% ปริมาณที่ใช้จริงในโรงงานกรณีศึกษา	% ปริมาณสูงสุด
โคบอลต์ (Co)	0.06	0.13	0.20
เซอร์โคเนียม (Zr)	0.30	0.35	0.40
แคลเซียม (Ca)	0.02	0.16	0.30

โดยที่ % Metal in Drier คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณโลหะที่อยู่ในสารเร่งแห้งที่โรงงานกรณีศึกษาเลือกใช้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ปริมาณโลหะนี้จะหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการแห้งตัวของสี ฉะนั้นจึงต้องคำนึงถึงปริมาณโลหะด้วยสำหรับโรงงานกรณีศึกษาเลือกใช้สารเร่งแห้งที่มีองค์ประกอบ Co 10%, สารเร่งแห้งที่มีองค์ประกอบ Zr 12% และสารเร่งแห้งที่มีองค์ประกอบ Ca 10%

% Alkyd Resin คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารแอลคีดเรซินที่มีลักษณะเป็นของเหลวรวมทั้งหมดในสูตรเพื่อการผลิตทำหน้าที่เป็นสารเป็นสารยึดพยุงองค์ประกอบในสูตรสีเข้าไว้ด้วยกัน การคำนวณ % Alkyd Resin ในสูตร ECO001 คำนวณจาก % Alkyd Resin ที่อยู่ในวัตถุดิบทุกรายการดังสมการที่ 6.4 และดังตารางที่ 6.12

$$\%\ \text{Alkyd Resin ในสูตร ECO001} = \frac{(\%\ \text{ปริมาณวัตถุดิบในสูตร}\ \mathbf{ECO001}\ \mathbf{x}\ \%\ \mathbf{Alkyd\ Resin}\ \text{ในวัตถุดิบ})}{\mathbf{100}} \quad (6.4)$$

ตารางที่ 6. 12 การคำนวณหา % Alkyd Resin รวมในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001

วัตถุดิบ	% ปริมาณวัตถุดิบในสูตร ECO001	% Alkyd Resin ในวัตถุดิบ	การคำนวณ	% Alkyd Resin ในสูตร ECO001
สารเพิ่มเนื้อ	18.38	19.5	(18.38% x 19.5%)/100	3.58
สารยึด	69.62	-	-	69.62
แม่สี W00	1.69	14.6	(1.69% x 14.6%)/100	0.25
แม่สี R70	2.88	12.0	(2.88% x 12.0%)/100	0.35
แม่สี Y50	1.58	19.6	(1.58% x 19.6%)/100	0.31
แม่สี BL81	0.41	22.0	(0.41% x 22.0%)/100	0.09
			% Alkyd Resin รวมในสูตร ECO001	74.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยที่ % Solid Resin คือ เปอร์เซ็นต์ปริมาณแอลคีดเรซินไม่ระเหยในสารยึดแอลคีดเรซินที่มีลักษณะเป็นของเหลว เพื่อสะดวกต่อการผลิตแอลคีดเรซินจะมีการผสมตัวทำละลายลงไป โดยทั่วไปแอลคีดเรซินเหลวจะประกอบด้วยเม็ดแอลคีดเรซิน 65 ส่วนและตัวทำละลาย 35 ส่วน ดังนั้น % Solid Resin จะเท่ากับ 65% ซึ่งแอลคีดเรซินนี้เองเมื่ออยู่ในผลิตภัณฑ์สีคือสารที่ไม่แห้งตัวหรือส่งผลให้สีมีการแห้งตัวช้านั่นเอง

แทนค่าลงในสมการที่ 6.3 แสดงผลลัพธ์เป็น % ปริมาณสารเร่งแห้งทั้งสามชนิด (% Drier in Recipe) ในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 ดังแสดงไว้ดังตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6. 13 เปอร์เซ็นต์ปริมาณสารเร่งแห้งทั้งสามชนิด (% Drier in Recipe) ในสูตรเพื่อการผลิต

สารเร่งแห้งชนิดโลหะ	% Drier Recommend	% Metal in drier	% Alkyd Resin	% Solid Resin	% Drier in Recipe
Co	0.13	10	74.20	65	0.63
Zr	0.35	12	74.20	65	1.41
Ca	0.16	10	74.20	65	0.77

จากตารางที่ 6.13 ทำให้ทราบ % ปริมาณสารเร่งแห้งทั้งสามชนิดที่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย กำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าจากข้อกำหนดในการผลิตผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน แต่ละปัจจัยนำเข้าแบ่งออกเป็น 5 ระดับ แสดงไว้ดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6. 14 ระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	ระดับต่ำ (-1.682)	ระดับ (-1)	ระดับ (0)	ระดับ (1)	ระดับสูง (+1.682)
A หรือ X_1	ปริมาณโคบอลต์	0.63%	0.70%	0.80%	0.89%	0.96%
B หรือ X_2	ปริมาณเซอร์โคเนียม	1.41%	1.45%	1.51%	1.57%	1.61%
C หรือ X_3	ปริมาณแคลเซียม	0.77%	0.91%	1.11%	1.31%	1.45%

โดยที่ ระดับต่ำ (α = -1.687) คือ ค่ากลางของช่วง % ปริมาณสารเร่งแห้งที่แนะนำ

ระดับสูง (α = +1.687) คือ ค่าสูงสุดของช่วง % ปริมาณสารเร่งแห้งที่แนะนำ

ระดับต่ำสุดของแต่ละปัจจัย (α = -1.687) กำหนดให้อยู่ที่ค่ากลางของช่วง % ปริมาณสารเร่งแห้งที่แนะนำเนื่องจากเป็นปริมาณสารเร่งแห้งของสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 ในปัจจุบันซึ่งเป็นปริมาณที่ยังพบปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด และยังต้องมีการใส่สารเร่งแห้งอีกหลายครั้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพดังนั้นปริมาณรวมทั้งหมดของแต่ละรอบการผลิตจึงควรมากกว่าปริมาณที่ใช้ในปัจจุบัน ส่วนระดับสูงสุดของแต่ละปัจจัย (α = +1.687) กำหนดค่าสูงสุดของช่วง % ปริมาณสารเร่งแห้งที่แนะนำ ซึ่งเป็นปริมาณสารเร่งแห้งที่มากเกินความจำเป็นและอาจมีผลกระทบต่อฟิล์มสีที่จะย่นเมื่อแห้งตัวเร็วเกินไป และมีต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งสูงเกินความจำเป็น ทั้งนี้ต้องพิจารณาอีกครั้งหลังทำการทดลองหากปริมาณสารเร่งแห้งในระดับปัจจัยสูงที่กำหนดนี้ไม่สามารถลดสัดส่วนปัญหาได้ตามเป้าหมายจะต้องพิจารณาระดับปัจจัยใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าสัดส่วนปัญหาลดลงจนเป็นน่าพอใจก็จะถือว่ากำหนดระดับปัจจัยได้เหมาะสมแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.3.6 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองที่พิจารณามี 2 ตัวแปรคือ

1. สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด
2. ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง

อิทธิพลของปริมาณสารเร่งแห้งทั้งสามชนิดที่มีต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดและต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งในแต่ละส่วนเป็นดังนี้คือ หากใช้ปริมาณสารเร่งแห้งน้อยเกินไปจะทำให้สีแห้งตัวช้าเกินเวลาที่กำหนดทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมีมากขึ้นและต้องมีปรับปรุงคุณภาพเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้งจำนวนหลายรอบ แต่ถ้าหากใช้ปริมาณสารเร่งแห้งมากขึ้นจนเกินความจำเป็นจะทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมีน้อยลง แต่จะมีต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่สูงขึ้น และถ้าปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์มากเกินไปจะทำให้เกิดของเสียได้ ด้วยโคบอลต์มีสีน้ำเงินม่วงเข้มจะส่งผลทำให้เฉดสีผลิตภัณฑ์เข้มขึ้นตามไปด้วยจนแตกต่างไปจากเฉดสีมาตรฐาน พิจารณาจากค่าความแตกต่างสีหลังเติมสารเร่งแห้ง กำหนดช่วงที่ยอมรับได้ค่าความแตกต่างสี < 0.5 ซึ่งถ้าค่าความแตกต่างสีเกินช่วงที่กำหนดต้องแก้ไขเฉดสีโดยแต่งเฉดสีใหม่ เกิดต้นทุนการเพิ่มวัตถุดิบแม่สีจากการแก้ไขงานกรณีต้องแต่งเฉดสีใหม่ นอกจากนั้นสารเร่งแห้งโคบอลต์ส่งผลให้เกิดการแห้งตัวของฟิล์มสีชั้นบนเร็วเกินไปซึ่งสารเร่งแห้งชนิดอื่นยังทำงานได้ไม่เต็มที่ฟิล์มสีชั้นกลางและชั้นล่างจะแห้งตัวไม่สม่ำเสมอทำให้ฟิล์มสีเป็นรอยย่นต้องกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ เกิดต้นทุนการกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแก้ไขงานใหม่ได้นับเป็นต้นทุนการผลิตที่เสียไปในส่วนของค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน และค่าโสหุ้ย รวมเป็นเงิน 133,400 บาทต่อรอบการผลิต (คำนวณจากน้ำหนักการผลิตเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต) ผู้วิจัยสนใจจะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเร่งแห้งกับตัวแปรตอบสนองสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Y_1) และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเร่งแห้งกับต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Y_2) การคำนวณตัวแปรตอบสนองเป็นดังนี้

1. Y_1 = สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

$$\text{สัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสี } (p_1) = \frac{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด}}{\text{จำนวนรอบการผลิตทั้งหมดที่ใช้ทดสอบแต่ละการทดสอบ}} = \frac{x}{n}$$

โดยที่ X = จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ; X = 0, 1, 2, …., 8

n = จำนวนรอบการผลิตทั้งหมดที่ใช้ทดสอบแต่ละการทดสอบ (Experiment run); n = 8

2. Y_2 = ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost)

โดย $Y_2 = Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6$ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ใน 1 รอบการผลิต (Y_3) ซึ่งในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 ใช้สารเร่งแห้งจำนวน 3 ชนิดคือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียม

$$Y_3 = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3$$

โดยที่

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
C_1	ราคาโคบอลต์ กิโลกรัมละ 200 บาท
C_2	ราคาเซอร์โคเนียม กิโลกรัมละ 100 บาท
C_3	ราคาแคลเซียม กิโลกรัมละ 50 บาท
X_1	ปริมาณโคบอลต์ หน่วยกิโลกรัม
X_2	ปริมาณเซอร์โคเนียม หน่วยกิโลกรัม
X_3	ปริมาณแคลเซียม หน่วยกิโลกรัม

2.2 ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่ใน 1 รอบการผลิต (Y_4) ซึ่งเป็นราคาวัตถุดิบแม่สีในสูตรเพื่อการผลิตสินค้าเฉดสี ECO001 ใช้แม่สีจำนวน 4 แม่สีคือ W00, R70, Y50 และ BL81

$$Y_4 = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4$$

โดยที่

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
C_1	ราคาแม่สี W00 กิโลกรัมละ 30 บาท
C_2	ราคาแม่สี R70 กิโลกรัมละ 45 บาท
C_3	ราคาแม่สี Y50 กิโลกรัมละ 35 บาท
C_4	ราคาแม่สี BL81 กิโลกรัมละ 40 บาท
X_1	ปริมาณแม่สี W00 ที่เติมกรณีแต่งเฉดสีใหม่ หน่วยกิโลกรัม
X_2	ปริมาณแม่สี R70 ที่เติมกรณีแต่งเฉดสีใหม่ หน่วยกิโลกรัม
X_3	ปริมาณแม่สี Y50 ที่เติมกรณีแต่งเฉดสีใหม่ หน่วยกิโลกรัม
X_4	ปริมาณแม่สี BL81 ที่เติมกรณีแต่งเฉดสีใหม่ หน่วยกิโลกรัม

2.3 ต้นทุนการกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแก้ไขงานใหม่ได้ (Y_5)

Y_5 = 133,400 บาทต่อรอบการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ในการแก้ไขงานใหม่ หากต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเมื่อพบว่าสีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด (Y_6) คือ ผลต่างของต้นทุนสารเร่งแห้งของปริมาณสารเร่งแห้งต่ำสุดที่พบในผลการทดลองที่ทำให้สีแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิตกับปริมาณสารเร่งแห้งในระดับการทดลองใดๆ ที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิต

$Y_6 = C_1X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3$

ผู้วิจัยสนใจผลกระทบของปริมาณสารเร่งแห้งกับสองตัวแปรตอบสนองคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Y_1) และต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Y_2) แต่ทั้งนี้ในการหาค่าที่เหมาะสมของปริมาณสารเร่งแห้งจะใช้ตัวแปรตอบสนองต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งเท่านั้นโดยต้องการให้มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนรวมที่มีผลกระทบจากสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดในแต่ละการทดสอบรวมอยู่ด้วยแล้ว

6.3.7 การทำการทดลอง

การทดลองในระดับปฏิบัติการ เริ่มต้นทำการทดลองโดยการเตรียมสีตัวอย่างให้เพียงพอต่อการทดลอง จากการคำนวณขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองจำนวน 160 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 500 กรัมเพื่อให้น้ำหนักต่อตัวอย่างเมื่อใส่ภาชนะกระป๋องแล้วมีความเหมาะสมกับเครื่องกวนสี (Multi mixer) รวมเป็นต้องเตรียมสี 80 กิโลกรัม และเพื่อป้องกันปัญหาปริมาณสีไม่เพียงพอระหว่างทำทดลองดังนั้นจึงเตรียมสีปริมาณ 100 กิโลกรัมแทน จากสูตรเพื่อการผลิตสินค้า เฉดสี ECO001 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.15

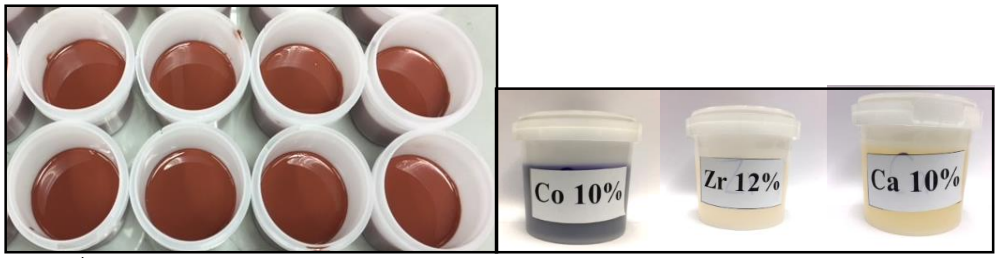
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 15 สูตรเพื่อการผลิตของ เฉดสี ECO001

วัตถุดิบ	ลักษณะของวัตถุดิบ	เปอร์เซ็นต์ปริมาณในสูตร
สารเพิ่มเนื้อ	ของเหลว	18.38
สารยึด	ของเหลว	69.62
สารเร่งแห้ง Co 10%	ของเหลว	0.63
สารเร่งแห้ง Zr 12%	ของเหลว	1.41
สารเร่งแห้ง Ca 10%	ของเหลว	0.77
สารเติมแต่ง	ของเหลว	0.20
แม่สี W00	ของเหลว	1.69
แม่สี R70	ของเหลว	2.88
แม่สี Y50	ของเหลว	1.58
แม่สี BL81	ของเหลว	0.41
ตัวทำละลาย	ของเหลว	2.43
	ปริมาณรวมสุทธิ	100.00

1. การเตรียมสีตัวอย่าง ECO001 ปริมาณ 100 กิโลกรัม จะชั่งน้ำหนักวัตถุดิบตามสูตรเพื่อการผลิตลงในถังผสมสีขนาดเล็กของฝ่ายผลิต ผสมวัตถุดิบได้แก่ สารเพิ่มเนื้อ สารยึด สารเติมแต่ง แม่สี W00 แม่สี R70 แม่สี Y50 แม่สี BL81 และตัวทำละลายตามเปอร์เซ็นต์ปริมาณในสูตร
2. กวนวัตถุดิบด้วยเครื่องตีสี ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที
3. แบ่งสีตัวอย่างบรรจุลงในกระป๋องสี จำนวน 160 กระป๋อง

ดำเนินการการทดลองแบบสุ่มตามที่ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab ตามลำดับในช่อง “Run Order” จำนวน 20 การทดลอง การทดลองละ 8 ตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 6.7 มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 6. 7 กระป๋องสีตัวอย่างจำนวน 8 กระป๋องสำหรับ 1 การทดลองและสารเร่งแห้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. นำสีตัวอย่างแต่ละกระป๋องที่เตรียมไว้มาเติมสารเร่งแห้งปริมาณตามที่ออกแบบการทดลองไว้

วัตถุดิบ	ลักษณะของวัตถุดิบ	ปริมาณ (%)
สารเร่งแห้ง A (Co 10%)	ของเหลว	P_A
สารเร่งแห้ง B (Zr 12%)	ของเหลว	P_B
สารเร่งแห้ง C (Ca 10%)	ของเหลว	P_C

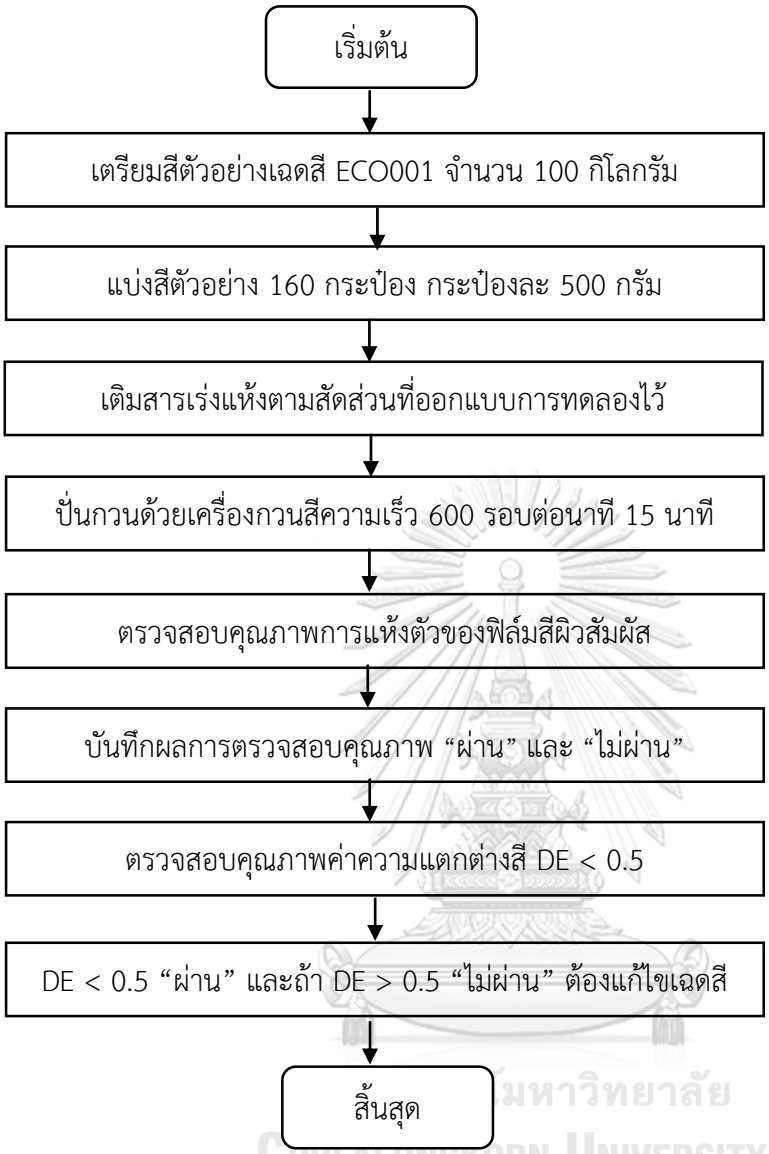
2. นำแต่ละกระป๋องที่เติมสารเร่งแห้งแล้วมาปั่นกวนด้วยเครื่องกวนสีด้วยความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จำลองรูปแบบเดียวกับเครื่องจักรการผลิตจริงโดยกระป๋องเปรียบเสมือนถังผสมสี เครื่องตีสีแทนใบพัดกวนสี ดังแสดงในรูปที่ 6.8

รูปที่ 6. 8 เครื่องตีสีระดับปฏิบัติการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของสีตามรูปที่ 3.12 วิธีการตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของฟิล์มสีผิวสัมผัส บันทึกผลการตรวจสอบ “ผ่าน” เมื่อการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด และ “ไม่ผ่าน” เมื่อการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

4. ตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสีตามรูปที่ 3.8 วิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี พิจารณาจากค่าความแตกต่างสีหลังเติมสารเร่งแห้ง หากค่าความแตกต่างสี >= 0.5 ซึ่งเกินช่วงที่กำหนดต้องแก้ไขเฉดสีโดยแต่งเฉดสีใหม่ให้ค่าความแตกต่างสี < 0.5



รูปที่ 6. 9 แผนภูมิการไหลของขั้นตอนในการทำการทดลอง

6.3.8 ผลการทดลอง

หลังจากที่ทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ได้ผลการทดลองดังนี้

1. จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Total batch of not dry) โดยแต่ละการทดลองจะใช้ขนาดตัวอย่างจำนวน 8 ตัวอย่างตามที่คำนวณไว้แล้ว จากผลการทดลองแต่ละการทดลองมีผลลัพธ์เพียง 2 แบบคือ จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดก็จะไม่แห้งทั้ง 8 จำนวนรอบการผลิตในเงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน และจำนวนรอบการผลิตที่การแห้งตัวของสีในช่วงเวลาที่กำหนดก็จะแห้งตัวทั้ง 8 จำนวนรอบการผลิตในการทดสอบเดียวกัน

2. ปริมาณสารเร่งแห้งของแต่ละตัวอย่างในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (% Drier of each sample) และค่าความแตกต่างสีแต่ละตัวอย่าง (DE of each sample) หลังจากที่เติมสารเร่งแห้งแล้วความแตกต่างสี > 0.50 ต้องแก้ไขเฉดสีโดยแต่งเฉดสีใหม่ทำให้เกิดต้นทุนวัตถุดิบแม่สี จะได้ปริมาณแม่สีแต่ละรายการซึ่งเพิ่มจากสูตรเพื่อการผลิตในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%Pigment of each sample) จากผลการทดลองของแต่ละการทดสอบเมื่อวัดค่าความแตกต่างสีแล้วพบว่า ความแตกต่างสี > 0.50 ต้องแก้ไขเฉดสีจะมีค่าความแตกต่างสีใกล้เคียงกันทำให้ปริมาณแม่สีแต่ละรายการซึ่งเพิ่มจากสูตรเพื่อการผลิตเท่ากันเพื่อทำให้ความแตกต่างสี < 0.50 การพิจารณาการแก้ไขเฉดสีพิจารณาจากค่า

DL* = ความแตกต่างของความมืด (สีดำ) กับความสว่าง (สีขาว)

ค่า + (+L*) บรรยายความสว่าง ไปจนถึง ค่า – (-L*) บรรยายถึงความมืด

จากผลการทดลอง DL มีค่า – แก้ไขโดยการเติมแม่สีขาว W00

Da* = ความแตกต่างของสีแดงกับสีเขียว

ค่า + (+a*) บรรยายแกนจากสีแดงไปจนถึง ค่า – (-a*) บรรยายถึงสีเขียว

จากผลการทดลอง Da มีค่า – แก้ไขโดยการเติมแม่สีแดง R70

Db* = ความแตกต่างของสีเหลืองกับสีน้ำเงิน

ค่า + (+b*) บรรยายแกนจากสีเหลือง ไปจนถึง ค่า – (-b*) บรรยายถึงสีน้ำเงิน

จากผลการทดลอง Db มีค่า – แก้ไขโดยการเติมแม่สีเหลือง Y50

หลังจากนั้น แปลงผลการทดลองแต่ละการทดลองเป็นตัวแปรตอบสนองตามที่กำหนดไว้

1. Y_1 = สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Proportion)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{สัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสี } (p_1) = \frac{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด}}{\text{จำนวนรอบการผลิตทั้งหมดที่ใช้ทดสอบแต่ละการทดสอบ}} = \frac{x}{n}$$

2. Y_2 = ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost) = $Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6$

โดยที่ Y_3 = ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ใน 1 รอบการผลิต

Y_4 = ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่ใน 1 รอบการผลิต ประกอบไปด้วย

1. ต้นทุนวัตถุดิบแม่สีที่จากกรณีแก้ไขงานใหม่เนื่องจากเฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐาน

2. ค่าไฟฟ้าในการเปิดเครื่องปั่นกวนสี 600 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย) = (กำลังไฟฟ้า (วัตต์) / 1000) x จำนวนชั่วโมงที่ใช้

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า = (24,000 วัตต์ / 1000) x (15 นาที / 60 นาที)

ดังนั้น ปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 6.0 หน่วย ต่อรอบการแก้ไขงานใหม่

ค่าไฟฟ้า = ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (หน่วย) x ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

*ค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับธุรกิจขนาดกลางเท่ากับ 3.2484 บาทต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า = 6.0 หน่วย x 3.2484 บาทต่อหน่วย

ดังนั้น ค่าไฟฟ้า = 19.49 บาท ต่อรอบการแก้ไขงานใหม่

3. ค่าแรงงาน เริ่มตั้งแต่เปิดเครื่องปั่นกวนสี ใส่แม่สี และตรวจสอบคุณภาพเฉดสี รวมเวลา 75 นาที

ค่าแรงงาน = (เงินเดือนพนักงาน (บาท) / 30 วัน) x (1 วัน / 24 ชั่วโมง) x (1 ชั่วโมง / 60 นาที) x เวลาที่ใช้ใน 1 รอบการแก้ไขงานใหม่ (นาที)

= (18,000 บาท / 30 วัน) x (1 วัน / 24 ชั่วโมง) x (1 ชั่วโมง / 60 นาที) x 75 นาที

= 31.25 บาท

ฉะนั้นแต่ละการทดลองหากพบว่าต้องแก้ไขงานใหม่ นอกจากต้นทุนวัตถุดิบแม่สียังมีค่าไฟฟ้าและค่าแรงงานเท่ากับ 19.49+31.25 = 50.74 บาทด้วย

Y_5 = ต้นทุนการกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแก้ไขงานใหม่ได้ จากผลการทดลองไม่พบปัญหาฟิล์มสีชั้นบนเร็วเกินไปจนฟิล์มสีเป็นรอยย่นจากการใส่ปริมาณสารเร่งแห้งมากเกินไป จึงไม่เกิดต้นทุนการกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแก้ไขงานใหม่

Y_6 = ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ในการแก้ไขงานใหม่ หากต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเมื่อพบว่าสีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด

ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost) ของทุกรอบการผลิตในแต่ละการทดสอบคำนวณจากน้ำหนักการผลิตเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6. 16 ผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Pt Type	Blocks	% Drier (Coded) A	B	C	Total Batch of Not Dry	Y1 P of not dry	DE of each Sample 1	2	3	4	5	6	7	8	Trend Shade DL*	Da*	Db*	% Pigment 1 Sample (Rework) W000	Y50	R70	BL81	Y3 Cost of Drier (1 Sample) Co	Zr	Ca	Y4 Cost of Pigment Rework (1 Sample) W000	Y50	R70	BL81	Y5 Cost of scrap	Y6 Cost of Drier Rework (1 Sample) Co	Zr	Ca	Electricity+Wage Cost (Rework)	Y2 Total Co (1 Sampl
6	1	1	1	1	-1	1	0	0.00	0.67	0.69	0.66	0.67	0.69	0.68	0.69	0.68	-0.59	-0.27	-0.37	0.90	0.10	0.07	0.00	4465.55	3626.35	1640.21	562.50	87.50	87.50	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	10520.34
3	2	1	1	-1	1	-1	8	1.00	0.32	0.33	0.35	0.33	0.38	0.34	0.33	0.32	-0.26	-0.18	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	3484.45	3923.65	1134.79	0.00	0.00	0.00	0.00	515.55	0.00	252.71	50.74	9361.89
17	3	0	1	0	0	0	0	0.00	0.43	0.46	0.46	0.43	0.44	0.45	0.43	0.44	-0.26	-0.13	-0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	9137.50
7	4	1	1	-1	1	1	8	1.00	0.35	0.33	0.31	0.36	0.34	0.32	0.35	0.34	-0.24	-0.12	-0.27	0.00	0.00	0.02	0.00	3484.45	3923.65	1640.21	0.00	0.00	25.00	0.00	515.55	0.00	0.00	50.74	9639.60
16	5	0	1	0	0	0	0	0.00	0.41	0.39	0.43	0.44	0.43	0.40	0.41	0.42	-0.27	-0.10	-0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	9137.50
9	6	-1	1	-1.682	0	0	8	1.00	0.26	0.23	0.27	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	-0.25	-0.19	-0.27	0.00	0.00	0.02	0.00	3150.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	25.00	0.00	850.00	0.00	0.00	50.74	9238.24
18	7	0	1	0	0	0	0	0.00	0.45	0.44	0.46	0.43	0.44	0.45	0.46	0.45	-0.22	-0.15	-0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	9137.50
10	8	-1	1	1.682	0	0	0	0.00	0.85	0.86	0.86	0.88	0.85	0.86	0.87	0.86	-0.91	-0.45	-0.36	1.20	0.15	0.03	0.00	4800.00	3775.00	1387.50	750.00	131.25	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	10931.95
13	9	-1	1	0	0	-1.682	8	1.00	0.44	0.46	0.46	0.46	0.47	0.45	0.45	0.47	-0.36	-0.21	-0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	962.50	62.50	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	425.00	50.74	9275.74
19	10	0	1	0	0	0	0	0.00	0.45	0.40	0.45	0.44	0.46	0.42	0.43	0.43	-0.23	-0.22	-0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	9137.50
20	11	0	1	0	0	0	0	0.00	0.42	0.42	0.43	0.43	0.44	0.42	0.41	0.42	-0.22	-0.22	-0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	9137.50
5	12	1	1	-1	-1	1	8	1.00	0.32	0.31	0.33	0.35	0.36	0.34	0.34	0.34	-0.24	-0.29	-0.32	0.00	0.00	0.04	0.00	3484.45	3626.35	1640.21	0.00	0.00	50.00	0.00	515.55	148.65	0.00	50.74	9515.95
2	13	1	1	1	-1	-1	0	0.00	0.63	0.65	0.64	0.64	0.62	0.65	0.64	0.64	-0.49	-0.28	-0.36	0.70	0.09	0.03	0.00	4465.55	3626.35	1134.79	437.50	78.75	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	9831.18
12	14	-1	1	0	1.682	0	0	0.00	0.45	0.45	0.43	0.44	0.45	0.44	0.46	0.44	-0.30	-0.23	-0.27	0.20	0.02	0.01	0.00	3975.00	4025.00	1387.50	125.00	17.50	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	9593.24
4	15	1	1	1	1	-1	0	0.00	0.55	0.56	0.53	0.55	0.55	0.57	0.56	0.55	-0.43	-0.26	-0.24	0.60	0.03	0.01	0.00	4465.55	3923.65	1134.79	375.00	26.25	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	9988.48
11	16	-1	1	0	-1.682	0	8	1.00	0.47	0.45	0.50	0.45	0.46	0.46	0.47	0.46	-0.34	-0.27	-0.27	0.10	0.00	0.02	0.00	3975.00	3525.00	1387.50	62.50	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	50.74	9300.74
14	17	-1	1	0	0	1.682	0	0.00	0.59	0.57	0.58	0.61	0.60	0.59	0.58	0.59	-0.53	-0.24	-0.41	0.80	0.02	0.10	0.00	3975.00	3775.00	1812.50	500.00	17.50	125.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	10255.74
15	18	0	1	0	0	0	0	0.00	0.42	0.41	0.43	0.41	0.42	0.43	0.41	0.42	-0.21	-0.21	-0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	3975.00	3775.00	1387.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	9137.50
1	19	1	1	-1	-1	-1	8	1.00	0.33	0.34	0.39	0.32	0.31	0.32	0.33	0.32	-0.24	-0.19	-0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	3484.45	3626.35	1134.79	0.00	0.00	0.00	0.00	515.55	148.65	252.71	50.74	9213.24
8	20	1	1	1	1	1	0	0.00	0.67	0.65	0.66	0.65	0.66	0.67	0.65	0.66	-0.47	-0.34	-0.38	0.70	0.10	0.07	0.00	4465.55	3923.65	1640.21	437.50	87.50	87.50	0.00	0.00	0.00	0.00	50.74	10692.65

ตารางที่ 6. 17 สรุปผลการทดลอง

Std	Run	Pt		% Drier (Coded)			Respond					
Order	Order	Type	Blocks	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
6	1	1	1	1	-1	1	0.00	84163	77857	6306	0	0
3	2	1	1	-1	1	-1	1.00	74895	68343	406	0	6146
17	3	0	1	0	0	0	0.00	73100	73100	0	0	0
7	4	1	1	-1	1	1	1.00	77117	72386	606	0	4124
16	5	0	1	0	0	0	0.00	73100	73100	0	0	0
9	6	-1	1	-1.682	0	0	1.00	73906	66500	606	0	6800
18	7	0	1	0	0	0	0.00	73100	73100	0	0	0
10	8	-1	1	1.682	0	0	0.00	87456	79700	7756	0	0
13	9	-1	1	0	0	-1.682	1.00	74206	69700	906	0	3600
19	10	0	1	0	0	0	0.00	73100	73100	0	0	0
20	11	0	1	0	0	0	0.00	73100	73100	0	0	0
5	12	1	1	-1	-1	1	1.00	76128	70008	806	0	5314
2	13	1	1	1	-1	-1	0.00	78649	73814	4836	0	0
12	14	-1	1	0	1.682	0	0.00	76746	75100	1646	0	0
4	15	1	1	1	1	-1	0.00	79908	76192	3716	0	0
11	16	-1	1	0	-1.682	0	1.00	74406	71100	1106	0	2200
14	17	-1	1	0	0	1.682	0.00	82046	76500	5546	0	0
15	18	0	1	0	0	0	0.00	73100	73100	0	0	0
1	19	1	1	-1	-1	-1	1.00	73706	65965	406	0	7335
8	20	1	1	1	1	1	0.00	85541	80235	5306	0	0

6.3.9 การอธิบายผลการทดลอง

1. ตัวแปรตอบสนอง Y_1 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด การทดลอง 20 การทดลองมีผลลัพธ์ 2 แบบคือ p=0.00 (การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด) และ p=1.00 (การแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด) เท่านั้น ในแต่ละการทดลองที่ระดับปัจจัยแตกต่างกันจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน แต่ใน 1 การทดลองที่ใช้ขนาดตัวอย่างจำนวน 8 ตัวอย่างจะให้ผลลัพธ์เหมือนกันทั้ง 8 ตัวอย่างคือ หากการทดลองใดพบการแห้งตัวของสีจะอยู่ในเวลาที่กำหนดหรือการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดก็จะมีผลลัพธ์แบบเดียวกันทั้ง 8 ตัวอย่าง

2. ตัวแปรตอบสนอง Y_3 ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ใน 1 รอบการผลิต

ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ใน 1 ตัวอย่างหรือแทนหนึ่งรอบการผลิตจำนวน 3 ชนิดคือ โคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียมแปรผันตรงกับปริมาณที่ใช้ในแต่ละการทดลอง (คำนวณจากน้ำหนักการผลิตเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ตัวแปรตอบสนอง Y_4 ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่ใน 1 รอบการผลิต

โคบอลต์มีลักษณะสีม่วงและแคลเซียมมีลักษณะสีเหลืองส่งผลกระทบต่อเฉดสี ด้วยปริมาณสารเร่งแห้งที่แตกต่างกันในแต่ละการทดลองเมื่อถูกเติมลงในสีแล้วต้องวัดค่าความแตกต่างสี DE < 0.50 ความหมายคือเฉดสีไม่เพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานถือว่าเฉดสีตรงตามมาตรฐานแล้วไม่ต้องมีการปรับแต่งเฉดสี แต่ถ้า DE > 0.50 ความหมายคือเฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานต้องแก้ไขเฉดสีโดยแต่งเฉดสีใหม่ทำให้เกิดต้นทุนวัตถุดิบแม่สีเพิ่มขึ้นจากเดิมต้นทุนแปรผันตรงกับปริมาณแม่สีที่เพิ่ม นอกจากนั้นจะเกิดค่าไฟฟ้าและค่าแรงงานเท่ากับ 50.74 บาทรวมอยู่ในต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่นี้ด้วย

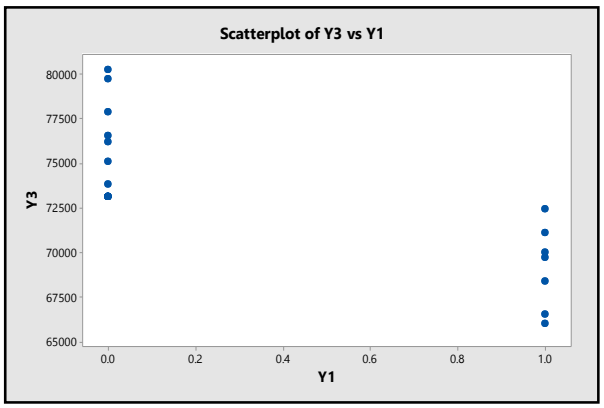
4. ตัวแปรตอบสนอง Y_5 ต้นทุนการกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแก้ไขงานใหม่ได้

จากผลการทดลอง 20 การทดลองไม่พบว่ามีระดับการทดลองใด หรือสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งใดที่ส่งผลให้ปัญหาฟิล์มสีชั้นบนเร็วเกินไปจนฟิล์มสีชั้นกลางและชั้นล่างแห้งตัวไม่สม่ำเสมอทำให้ฟิล์มสีเป็นรอยย่นต้องกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์จึงไม่เกิดต้นทุนการกำจัดทิ้งผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถแก้ไขงานใหม่ได้ ($Y_5 = 0$)

5. ตัวแปรตอบสนอง Y_6 ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ในการแก้ไขงานใหม่ หากต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเมื่อพบว่าสีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนด จากผลการทดลอง 20 การทดลองพบว่า มี 7 การทดลองที่สีแห้งตัวเกินเวลาที่กำหนดที่ต้องมีการเติมสารเร่งแห้งเพิ่ม โดยหากต้องเพิ่มจะเพิ่มเท่ากับปริมาณสารเร่งแห้งที่พบในผลการทดลองที่ใช้ปริมาณสารเร่งแห้งต่ำที่สุดแล้วทำให้ทุกรอบการผลิตมีสีแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนดซึ่งคำนวณเป็นต้นทุน Y_6 ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.16

ตัวแปรตอบสนอง Y_3, Y_4, Y_5, Y_6 รวมกันจะได้เป็นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งต่อ 1 รอบการผลิต (น้ำหนักการผลิตเฉลี่ย 2,500 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต) จากนั้นคำนวณให้เป็น 8 เท่าตามจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแต่ละการทดลอง จะได้เป็นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Y_2) ในแต่ละการทดลองที่สรุปไว้ในตารางที่ 6.17

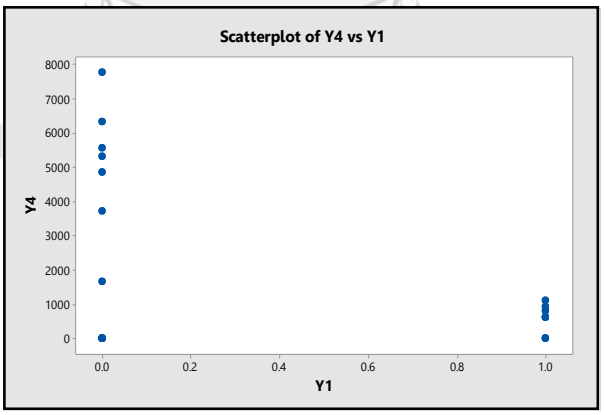
6. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดกับ Y_3 ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้ง



รูปที่ 6. 10 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_3

การทดลอง 20 การทดลองพบว่า มีจำนวน 13 การทดลอง ที่มีสัดส่วนปัญหา Y_1 = 0.00 คือ การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิต ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้ง (Y_3) แต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากันแปรผันตรงกับปริมาณสารเร่งแห้ง ด้วยปริมาณสารเร่งแห้งมาก ต้นทุนวัตถุดิบจึงมีค่ามากกว่าสัดส่วนปัญหาที่ Y_1 = 1.00 คือ การแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิตมีจำนวน 7 การทดลอง ด้วยปริมาณสารเร่งแห้งน้อยการแห้งตัวของสีจึงเกินเวลาที่กำหนด โดยต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้ง (Y_3) แต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากันแปรผันตรงกับปริมาณสารเร่งแห้งเช่นกัน

7. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดกับ Y_4 ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่



รูปที่ 6. 11 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_4

การทดลอง 20 การทดลองพบว่า มีจำนวน 13 การทดลองที่มีสัดส่วนปัญหา Y_1 = 0.00 คือ การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิต แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกมี 6 การทดลองที่ระดับปริมาณสารเร่งแห้งทำให้สีแห้งตัวได้แล้วเฉดสีไม่เพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานจึงไม่มี

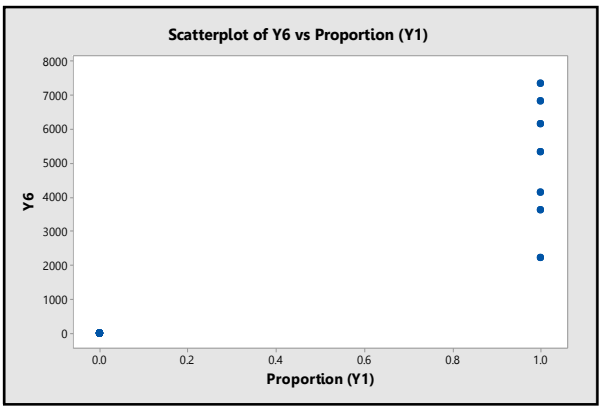
ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4 = 0) และกลุ่มที่สองมี 7 การทดลองที่ระดับของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งทำให้สีแห้งตัวได้แต่ทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐาน จึงมีต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4 > 0) ซึ่งแต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน ปริมาณโคบอลต์มีลักษณะเป็นสีม่วงเข้มและแคลเซียมมีลักษณะเป็นสีเหลืองที่มากทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานมากกว่าที่ปริมาณน้อยกว่า ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4) จึงแปรผันตรงกับปริมาณและชนิดของแม่สีที่ใช้ปรับเฉดสีให้ใกล้เคียงกับเฉดสีมาตรฐาน

เมื่อสัดส่วนปัญหา Y_1 = 1.00 คือ การแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิตมีจำนวน 7 การทดลอง แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกมี 2 การทดลองที่ระดับปริมาณสารเร่งแห้งทำให้สีแห้งตัวช้าเกินเวลาที่กำหนด แต่หลังจากที่แห้งเฉดสีไม่ได้เพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานจึงไม่มีต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4 = 0) และกลุ่มที่สองมี 5 การทดลองที่ระดับปริมาณสารเร่งแห้งทำให้สีแห้งตัวช้าเกินเวลาที่กำหนด แต่หลังจากที่แห้งเฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐาน จึงมีต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4 > 0) ซึ่งแต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน ปริมาณแคลเซียมมีลักษณะเป็นสีเหลืองที่มากทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานมากกว่าที่ปริมาณน้อยกว่า ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4) จึงแปรผันตรงกับปริมาณแม่สีและชนิดของแม่สีที่ใช้ปรับเฉดสีให้ใกล้เคียงกับเฉดสีมาตรฐาน

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_4 ที่ Y_1 = 1.00 คือ การแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิตเพราะใช้ปริมาณสารเร่งแห้งต่ำกว่าปริมาณที่เหมาะสม โคบอลต์และแคลเซียมที่ปริมาณส่งผลให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดมาตรฐานมีน้อย ใช้แม่สีในการแก้ไขปริมาณน้อย ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4) จึงต่ำกว่าและความผันแปรของต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4) น้อยกว่าที่ Y_1 = 0.00 คือ การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิตเพราะใช้ปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมแล้วหรือมากเกินความจำเป็นไปแล้ว โคบอลต์และแคลเซียมที่มีปริมาณมากขึ้น ใช้แม่สีในการแก้ไขปริมาณมากน้อยไม่เท่ากันและแม่สีที่เลือกใช้แต่ละชนิดในการแก้ไขราคาสูงต่ำไม่เท่ากัน ต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดใหม่ (Y_4) ที่ Y_1 = 0.00 จึงมีความผันแปรมากกว่าที่ Y_1 = 1.00

8. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดกับ Y_6 ต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งที่ใช้ใน 1 รอบการผลิตหากต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเมื่อการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6. 12 กราฟการกระจายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง Y_1 กับ Y_6

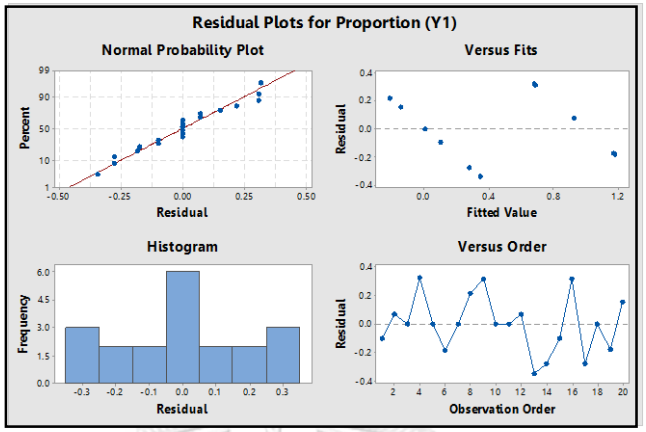
การทดลอง 20 การทดลองพบว่า มีจำนวน 7 การทดลองที่ Y_1 = 1.00 คือ การแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดทุกรอบการผลิต ทำให้ต้องมีการแก้ไขงานใหม่โดยการเติมสารเร่งแห้งเท่ากับระดับการทดลองที่ทำให้สีแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนดโดยมีต้นทุนสารเร่งแห้งต่ำที่สุด จึงมีต้นทุนการแก้ไขงานใหม่เกิดขึ้นซึ่งแต่ละการทดลองมีค่าไม่เท่ากันแปรผันตรงกับผลต่างปริมาณสารเร่งแห้งแต่ละชนิดที่เติมเพิ่มให้เท่ากับระดับการทดลองที่ทำให้สีแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนด

6.3.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

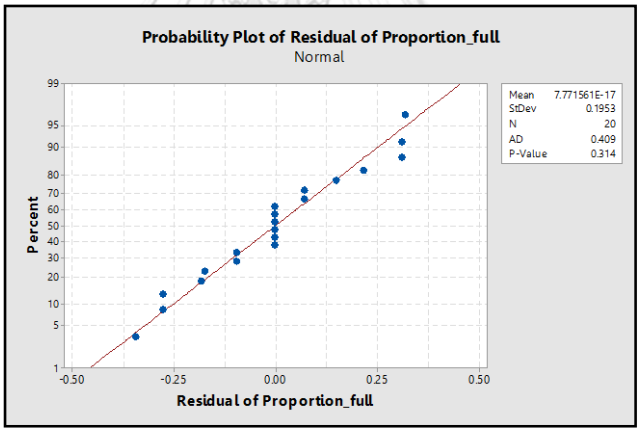
การวิเคราะห์ผลการทดลองจากตารางที่ 6.25 สรุปผลการทดลองจะใช้ผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab ประกอบด้วย การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อดูความเหมาะสมของแบบจำลองที่ได้จากผลการทดลอง โดยตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของส่วนตกค้างเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) หรือไม่ ในงานวิจัยนี้จะทดสอบจากค่าตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Proportion) และต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost) ด้วยการทดสอบสมมติฐาน 3 ข้อก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลองหากข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดจากนั้นจึงจะทำการวิเคราะห์วิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และนำไปสู่การวิเคราะห์หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมต่อตัวแปรตอบสนอง

6.3.10.1 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Proportion) ของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ (Full model)

6.3.10.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



รูปที่ 6. 13 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 6. 14 กราฟความน่าจะเป็นค่าส่วนตกค้างของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ

การตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้างตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ จากการทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 6.14 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.314 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการทำการทดลอง (Observation Order) ตามรูปที่ 6.13 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระ

3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าฟิต (Fitted Value) ตามรูปที่ 6.13 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่า ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อคือ จึงเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2)

6.3.10.1.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

Response Surface Regression: Proportion (Y1) versus A, B, C

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3.82513	0.42501	5.86	0.005
Linear	3	2.77806	0.92602	12.77	0.001
A	1	2.36385	2.36385	32.61	0.000
B	1	0.20711	0.20711	2.86	0.122
C	1	0.20711	0.20711	2.86	0.122
Square	3	1.04706	0.34902	4.81	0.025
A*A	1	0.41833	0.41833	5.77	0.037
B*B	1	0.41833	0.41833	5.77	0.037
C*C	1	0.41833	0.41833	5.77	0.037
2-Way Interaction	3	0.00000	0.00000	0.00	1.000
A*B	1	0.00000	0.00000	0.00	1.000
A*C	1	0.00000	0.00000	0.00	1.000
B*C	1	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Error	10	0.72487	0.07249		
Lack-of-Fit	5	0.72487	0.14497	*	*
Pure Error	5	0.00000	0.00000		
Total	19	4.55000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.269235	84.07%	69.73%	0.00%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		0.001	0.110	0.01	0.993	
A	-0.8321	-0.4160	0.0729	-5.71	0.000	1.00
B	-0.2463	-0.1231	0.0729	-1.69	0.122	1.00
C	-0.2463	-0.1231	0.0729	-1.69	0.122	1.00
A*A	0.3408	0.1704	0.0709	2.40	0.037	1.02
B*B	0.3408	0.1704	0.0709	2.40	0.037	1.02
C*C	0.3408	0.1704	0.0709	2.40	0.037	1.02
A*B	-0.0000	-0.0000	0.0952	-0.00	1.000	1.00
A*C	-0.0000	-0.0000	0.0952	-0.00	1.000	1.00
B*C	0.0000	0.0000	0.0952	0.00	1.000	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Proportion (Y1) = 133.4 - 32.4 A - 147.6 B - 9.9 C + 17.70 A*A + 48.2 B*B + 4.17 C*C
- 0.0 A*B - 0.00 A*C + 0.00 B*C

รูปที่ 6. 15 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบพบว่า มีเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจำนวน 4 เทอมได้แก่ A, AA, BB และ CC เทอมของปัจจัยนำเข้าที่ไม่มีนัยสำคัญจำนวน 5 เทอม ได้แก่ B, C, AB, AC และ BC ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสมการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-Sq) เท่ากับ 84.07% และมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว (R-Sq (adj)) เท่ากับ 69.73%

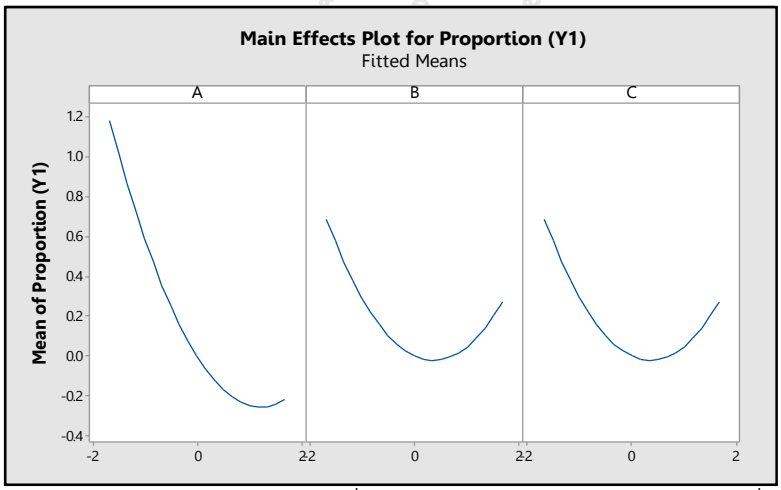
6.3.10.1.3 การวิเคราะห์ผลกระทบหลักของปัจจัย (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ได้แก่

A, AA: ผลกระทบหลักของปัจจัยปริมาณโคบอลต์ และเทอมกำลังสองของปริมาณโคบอลต์

BB: ผลกระทบหลักของเทอมกำลังสองของปริมาณเซอร์โคเนียม

CC: ผลกระทบหลักของเทอมกำลังสองของปริมาณแคลเซียม

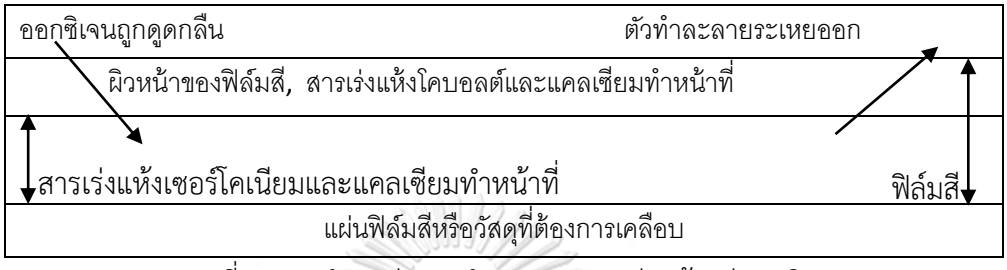
การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองจะใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์ผลกระทบหลักจำนวน 1 เทอมได้แก่ A และเทอมกำลังสองของปัจจัย (Quadratic Effect) จำนวน 3 เทอมได้แก่ AA, BB และ CC โดยไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย สำหรับในเทอมกำลังสองของปัจจัยและผลกระทบหลักของแต่ละปัจจัยอธิบายด้วยกราฟแสดงผลกระทบหลัก (Main Effect Plot) ที่มีผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 6.16



รูปที่ 6. 16 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด

ปฏิกิริยาเร่งการแห้งตัวของสีด้วยสารเร่งแห้ง

การเร่งปฏิกริยาการแห้งตัวของสีด้วยสารเร่งแห้งแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจะแสดงตำแหน่งการทำหน้าที่ของสารเร่งแห้งแต่ละชนิด ดังแสดงในรูปที่ 6.17 และอธิบายกระบวนการแห้งตัวของสีน้ำมัน ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 6. 17 ตำแหน่งการทำงานของสารเร่งแห้งแต่ละชนิด

การแห้งตัวของสีน้ำมันหรือสีเคลือบแอลคีดเรซินเกิดจากกลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลคีดเรซินและปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของแอลคีดเรซิน แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กระบวนการแห้งตัวของแอลคีดเรซิน โดยการออกซิไดส์เอง (Autoxidation)

ในกระบวนการออกซิไดส์เองของแอลคีดเรซิน ออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงหมู่เมทิลีนที่อยู่ตำแหน่งพันธะคู่ เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์

$$-CH_2-CH=CH-CH_2 + O_2 \text{ ------> } -CH_2-CH=CH-HCOOH-$$

ขั้นตอนที่ 2 : การเกิดฟิล์ม (Film formation) สารประกอบเปอร์ออกไซด์จากขั้นตอนที่ 1 จะทำปฏิกิริยากันเองเกิดเป็นโมเลกุลที่ซับซ้อนเชื่อมกันอยู่โดยพันธะเคมี โดยมีกลไกเป็นแบบฟรีแรดิคัล (Free radical) ดังนี้

- ขั้นเริ่มต้น (Initiation) แอลคีดเรซินทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์และจะสลายตัวให้ฟรีแรดิคัล

$$R-CH=CH-CH_2-R + O_2 \text{ ------> } R-CH=CH-HCOOH-R + {}^{\cdot}R^1$$

- ขั้นแผ่ขยาย (Propagation) ฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้นจากขั้นเริ่มต้น จะเข้าทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่ของโมเลกุลอื่น ๆ ของแอลคีดเรซิน เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่กว่าเดิมโดยมีฟรีแรดิคัลอยู่ที่ปลายของโมเลกุลเกิดปฏิกิริยาไปเรื่อย ๆ

$${}^{\cdot}R^1 + R-CH=CH-R \text{ ------> } R^1-RCH={}^{\cdot}CH-R + R-CH=CH-R \text{ ------> } R^1-RCH-RCH-RCH-{}^{\cdot}CH-R$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ขั้นสิ้นสุด (Termination) ฟรีแรดิคัลที่ปลายโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น จะเข้ารวมตัวกันเอง ได้เป็นฟิล์มแห้งแข็งที่มีโครงสร้างแน่นหนา จากนั้นฟรีแรดิคัลที่เกิดขึ้น จะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่อื่น ๆ ของแอลคีดเรซินต่อไป

$$R^{\cdot} + {}^{\cdot}R \text{ ------> } R\text{-}R$$

ขั้นตอนที่ 3 : กระบวนการแห้งตัวของแอลคีดเรซินโดยการเพิ่มขนาดโมเลกุลและทิ้งไว้ให้บ่มตัว (Aging) โดยไฮโดรเปอร์ออกไซด์ที่เกิดจากขั้นตอนแรกของการแห้งตัวของแอลคีดเรซินจะไม่เสถียร สลายตัวเป็นฟรีแรดิคัล จะเข้าทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของแอลคีดเรซินไปเรื่อย ๆ เกิดเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นและยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะต่างกัน

(1) ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะคาร์บอน – คาร์บอน

$$RC^{\cdot} + {}^{\cdot}CR \text{ ------> } RC\text{-}CR$$

(2) ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะอีเทอร์

$$RC\text{-}O^{\cdot} + {}^{\cdot}CR \text{ ------> } RC\text{-}O\text{-}CR$$

(3) ยึดเหนี่ยวด้วยพันธะเปอร์ออกไซด์

$$RC\text{-}O^{\cdot} + {}^{\cdot}O\text{-}CR \text{ ------> } RC\text{-}O\text{-}O\text{-}CR$$

$$RC\text{-}O\text{-}O^{\cdot} + {}^{\cdot}CR \text{ ------> } RC\text{-}O\text{-}O\text{-}CR$$

$$RC\text{-}O\text{-}O^{\cdot} + {}^{\cdot}O\text{-}O\text{-}CR \text{ ------> } RC\text{-}O\text{-}O\text{-}CR + O_2$$

ปัจจัยสารเร่งแห้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างกันจึงมีผลต่อการแห้งตัวของสีน้ำมันดังนี้

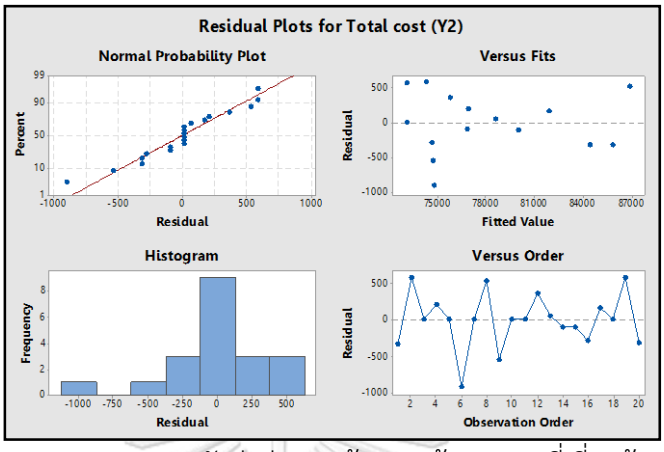
1) ผลกระทบของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ (A) ต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ระดับต่ำปริมาณโคบอลต์น้อยส่งผลให้พบสัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีสูง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับจากต่ำมาสูงปริมาณโคบอลต์มากขึ้นทำให้พบค่าเฉลี่ยสัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีลดลง โดยที่ช่วงระดับ -2 ถึง 0 ปริมาณโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการรับออกซิเจนในอากาศที่อยู่บริเวณผิวหน้าสีได้มากขึ้น ทำให้เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลคีดเรซินในสีเกิดเป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ตามกลไลการแห้งตัวในขั้นตอนที่ 1 และเร่งการสลายตัวของสารประกอบเปอร์ออกไซด์เป็นฟรีแรดิคัลในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งปริมาณโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้น ฟรีแรดิคัลของสารประกอบเปอร์ออกไซด์เกิดเร็วขึ้น นำไปสู่การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเร็วขึ้น สีที่มีสถานะเป็นของเหลวแห้งตัวเกิดฟิล์มสีได้เร็วสัดส่วนปัญหาจึงลดลงอย่างรวดเร็ว และช่วงระดับ 0 ถึง 2 ปริมาณโคบอลต์มีเพียงพอที่จะรับออกซิเจนเพื่อทำให้เกิดการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดได้แล้ว ปริมาณโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้นจากระดับ 0 หรือมากกว่านั้นการแห้งตัวของสีก็อยู่ในเวลาที่กำหนดเช่นเดิม สัดส่วนปัญหาช่วงระดับ 0 ถึง 2 จึงไม่เปลี่ยนแปลง

2) ผลกระทบของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งเซอร์โคเนียม (B) ต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ระดับต่ำปริมาณเซอร์โคเนียมน้อยส่งผลให้พบสัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีสูง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับจากต่ำมาสูงปริมาณเซอร์โคเนียมมากขึ้นทำให้พบค่าเฉลี่ยสัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีลดลง โดยที่ช่วงระดับ -2 ถึง 0 ปริมาณเซอร์โคเนียมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเร่งการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันฟรีแรดิคัลของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในสีจำนวนมากเข้าเชื่อมโยงกันเป็นสายพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ตามกลไลการแห้งตัวในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเซอร์โคเนียมที่เพิ่มขึ้น ฟรีแรดิคัลของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ถูกเชื่อมโยงกันเป็นสายพอลิเมอร์ขนาดใหญ่เร็วขึ้น สีที่มีสถานะเป็นของเหลวจะแห้งตัวเกิดฟิล์มสีได้เร็วสัดส่วนปัญหาจึงลดลง และช่วงระดับ 0 ถึง 2 พบเส้นโค้งมีจุดวกกลับนั่นคือมีสัดส่วนปัญหาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากเซอร์โคเนียมที่มากเกินไปทำให้ฟรีแรดิคัลของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ในแอลคีดเรซินเกิดการเคลื่อนย้ายองค์ประกอบภายในทำให้การเชื่อมกันเป็นสายพอลิเมอร์ขนาดใหญ่จะช้า ทำให้การแห้งตัวของสีจะช้าลง

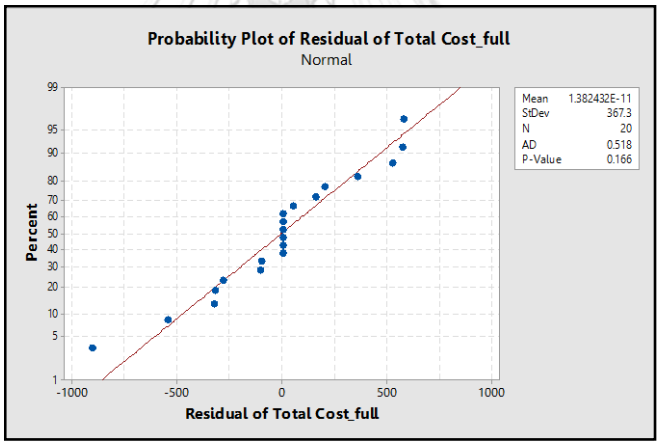
3) ผลกระทบปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งแคลเซียม (C) ต่อสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ระดับต่ำปริมาณแคลเซียมน้อยส่งผลให้พบสัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีสูง แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับจากต่ำมาสูงปริมาณแคลเซียมมากขึ้นทำให้พบค่าเฉลี่ยสัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีลดลง โดยที่ช่วงระดับ -2 ถึง 0 ปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้นจะไปทำงานร่วมกับโคบอลต์ที่ผิวหน้าของสี แคลเซียมมีหน้าที่รักษาความเสถียรของช่องผิวหน้าสีนำออกซิเจนในอากาศที่อยู่บริเวณผิวหน้าสีเข้าสู่ชั้นล่างสุดของฟิล์มสีไปเร่งเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันคล้ายกับโคบอลต์และเป็นช่องทางตัวทำละลายระเหยออกจากฟิล์มสีได้ง่ายทำให้ในชั้นล่างสุดของฟิล์มสีปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น ฟรีแรดิคัลของสารประกอบเปอร์ออกไซด์เกิดเร็วขึ้น ตัวทำละลายระเหยออกจากสีได้มากขึ้น สีที่มีสถานะเป็นของเหลวจะแห้งตัวเกิดฟิล์มสีได้เร็ว สัดส่วนปัญหาจึงลดลง และช่วงระดับ 0 ถึง 2 พบเส้นโค้งมีจุดวกกลับนั่นคือมีสัดส่วนปัญหาเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากปริมาณแคลเซียมที่มากเกินไปจะให้ผลในทางลบคือ ช่องผิวหน้าสีนอกจากนำออกซิเจนสู่ชั้นล่างสุดของฟิล์มสีแล้วยังนำน้ำจากอากาศเข้ามาด้วย ตามสมการเคมีที่แสดง $Ca + O_2 + H_2O = H_2 + Ca(OH)_2$ ทำให้ฟิล์มสีมีน้ำเข้ามาในระบบ การแห้งตัวของสีจึงช้าลง

6.3.10.2 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost) ของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ (Full model)

6.3.10.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



รูปที่ 6. 18 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 6. 19 กราฟความน่าจะเป็นค่าส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ

การตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้างตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ จากการทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 6.19 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.166 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการทำการทดลอง (Observation Order) ตามรูปที่ 6.18 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระ
3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าฟิต (Fitted Value) ตามรูปที่ 6.18 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่า ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อคือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนคงที่ จึงเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2)

6.3.10.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

Regression Analysis: Total cost (Y2) versus A, B, C

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	398828302	44314256	172.92	0.000
A	1	177276863	177276863	691.75	0.000
B	1	5606977	5606977	21.88	0.001
C	1	61475386	61475386	239.88	0.000
A*A	1	108990099	108990099	425.29	0.000
B*B	1	12874258	12874258	50.24	0.000
C*C	1	49148464	49148464	191.78	0.000
A*B	1	26268	26268	0.10	0.755
A*C	1	5286621	5286621	20.63	0.001
B*C	1	800	800	0.00	0.957
Error	10	2562739	256274		
Lack-of-Fit	5	2562739	512548	*	*
Pure Error	5	0	0		
Total	19	401391042			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
506.235	99.36%	98.79%	95.15%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	73089	206	354.00	0.000	
A	3603	137	26.30	0.000	1.00
B	641	137	4.68	0.001	1.00
C	2122	137	15.49	0.000	1.00
A*A	2750	133	20.62	0.000	1.02
B*B	945	133	7.09	0.000	1.02
C*C	1847	133	13.85	0.000	1.02
A*B	57	179	0.32	0.755	1.00
A*C	813	179	4.54	0.001	1.00
B*C	-10	179	-0.06	0.957	1.00

Regression Equation

Total cost (Y2) = 73089 + 3603 A + 641 B + 2122 C + 2750 A*A + 945 B*B + 1847 C*C + 57 A*B + 813 A*C - 10 B*C

รูปที่ 6. 20 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ พบว่า มีเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจำนวน 7 เทอมได้แก่ A, B, C, AA, BB, CC และ AC เทอมของปัจจัยนำเข้าที่ไม่มีนัยสำคัญจำนวน 2 เทอมได้แก่ AB และ BC ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสมการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R-Sq) เท่ากับ 99.36 % และมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว (R-Sq (adj)) เท่ากับ 98.79%

6.3.10.3 การหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

การหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตอบสนอง พิจารณาสมการที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการเพื่อให้ได้สมการที่เหมาะสมที่สุดมีวิธีการดังนี้

1. วิธีการคัดเลือกแบบไปข้างหน้า (Forward selection) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการทีละตัวเริ่มต้นจากตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองมากที่สุดก่อน ตัวแปรอิสระที่เข้าสมการก็จะถูกทดสอบนัยสำคัญทางสถิติในการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนอง เพิ่มตัวแปรอิสระไปเรื่อย ๆ จนไม่เหลือ

2. วิธีการคัดเลือกแบบย้อนกลับ (Backward elimination) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการทีละตัวแปร เริ่มต้นจากสมการการถดถอยเต็มรูปแบบแล้วคัดออกทีละตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองน้อยที่สุดก่อน แล้วทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรอิสระที่เหลือในสมการในการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนอง

3. วิธีการคัดเลือกแบบขั้นบันได (Stepwise regression) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าและออกจากสมการร่วมกัน เริ่มต้นจากตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองมากที่สุดเข้าเป็นสมการแรกและทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระใหม่เข้าสมการจะถูกทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของตัวแปรอิสระทุกตัวที่อยู่ในสมการก่อนหน้านั้นว่ามีนัยสำคัญหรือไม่ ถ้าตัวแปรอิสระไม่มีนัยสำคัญจะถูกคัดเลือกออกก่อนแล้วค่อยคัดเลือกตัวแปรอิสระลำดับถัดไปเข้าสมการ จะหยุดหากพบว่าตัวแปรอิสระนั้นไม่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

4.วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด (Best Subset Regression) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระทั้งหมดที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนอง แสดงออกมาเป็นสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วคัดเลือกสมการที่มีตัวแปรอิสระเท่าที่จำเป็นและให้ผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนองเป็นที่น่าพอใจภายใต้เกณฑ์การประเมินการพิจารณาหาเลือกสมการถดถอย

เกณฑ์สำหรับประเมินและเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละสมการถดถอยมีดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R Square: R^2) เป็นค่าที่อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตอบสนองในสมการถดถอย มีค่าระหว่าง $0 \leq R^2 \leq 1$ หากค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจมีค่าสูงสุดจะถูกพิจารณาให้เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุด สูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.5

$$R^2 = SS_R/SS_T = 1- SS_E/SS_T \quad (6.5)$$

โดย SS_R = ผลบวกกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตและค่าทำนาย (Sum of Squared Regression)

SS_E = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Error)

SS_T = ผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Squared)

2. ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแก้แล้ว (Adjusted R Square: R^2_{adj}) เป็นค่าที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบความสามารถในการอธิบายสมการถดถอยที่มีจำนวนตัวแปรอิสระแตกต่างกัน ค่าจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวแปรอิสระที่เพิ่มเข้าสมการทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error) ลดลง ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแก้แล้วสำคัญในการวิเคราะห์สำหรับการลดหรือเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการและสามารถเปรียบเทียบประเมินสมการถดถอยที่มีจำนวนเทอมแตกต่างกัน โดยสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแก้แล้วสูงสุดนั่นคือมีค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำสุดจะถูกพิจารณาให้เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุด สูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.6

$$R^2_{adj} = 1- [SS_E/(n-p)]/[SS_T/(n-1)] \quad (6.6)$$

โดย SS_E = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Squared Error)

SS_T = ผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Squared)

n = จำนวนค่าสังเกต (Number of observation)

p = จำนวนเทอมค่าคงที่และตัวแปรอิสระในสมการ (Number of term in model)

3. ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนาย (Predicted R Square: R^2_{pred}) เป็นค่าที่ใช้สำหรับประเมินและเปรียบเทียบความสามารถของสมการถดถอยในพยากรณ์ค่าตัวแปรตอบสนอง พิจารณาจากค่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Prediction Error Sum of Squared: PRESS) ระหว่างค่าสังเกตและค่าฟิตในแต่ละการสังเกต ดังนั้นหากค่า PRESS มีค่าต่ำค่า R^2_{pred} ก็มีค่าต่ำ จึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายสำหรับประเมินสมการถดถอยสามารถพยากรณ์ค่าตัวแปรตอบสนองที่เป็นข้อมูลใหม่หรือข้อมูลที่ไม่ได้นำมาใช้ในการสร้างสมการถดถอยได้ดีเพียงใด โดยสมการถดถอยที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการทำนายสูงสุดจะถูกพิจารณาให้เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุด สูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$R^2_{pred} = 1 - PRESS/SS_T \quad (6.7)$$

โดย PRESS = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Prediction Error Sum of Squared)

SS_T = ผลบวกกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Squared)

4. ค่ามอลล์โลส์ซีพี (Mellow' Cp) เป็นค่าที่ใช้สำหรับอธิบายค่าผลบวกค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยทั้งหมด (Total Mean Square Error) สำหรับสมการถดถอย การพิจารณาคัดเลือกตัวแปรอิสระของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่า Cp ต่ำและใกล้เคียงกับค่า p ซึ่งค่า Cp พิจารณาความแปรปรวนและความเอนเอียงของค่าทำนาย สูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.8

$$Cp = [SSE_p/MSE] - n + 2p \quad (6.8)$$

โดย SSE_p = ผลบวกกำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการที่พิจารณา (Sum of Squared Error in model consideration)

MSE = ค่ากำลังสองเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนของสมการเต็มรูปแบบ (Mean Squared Error of full model)

n = จำนวนค่าสังเกต (Number of observation)

p = จำนวนเทอมค่าคงที่และตัวแปรอิสระในสมการ (Number of term in model)

5. ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) เมื่อค่า p เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนลดลง โดยจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนลดช้าลงและอาจกลับเพิ่มขึ้นสูงได้ถ้าเพิ่มจำนวนตัวแปรอิสระเข้าไปในสมการไม่เพียงพอการสูญเสียองศาเสรี โดยสมการถดถอยที่มีจำนวนตัวแปรอิสระที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยน้อยที่สุดจะถูกพิจารณาให้เป็นสมการที่เหมาะสมที่สุด สูตรการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.9

$$MSE = SSEp/(n-p) \quad (6.9)$$

โดย SSE_p = ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนของสมการที่พิจารณา (Sum of Squared Error in model consideration)

n = จำนวนค่าสังเกต (Number of observation)

p = จำนวนค่าคงที่และตัวแปรอิสระในสมการ (Number of term in model)

สำหรับในโปรแกรม Minitab จะแสดงเป็นค่า $s = \sqrt{MSE}$

การหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด (Best Subset Regression) โดยพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วคัดเลือกสมการลดรูปที่มีความสามารถในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยใช้เกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงที่สุดส่วนเกณฑ์ค่ามอลล์โลส์ซีพีผู้วิจัยไม่ได้พิจารณาเนื่องจากเกณฑ์นี้เหมาะสมที่จะพิจารณาความแปรปรวนกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบสมการถดถอยที่มีจำนวนตัวแปรอิสระเท่ากันเท่านั้น จะได้สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดเมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งที่มีผลกระทบจากสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดรวมอยู่แล้ว

6.3.10.4 การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost) ของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด

6.3.10.4.1 การพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุด

Best Subsets Regression: Total cost (Y2) versus A, B, ...

Response is Total cost (Y2)

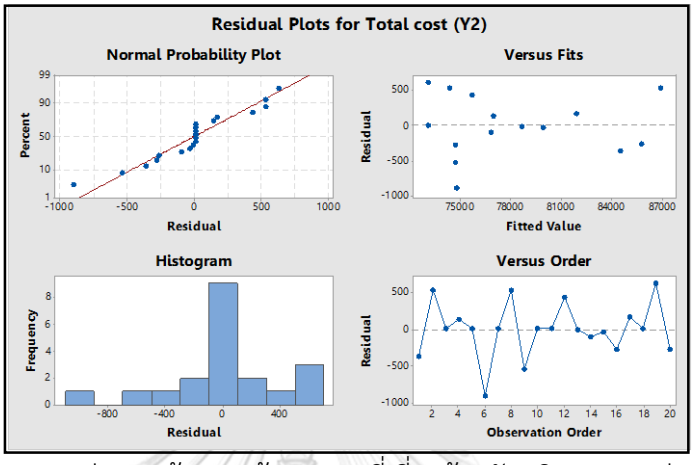
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	R-Sq (pred)	Mallows Cp	S	A	B	C	A	B	C	A	A	B	C	C
1	44.2	41.1	29.6	858.5	3528.6	X										
1	22.8	18.5	0.0	1193.0	4148.8				X							
2	67.0	63.1	53.0	503.2	2792.4	X			X							
2	59.5	54.7	45.1	620.6	3093.1	X		X								
3	82.3	79.0	67.5	265.4	2107.7	X		X	X							
3	78.1	74.0	58.5	330.7	2343.0	X			X			X				
4	93.4	91.7	87.0	92.8	1325.6	X		X	X			X				
4	84.4	80.2	66.8	234.4	2043.4	X		X	X	X						
5	96.6	95.4	92.0	44.6	981.38	X		X	X	X	X					
5	94.8	93.0	87.0	73.0	1217.5	X	X	X	X			X				
6	98.0	97.1	94.4	24.7	778.38	X	X	X	X	X	X					
6	98.0	97.0	93.5	26.0	794.05	X		X	X	X	X		X			
7	99.4	99.0	96.8	6.1	464.56	X	X	X	X	X	X		X			
7	98.0	96.9	92.9	26.6	808.81	X	X	X	X	X	X	X				
8	99.4	98.9	96.3	8.0	482.75	X	X	X	X	X	X	X	X			
8	99.4	98.9	96.3	8.1	485.14	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
9	99.4	98.8	95.1	10.0	506.24	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

รูปที่ 6. 21 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง

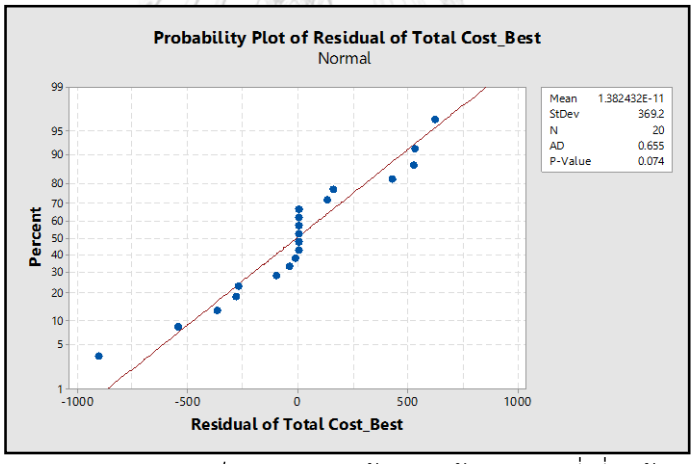
พิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้เกณฑ์การพิจารณาที่กำหนดพบว่า ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในโปรแกรม (s) มีค่าเท่ากับ 464.56 เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วมีค่าเท่ากับ 99.0% เป็นค่าที่สูงที่สุด ดังนั้น

สมการที่ตัดสินใจเลือกมีเทอมปัจจัยนำเข้าคือ A, B, C, AA, BB, CC และ AC เป็นสมการถดถอยในการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองเป็นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง

6.3.10.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง



รูปที่ 6. 22 กราฟส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 6. 23 กราฟความน่าจะเป็นค่าส่วนตกค้างของต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด

การตรวจสอบสมมติฐานของข้อมูลต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้างตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ จากการทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 6.23 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.074 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการทำการทดลอง (Observation Order) ตามรูปที่ 6.22 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระ
3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าฟิต (Fitted Value) ตามรูปที่ 6.22 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่า ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อคือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนคงที่ จึงเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) ของการออกแบบการทดลอง ดังนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

6.3.10.4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

Regression Analysis: Total cost (Y2) versus A, B, C

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	398801235	56971605	263.98	0.000
A	1	177276863	177276863	821.42	0.000
B	1	5606977	5606977	25.98	0.000
C	1	61475386	61475386	284.85	0.000
A*A	1	108990099	108990099	505.01	0.000
B*B	1	12874258	12874258	59.65	0.000
C*C	1	49148464	49148464	227.73	0.000
A*C	1	5286621	5286621	24.50	0.000
Error	12	2589807	215817		
Lack-of-Fit	7	2589807	369972	*	*
Pure Error	5	0	0		
Total	19	401391042			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
464.561	99.35%	98.98%	96.77%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	73089	189	385.76	0.000	
A	3603	126	28.66	0.000	1.00
B	641	126	5.10	0.000	1.00
C	2122	126	16.88	0.000	1.00
A*A	2750	122	22.47	0.000	1.02
B*B	945	122	7.72	0.000	1.02
C*C	1847	122	15.09	0.000	1.02
A*C	813	164	4.95	0.000	1.00

Regression Equation

Total cost (Y2) = 73089 + 3603 A + 641 B + 2122 C
+ 2750 A*A + 945 B*B + 1847 C*C + 813 A*C

รูปที่ 6. 24 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ส่งผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดพบว่า มีเทอมของปัจจัยนำเข้าจำนวน 7 เทอมได้แก่ A, B, C, AA, BB, CC และ AC สมการถดถอยมีค่าค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยในโปรแกรม (s) มีค่าเท่ากับ 464.561 และมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว (R-Sq (adj)) เท่ากับ 98.98% จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วจากสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดมีค่าสูงกว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ ซึ่งสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจะถูกนำไปใช้ต่อในการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองคือ ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง ดังแสดงในสมการที่ 6.10

$$\text{Total cost (Y2)} = 73089 + 3603\,A + 641\,B + 2122\,C + 2750\,A^*A + 945\,B^*B + 1847\,C^*C + 813\,A^*C \quad (6.10)$$

6.3.10.4.4 การวิเคราะห์ผลกระทบหลักของปัจจัย (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย (Interaction Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่

A, AA: ผลกระทบหลักของปัจจัยปริมาณโคบอลต์ และเทอมกำลังสองของปริมาณโคบอลต์

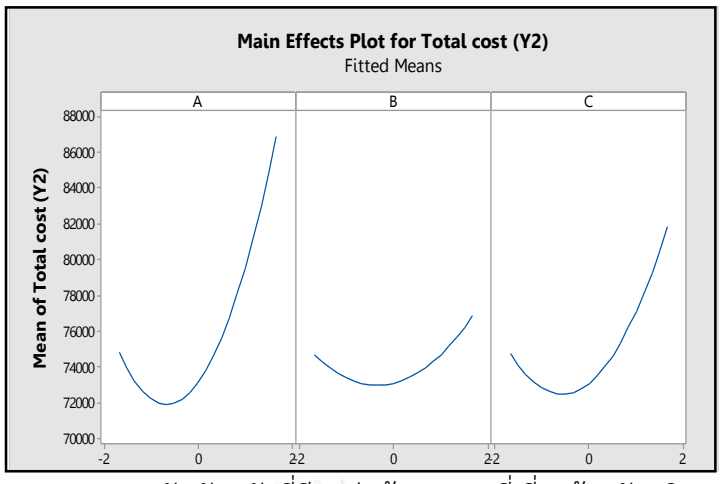
B, BB: ผลกระทบหลักของปัจจัยปริมาณเซอร์โคเนียม และเทอมกำลังสองของปริมาณเซอร์โคเนียม

C, CC: ผลกระทบหลักของปัจจัยปริมาณแคลเซียม และเทอมกำลังสองของปริมาณแคลเซียม

AC: ผลกระทบร่วมของปัจจัยปริมาณโคบอลต์และปัจจัยปริมาณแคลเซียม

การวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองจะใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์ผลกระทบหลักจำนวน 3 เทอมได้แก่ A, B และ C และเทอมกำลังสองของปัจจัยจำนวน 3 เทอมได้แก่ AA, BB และ CC อธิบายด้วยกราฟแสดงผลกระทบหลัก (Main Effect Plot) และผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัย 2 เทอมคือ AC อธิบายด้วยกราฟพื้นผิวผลตอบ (Surface Plot) ดังที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 6.23 และ 6.24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6. 25 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง

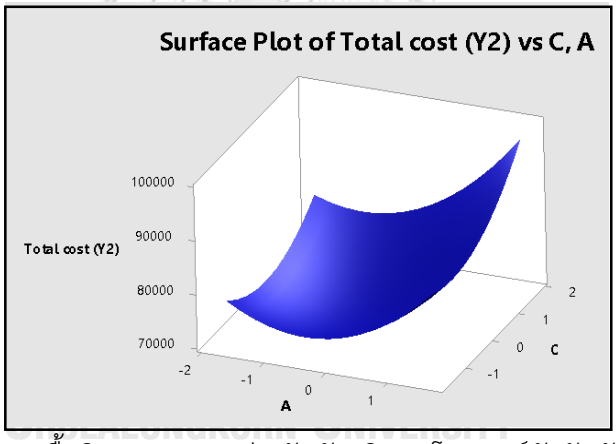
ปัจจัยสารเร่งแห้งแต่ละชนิดมีต้นทุนวัตถุดิบที่แตกต่างกันจึงมีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งดังนี้

1) ผลกระทบของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ (A) ต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ระดับต่ำปริมาณโคบอลต์น้อยต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจะต่ำ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับจากต่ำมาสูงปริมาณโคบอลต์มากขึ้นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจึงสูงขึ้น โดยที่ช่วงระดับ -2 ถึง 0 ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งมีค่าสูงขึ้นตามราคาต้นทุนวัตถุดิบโคบอลต์ที่แปรผันตรงกับปริมาณโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังมีต้นทุนวัตถุดิบโคบอลต์ที่เกิดจากการแก้ไขงานใหม่เพื่อให้สีที่แห้งตัวช้ามีการแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนดรวมอยู่ด้วย และช่วงระดับ 0 ถึง 2 ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสูงขึ้นมาก เนื่องจากโคบอลต์มีสีม่วงเข้มถ้าเติมปริมาณมากจะทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานต้องมีการปรับเฉดสีด้วยการเติมแม่สีเพิ่มทำให้เกิดต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่รวมอยู่ด้วย

2) ผลกระทบของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งเซอร์โคเนียม (B) ต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ระดับต่ำปริมาณเซอร์โคเนียมน้อยต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจะต่ำ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับจากต่ำมาสูงปริมาณเซอร์โคเนียมมากขึ้นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจึงสูงขึ้น โดยที่ช่วงระดับ -2 ถึง 0 ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งมีค่าสูงขึ้นตามราคาต้นทุนวัตถุดิบเซอร์โคเนียมที่แปรผันตรงกับปริมาณเซอร์โคเนียมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังมีต้นทุนวัตถุดิบเซอร์โคเนียมที่เกิดจากการแก้ไขงานใหม่เพื่อให้สีที่แห้งตัวช้ามีการแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนดรวมอยู่ด้วย และช่วงระดับ 0 ถึง 2 สำหรับเซอร์โคเนียมมีสีใสเติมมากขึ้นไม่ได้มีผลทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานจึงไม่มีต้นทุน

การแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่ ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจึงเป็นต้นทุนวัตถุดิบเซอร์โคเนียมเท่านั้น

3) ผลกระทบหลักปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งแคลเซียม (C) ต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ ที่ระดับต่ำปริมาณแคลเซียมน้อยต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจะต่ำ แต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับจากต่ำมาสูงปริมาณแคลเซียมมากขึ้นต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจึงสูงขึ้น โดยที่ช่วงระดับ -2 ถึง 0 ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งมีค่าสูงขึ้นตามราคาต้นทุนวัตถุดิบแคลเซียมที่แปรผันตรงกับปริมาณแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังมีต้นทุนวัตถุดิบแคลเซียมที่เกิดจากการแก้ไขงานใหม่เพื่อให้สีที่แห้งตัวช้ามีการแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนดรวมอยู่ด้วย และช่วงระดับ 0 ถึง 2 ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสูงขึ้นมาก เนื่องจากแคลเซียมมีสีเหลืองเข้มถ้าเติมปริมาณมากจะทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานต้องมีการปรับเฉดสีด้วยการเติมแม่สีเพิ่มทำให้เกิดต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่รวมอยู่ด้วย



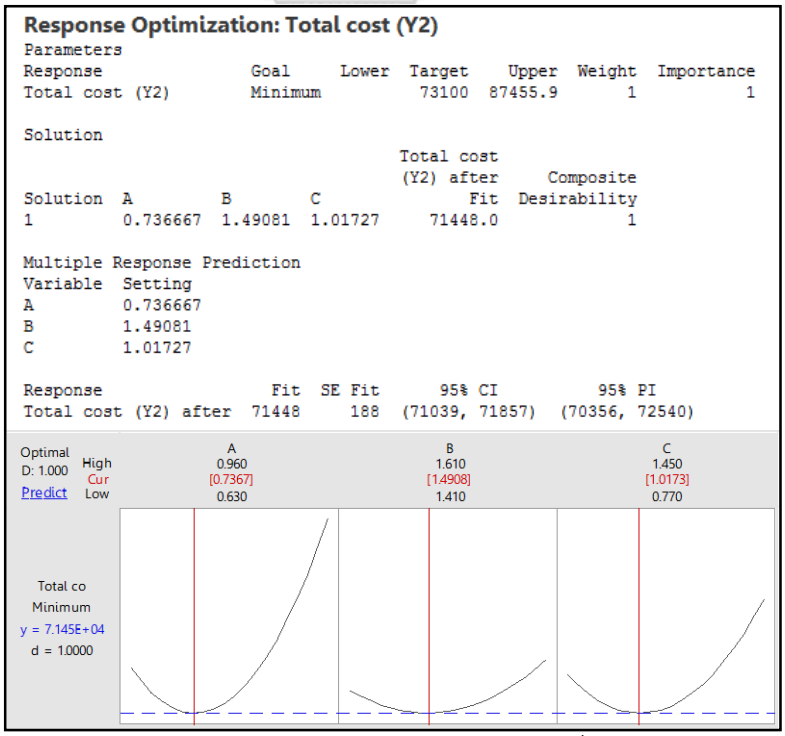
รูปที่ 6. 26 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยปริมาณโคบอลต์กับปัจจัยปริมาณแคลเซียมที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง

จากกราฟผลกระทบร่วมปัจจัยปริมาณโคบอลต์ (A) กับปัจจัยปริมาณแคลเซียม (C) ที่มีผลต่อต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง พบว่า เมื่อปริมาณโคบอลต์ (A) อยู่ที่ระดับต่ำ (-) ปริมาณแคลเซียมเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำ (-) ไปสูง (+) ปริมาณแคลเซียมที่มากขึ้นต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสูงขึ้น และเมื่อปริมาณโคบอลต์ (A) อยู่ที่ระดับสูง (+) ปริมาณแคลเซียมเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำ (-) ไปสูง (+) ปริมาณแคลเซียมที่มากขึ้นต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้งสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งสูงขึ้น ซึ่งที่ปริมาณโคบอลต์มากต้นทุนรวมจะสูงกว่าที่ปริมาณโคบอลต์น้อย และที่ปริมาณแคลเซียมมากต้นทุน

รวมจะสูงกว่าที่ปริมาณแคลเซียมน้อยเช่นกัน แต่ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจะมีต้นทุนการแก้ไขงานใหม่กรณีแต่งเฉดสีใหม่เนื่องจากโคบอลต์มีสีม่วงเข้มและแคลเซียมมีสีเหลืองถ้าเติมปริมาณมากจะทำให้เฉดสีเพี้ยนไปจากเฉดสีมาตรฐานต้องมีการปรับเฉดสีด้วยการเติมแม่สีรวมอยู่ด้วย ดังนั้นที่โคบอลต์ปริมาณมากเท่ากัน แคลเซียมปริมาณมากต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งจะสูงกว่าแคลเซียมปริมาณน้อย

6.3.10.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของระดับปริมาณสารเร่งแห้งสำหรับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

เมื่อได้สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัยได้แก่ ปริมาณโคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียมกับตัวแปรตอบสนองต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Y_2) ที่มีรวมผลกระทบของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดอยู่ด้วยแล้ว ผู้วิจัยวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าด้วยโปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Response Optimization ของตัวแปรตอบสนองต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งโดยมีจุดประสงค์ที่ต้องการให้มีค่าต่ำที่สุด จึงกำหนดจุดประสงค์ตัวแปรต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้ง (Total cost) เป็นแบบค่าต่ำสุด (Minimun) ผลการวิเคราะห์ได้ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 6.27



รูปที่ 6. 27 ผลการวิเคราะห์ Response Optimization เพื่อหาระดับของปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสม

จากผลการหาค่าที่เหมาะสมพบว่า ค่าระดับความพึงพอใจโดยรวมของผลลัพธ์ (Composite Desirability) เท่ากับ 1 การพยากรณ์ทำให้ได้ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งเท่ากับ 71,448 บาทต่อ 8 รอบการผลิต สามารถหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ปริมาณโคบอลต์ 0.7367% เซอร์โคเนียม 1.4908% และแคลเซียม 1.0173% ผู้วิจัยเปรียบเทียบปริมาณสารเร่งแห้ง ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารเร่งแห้งและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพสัดส่วนเดิมและสัดส่วนใหม่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6. 18 การเปรียบเทียบปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมและสัดส่วนใหม่

หัวข้อพิจารณา	สัดส่วนเดิม	สัดส่วนใหม่ (ผลจาก Response Optimization)	สัดส่วนใหม่ (การทดลองที่ค่า Y_1 และ Y_2 ต่ำสุด)	หน่วย
ปริมาณโคบอลต์ (A)	0.630	0.7367	0.7950	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณเซอร์โคเนียม (B)	1.410	1.4908	1.5110	เปอร์เซ็นต์
ปริมาณแคลเซียม (C)	0.770	1.0173	1.1100	เปอร์เซ็นต์
ต้นทุนรวมสารเร่งแห้ง (8 รอบการผลิต) ในการพยากรณ์	-	71,448	73,100	บาท
ต้นทุนรวมสารเร่งแห้ง (8 รอบการผลิต) ในการผลิตจริง	61,100	70,900	73,100	บาท
ต้นทุนรวมสารเร่งแห้ง (1 รอบการผลิต) ในการผลิตจริง	7,638	8,863	9,138	บาท
ต้นทุนรวมสารเร่งแห้งที่เพิ่มขึ้นเทียบกับสัดส่วนเดิม (1 รอบการผลิต) ในการผลิตจริง	-	+1,225	+1,500	บาท
สัดส่วนปัญหาจำนวนรอบการผลิตการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ	30%	-	0%	เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก่อนการปรับปรุง การปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมในการผลิตสีปกติมีจำนวนรอบการผลิตที่มีการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ 30% ของจำนวนรอบการผลิตทั้งหมด ที่ไม่ได้เกิดปัญหาทุกรอบเป็นเพราะในแต่ละรอบการผลิตได้รับผลกระทบจากคุณสมบัติทางเคมีของวัตถุดิบที่แตกต่างกันแสดงว่า ปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมมีความเหมาะสมกับสูตรเพื่อการผลิตอยู่ในระดับหนึ่ง หากใช้ปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนใหม่ตามการทดลองกับทุกรอบการผลิต

สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งสัมผัสของสีเกินเวลาที่กำหนดเหลือเป็นศูนย์ แต่ต้นทุนรวมของสารเร่งแห้งเพิ่มสูงมากเกินความจำเป็นเนื่องจากสัดส่วนใหม่จะใช้ปริมาณสารเร่งแห้งแต่ละชนิดมากกว่าที่สัดส่วนเดิม ทางโรงงานกรณีศึกษาจึงตัดสินใจให้ใช้ปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมในการผลิตสีปกติ แต่จะใช้สัดส่วนใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อพบปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดหลังจากกระบวนการผลิตสีปกติที่มีการใช้ปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมเพื่อลดจำนวนรอบในการปรับปรุงคุณภาพจาก 1-4 รอบในปัจจุบันให้เหลือเพียง 1-2 รอบ โดยยอมให้มีสัดส่วนในการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตได้บ้างหากสามารถประหยุดต้นทุนรวมได้ การปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 โดยจะเติมสารเร่งแห้งในปริมาณให้เท่ากับสัดส่วนใหม่ที่ได้จากหาค่าที่เหมาะสมด้วย Response Optimization แล้วถ้ายังพบปัญหาการแห้งของสีเกินเวลาที่กำหนดต้องปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2 โดยจะเติมสารเร่งแห้งในปริมาณให้เท่ากับสัดส่วนใหม่ของการทดลองที่ให้ผลสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งสัมผัสของสีเกินเวลาที่กำหนดเหลือเป็นศูนย์ สรุปปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการปรับปรุงคุณภาพเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสีทั้งสูตรเพื่อการผลิต แสดงไว้ในตารางที่ 6.19

ตารางที่ 6. 19 สรุปสัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการปรับปรุงคุณภาพเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสีทั้งสูตรเพื่อการผลิต

สารเร่งแห้ง	สัดส่วนเดิม	ปริมาณที่ต้องเติมในการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1	ปริมาณที่ต้องเติมในการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2	หน่วย
โคบอลต์	0.630	**+0.1067**	**+0.0583**	เปอร์เซ็นต์
เซอร์โคเนียม	1.410	**+0.0808**	**+0.0202**	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	0.770	**+0.2473**	**+0.0927**	เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.4 ความไม่ชำนาญในการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

จากปัจจัยความแปรปรวนของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิตจะส่งผลกระทบน้อยต่อความหนืดของสารหลังผสมเมื่อกำหนดปริมาณตัวทำละลายที่ค่าหนึ่ง ๆ เมื่อถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพในปัญหาความหนืดสูงกว่าช่วงที่ยอมรับได้ เดิมในอดีตที่ผ่านมาพนักงานฝ่ายผลิตจะปรับปรุงคุณภาพตามความชำนาญ ด้วยตัวแปรน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต (Batch Size) มีค่าในช่วง 500 - 6,100 กิโลกรัมและตัวแปรจำนวนหน่วยที่เกินค่าสูงสุดช่วงความหนืดที่ยอมรับ (Viscosity Over Limit Unit) มีค่าอยู่ในช่วง 0.1 – 23 หน่วย ด้วยตัวแปรมีความหลากหลายค่าทำให้การกำหนดปริมาณตัวทำละลายไม่แม่นยำส่งผลให้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ 1-3 รอบ ผู้วิจัยจะ

นำข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 ที่มีอยู่แล้วทำให้ความหนืดของสีลดลงมาอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่ 78 – 83 KU ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยสร้างสมการสำหรับพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อต้องปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ j; j = 1, 2, 3 แล้วทำให้ความหนืดของสีอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ให้มีจำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพลดเหลือ 1-2 รอบและมีต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำที่สุด

ผู้วิจัยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณตัวทำละลาย กับน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตและจำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บมาดังแสดงในตารางที่ 6.20 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระสองตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัวตามรูปแบบของสมการที่เป็นไปได้

โดยที่ X_1 = น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต (Batch Size)

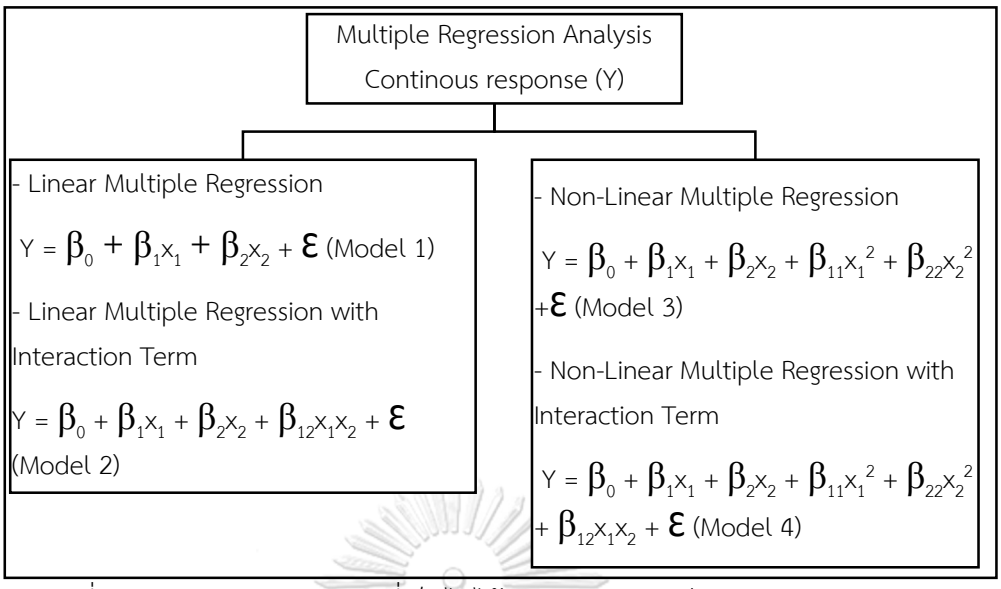
X_2 = จำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง (Difference Viscosity Unit) ก่อนและหลังเติมตัวทำละลาย

Y = ปริมาณตัวทำละลาย (Solvent Quantity) ที่เติมแล้วทำให้ความหนืดของสีลดงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 20 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพในอดีต

No.	Batch Size	Initial Viscosity	Viscosity Over Limit Unit	Solvent Quantity	Final Viscosity	Difference Viscosity Unit (Initial Viscosity–Final Viscosity)
1	1713	87	4	27	79.9	7.1
2	1744	88	5	35	78.7	9.3
3	1698	93.9	10.9	65	81.3	12.6
4	1609	86.8	3.8	26	78.9	7.9
5	1191	99.5	16.5	80	78	21.5

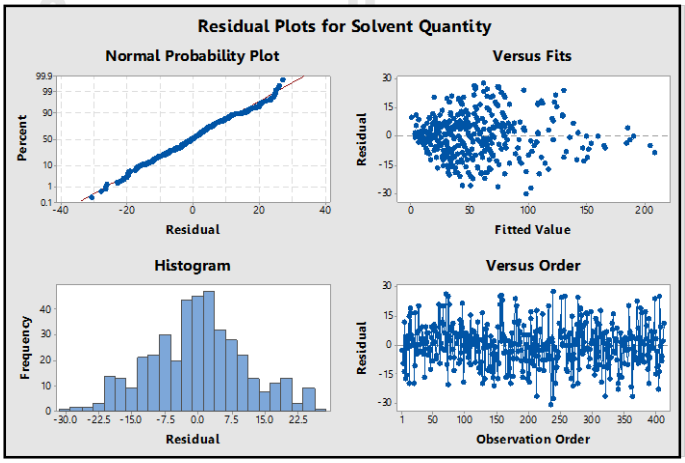


รูปที่ 6. 28 รูปแบบของสมการที่เป็นไปได้ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระสองตัว

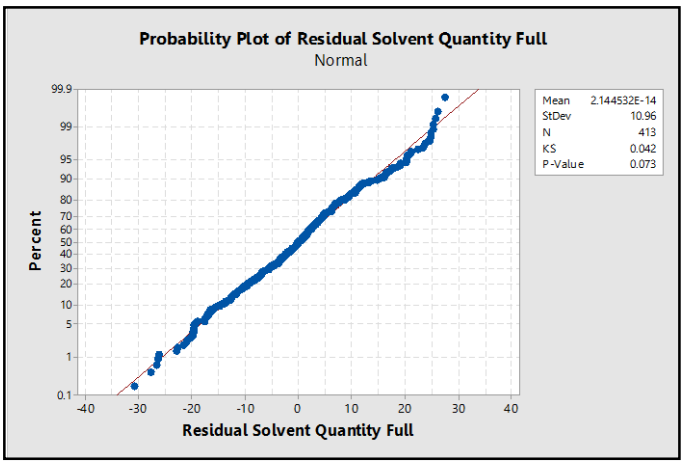
6.4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลาย ของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ (Full model)

ผู้วิจัยนำข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 คือ ข้อมูลที่การปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงเพียงครั้งเดียวแล้วความหนืดลดลงมาอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Regression โดยค่าตัวแปรตอบสนองคือ ปริมาณตัวทำละลาย รายละเอียดดังแสดงในหัวข้อถัดไป

6.4.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 6. 29 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 6. 30 กราฟความน่าจะเป็นของส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ

การตรวจสอบข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้าง ตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ จากการทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 6.30 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.073 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับลำดับของข้อมูลตามรูปที่ 6.29 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระต่อกัน

3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับค่าฟิตของข้อมูลตามรูปที่ 6.29 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่า ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อคือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนคงที่ จึงเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.4.1.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ

Regression Analysis: Solvent Quantity versus X1, X2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	586933	117387	944.29	0.000
X1	1	602	602	4.84	0.028
X2	1	642	642	5.16	0.024
X1*X1	1	28	28	0.22	0.637
X2*X2	1	233	233	1.88	0.171
X1*X2	1	51929	51929	417.73	0.000
Error	407	50595	124		
Lack-of-Fit	387	47482	123	0.79	0.804
Pure Error	20	3113	156		
Total	412	637528			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11.1495	92.06%	91.97%	91.88%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-6.52	3.97	-1.64	0.102	
X1	0.00541	0.00246	2.20	0.028	60.03
X2	1.178	0.519	2.27	0.024	17.53
X1*X1	-0.000000	0.000000	-0.47	0.637	54.91
X2*X2	0.0303	0.0221	1.37	0.171	13.12
X1*X2	0.001535	0.000075	20.44	0.000	6.51

Regression Equation

Solvent Quantity = -6.52 + 0.00541 X1 + 1.178 X2 - 0.000000 X1*X1 + 0.0303 X2*X2
+ 0.001535 X1*X2

รูปที่ 6. 31 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง สมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับปริมาณตัวทำละลายของสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ พบว่า มีเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจำนวน 3 เทอมได้แก่ X1, X2 และ X1*X2 กับเทอมของปัจจัยนำเข้าที่ไม่มีนัยสำคัญจำนวน 2 เทอมได้แก่ X1*X1 และ X2*X2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วมีค่าเท่ากับ 91.97 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่โปรแกรมแสดงในตัวแปร s มีค่าเท่ากับ 11.1495

6.4.2 การหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดตามเกณฑ์ที่กำหนด

การหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด (Best Subset Regression) โดยพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้วคัดเลือกสมการลดรูปที่มีความสามารถในการพยากรณ์ที่ดีที่สุด โดยใช้เกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุดซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วสูงที่สุด ส่วนเกณฑ์ค่ามอลล์โลส์ซีพีผู้วิจัยไม่ได้พิจารณาเนื่องจากเกณฑ์นี้เหมาะสมที่จะพิจารณาความแปรปรวนกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบสมการถดถอยที่มีจำนวนตัวแปรอิสระเท่ากันเท่านั้น วัตถุประสงค์เพื่อหาสมการถดถอยที่วิเคราะห์ได้ไปใช้สำหรับพยากรณ์หาค่าของตัวแปรตอบสนองใหม่ ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Best Subset Regression จะได้สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลายสำหรับการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง

6.4.2.1 การพิจารณาสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเลือกสมการที่เหมาะสมที่สุด

Best Subsets Regression: Solvent Quan versus X1, X2, X1X1, X2X2, X1X2

Response is Solvent Quantity

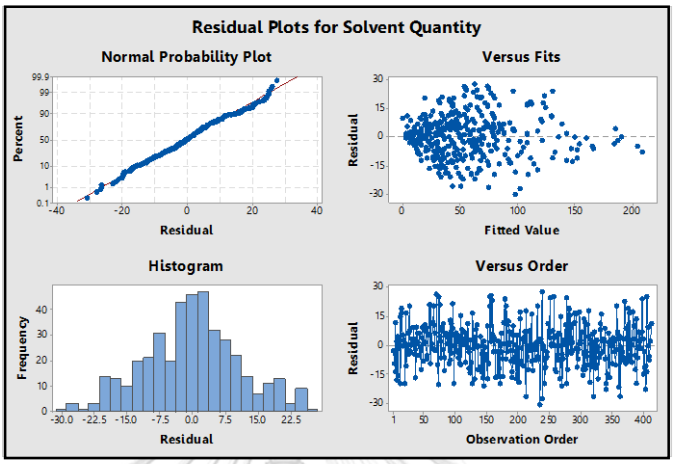
								X	X	X	
								1	2	1	
		R-Sq	R-Sq			X	X	X	X	X	
Vars	R-Sq	(adj)	(pred)	Mallows Cp	S	1	2	1	2	2	
1	91.0	91.0	91.0	50.4	11.788					X	
1	34.3	34.1	33.7	2961.0	31.926	X					
2	91.3	91.2	91.1	40.6	11.650				X	X	
2	91.2	91.2	91.1	43.8	11.691		X			X	
3	92.0	92.0	91.9	4.2	11.153	X	X			X	
3	92.0	91.9	91.8	7.2	11.193	X			X	X	
4	92.1	92.0	91.9	4.2	11.139	X	X		X	X	
4	92.0	91.9	91.9	5.9	11.162	X	X	X		X	
5	92.1	92.0	91.9	6.0	11.150	X	X	X	X	X	

รูปที่ 6. 32 สมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดกำหนดตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลายสำหรับการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง

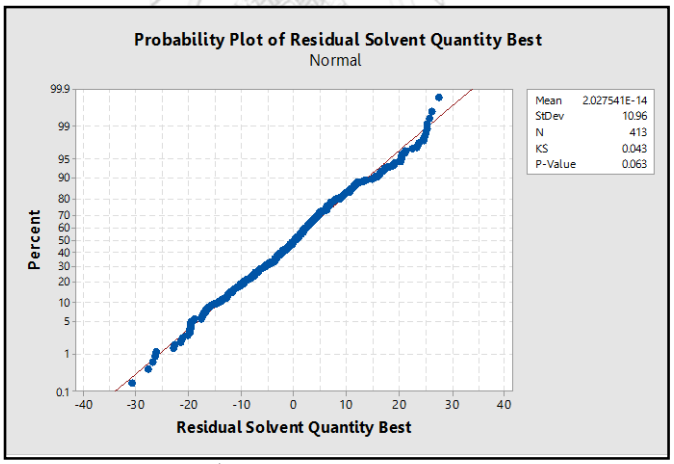
พิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากสมการถดถอยที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้เกณฑ์การพิจารณาที่กำหนดพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วมีค่าเท่ากับ 92.0 เป็นค่าที่สูงที่สุด และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่โปรแกรมแสดงในตัวแปร s มีค่าเท่ากับ 11.139

เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ดังนั้นสมการที่ตัดสินใจเลือกมีเทอมของปัจจัยนำเข้าคือ X1, X2, X2*X2 และ X1*X2

6.4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 6. 33 กราฟการกระจายตัวค่าส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย ของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 6. 34 กราฟความน่าจะเป็นของส่วนตกค้างของปริมาณตัวทำละลาย ของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด

การตรวจสอบข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2) จากส่วนตกค้าง ตาม 3 สมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงแบบปกติ จากการทดสอบการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติตามรูปที่ 6.34 พบว่า มีค่า P-value เท่ากับ 0.063 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ดังนั้นไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

2. ค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับลำดับของข้อมูลตามรูปที่ 6.33 พบว่า ไม่แสดงสัญญาณของการเกิดแนวโน้มของข้อมูล สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความเป็นอิสระต่อกัน

3. ค่าความผิดพลาดมีความแปรปรวนคงที่ พิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดกับค่าฟิตของข้อมูลตามรูปที่ 6.33 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบ สรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน หรือข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพบว่า ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อคือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ความเป็นอิสระต่อกัน และความแปรปรวนคงที่ จึงเป็นไปตามหลักการ ε = NID (0, σ^2)

6.4.2.3 การวิเคราะห์สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด

Regression Analysis: Solvent Quantity versus X1, X2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	586905	146726	1182.56	0.000
X1	1	4919	4919	39.65	0.000
X2	1	621	621	5.01	0.026
X2*X2	1	252	252	2.03	0.155
X1*X2	1	52198	52198	420.69	0.000
Error	408	50623	124		
Lack-of-Fit	388	47510	122	0.79	0.806
Pure Error	20	3113	156		
Total	412	637528			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
11.1389	92.06%	91.98%	91.91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-5.34	3.09	-1.73	0.085	
X1	0.004291	0.000681	6.30	0.000	4.62
X2	1.153	0.515	2.24	0.026	17.35
X2*X2	0.0314	0.0220	1.42	0.155	13.00
X1*X2	0.001537	0.000075	20.51	0.000	6.49

Regression Equation

Solvent Quantity = -5.34 + 0.004291 X1 + 1.153 X2 + 0.0314 X2*X2 + 0.001537 X1*X2

รูปที่ 6. 35 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนอง สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด เมื่อตัวแปรตอบสนองเป็นปริมาณตัวทำละลาย

การพิจารณาสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับปริมาณตัวทำละลาย พบว่า มีเทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ 4 เทอมได้แก่ X1, X2, X2*X2 และ

X1*X2 ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วมีค่าเท่ากับ 91.98 และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่โปรแกรมแสดงในตัวแปร s มีค่าเท่ากับ 11.1389 จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้วของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดมีค่ามากกว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ และค่า s ของสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดมีค่าน้อยกว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบ ซึ่งสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงในสมการที่ 6.11

Solvent Quantity =-5.34 + 0.004291*X1 + 1.153*X2 + 0.0314 X2*X2 + 0.001537 X1*X2 (6.11)

6.4.2.4 การวิเคราะห์เทอมของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

หลังจากเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดที่แสดงความสัมพันธ์เทอมของปัจจัยนำเข้ากับปริมาณตัวทำละลาย การวิเคราะห์เทอมปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ได้แก่

X1 = ผลกระทบหลักของปัจจัยน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต

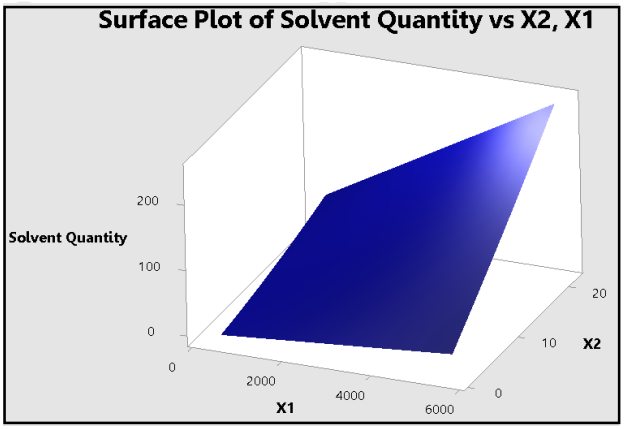
X2 = ผลกระทบหลักของปัจจัยจำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง

X2*X2 = ผลกระทบจากเทอมกำลังสองของปัจจัยจำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง

X1*X2 = ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตและปัจจัยจำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์ผลกระทบหลัก X1, X2 และผลกระทบจากเทอมกำลังสองของปัจจัย X2*X2 จะอธิบายในเทอมของผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยเทอม X1*X2 แทนด้วยกราฟกราฟพื้นผิวผลตอบที่มีผลกระทบต่อปริมาณตัวทำละลาย ดังแสดงในรูปที่ 6.36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6. 36 กราฟพื้นผิวผลตอบแสดงของสองปัจจัย X1 และ X2 ที่มีผลต่อปริมาณตัวทำละลาย

ผลกระทบร่วมระหว่างสองปัจจัยเทอม X1 และ X2 ที่มีต่อปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามรูปที่ พบว่า เมื่อน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต (X_1) อยู่ที่ระดับต่ำ จำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง (X_2) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะส่งผลกระทบให้ต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากขึ้น และเมื่อน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต (X_1) อยู่ที่ระดับสูง จำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง (X_2) เปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไปสูงจะส่งผลกระทบให้ต้องใช้ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากขึ้นเช่นกัน แต่ละการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวทำละลายที่ใช้เมื่อน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตสูงขึ้นจะมากกว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวทำละลายที่ใช้เมื่อน้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิตมีค่าน้อย

6.4.3 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับสมการการถดถอยในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมที่ในการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูง

จากสมการพยากรณ์ที่ 6.11 ตัวแปร X_1 = น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบการผลิต จะทราบค่าจากเอกสารสั่งผลิต และตัวแปร X_2 = จำนวนหน่วยของความหนืดที่เปลี่ยนแปลง จะทราบค่าเมื่อพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพวัดค่าจริงของสีตัวอย่างนั้น ๆ ภายใต้เกณฑ์ควบคุมคุณภาพความหนืดในช่วง 78-83 KU แนวคิดก่อนปรับปรุงกระบวนการจะมีวิธีการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.12 เพื่อประมาณค่าปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพ

$$X_2 = \text{ค่าความหนืดที่วัดได้} - 83 \text{ (ขีดจำกัดข้อกำหนดบน)} \qquad (6.12)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากวิธีการคำนวณตัวแปร X_2 แสดงว่า ค่าความหนืดเป้าหมายเท่ากับ 83 KU มีความน่าจะเป็นจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบหรือมากกว่านั้นหากหลังปรับปรุงมีค่าความหนืดมากกว่า 83 KU อีก เพื่อให้เกิดความสำเร็จในการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 ต้องมีการปรับลดค่าความหนืดเป้าหมายลงให้ต่ำกว่า 83 KU แต่ความหนืดเป้าหมายส่งผลต่อต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ หากปรับลดค่าความหนืดมาก ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพจะมากต้นทุนตัวทำละลายจะสูง ดังนั้นผู้วิจัยจะหาค่าความหนืดเป้าหมายที่เหมาะสมโดยกำหนดตัวชี้วัดคือสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตตามเป้าหมายงานวิจัยกำหนด ซึ่งจะทำให้ต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำที่สุด ผู้วิจัยทำการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายในการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมก่อนจะนำไปใช้พยากรณ์ในระดับการผลิตจริงแบบต่อเนื่องกำหนดสัญลักษณ์ T คือ ค่าความหนืดเป้าหมาย ปรับลดค่าลงครั้งละ 0.5 หน่วยจาก

เกณฑ์ควบคุมคุณภาพความหนืดสูงสุดและจะหยุดปรับลดค่า T เมื่อพบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตเท่ากับศูนย์ ฉะนั้นจะมีวิธีการคำนวณค่า X_2 ใหม่ดังแสดงในสมการที่ 6.13

$$X_2 = \text{ค่าความหนืดที่วัดได้} - T \qquad (6.13)$$

ตารางที่ 6. 21 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=83.0 KU

No.	Trial 1					Trial 2			
	X1	Initial Viscosity	X2	Y (Predict)	Final Viscosity	X1	X2	Y Predict	Final Viscosity
1	1734	96.0	13.0	57	83.6	1791	0.6	5	82.1
2	4660	91.9	8.9	91	84.3	4751	1.3	26	82.5
3	4589	88.9	5.9	64	83.0	-	-	-	-
4	4680	84.5	1.5	27	83.9	4707	0.9	22	82.1
5	4693	85.9	2.9	39	83.8	4732	0.8	22	81.7
6	4919	85.6	2.6	39	82.3	-	-	-	-
7	4693	85.1	2.1	33	81.2	-	-	-	-
8	4898	87.3	4.3	54	81.5	-	-	-	-
9	4732	90.1	7.1	76	80.9	-	-	-	-
10	4690	86.6	3.6	45	83.7	4735	0.7	21	81.8

ตารางที่ 6. 22 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=82.5 KU

No.	Trial 1					Trial 2			
	X1	Initial Viscosity	X2	Y (Predict)	Final Viscosity	X1	X2	Y Predict	Final Viscosity
1	4906	86.0	3.5	47	82.7	-	-	-	-
2	678	92.0	9.5	21	83.0	-	-	-	-
3	4854	86.5	1.8	31	83.1	4885	0.6	21	82.4
4	4667	90.5	8.0	83	81.4	-	-	-	-
5	4690	86.3	3.8	47	81.5	-	-	-	-
6	4638	87.0	4.5	52	80.4	-	-	-	-
7	4660	86.5	4.0	48	81.4	-	-	-	-
8	1553	95.2	12.7	51	83.7	1604	1.2	6	81.7
9	4690	89.2	6.7	72	83.8	4762	1.3	26	82.3
10	3812	84.8	2.3	27	83.2	3839	0.7	16	82.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6. 23 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=82.0 KU

No.	Trial 1					Trial 2			
	X1	Initial Viscosity	X2	Y (Predict)	Final Viscosity	X1	X2	Y Predict	Final Viscosity
1	4698	86.2	4.2	51	82.1	-	-	-	-
2	4667	86.5	4.5	53	82.5	-	-	-	-
3	1101	87.6	5.6	16	81.9	-	-	-	-
4	3463	89.5	7.5	60	83.3	3523	1.3	18	81.2
5	2264	84.8	2.8	18	81.2	-	-	-	-
6	4590	87.0	5.0	56	83.0	-	-	-	-
7	1081	87.9	5.9	17	82.6	-	-	-	-
8	4590	83.3	1.3	25	82.5	-	-	-	-
9	1071	95.3	13.3	42	83.1	1113	1.1	3	81.5
10	1283	86.8	4.8	16	80.8	-	-	-	-

ตารางที่ 6. 24 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=81.5 KU

No.	Trial 1					Trial 2			
	X1	Initial Viscosity	X2	Y (Predict)	Final Viscosity	X1	X2	Y Predict	Final Viscosity
1	2352	86.2	4.7	28	82.1	-	-	-	-
2	5212	89.1	7.6	88	81.0	-	-	-	-
3	4854	84.3	2.8	40	82.1	-	-	-	-
4	4732	87.0	5.5	62	81.8	-	-	-	-
5	4879	90.7	9.2	98	80.5	-	-	-	-
6	548	86.3	4.8	7	81.4	-	-	-	-
7	2856	86.2	4.7	34	81.2	-	-	-	-
8	3228	87.0	5.5	43	81.3	-	-	-	-
9	4687	87.9	6.4	70	81.6	-	-	-	-
10	4690	85.1	3.6	45	80.7	-	-	-	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6. 25 ผลการทดสอบความสามารถของสมการพยากรณ์ ค่าความหนืดเป้าหมาย T=81.0 KU

No.	Trial 1					Trial 2			
	X1	Initial Viscosity	X2	Y (Predict)	Final Viscosity	X1	X2	Y Predict	Final Viscosity
1	5157	87.3	6.3	75	81.7	-	-	-	-
2	1296	84.8	3.8	13	82.3	-	-	-	-
3	5115	93.7	12.7	136	82.2	-	-	-	-
4	3188	89.4	8.4	61	82.7	-	-	-	-
5	3054	85.4	4.4	34	82.3	-	-	-	-
6	4667	84.1	3.1	41	82.6	-	-	-	-
7	4771	89.0	8.0	85	82.9	-	-	-	-
8	4823	90.9	9.9	103	82.3	-	-	-	-
9	4685	96.4	15.4	151	81.0	-	-	-	-
10	1215	84.0	3.0	9	82.0	-	-	-	-

เกณฑ์ตัวชี้วัดเพื่อกำหนดค่าความหนืดเป้าหมายคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต มีวิธีการคำนวณดังแสดงในสมการที่ 6.14 และสรุปผลการเปรียบเทียบสัดส่วนดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.26 สำหรับต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพจะไม่สามารถใช้เปรียบเทียบเพื่อเป็นอีกหนึ่งเกณฑ์ในการพิจารณาค่า T ได้ เนื่องจากการทดสอบมีความหลากหลายค่าของน้ำหนักการผลิต และจำนวนหน่วยของความหนืดที่เกินช่วงที่ยอมรับได้

$$\text{สัดส่วนปัญหาความหนืดสูง (p)} = \frac{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากกว่า } \mathbf{1} \text{ รอบ}}{\text{จำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาคุณภาพความหนืดสูงทั้งหมด}} \quad (6.14)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6. 26 ผลการเปรียบเทียบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต เมื่อกำหนดค่าความหนืดเป้าหมาย T ต่างกัน

ค่าความหนืดเป้าหมาย T	จำนวนรอบการผลิตที่ทดสอบ	จำนวนรอบการผลิตที่ต้องปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบที่ต้องปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต
83.0	10	5	0.50
82.5	10	4	0.40
82.0	**10**	**2**	**0.20**
81.5	10	0	0.00
81.0	10	0	0.00

จากผลการทดสอบพิจารณาตามเกณฑ์ตัวชี้วัดคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อกำหนดค่าความหนืดเป้าหมาย T = 81.5 KU แต่หากกำหนดค่าความหนืดเป้าหมาย T = 82.0 KU มีสัดส่วนปัญหาเท่ากับ 0.20 ซึ่งยังเป็นสัดส่วนที่ต่ำกว่าเป้าหมายของงานวิจัยที่ต้องการลดสัดส่วนปัญหาจาก 0.76 เป็น 0.38 ซึ่งหากพิจารณาด้านต้นทุนการกำหนด T = 82.0 KU จะใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยกว่าส่งผลให้ต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำกว่าการกำหนด T = 81.5 KU

โรงงานกรณีศึกษาต้องการประหยัดต้นทุนในส่วนนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาผลกระทบของเวลาในการแก้ไขงานและต้นทุนค่าแรงในการทำงานล่วงเวลาหากกำหนดเป้าหมายความหนืดเป็น 82.0 KU ซึ่งต้องมีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2 อยู่ 20% ในปัจจุบันเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์จากฝ่ายผลิตเข้าคลังสินค้ามีระยะเวลา 2 วัน ซึ่งจำนวนรอบความถี่ของปัญหาความหนืดสูงมี 50% ฉะนั้นจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงเฉลี่ย 8 รอบการผลิตต่อ 2 วัน ดังนั้นหากกำหนดเป้าหมายความหนืดเป็น 82.0 KU จะมีเพียง 2 รอบการผลิตใน 2 วันที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 โดยเวลาเฉลี่ย 75 นาทีต่อหนึ่งรอบการแก้ไขงานใหม่ต่อ 2 วันที่เพิ่มขึ้นมาไม่ได้ทำให้เกิดต้นทุนค่าแรงงานในการทำงานล่วงเวลาและมีเวลาเหลือทันตามเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์

ดังนั้นผู้บริหารและผู้วิจัยตัดสินใจกำหนดค่าความหนืดเป้าหมาย = 82.0 KU การคำนวณค่า X_2 = ค่าความหนืดที่วัดได้ – 82.0 เพื่อแทนค่าลงในสมการถดถอยสำหรับพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง ในระดับการผลิตจริงแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะมีสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตมีอยู่บ้างเท่ากับ 0.20 แต่ประหยัดต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไข

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ปรับปรุงปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ผู้วิจัยทดลองผสมและกำหนดอัตราส่วนการผสมปริมาณแม่สีที่ค่าต่าง ๆ ตามความสามารถของแม่สีที่ให้ค่าเฉดสีที่แปรผันแบบผกผันกับค่าการสะท้อนแสงที่วัดได้ ผสมปริมาณแม่สีแต่ละชนิดตามอัตราส่วนที่ได้เลือกบันทึกลงซอฟต์แวร์การจับคู่สีในเครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐานเป็นข้อมูลพื้นฐานแม่สีสำหรับใช้งาน ผู้วิจัยทดลองแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในระดับการผลิตจริงในเฉดสีอย่างสุ่มจำนวน 7 รอบการผลิตพบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ยเท่ากับ 4 รอบต่อรอบการผลิตลดลงกว่าก่อนปรับปรุงที่การแต่งเฉดสีด้วยความชำนาญของพนักงานมีค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ย 7 รอบต่อรอบการผลิต จึงตัดสินใจใช้ซอฟต์แวร์เทคนิคการจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีในระดับการผลิตจริงอย่างต่อเนื่อง

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ ปรับปรุงปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิตด้วยใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบชนิดส่วนประสมกลางเพื่อหาปริมาณสารเร่งแห้งที่ทำให้ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้ง (Y_2) ต่ำที่สุดและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Y_1) ได้ตามเป้าหมายในงานวิจัย ปัจจัยย่อยที่ศึกษา 3 ปัจจัยคือ ปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียม จึงได้ทำการทดลองจำนวน 20 การทดลอง ขนาดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแต่ละการทดลองเท่ากับ 8 ตัวอย่าง ทำการทดลองตามระดับปัจจัยที่กำหนดและหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองโดยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และหาค่าที่เหมาะสมของระดับปริมาณสารเร่งแห้งด้วยการทำ Response Optimization ต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้งต่ำที่สุดเท่านั้นซึ่งมีผลกระทบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลารวมอยู่ด้วยแล้ว สรุปปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในกระบวนการผลิตและการปรับปรุงคุณภาพเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสีทั้งสูตรเพื่อการผลิตดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.18 เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการจริง

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ ปรับปรุงปัจจัยความไม่ชำนาญในการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ผู้วิจัยนำข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 แล้วทำให้ความหนืดลดลงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 78 – 83 KU จากอดีตและใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุที่มีปัจจัยนำเข้าคือ น้ำหนักผลิตการผลิตแต่ละรอบ (X_1) และจำนวนหน่วยความหนืดที่เปลี่ยนแปลง (X_2) ตัวแปรตอบสนองคือ ปริมาณตัวทำละลาย หาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองโดยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด และหาค่าที่เหมาะสมของค่าความหนืดเป้าหมายได้เท่ากับ 82.0 KU ทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตได้ตามเป้าหมายงานวิจัย และต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำลง ดังนั้นสมการพยากรณ์ดังแสดงในสมการที่ 6.11 จะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการจริง

บทที่ 7
ระยะการติดตามควบคุม (Control Phase)

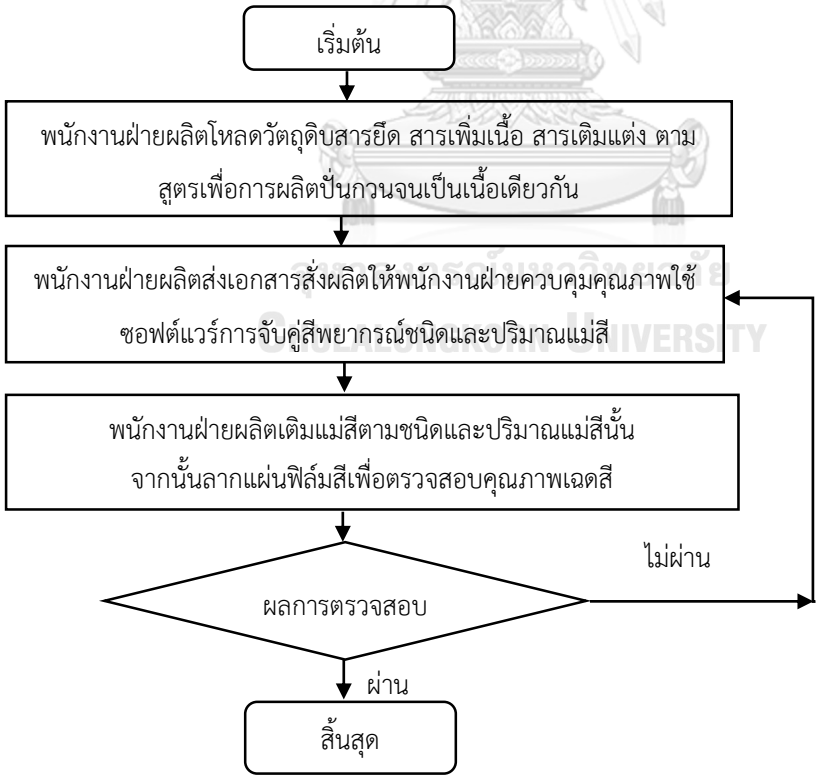
7.1 บทนำ

ระยะการติดตามควบคุมเป็นระยะสุดท้ายของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ทดสอบการยืนยันผลการปรับปรุงแต่ละปัญหา ตามแนวทางการปรับปรุงที่วิเคราะห์ได้จากระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหาเพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนปัญหาลดลงเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ในงานวิจัยหรือไม่ จากนั้นจัดทำแผนควบคุม ประเมินและสรุปผลการติดตามควบคุม

7.2 การทดสอบการยืนยันผลหลังปรับปรุงกระบวนการ

7.2.1 ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

ผู้วิจัยทำการทดสอบยืนยันผล โดยใช้ซอฟต์แวร์การจับคู่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีในระดับการผลิตตามแผนภูมิการไหลวิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี (ใหม่) ดังแสดงในรูปที่ 7.1 ผลการทดสอบการยืนยันผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.1 และสรุปผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.2



รูปที่ 7. 1 แผนภูมิการไหลวิธีการตรวจสอบคุณภาพค่าความแตกต่างสี (ใหม่)

ตารางที่ 7. 1 ผลการทดสอบการยืนยันผลการแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีในขั้นตอนการแต่งเฉดสีในระดับการผลิต

No	เฉดสี	จำนวนรอบการแต่งเฉดสี	No	เฉดสี	จำนวนรอบการแต่งเฉดสี	No	เฉดสี	จำนวนรอบการแต่งเฉดสี
1	ECO312	3	16	ECO687	6	31	ECO586	5
2	ECO444	3	17	ECO999	4	32	ECO900	4
3	ECO401	4	18	ECO206	5	33	ECO335	5
4	ECO370	2	19	ECO215	4	34	ECO877	4
5	ECO304	5	20	ECO219	3	35	ECO209	2
6	ECO455	3	21	ECO602	7	36	ECO216	4
7	ECO717	5	22	ECO686	7	37	ECO555	8
8	ECO877	3	23	ECO685	4	38	ECO602	4
9	ECO999	3	24	ECO192	2	39	ECO336	5
10	ECO201	6	25	ECO259	4	40	ECO889	3
11	ECO701	6	26	ECO687	3	41	ECO999	4
12	ECO695	4	27	ECO687	4	42	ECO674	4
13	ECO015	5	28	ECO717	4			
14	ECO278	4	29	ECO877	6			
15	ECO412	1	30	ECO800	3			

ตารางที่ 7. 2 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีต่าง ๆ แล้วค่า DE< 0.5 ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จำนวนรอบการแต่งเฉดสีแล้วค่า DE< 0.5	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต
1	20	0.02	1	0.02
2	35	0.03	3	0.07
3	61	0.05	9	0.21
4	68	0.06	15	0.36
5	164	0.14	7	0.17
6	169	0.14	4	0.10
7	174	0.15	2	0.05
8	195	0.16	1	0.02
9	147	0.12	-	0.00
10	107	0.09	-	0.00
11	54	0.05	-	0.00
รวม	1194	1.00	42	1.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก่อนปรับปรุงสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ คิดเป็น 0.85 กำหนดเป้าหมายลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.85 ลดลงเหลือ 0.43 หลังปรับปรุงพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ มีค่าเท่ากับ 0.34 ซึ่งต่ำกว่าที่เป้าหมายกำหนด และไม่พบรอบการผลิตใดที่ต้องมีการแต่งเฉดสีมากกว่า 9 รอบต่อรอบการผลิตเหมือนก่อนปรับปรุง

7.2.2 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

ผู้วิจัยทำการทดสอบยืนยันผล โดยนำค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยคือปริมาณโคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียมมาใช้การปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลา ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.3 ผลการทดสอบการยืนยันผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.4 และสรุปผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7. 3 ปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเมื่อเทียบกับน้ำหนักรวมของสีทั้งสูตรเพื่อการผลิต

สารเร่งแห้ง	สัดส่วนเดิม	ปริมาณที่ต้องเติมในการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1	ปริมาณที่ต้องเติมในการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2	หน่วย
โคบอลต์	0.630	**+0.1067**	**+0.0583**	เปอร์เซ็นต์
เซอร์โคเนียม	1.410	**+0.0808**	**+0.0202**	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	0.770	**+0.2473**	**+0.0927**	เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการทดสอบการยืนยันผล

1. ในกระบวนการผลิตสีน้ำมันปกติให้ใช้ปริมาณสารเร่งแห้งสัดส่วนเดิมก่อนเพราะมีความเหมาะสมกับสูตรเพื่อการผลิตในระดับหนึ่ง เนื่องจากความถี่ปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดมีสัดส่วน 30% ของจำนวนรอบการผลิตทั้งหมดเท่านั้น คือ ปริมาณโคบอลต์เท่ากับ 0.630% ปริมาณเซอร์โคเนียมเท่ากับ 1.410% และปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 0.770% ของปริมาณน้ำหนักรวมในสูตรเพื่อการผลิต

2. หลังจากใช้ปริมาณสารเร่งแห้งตามสัดส่วนเดิม พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของสีในรอบแรกแล้วพบว่า การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดแสดงว่าคุณภาพ “ผ่าน” กำหนดสัญลักษณ์เป็น “G” แต่ถ้าการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดแสดงว่าคุณภาพ “ไม่

ผ่าน” กำหนดสัญลักษณ์เป็น “NG” ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพจะคำนวณและแจ้งปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 ในหน่วยที่กำหนดเป็นกิโลกรัมให้กับพนักงานฝ่ายผลิตเพื่อสะดวกในการสั่งเติมปริมาณสารเร่งแห้งตามสัดส่วน คือ ปริมาณโคบอลต์เท่ากับ +0.1067% ปริมาณเซอร์โคเนียมเท่ากับ +0.0808% และปริมาณแคลเซียมเท่ากับ +0.2473% ของปริมาณน้ำหนักรวมในสูตรเพื่อการผลิต

3. หลังจากมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 แล้ว พนักงานฝ่ายผลิตส่งสีตัวอย่างให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบคุณภาพการแห้งตัวของสีใหม่พบว่า การแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนดแสดงว่าคุณภาพ “ผ่าน” แต่ถ้าการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดแสดงว่าคุณภาพ “ไม่ผ่าน” ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพจะคำนวณและแจ้งปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 ในหน่วยที่กำหนดเป็นกิโลกรัมให้กับพนักงานฝ่ายผลิตเพื่อสะดวกในการสั่งเติมปริมาณสารเร่งแห้งตามสัดส่วนคือ ปริมาณโคบอลต์เท่ากับ +0.0583% ปริมาณเซอร์โคเนียมเท่ากับ +0.0202% และปริมาณแคลเซียมเท่ากับ +0.0927% ของปริมาณน้ำหนักรวมในสูตรเพื่อการผลิต

ตารางที่ 7. 4 ผลการทดสอบการยืนยันผลการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดแต่ละรอบการผลิต

No.	น้ำหนักการผลิต	การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1				การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2				ความแตกต่างสี DE <0.5
		ปริมาณสารเร่งแห้ง (Kg)			การแห้งตัวของสี	ปริมาณสารเร่งแห้ง (Kg)			การแห้งตัวของสี	
		Co	Zr	Ca		Co	Zr	Ca		
		0.1067%	0.0808%	0.2473%		0.0583%	0.0202%	0.0927%		
1	4969	5.302	4.015	12.288	G	-	-	-	-	0.27
2	4880	5.207	3.943	12.068	G	-	-	-	-	0.32
3	4732	5.049	3.823	11.702	G	-	-	-	-	0.44
4	4677	4.990	3.779	11.566	G	-	-	-	-	0.23
5	2292	2.446	1.852	5.668	NG	1.336	0.463	2.125	G	0.16
6	4909	5.238	3.966	12.140	G	-	-	-	-	0.22
7	4823	5.146	3.897	11.927	G	-	-	-	-	0.18
8	4826	5.149	3.899	11.935	G	-	-	-	-	0.34
9	5121	5.464	4.138	12.664	G	-	-	-	-	0.22
10	2634	2.810	2.128	6.514	NG	1.536	0.532	2.442	G	0.19
11	4862	5.188	3.928	12.024	G	-	-	-	-	0.43
12	4966	5.299	4.013	12.281	G	-	-	-	-	0.37
13	4965	5.298	4.012	12.278	G	-	-	-	-	0.25
14	4719	5.035	3.813	11.670	G	-	-	-	-	0.31
15	2292	2.446	1.852	5.668	G	-	-	-	-	0.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.4 ผลการทดสอบการยืนยันผลการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดแต่ละรอบการผลิต(ต่อ)

No.	น้ำหนักการผลิต	การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1				การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2				ความแตกต่างสี DE <0.5
		ปริมาณสารเร่งแห้ง (Kg)			การแห้งตัวของสี	ต่างสี			การแห้งตัวของสี	
		Co	Zr	Ca		Co	Zr	Ca		
		0.1067%	0.0808%	0.2473%		0.0583%	0.0202%	0.0927%		
16	4690	5.004	3.790	11.598	G	-	-	-	-	0.48
17	2172	2.318	1.755	5.371	NG	1.266	0.439	2.013	G	0.23
18	4862	5.188	3.928	12.024	G	-	-	-	-	0.31
19	4823	5.146	3.897	11.927	G	-	-	-	-	0.28
20	5120	5.463	4.137	12.662	G	-	-	-	-	0.23
21	4823	5.146	3.897	11.927	NG	2.812	0.974	4.471	G	0.17
22	4823	5.146	3.897	11.927	G	-	-	-	-	0.28
23	4615	4.924	3.729	11.413	G	-	-	-	-	0.15
24	2154	2.298	1.740	5.327	NG	1.256	0.435	1.997	G	0.23
25	4771	5.091	3.855	11.799	G	-	-	-	-	0.39
26	2712	2.894	2.191	6.707	G	-	-	-	-	0.18
27	4823	5.146	3.897	11.927	NG	-	-	-	-	0.21
28	2147	2.291	1.735	5.310	G	-	-	-	-	0.33
29	2293	2.447	1.853	5.671	G	-	-	-	-	0.28
30	4561	4.867	3.685	11.279	NG	2.659	0.921	4.228	G	0.25
31	4719	5.035	3.813	11.670	G	-	-	-	-	0.45
32	5264	5.617	4.253	13.018	G	-	-	-	-	0.17
33	2503	2.671	2.022	6.190	G	-	-	-	-	0.38
34	1975	2.107	1.596	4.884	G	-	-	-	-	0.41
35	4832	5.156	3.904	11.950	NG	2.817	0.976	4.479	G	0.22
36	4966	5.299	4.013	12.281	G	-	-	-	-	0.29
37	4915	5.244	3.971	12.155	G	-	-	-	-	0.31
38	5207	5.556	4.207	12.877	G	-	-	-	-	0.19
39	4915	5.244	3.971	12.155	G	-	-	-	-	0.45
40	4845	5.170	3.915	11.982	NG	2.825	0.979	4.491	G	0.29
41	3087	3.294	2.494	7.634	G	-	-	-	-	0.34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7. 5 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบในการปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ แล้วการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพแล้วการแห้งตัวของสีอยู่ในเวลาที่กำหนด	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต
1	180	0.28	33	0.80
2	317	0.50	8	0.20
3	98	0.16	-	0.00
4	46	0.06	-	0.00
รวม	641	1.00	41	1.00

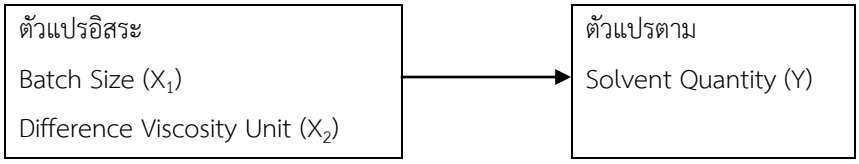
ก่อนปรับปรุงสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ในปัจจุบันคิดเป็น 0.72 กำหนดเป้าหมายลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.72 ลดลงเหลือ 0.36 หลังปรับปรุงพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็นสัดส่วน 0.20 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายในงานวิจัยที่กำหนด โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 แล้วไม่พบปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดเลยแสดงว่าไม่มีการปรับปรุงคุณภาพในรอบถัดไป ซึ่งลดลงจากที่ก่อนปรับปรุงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 3 เท่ากับ 16% และมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 4 เท่ากับ 6% จึงจะทำให้การแห้งตัวของสีอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.2.3 ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

ผู้วิจัยทำการทดสอบยืนยันผล โดยใช้สมการถดถอยสำหรับการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง โดยกำหนดค่าความหนืดเป้าหมายเท่ากับ 82 KU ผลการทดสอบการยืนยันผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.6 และสรุปผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.7

Solvent Quantity = -5.34 +0.004291*X1 + 1.153*X2 +0.0314 X2*X2+0.001537 X1*X2



โดยที่ X_1 = น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบ (Batch Size)

X_2 = จำนวนหน่วยค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลง (Viscosity Over Target)

X_2 = ค่าความหนืดที่วัดได้ – 82.0

Y = ปริมาณตัวทำละลาย (Solvent Quantity)

ตารางที่ 7. 6 ผลการทดสอบการยืนยันผลการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงแต่ละรอบการผลิต

No.	Trial 1					Trial 2				Total Trial
	X1	Initial Viscosity	X2	Y1	Final Viscosity	X1 (X1+ Y1)	X2	Y2	Final Viscosity	
1	4511	84.9	2.9	38	82.0	-	-	-	-	1
2	1798	84.8	2.8	14	80.9	-	-	-	-	1
3	3489	96.2	14.2	108	83.2	3597	1.2	18	81.3	2
4	4590	84.5	2.5	35	83.5	4625	1.5	27	80.4	2
5	4318	86.9	4.9	52	82.1	-	-	-	-	1
6	4639	88.8	6.8	72	81.0	-	-	-	-	1
7	1081	88	6.0	17	81.7	-	-	-	-	1
8	4784	86.8	4.8	57	82.0	-	-	-	-	1
9	2508	90.7	8.7	51	81.5	-	-	-	-	1
10	5264	92.3	10.3	116	83.6	5380	1.6	33	82.1	2
11	5180	86.3	4.3	57	82.2	-	-	-	-	1
12	4826	87	5.0	59	83.1	4885	1.1	25	81.3	2
13	4836	91.4	9.4	99	81.9	-	-	-	-	1
14	1224	96.1	14.1	49	81.9	-	-	-	-	1
15	5292	89.7	7.7	91	80.7	-	-	-	-	1
16	5000	93.6	11.6	123	81.8	-	-	-	-	1
17	5004	98.2	16.2	168	83.8	5172	1.8	33	82.4	2
18	1827	91.4	9.4	43	81.8	-	-	-	-	1
19	5424	94.4	12.4	140	80.3	-	-	-	-	1
20	1362	92	10.0	36	80.3	-	-	-	-	1
21	4901	91.4	9.4	100	82.4	-	-	-	-	1
22	4641	84.3	2.3	34	81.1	-	-	-	-	1
23	1590	95.4	13.4	55	83.6	1645	1.6	8	82.1	2
24	5304	94	12.0	134	83.8	5438	1.8	35	82.1	2
25	5120	94.5	12.5	134	82.5	-	-	-	-	1
26	3321	85.5	3.5	31	82.1	-	-	-	-	1
27	4823	84.1	2.1	33	82.9	-	-	-	-	1
28	4862	84.9	2.9	41	82.0	-	-	-	-	1
29	1385	87.2	5.2	19	81.7	-	-	-	-	1
30	5052	93.4	11.4	122	82.3	-	-	-	-	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7.6 ผลการทดสอบการยืนยันผลการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงแต่ละรอบการผลิต (ต่อ)

No.	Trial 1					Trial 2				Total Trial
	X1	Initial Viscosity	X2	Y1	Final Viscosity	X1 (X1+ Y1)	X2	Y2	Final Viscosity	
31	4905	87.1	5.1	61	82.0	-	-	-	-	1
32	2148	94	12.0	62	80.7	-	-	-	-	1
33	1076	89.5	7.5	22	82.7	-	-	-	-	1
34	4862	91.8	9.8	103	83.7	4965	1.7	31	81.3	2
35	4916	90.9	8.9	96	83.8	5012	1.8	32	80.9	2
36	4968	86	4.0	52	82.1	-	-	-	-	1
37	1764	93.5	11.5	51	82.6	-	-	-	-	1
38	2568	86.2	4.2	28	81.2	-	-	-	-	1
39	5304	94.2	12.2	136	83.5	5440	1.5	32	81.8	2
40	3955	87.8	5.8	55	82.9	-	-	-	-	1
41	5304	92.70	10.7	121	81.8	-	-	-	-	1
42	3218	87.5	5.5	43	81.3	-	-	-	-	1
43	1458	89.3	7.3	27	81.0	-	-	-	-	1
44	816	91.7	9.7	24	82.3	-	-	-	-	1
45	4910	98.5	16.5	168	82.6	-	-	-	-	1
46	1112	88	6.0	18	82.8	-	-	-	-	1
47	3182	91.9	9.9	71	81.8	-	-	-	-	1
48	5223	89.6	7.6	89	81.7	-	-	-	-	1
49	3403	85.5	3.5	32	82.9	-	-	-	-	1
50	1632	91.9	9.9	41	82.0	-	-	-	-	1
51	735	99.1	17.1	46	84.0	781	2.0	3	82.7	2
52	1790	84.2	2.2	11	80.7	-	-	-	-	1
53	4640	95	13.0	128	81.8	-	-	-	-	1
54	1315	91.2	9.2	32	82.0	-	-	-	-	1
55	4763	85.2	3.2	43	83.8	4806	1.8	31	82.4	2

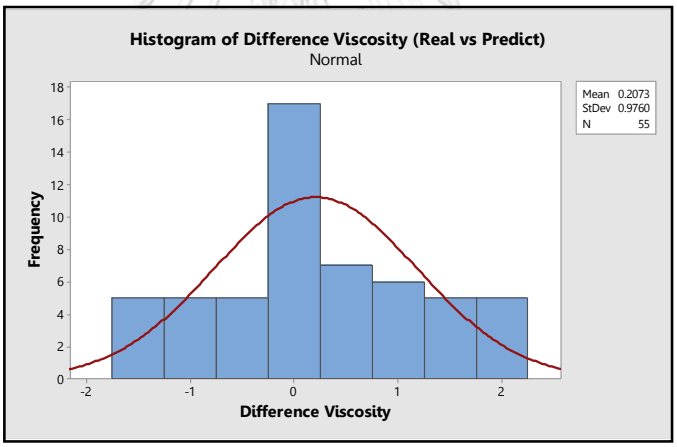
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7. 7 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบในการปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ แล้วค่าความหนืดลดลงมาอยู่ในช่วงที่กำหนด ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพแล้วค่าความหนืดอยู่ในช่วงที่กำหนด	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต	จำนวนรอบการผลิต	สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต
1	256	0.24	43	0.78
2	617	0.58	12	0.22
3	157	0.15	-	0.00
4	34	0.03	-	0.00
รวม	1,064	1.0	55	1.0

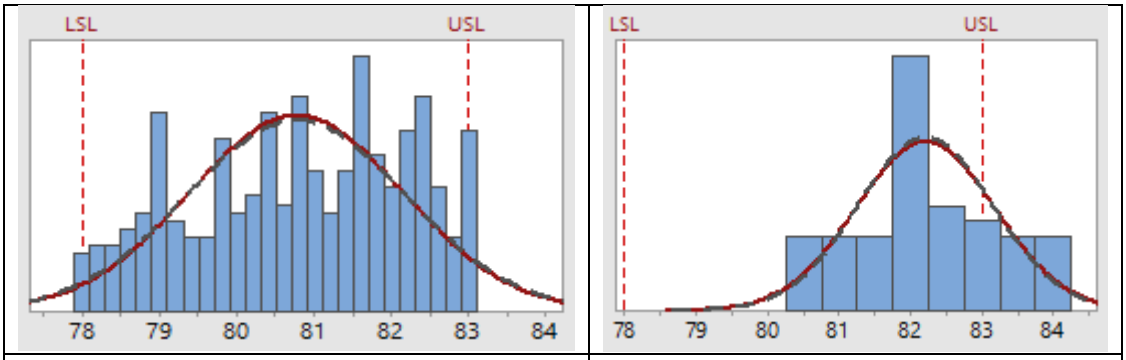
ก่อนปรับปรุงสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็น 0.76 กำหนดเป้าหมายลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.76 ลดลงเหลือ 0.38 หลังปรับปรุงพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็นสัดส่วน 0.22 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายในงานวิจัยที่กำหนด โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 แล้วไม่พบปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับเลยแสดงว่าไม่มีการปรับปรุงคุณภาพในรอบถัดไป ซึ่งลดลงจากที่ก่อนปรับปรุงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 3 เท่ากับ 15% และมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 4 เท่ากับ 3% จึงจะทำให้ความหนืดอยู่ในช่วงที่กำหนดได้

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความแม่นยำของสมการถดถอยจากผลการทดสอบยืนยันผล 55 รอบการผลิตที่พยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงโดยกำหนดค่าความหนืดเป้าหมายเท่ากับ 82 KU พิจารณาการกระจายตัวของค่าความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดจริงหลังจากเติมตัวทำละลายแล้วกับค่าความหนืดเป้าหมายหรือค่าความหนืดพยากรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7. 2 กราฟฮิสโตแกรมการกระจายตัวของค่าความแตกต่างของค่าความหนืดจริงกับค่าความหนืดพยากรณ์

จากรูปที่ 7.2 พบว่า ความหนืดจริงกับค่าความหนืดพยากรณ์แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันอยู่บ้างโดยมีค่าความแตกต่างอยู่ในช่วง -2.0 ถึง 2.0 KU ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ นั่นคือเมื่อกำหนดค่าความหนืดพยากรณ์ที่ 82 KU หลังปรับปรุงคุณภาพค่าความหนืดส่วนใหญ่ก็มีการกระจายตัวรอบ ๆ ค่า 82 KU จากนั้นผู้วิจัยเปรียบเทียบความผันแปรของค่าความหนืดก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการเมื่อปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูง ดังแสดงในรูปที่ 7.3



ก่อนปรับปรุงกระบวนการ	หลังปรับปรุงกระบวนการ

รูปที่ 7. 3 กราฟฮิสโตแกรมเปรียบเทียบข้อมูลความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพ ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ 7. 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ก่อนปรับปรุง	80.768	1.4810
หลังปรับปรุง	82.207	0.9760

จากรูปที่ 7.3 พบว่า ก่อนปรับปรุงค่าความหนืดมีการกระจายตัวตลอดช่วงขีดจำกัดควบคุม ส่วนหลังปรับปรุงค่าความหนืดมีการกระจายตัวรอบ ๆ ค่า 82 KU ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้และความผันแปรอยู่ในระดับต่ำกว่าก่อนปรับปรุงสังเกตได้จากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงจากเดิม 1.481 เป็น 0.9760 หลังจากใช้สมการถดถอยตามเงื่อนไขที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายสำหรับการปรับปรงคุณภาพความหนืดสูงแล้ว ค่าเฉลี่ยความหนืดหลังปรับปรุงเท่ากับ 82.21 KU ใกล้เคียงกับค่าความหนืดเป้าหมายที่กำหนดไว้เท่ากับ 82 KU สามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง} = \left[\frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าพยากรณ์}|}{\text{ค่าพยากรณ์}}\right] \times 100\% = \left[\frac{|82.21 - 82.0|}{82.0}\right] \times 100\% = 0.26\%$$

เมื่อคำนวณพบว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพกับค่าความหนืดเป้าหมายมีค่าเท่ากับ 0.26% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำเป็นที่ยอมรับได้ แสดงว่าการใช้สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายสำหรับการปรับปรงคุณภาพความหนืดสูงมีความแม่นยำและได้ค่าเฉลี่ยความหนืดใกล้เคียงกับค่าความหนืดเป้าหมายตามที่ต้องการ ซึ่ง

ค่าเฉลี่ยความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพ เท่ากับ 82.21 ไม่อยู่ตรงกลางของเกณฑ์การควบคุมคุณภาพที่เท่ากับ 80.5 KU และยังมีสัดส่วนงานที่หลังปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 แล้วค่าความหนืดมากกว่า USL อีก 22% ทำให้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 ทางโรงงานกรณีศึกษายอมรับได้เนื่องจากช่วงความหนืดที่ถูกกำหนดโดยฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็น Spec เป็นช่วงความหนืดเหมาะสม แล้วจะมีค่าอยู่รอบ ๆ LSL อยู่ตรงกลาง หรืออยู่รอบ ๆ USL ไม่ได้มีผลกระทบต่อการใช้งานทาสีจริงลงบนพื้นผิวที่ลูกค้าต้องการปกปิด ดังนั้นสินค้าต่างรอบการผลิตที่มีค่าความหนืดแตกต่างกันภายใต้เกณฑ์ที่กำหนดไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของลูกค้า สำหรับสัดส่วนงานที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 อีก 22% จะพบเพียง 1 รอบการผลิตใน 1 วันเท่านั้นซึ่งผู้บริหารยอมเสียเวลา 75 นาทีต่อหนึ่งรอบการแก้ไขงานใหม่นี้ เนื่องจากพิจารณาแล้วว่าเวลามีเหลือทันตามเวลาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์อยู่และไม่มีต้นทุนการทำงานล่วงเวลา แต่ยังสามารถประหยัดต้นทุนวัตถุดิบตัวทำละลายเพิ่มได้อีกด้วย

7.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

การคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ข้อมูลในการวัดผลเปรียบเทียบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตของแต่ละปัญหาก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ โดยใช้สูตรสำหรับการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions สามารถสรุปการคำนวณขนาดตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 7.9

ตารางที่ 7. 9 ขนาดตัวอย่างเพื่อทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions

สัดส่วนจำนวนรอบการผลิต	จำนวนข้อมูลที่มีก่อนปรับปรุง	สัดส่วนปัญหาก่อนปรับปรุง	สัดส่วนปัญหาเป้าหมาย	จำนวนข้อมูลที่ต้องเก็บหลังปรับปรุง	จำนวนข้อมูลที่เก็บมาหลังปรับปรุง	สัดส่วนปัญหาหลังปรับปรุง
สัดส่วนปัญหาการแต่งเฉดสี	1,194	0.85	0.43	26	42	0.33
สัดส่วนปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด	641	0.72	0.36	39	41	0.20
สัดส่วนปัญหาความหนืดสูง	1,064	0.76	0.38	34	55	0.22

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างพบว่า ในการเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างที่จำเป็นต้องใช้ก่อนและหลังที่ปรับปรุงเท่ากับ 26, 39, 34 ในแต่ละปัญหาตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดตัวอย่างที่จัดเก็บมาหลังการปรับปรุงในการทดสอบการยืนยันผลพบว่า มีจำนวนข้อมูลที่จัดเก็บมา 42, 41, 55 ในแต่ละปัญหาตามลำดับเพียงพอแล้ว

7.4 การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนแบบ Two Proportions เพื่อทดสอบว่าสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาแต่ละปัญหาหลังปรับปรุงกระบวนการมีค่าน้อยกว่าสัดส่วนก่อนปรับปรุงกระบวนการ ทดสอบด้วย Z Test ด้วยโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 7.4 – 7.6

สมมติฐาน H_0: $p_1 = p_2$

H_1: $p_1 > p_2$

โดยที่ p_1 คือ สัดส่วนปัญหาก่อนปรับปรุงกระบวนการ

p_2 คือ สัดส่วนปัญหาหลังปรับปรุงกระบวนการ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	1010	1194	0.845896
2	14	42	0.333333

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.512563
95% lower bound for difference: 0.391689
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 6.97 P-Value = 0.000

รูปที่ 7. 4 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการปัญหาจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	461	641	0.719189
2	8	41	0.195122

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.524067
95% lower bound for difference: 0.418162
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 8.14 P-Value = 0.000

รูปที่ 7. 5 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	808	1064	0.759398
2	12	55	0.218182

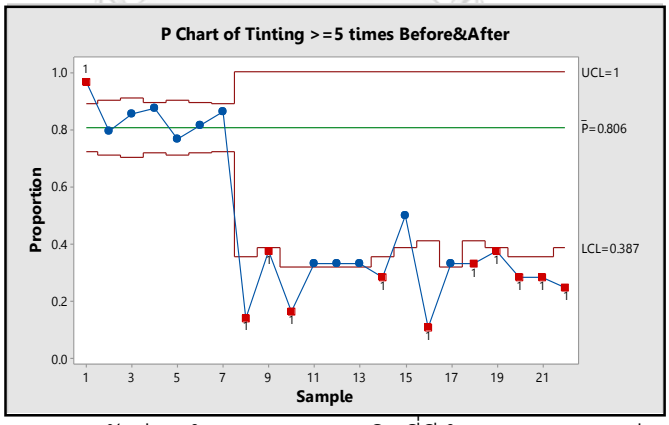
Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.541217
95% lower bound for difference: 0.447112
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 9.46 P-Value = 0.000

รูปที่ 7. 6 ผลการทดสอบความแตกต่างสัดส่วนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงกระบวนการปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต

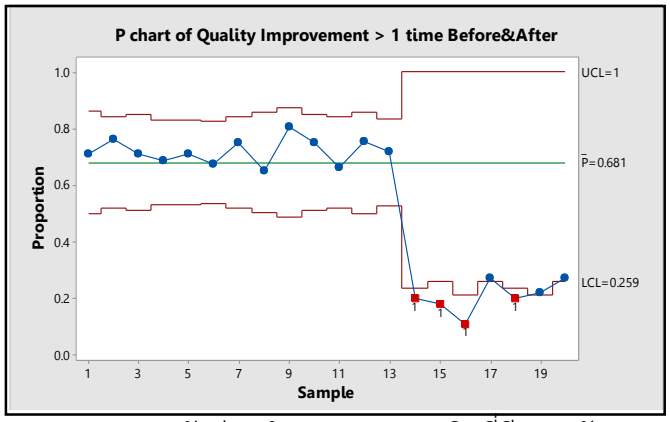
จากการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างสัดส่วนสองประชากร (Difference between Two Proportions) ในทุกปัญหาพบว่า ค่า P-value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ <0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) = 0.05 ทั้งสามปัญหา ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 ที่ว่าสัดส่วนก่อนปรับปรุงเท่ากับหลังปรับปรุงกระบวนการ แสดงว่า สัดส่วนหลังปรับปรุงลดลงกว่าสัดส่วนก่อนปรับปรุงกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

7.5 การกำหนดแผนภูมิควบคุม p

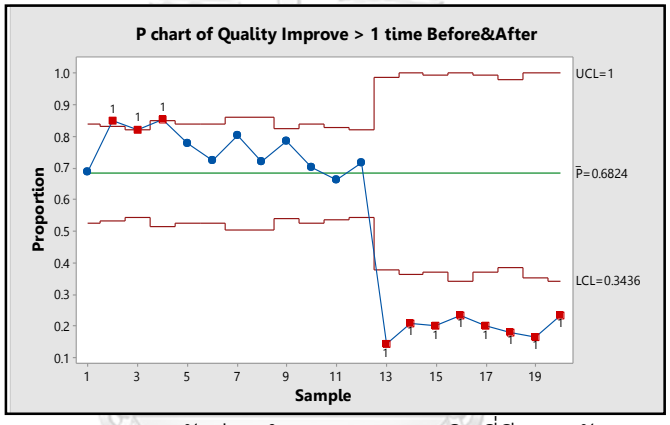
ผู้วิจัยจัดทำแผนภูมิควบคุม p เพื่อติดตามความเสถียรของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาแต่ละปัญหา เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 7.7 – 7.9



รูปที่ 7. 7 แผนภูมิควบคุม P สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 7. 8 แผนภูมิควบคุม p chart สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 7. 9 แผนภูมิควบคุม p chart สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 7.7, 7.8 และ 7.9 ก่อนปรับปรุงพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิต สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงมีจุดที่ค่าอยู่ในนอกสภาวะควบคุมหรือมีความไม่เสถียรในทิศทางสูงกว่า UCL และสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาเวลาการแห้งตัวสีเกินเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 รอบ มีค่าอยู่ในสภาวะควบคุมหรือมีความเสถียร และหลังปรับปรุงเกิดความเปลี่ยนแปลงขึ้นในกระบวนการทำให้ต้องมีการคำนวณขอบเขตควบคุมใหม่ในแต่ละปัญหาและมีจุดที่ค่าอยู่ใดออกนอกสภาวะการควบคุมหรือมีความไม่เสถียรในทิศทางต่ำกว่า LCL หมายถึงหลังกระบวนการสัดส่วนแต่ละปัญหาลดลง โดยสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบต่อรอบการผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.85 เป็น 0.33 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.76 เป็น 0.20

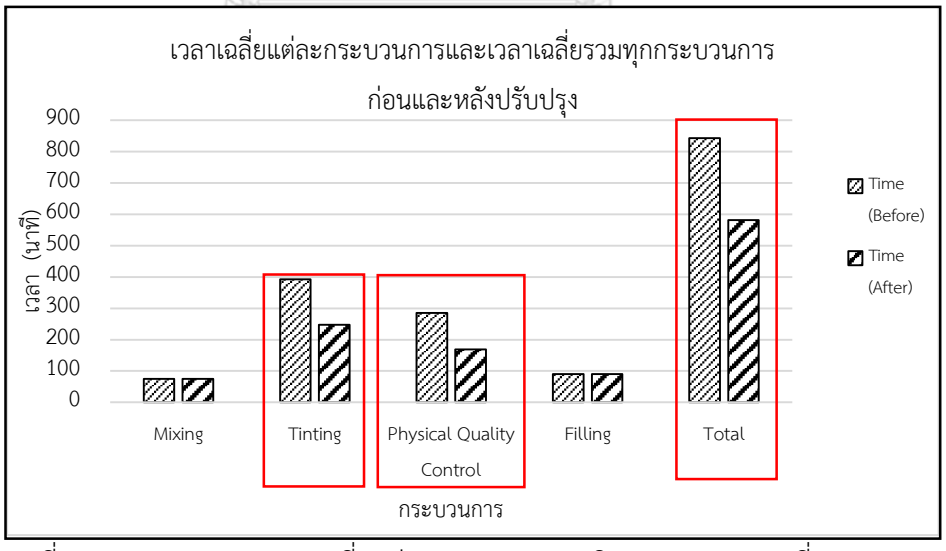
และสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีการปรับปรุงคุณภาพปัญหาเวลาการแห้งตัวสีเกินเวลาที่กำหนดมากกว่า 1 รอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.72 เป็น 0.22

7.6 การเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงกระบวนการ

หลังจากปรับปรุงกระบวนการจึงมีการจัดเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561 พบว่า สามารถสรุปเวลารวมเฉลี่ยในแต่ละกระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ แสดงไว้ในตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7. 10 เวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
กระบวนการผสมสี	75	77
กระบวนการแต่งเฉดสี	393	248
กระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ	285	169
กระบวนการบรรจุสี	90	90
เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการ	843	582



รูปที่ 7. 10 กราฟแสดงเวลาเฉลี่ยแต่ละกระบวนการผลิตและเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิต ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 7.10 ก่อนปรับปรุงกระบวนการ เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตสีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดในเดือนมิถุนายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2560 เท่ากับ 843 นาทีหรือ 14 ชั่วโมง 3 นาทีต่อรอบการผลิต พบว่า 80.4% ของเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตที่ยาวนานมาจาก 2 กระบวนการคือ กระบวนการแต่งเฉดสีเวลาที่ใช้ในกระบวนการยาวนานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการแต่งเฉดสีที่มีเวลารวมเฉลี่ย 50 นาทีต่อหนึ่งรอบการแต่งเฉดสี และกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเวลาที่ใช้ในกระบวนการยาวนานขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการตรวจสอบให้คุณภาพทุกหัวข้ออยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ที่มีเวลารวมเฉลี่ย 75 นาทีต่อหนึ่งรอบการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพและแก้ไขงานใหม่ หลังปรับปรุงกระบวนการ ผู้วิจัยมีการปรับปรุงสองกระบวนการนี้ทำให้จำนวนรอบการแก้ไขงานใหม่ลดลง จำนวนรอบการตรวจสอบคุณภาพจึงลดลง โดยกระบวนการแต่งเฉดสีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีเฉลี่ยลดลงจาก 7 รอบเหลือ 4 รอบต่อรอบการผลิต ทำให้เวลาในกระบวนการแต่งเฉดสีลดลงจาก 393 นาทีเหลือ 248 นาที (ลดลง 145 นาที) และกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพจำนวนรอบการตรวจสอบเฉลี่ยลดลงจาก 3 รอบเหลือ 2 รอบต่อรอบการผลิต (ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแก้ไขงานใหม่ 1 รอบ) ทำให้เวลาในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพลดลงจาก 285 นาทีเหลือ 169 นาที (ลดลง 116 นาที) ส่งผลให้เวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตลดลงจาก 843 นาทีเหลือ 582 นาทีต่อรอบการผลิตหรือ 9 ชั่วโมง 42 นาทีต่อรอบการผลิต (ลดลง 261 นาที) คิดเป็น 31.0% โดยเวลาที่ลดลงมาจากการปรับปรุงกระบวนการแต่งเฉดสีมากกว่าการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ

7.7 การคำนวณต้นทุนที่สามารถประหยัดได้

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

อ้างอิงข้อมูลการผลิตในปี พ.ศ. 2560 จำนวน 641 รอบการผลิตที่พบปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด ก่อนปรับปรุงทราบปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและจำนวนรอบการผลิตที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพ 1-4 รอบ หลังปรับปรุงตามผลการยืนยันผลการทดสอบ จำนวนรอบการผลิตที่ปรับปรุงคุณภาพ 1 รอบคิดเป็นสัดส่วน 0.80 และที่ต้องปรับปรุงคุณภาพ 2 รอบคิดเป็นสัดส่วน 0.20 จากสัดส่วนดังกล่าวคำนวณเป็นจำนวนรอบการผลิตแต่ละการปรับปรุงคุณภาพ ทำให้คำนวณต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพประกอบไปด้วยต้นทุนวัตถุดิบสารเร่งแห้ง ค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าเฉพาะที่ปรับปรุงคุณภาพเกิน 1 รอบ โดยกำหนดน้ำหนักแต่ละรอบการผลิตเฉลี่ยที่ 2,500 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.11

ตารางที่ 7. 11 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

จำนวนรอบการปรับปรุงคุณภาพแล้วการแห้งตัวอยู่ในเวลาที่กำหนด	จำนวนรอบการผลิต	ต้นทุนสารเร่งแห้งที่เพิ่มต่อรอบการปรับปรุง + ค่าแรงงานและค่าไฟฟ้า	ต้นทุนรวมแต่ละรอบการปรับปรุง
<u>ก่อนปรับปรุง</u>			
รอบที่ 1	180	763.75 บาท	137,475.00
รอบที่ 2	317	1,578.24 บาท	500,302.08
รอบที่ 3	98	2,341.99 บาท	229,515.02
รอบที่ 4	46	3,105.74 บาท	142,864.04
ต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพก่อนปรับปรุง = 1,010,156 บาทต่อปี โดยประมาณ			
<u>หลังปรับปรุง</u>			
รอบที่ 1 (80%)	513	1,275.74 บาท	654,454.62
รอบที่ 2 (20%)	128	1,550.74 บาท	198,494.72
ต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพหลังปรับปรุง = 852,949 บาทต่อปี โดยประมาณ			

ก่อนปรับปรุงต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ 1-4 รอบต่อรอบการผลิตเท่ากับ 1,010,156 บาทต่อปี และหลังปรับปรุงต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ 1-2 รอบต่อรอบการผลิตเท่ากับ 852,949 บาทต่อปี ฉะนั้นสามารถประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเท่ากับ 1,010,156 - 852,949 = 157,207 บาทต่อปี โดยประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

ผู้วิจัยเปรียบเทียบเฉพาะต้นทุนตัวทำละลายที่ประหยัดได้โดยใช้ข้อมูลน้ำหนักแต่ละรอบการผลิตและจำนวนหน่วยที่เกินค่าความหนืดเป้าหมายเดียวกันของ 1,064 รอบการผลิตที่อ้างอิงข้อมูลการผลิตปี พ.ศ. 2560 ที่พบปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับได้ ทำให้ทราบปริมาณตัวทำละลายที่ต้องใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ ก่อนปรับปรุงคือ ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้จริงในการปรับปรุงคุณภาพในอดีต หลังปรับปรุงคือ ปริมาณตัวทำละลายที่ได้จากการใช้สมการพยากรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพที่กำหนดค่าความหนืดเป้าหมาย 82 KU โดยไม่พิจารณาว่ารอบการผลิตใดที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตเพราะอย่างไรหลังปรับปรุงจำนวนรอบการผลิตที่ปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบมีค่าน้อยกว่าก่อนปรับปรุงอยู่แล้ว ฉะนั้นค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าก็ต้องน้อยกว่าก่อนปรับปรุงเช่นกัน การคำนวณดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.12

ตารางที่ 7. 12 การเปรียบเทียบต้นทุนตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	วิธีการกำหนดปริมาณตัวทำละลาย	ความหนืดหลังปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1	ปริมาณตัวทำละลาย (kg)	ต้นทุนตัวทำละลาย (33 บาท/kg)
ก่อนปรับปรุง	ประสบการณ์พนักงาน	80.768 (ข้อมูลจริง)	49,101	1,620,333
หลังปรับปรุง	ใช้สมการพยากรณ์	82.21 (จากทดสอบยืนยันผล)	38,840	1,281,720
ต้นทุนวัตถุดิบตัวทำละลายที่ประหยัดได้ = 1,620,333 - 1,281,720 = 338,613 บาทต่อปี				

หลังปรับปรุงกระบวนการ ถึงแม้ค่าเฉลี่ยความหนืดหลังปรับปรุงมากกว่าก่อนปรับปรุง แต่เนื่องจากความผันแปรของความหนืดลดลง จึงทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตลดลงและค่าเฉลี่ยความหนืดอยู่ที่ค่าสูงขึ้นแต่ต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุม ทำให้ต้นทุนตัวทำละลายต่ำลงกว่าก่อนปรับปรุงทำให้ประหยัดต้นทุนตัวทำละลายเท่ากับ 338,613 บาทต่อปี โดยประมาณ

จากในการดำเนินงานวิจัยนี้สามารถประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทั้งต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน และต้นทุนค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 157,207 บาทในการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดและ 338,613 บาทในการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูง รวมเป็นเงิน 495,820 บาทต่อปี โดยประมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7.8 การติดตามและควบคุมผล

หลังปรับปรุงกระบวนการและทำการทดสอบเพื่อยืนผันผลแล้ว กระบวนการแต่งเฉดสีที่ผู้วิจัยใช้กำหนดให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพใช้เทคนิคซอฟต์แวร์การจับคู่สีมาช่วยในการแต่งเฉดสี โรงงานกรณีศึกษามีคู่มือสนับสนุนทางเทคนิค (Technician Support) เรื่อง “คู่มือการทำ Color Matching” แล้วผู้วิจัยจึงไม่ต้องจัดทำใหม่ การติดตามจำนวนรอบในการแต่งเฉดสีแต่ละรอบการผลิต ผู้วิจัยติดตามผลจากเอกสาร QC-F001 ใบบันทึกผลการตรวจสอบเฉดสีประจำวัน ที่ผู้ปฏิบัติงานเป็นผู้บันทึกข้อมูลส่งผู้วิจัยรายวัน แสดงในตารางที่ 7.13 สำหรับกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพกรณีแก้ไขงานใหม่เมื่อพบปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับและปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด กำหนดให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้กำหนดปริมาณวัตถุดิบให้กับพนักงานฝ่ายผลิต ผู้วิจัยจึงมีการแก้ไขทบทวนเอกสารคู่มือสนับสนุนทางเทคนิค เรื่อง “การปรับปรุง

คุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมัน” หมายเลขเอกสาร QC-T001 ทบทวนครั้งที่ 11 หน้า 19 เพิ่มรายละเอียดปริมาณในการปรับปรุงคุณภาพตามตัวอักษรแบบหนา แสดงในตารางที่ 7.14 การติดตามจำนวนรอบในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบการผลิต ผู้วิจัยออกแบบเอกสาร QC-F1XX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงประจำวัน แสดงในตารางที่ 7.15 และ QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดประจำวัน แสดงในตารางที่ 7.16

ตารางที่ 7. 13 เอกสาร QC-F001 ใบบันทึกผลการตรวจสอบเฉดสีประจำวัน

QC-F001 ใบบันทึกผลการตรวจสอบเฉดสีประจำวัน

ชนิดสี : [ ] สีน้ำ [ ] สีน้ำมัน

ลำดับ	ชื่อสินค้า	Batch No	จำนวนรอบที่ตรวจสอบ	วันที่เริ่มตรวจสอบ	เวลาเริ่มตรวจสอบ	วันที่ผ่านเฉดสี	เวลาผ่านเฉดสี	รวมเวลาผ่านเฉดสี
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

ผู้รายงาน.....

วันที่รายงาน.....

QC-F001

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 7. 14 เอกสาร QC-T001 การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมัน

<table>
<tr><td colspan="4">คู่มือทางเทคนิค การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมัน หมายเลข QC-T001 ทบทวน 11 หน้า 19</td></tr>
<tr><td colspan="4">หัวข้อที่ 3.2 การปรับปรุงคุณภาพในฝ่ายผลิตสีน้ำมัน การแก้ไขคุณภาพของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการผลิต โดยการเพิ่มหรือลดปริมาณวัตถุดิบ</td></tr>
<tr><td colspan="2">ผลคุณภาพ</td><td>RM ที่ใช้ปรับ</td><td>ปริมาณในการปรับปรุงคุณภาพ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1. Viscosity</td><td>> Spec</td><td>Solvent</td><td>ไม่จำกัด (ไม่เกิน 20 % ของสูตร)
กำหนดปริมาณตัวทำละลายแต่ละรอบโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพที่พยากรณ์ด้วยสมการถดถอย</td></tr>
<tr><td>< Spec</td><td>Binder</td><td>ไม่เกิน 30 % ของปริมาณในสูตร</td></tr>
<tr><td>2. Drying Time</td><td>> Spec</td><td>Drier (Co 10%, Zr 12%, Ca 10%)</td><td>Drier แต่ละชนิดไม่เกิน 50% ของปริมาณในสูตร
กำหนดปริมาณแต่ละรอบโดยฝ่ายควบคุมคุณภาพตาม % Drier ของปริมาณในสูตร
<table>
<tr><th>Drier</th><th colspan="3">การปรับปรุงคุณภาพรอบที่</th></tr>
<tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr>
<tr><td>Co</td><td>17%</td><td>9%</td><td>24%</td></tr>
<tr><td>Zr</td><td>6%</td><td>1%</td><td>43%</td></tr>
<tr><td>Ca</td><td>32%</td><td>9%</td><td>9%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3. Hiding Power</td><td>> Spec</td><td>Binder</td><td>ไม่เกิน 30 % ของปริมาณในสูตร</td></tr>
<tr><td></td><td>Pigment</td><td>ไม่เกิน 30 % ของปริมาณในสูตร</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4. Gloss</td><td>< Spec</td><td>Binder</td><td>ไม่จำกัด</td></tr>
<tr><td>> Spec</td><td>Matting Agent</td><td>ไม่เกิน 8 % จากที่สูตรกำหนด</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5. WPG</td><td>> Spec</td><td>Binder</td><td>ไม่เกิน 30 % ของปริมาณในสูตร</td></tr>
<tr><td>< Spec</td><td>Pigment</td><td>ไม่เกิน 30 % ของปริมาณในสูตร</td></tr>
<tr><td>6. Color</td><td>≠Spec</td><td>Pigment</td><td>ปริมาณรวมของ Pigment ที่เพิ่มหรือลดไม่เกิน 20% ของน้ำหนักสีทั้งสูตร</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. Strength</td><td>> Spec</td><td>Pigment</td><td>ไม่เกิน 20% ของปริมาณในสูตร</td></tr>
<tr><td>< Spec</td><td>Binder</td><td>ไม่เกิน 20 % ของปริมาณในสูตร</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7. 15 QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงประจำวัน

QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงประจำวัน																		
ลำดับ	สินค้า	Batch No	การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1					การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2					การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 3					จำนวนรอบที่ปรับปรุง
			Viscosity - 82	Solvent ที่ใช้	Viscosity หลังปรับ	ผ่าน	ไม่ผ่าน	Viscosity - 82	Solvent ที่ใช้	Viscosity หลังปรับ	ผ่าน	ไม่ผ่าน	Viscosity - 82	Solvent ที่ใช้	Viscosity หลังปรับ	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
ผู้รายงาน.....																		
วันที่รายงาน.....																		
QC-FXXX																		

ตารางที่ 7. 16 QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดประจำวัน

QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดประจำวัน																		
ลำดับ	สินค้า	Batch No	การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1					การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 2					การปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 3					จำนวนรอบที่ปรับปรุง
			ปริมาณ Co	ปริมาณ Zr	ปริมาณ Ca	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ปริมาณ Co	ปริมาณ Zr	ปริมาณ Ca	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ปริมาณ Co	ปริมาณ Zr	ปริมาณ Ca	ผ่าน	ไม่ผ่าน	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
ผู้รายงาน.....																		
วันที่รายงาน.....																		
QC-FXXX																		

7.9 การจัดทำแผนควบคุม

ผู้วิจัยจัดทำแผนควบคุมเพื่อควบคุมสิ่งที่ต้องควบคุมตามวิธีการปฏิบัติงานใหม่ในกระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพสำหรับวิธีการกำหนดชนิดและปริมาณวัตถุดิบในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพให้กับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพและฝ่ายผลิต ซึ่งแผนควบคุมแสดงไว้ในตารางที่ 7.17 และ 7.18

ตารางที่ 7. 17 แผนควบคุมกระบวนการแต่งเฉดสี

จุดควบคุม	มาตรฐาน	หน่วย	การแก้ไขงานใหม่			การควบคุม		ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
			เครื่องมือวัด	ปริมาณวัตถุดิบ	ความถี่	เครื่องมือ	ความถี่			
ค่าความแตกต่างสี	0 – 0.5	-	เครื่องเทียบเฉดสีมาตรฐาน	พยากรณ์จากซอฟต์แวรต์การจับคู่สี	ทุกรอบการผลิต	แผนภูมิควบคุม P- chart	ทุกวัน	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	QC-F001 ใบบันทึกผลการตรวจสอบเฉดสีประจำวัน	เอกสาร QC-T001 การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมันและแจ้งหัวหน้างาน

ตารางที่ 7. 18 แผนควบคุมกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพ

จุดควบคุม	มาตรฐาน	หน่วย	การแก้ไขงานใหม่			การควบคุม		ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
			เครื่องมือวัด	ปริมาณวัตถุดิบ	ความถี่	เครื่องมือ	ความถี่			
ค่าความหนืด	76 -83	KU	วัดวิสโครมิเตอร์	พยากรณ์จากสมการถดถอย	ทุกรอบการผลิตที่พบปัญหาความหนืดสูง	แผนภูมิควบคุม P- chart	ทุกวัน	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงประจำวัน	เอกสาร QC-T001 การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมันและแจ้งหัวหน้างาน
เวลาการแห้งตัวของสี	แห้งตัวภายใน 30 นาทีหลังอบแผ่นฟิล์มสีในตู้อบความร้อน 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที	-	แผ่นฟิล์มสีและนิ้วมือสัมผัส	เอกสาร QC-T001 การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมัน	ทุกรอบการผลิตที่พบปัญหาความหนืดสูง	แผนภูมิควบคุม P- chart	ทุกวัน	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	QC-FXXX ใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดประจำวัน	เอกสาร QC-T001 การปรับปรุงคุณภาพสินค้าสำเร็จรูปสีน้ำมันและแจ้งหัวหน้างาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.10 สรุประยะการติดตามควบคุม

ระยะการติดตามควบคุม ในขั้นตอนนี้ทำการทดสอบยืนยันผล เพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนปัญหาแต่ละปัญหาลดลงเป็นไปตามผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมและต่ำกว่าที่เป้าหมายในงานวิจัยกำหนดหรือไม่

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ โดยใช้ซอฟต์แวร์การจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สี ช่วยในการแต่งเฉดสี ลดปัญหาความชำนาญในการแต่งเฉดสีของพนักงาน ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 42 รอบการผลิตพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ มีค่าเท่ากับ 0.33 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด ลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.85 ให้เหลือ 0.43 และไม่พบรอบการผลิตใดที่ต้องมีการแต่งเฉดสีมากกว่า 9 รอบเหมือนก่อนปรับปรุง จึงทำให้ค่าความแตกต่างสีอยู่ในช่วงที่กำหนดได้

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ โดยใช้การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบชนิดส่วนประสมกลางในการหาระดับที่เหมาะสมปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ ปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ ปริมาณสารเร่งแห้งเซอร์โคเนียม และปริมาณสารเร่งแห้งแคลเซียมที่ทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดลดลง ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 41 รอบการผลิตที่พบปัญหาพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็นสัดส่วน 0.20 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.72 ลดลงเหลือ 0.36 โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 แล้วไม่พบปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดเลย

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ โดยใช้สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ต้องใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ มีตัวแปรอิสระเป็นจำนวนน้ำหนักที่ผลิตแต่ละรอบการผลิตและจำนวนหน่วยที่เกินค่าความหนืดเป้าหมายเป้าหมายที่กำหนดไว้เท่ากับ 82 KU ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 55 รอบการผลิตที่พบปัญหาพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็นสัดส่วน 0.22 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.76 ให้เหลือเหลือ 0.38 โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 แล้วไม่พบปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับเลย หลังปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 ก่อนปรับปรุงค่ามีการกระจายตัวตลอดช่วงขีดจำกัดควบคุม หลังปรับปรุงค่าเฉลี่ยค่าความหนืดเท่ากับ 82.21 KU คำนวณเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าความหนืดจริงกับค่าความหนืดพยากรณ์เท่ากับ 0.26% ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำเป็นที่ยอมรับได้ และความผันแปรอยู่ในระดับต่ำกว่าก่อนปรับปรุง สังเกตจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงจากเดิม 1.481 เป็น 0.9760

การทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบค่าสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาแต่ละปัญหาก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาในทั้งสามเรื่องหลังปรับปรุงลดลงกว่าสัดส่วนก่อนปรับปรุงกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผู้วิจัยได้จัดทำแผนภูมิควบคุม p เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาในทั้งสามเรื่องพบว่า หลังปรับปรุงมีจุดต่ำกว่า LCL กระบวนการอยู่นอกสภาวะการควบคุมหรือมีความไม่เสถียรที่แสดงถึงการปรับปรุงสัดส่วนปัญหาทั้งสามเรื่องลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และได้จัดทำเอกสารใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพแต่ละปัญหาเพื่อติดตามผลจากนั้นเก็บข้อมูลเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตลดลงจาก 843 เหลือ 582 นาที (ลดลง 261 นาทีหรือคิดเป็น 30.9%) โดยกระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเวลาลดลงอย่างมีนัยสำคัญเป็นผลจากในงานวิจัยที่ได้ปรับปรุงสองกระบวนการนี้ นอกจากนี้การดำเนินงานวิจัยสามารถประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพได้ 495,820 บาทต่อปี โดยประมาณ นอกจากนั้นผู้วิจัยได้สร้างแผนควบคุมเพื่อให้เห็นภาพรวมของสิ่งที่ต้องควบคุมและวิธีการควบคุมในแต่ละกระบวนการด้วย

บทที่ 8
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตสีน้ำมันสีกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัดของโรงงานกรณีศึกษาตาม 5 ขั้นตอนหลักได้แก่ ระยะการนิยามปัญหา ระยะการวัดสภาพปัญหา ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา และระยะการตรวจติดตามควบคุม โดยมีบทสรุปในแต่ละขั้นตอนดังนี้

8.2 ระยะการนิยามปัญหา

หลังจากศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาแล้ว เวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิตเท่ากับ 843 นาทีหรือ 14 ชั่วโมง 3 นาทีต่อรอบการผลิตซึ่งยาวนาน 80% ของเวลารวมที่ยาวนานมาจากสองกระบวนการคือ กระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเนื่องจากมีปรับปรุงคุณภาพจำนวนหลายรอบเกินความจำเป็น จึงได้กำหนดเป้าหมายที่จะทำการปรับปรุงคือ การลดเวลารวมเฉลี่ยในกระบวนการผลิต โดยกำหนดตัวชี้วัดคือ สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีมากกว่าและเท่ากับ 5 รอบจาก 0.85 ลดเหลือ 0.43 สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตจาก 0.72 ลดเหลือ 0.36 และสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิตจาก 0.76 ลดเหลือ 0.38 ดังนั้นจึงทำจัดตั้งคณะทีมงานเข้าร่วมโครงการศึกษาและปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดสัดส่วนจำนวนรอบที่มีปัญหาแต่ละปัญหาให้ได้ตามเป้าหมาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.3 ระยะการวัดสภาพปัญหา

ในขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา เริ่มด้วยการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดและการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลแบบหน่วยวัดคือ ค่าความแตกต่างสีและค่าความหนืดพบว่า ความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) มีค่าเท่ากับร้อยละ 10.45 และร้อยละ 9.69 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินร้อยละ 30 ตามเกณฑ์การยอมรับที่อ้างอิงจากเกณฑ์ของ AIAG (2008) ข้อมูลตามลักษณะคือ การแห้งตัวของสีพบว่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงาน เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลความไม่ไบอัส

ของการตรวจสอบ เท่ากับ 100% อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ จากนั้นระดมสมองจากคณะทีมงานหาสาเหตุปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาทั้งสาม โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผลได้ทั้งหมด 22 ปัจจัย ทำการจัดลำดับความสำคัญโดยใช้ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล จัดทำกราฟเรียงลำดับคะแนนเหลือ 12 ปัจจัย ตัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัดออก 3 ปัจจัยเหลือ 9 ปัจจัย ดังนี้

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิต ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สี

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต ปัจจัยความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้ง

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบคือ ปัจจัยความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ปัจจัยความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิต ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลาย

8.4 ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา จะทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ ปัจจัยความผันแปรของความแรงแม่สีแต่ละรอบการผลิตและปัจจัยความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสีจะถูกปรับปรุงในระยะการปรับปรับปรุงแก้ไข และปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบแม่สีได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบเป็น 15 นาที

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิตถูกปรับปรุงในระยะการปรับปรับปรุงแก้ไข ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบสารเร่งแห้งได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบเป็น 15 นาที และปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญได้แก่ ความผันแปรเปอร์เซ็นต์โลหะในสารเร่งแห้งแต่ละชนิดแต่ละรอบการผลิตของผู้ผลิต

ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ ปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้แก่ ปัจจัยความไม่ชำนาญการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพจะถูกปรับปรุงในระยะการปรับปรับปรุงแก้ไข ปัจจัยเวลาที่ใช้ปั่นกวนสีหลังเติมวัตถุดิบตัวทำละลายได้กำหนดเวลามาตรฐานสำหรับปั่นกวนสีในแต่ละรอบเป็น 15 นาที และปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญได้แก่ ปัจจัยความผันแปรของความหนืดตัวทำละลายแต่ละรอบการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.5 ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา จะหาแนวทางการปรับปรุงปัจจัยที่สำคัญของปัญหา

- ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

ปัจจัยสาเหตุความไม่ชำนาญในการแต่งเฉดสี ผู้วิจัยได้ทดลองนำซอฟต์แวร์การจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีโดยสร้างข้อมูลพื้นฐานแม่สีทั้ง 15 ชนิดที่กำหนดอัตราส่วนการผสมปริมาณแม่สีที่ค่าต่าง ๆ เพื่อวัดค่าการสะท้อนแสงที่ได้ตามช่วงปริมาณแม่สีที่ใช้งานจริงสำหรับใช้ในซอฟต์แวร์ ทดลองแต่งเฉดสีด้วยซอฟต์แวร์การจับคู่สีนี้ในระดับการผลิตจำนวน 7 รอบการผลิตพบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสี 4 รอบต่อรอบการผลิตลดลงกว่าก่อนปรับปรุงที่การแต่งเฉดสีด้วยความชำนาญของพนักงานมีค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการแต่งเฉดสี 7 รอบต่อรอบการผลิต

- ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

ปัจจัยปริมาณสารเร่งแห้งที่ไม่เหมาะสมในสูตรเพื่อการผลิต ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบชนิดส่วนประสมกลางหาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนด (Y_1) และต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้งต่ำที่สุด (Y_2) ปัจจัยสำหรับทำการศึกษา 3 ปัจจัยคือ ปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียม ทำการทดลองตามระดับปัจจัยที่กำหนดและหาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองโดยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด ของตัวแปรตอบสนองต้นทุนรวมที่เกี่ยวข้องกับสารเร่งแห้งที่มีผลกระทบจากสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดรวมอยู่ด้วยแล้ว และหาค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยด้วยการทำ Response Optimization ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมของปริมาณสารเร่งแห้งที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแต่ละรอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

ปัจจัยความไม่ชำนาญในการกำหนดปริมาณตัวทำละลายเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ผู้วิจัยได้สร้างสมการถดถอยโดยวิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดจากข้อมูลในอดีตได้แก่ ปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพแก้ปัญหาความหนืดสูงที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 แล้วทำให้ความหนืดลดลงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยมีปัจจัยนำเข้าคือ น้ำหนักการผลิตแต่ละรอบ (X_1) และจำนวนหน่วยความหนืดที่เปลี่ยนแปลง (X_2) และตัวแปรตอบสนองคือ ปริมาณตัวทำละลาย หาสมการลดรูปเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองโดยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุด และหาค่าที่เหมาะสมของค่าความหนืดเป้าหมายเท่ากับ 82 KU ทำให้ต้นทุนรวมที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพต่ำและสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบได้ตามเป้าหมายงานวิจัย

8.6 ระยะการตรวจติดตามควบคุม

ผู้วิจัยได้ทดสอบยืนยันผลการปรับปรุงแต่ละปัญหา ตามแนวทางการปรับปรุงได้ผลดังนี้

- ปัญหาการแต่งเฉดสีจำนวนหลายรอบ

หลังใช้ซอฟต์แวร์การจับคู่สีเพื่อพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สี ช่วยในการแต่งเฉดสี ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 42 รอบการผลิตพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีจำนวนรอบการแต่งเฉดสีสูงเกินจำนวนรอบเป้าหมาย คือ มากกว่าและเท่ากับ 5 รอบ มีค่าเท่ากับ 0.33 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.85 ให้เหลือ 0.43 และไม่พบรอบการผลิตใดที่ต้องมีการแต่งเฉดสีมากกว่า 9 รอบเหมือนก่อนปรับปรุง จึงทำให้ค่าความแตกต่างสีอยู่ในช่วงที่กำหนดได้

- ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดจำนวนหลายรอบ

หลังใช้ระดับที่เหมาะสมปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยคือ ปริมาณสารเร่งแห้งโคบอลต์ เซอร์โคเนียม และแคลเซียมตามการวิเคราะห์ปริมาณที่ใช้ในแต่ละรอบการปรับปรุง ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 41 รอบการผลิตที่พบปัญหาพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็นสัดส่วน 0.20 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดลดสัดส่วนลง 50 % จาก 0.72 ลดลงเหลือ 0.36 โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 แล้วไม่พบปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลากำหนดเลย

- ปัญหาการปรับปรุงคุณภาพความหนืดสูงจำนวนหลายรอบ

หลังใช้สมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดพยากรณ์ปริมาณตัวทำละลายที่ต้องใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ กำหนดค่าความหนืดเป้าหมายที่เท่ากับ 82 KU ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 55 รอบการผลิตที่พบปัญหาพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาความหนืดสูงที่ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพมากกว่า 1 รอบต่อรอบการผลิต คิดเป็นสัดส่วน 0.22 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดลดสัดส่วนลง 50% จาก 0.76 ให้เหลือ 0.38 โดยหลังจากปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 2 แล้วไม่พบปัญหาความหนืดสูงเกินช่วงที่ยอมรับเลย หลังปรับปรุงคุณภาพในรอบที่ 1 ก่อนปรับปรุงค่ามีการกระจายตัวตลอดช่วงขีดจำกัดควบคุม หลังปรับปรุงค่าเฉลี่ยค่าความหนืดเท่ากับ 82.21 KU และความผันแปรอยู่ในระดับต่ำกว่าก่อนปรับปรุงสังเกตจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ลดลงจากเดิม 1.481 เป็น 0.9760

จากนั้นผู้วิจัยจัดทำแผนภูมิควบคุม p เพื่อติดตามความเสถียรของสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาแต่ละปัญหาพบว่า สัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่มีปัญหาแต่ละปัญหาลดลงกว่าก่อนปรับปรุง และจัดทำเอกสารใบบันทึกผลการปรับปรุงคุณภาพแต่ละปัญหาเพื่อติดตามผล นอกจากนั้นได้สรุปเป็นแผนควบคุมกระบวนการผลิต จากนั้นเก็บข้อมูลเวลารวมเฉลี่ยทุกกระบวนการผลิตลดลงจาก 843 เหลือ 582 นาที (ลดลง 261 นาทีคิดเป็น 30.9%) โดยกระบวนการแต่งเฉดสีและกระบวนการตรวจสอบคุณภาพลักษณะทางกายภาพเวลาลดลงอย่างมีนัยสำคัญเป็นผลจากในงานวิจัย

ที่ได้ปรับปรุงสองกระบวนการนี้ นอกจากนี้การดำเนินงานวิจัยสามารถประหยัดต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพทั้งต้นทุนวัตถุดิบและต้นทุนค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ 495,820 บาทต่อปี โดยประมาณ

8.7 ข้อจำกัดงานวิจัย

1. งานวิจัยศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์สีน้ำมันกลุ่มสีแค็ตตาล็อก เกรดประหยัด ดังนั้นค่าของปัจจัยนำเข้าที่ได้จึงอาจนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่นเกรดอื่นไม่ได้ แต่วิธีการปรับปรุงหรือปัจจัยที่มีนัยสำคัญอาจนำไปใช้ได้

2. การวิเคราะห์สร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายใหม่ที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงจะใช้เฉพาะข้อมูลปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพในอดีตที่มีการปรับปรุงคุณภาพรอบที่ 1 แล้วความหนืดลดลงมาอยู่ในช่วงที่กำหนดเท่านั้น

3. โรงงานกรณีศึกษามีน้ำหนักการผลิตสูงและหลากหลาย การออกแบบการทดลองที่ใช้การทดลองหลายระดับ ขนาดตัวอย่างที่ใช้เพื่อหาสัดส่วนจำนวนรอบการผลิตที่พบปัญหาเวลาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดในระดับการผลิตมีจำนวน 8 ตัวอย่างต่อหนึ่งการทดลองและต้องทำทั้งหมด 20 การทดลองนั้นอาจใช้เวลานาน หากทำในสายการผลิตซึ่งยากต่อการควบคุมการทดลองด้วย จึงทำการทดลองในระดับปฏิบัติการ

8.8 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

1. การทดลองนำซอฟต์แวร์การจับคู่สีมาพยากรณ์ชนิดและปริมาณแม่สีช่วยในการแต่งเฉดสี ข้อมูลพื้นฐานของแม่สีที่จัดทำขึ้นนั้นสามารถประยุกต์ใช้กับกลุ่มสีแค็ตตาล็อกเกรดอื่นได้เนื่องจากเป็นชุดแม่สีเดียวกันที่ใช้แต่งเฉดสี

2. สามารถสร้างสมการถดถอยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณตัวทำละลายใหม่ที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพปัญหาความหนืดสูงในกลุ่มสีแค็ตตาล็อกเกรดอื่นตามแนวทางในงานวิจัย

3. สามารถออกแบบการทดลองเพื่อหาปริมาณสารเร่งแห้งที่เหมาะสสำหรับสูตรเพื่อการผลิตในกลุ่มสีแค็ตตาล็อกเกรดอื่นได้ตามแนวทางในงานวิจัยเพราะมีปัญหาการแห้งตัวของสีเกินเวลาที่กำหนดเช่นกัน แต่ที่ไม่สามารถใช้สัดส่วนปริมาณสารเร่งแห้งเดียวกันได้เพราะมีความแตกต่างของชนิดเรซินในแต่ละเกรดผลิตภัณฑ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. สรวารี, อ., สารเคลือบผิว(สี วาร์นิช และแลกเกอร์) Vol. 2. 2544, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีเคลือบแอลคีด เลขที่ มอก.*2625 – 2557*.
3. Schönhut, J., *Document imaging: computer meets press*. 2012: Springer Science & Business Media.
4. Laden, P., *Chemistry and technology of water based inks*. 2012: Springer Science & Business Media.
5. Klein, G.A. and T. Meyrath, *Industrial color physics*. Vol. 154. 2010: Springer.
6. Leach, R., *The printing ink manual*. 2012: Springer Science & Business Media.
7. Calbo, L.J.J.M.D., 270 Madison Avenue, New York, New York 10016, USA, . *Handbook of coatings additives*. 1987.
8. Bielman, J., *Driers*, in *Surface Coatings*. 1993, Springer. p. 592-610.
9. โอสถศิลป์, น., การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา. 2016.
10. ไพศาลภาณุมาศ, พ., การลดระยะเวลานำในการผลิตในโรงงานผลิตเลนส์แว่นตาโดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ซิกมา. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
11. Allen, T., *Introduction to Engineering Statistic and Lean Sigma*. 2010, Springer-Verlag London limited.
12. Pyzdek, T. and P.A. Keller, *The six sigma handbook*. Vol. 4. 2014: McGraw-Hill Education New York, NY.
13. ธัญญรักษ์, ธ., การลดเวลาการหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินในการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
14. Montgomery, D.C. and G.C. Runger, *Applied statistics and probability for engineers*. 2010: John Wiley & Sons.
15. Montgomery, D.C., *Design and analysis of experiments*. 2017: John wiley & sons.
16. เจริญภักตร์, ภ., ความน่าจะเป็นและสถิติ. Vol. 13. 2012, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

17. Bondioli, F., T. Manfredini, and M.J.J.o.t.e.c.s. Romagnoli, *Color matching algorithms in ceramic tile production.* 2006. 26(3): p. 311-316.
18. Guo, H., et al., *Dynamic Regional Viscosity Prediction Model of Blast Furnace Slag Based on the Partial Least-Squares Regression.* 2017. 69(2): p. 395-401.
19. Mallegol, J., et al., *Influence of drier combination on through-drying in waterborne alkyd emulsion coatings observed with magnetic resonance profiling.* 2002. 74(933): p. 113-124.
20. Van Gorkum, R. and E.J.C.C.R. Bouwman, *The oxidative drying of alkyd paint catalysed by metal complexes.* 2005. 249(17-18): p. 1709-1728.
21. Rojanarowan, N. and T. Senprom. *Glass-Mold Defective Reduction in Plastic Lenses Manufacturing Process Using Six Sigma Approach*. in *Advanced Materials Research*. 2011. Trans Tech Publ.
22. Bisgaard, S. and H.T.J.J.o.Q.T. Fuller, *Sample size estimates for 2 kp designs with binary responses.* 1995. 27(4): p. 344-354.
23. AIAG, A.J.R.M., Third Edition, The Automotive Industries Action Group, Troy, *Measurement systems analysis (MSA).* 2002.
24. Fasser, Y. and D. Brettner, *Process improvement in the electronics industry*. 1992: John Wiley & Sons, Inc.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายพลัฏฐ์กร ใจผ่องอัครกุล
วัน เดือน ปี เกิด	8 มีนาคม พ.ศ.2533
สถานที่เกิด	จังหวัดปราจีนบุรี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จากโรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง จังหวัดปราจีนบุรี และได้เข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2555 ภายหลังจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท ทีโอเอ เพ้นท์ ประเทศไทย จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่งหัวหน้าส่วนฝ่ายควบคุมคุณภาพส่วนการผลิตสีน้ำมัน หลังจากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University