การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟโดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา

นายธนภัทร สุวณิชย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROCESS IMPROVEMENT OF REACTIVE DYE SYNTHESIS USING SIX SIGMA CONCEPT

Mr. Thanapat Suwanich

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟโดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา
โดย	นายธนภัทร สุวณิชย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

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

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธนภัทร สุวณิชย์ : การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟโดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา (PROCESS IMPROVEMENT OF REACTIVE DYE SYNTHESIS USING SIX SIGMA CONCEPT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. ปารเมศ ชุติมา, 141 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้าสำหรับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทข้ามชาติที่เข้ามาตั้งและดำเนินธุรกิจในประเทศไทย โดยมุ่งเน้นในการปรับปรุงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ซึ่งไม่เพียงแค่ลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้เท่านั้น งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นถึงการเพิ่มผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟร่วมด้วย โดยการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์มีการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้

จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ในปัจจุบันให้ผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยให้ค่าผลผลิตอยู่ระหว่าง 90.4% - 99.1% (S.D. = 2.405 และ Cpk = -0.08) รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 94.5% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ตามที่บริษัทตั้งไว้

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ดำเนินตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน (DMAIC) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในแต่ละขั้นตอนและทั้งหมดของกระบวนการ ซึ่งจากการวิเคราะห์ตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา ให้ผลหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่าค่าความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟมีค่าลดลง ซึ่งให้ค่าระหว่าง 96.2% - 98.9% (S.D. = 0.630% และ Cpk = 1.56) รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 97.5% ซึ่งมากกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5870940521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: REACTIVE DYE SYNTHESIS / SIX SIGMA CONCEPT / PROCESS IMPROVEMENT / DESIGN OF EXPERIMENTS / DOE

THANAPAT SUWANICH: PROCESS IMPROVEMENT OF REACTIVE DYE SYNTHESIS USING SIX SIGMA CONCEPT. ADVISOR: PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 141 pp.

This research focuses on the problem occurred in the reactive dye synthesis process of an international textile company in Thailand. The objectives are not only to reduce the variation but also to improve the chemical yield of the reactive synthesis process by applying the Six Sigma concept. The current chemical yield from the process shows a high variation, i.e. 90.4% – 99.1% (S.D. = 2.405 and Cpk = -0.08) with the average yield of 94.5% (lower than the 95% standard set by the company).

The five phases of the Six Sigma concept (i.e. DMAIC) is used to determine the appropriate parameter settings of the process. It is found that with new parameter settings the process can reduce the variation of the process to obtain the chemical yield to between 96.2% and 98.9% (S.D. = 0.630 and Cpk = 1.56) with the average yield of 97.5%.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณความอนุเคราะห์ของบุคคลที่มีความเกี่ยวข้องหลากหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในทุกๆเรื่อง รวมถึงให้ความใส่ใจและติดตามผลและการดำเนินการระหว่างการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นด้วยความเอาใจใส่เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอก ที่ให้ความกรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำต่างๆในการแก้ปัญหาและตรวจสอบข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสในการศึกษาและวิจัยงานวิจัยฉบับนี้ ตลอดจนเพื่อนพนักงานในแต่ละฝ่ายที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและการทำการทดลองเป็นอย่างดีมาโดยตลอด รวมถึงคณะทีมงานในงานวิจัยที่สละเวลาช่วยในการวิเคราะห์ผลต่างๆให้กับงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ และความรู้ในแง่ต่างๆกับผู้วิจัย ซึ่งความช่วยเหลือต่างๆถือเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้อย่างมาก

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นเบื้องหลังความสำเร็จที่สำคัญ ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและให้กำลังใจผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฏ
สารบัญรูปภาพ ..... ฒ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ข้อมูลทั่วไปและขั้นตอนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา 1
1.1.1 ชนิดของผลิตภัณฑ์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟของทางบริษัท 2
1.1.2 กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ 3
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 4
1.3 การศึกษาความสำคัญและสภาพของปัญหาในปัจจุบัน 6
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 15
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 16
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 16
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 17
บทที่ 2 21
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 21
2.1 แนวคิดและหลักการของซิกซ์ ซิกมา 21
2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา 23
2.1.2 กรอบแนวคิดสำหรับกระบวนการซิกซ์ ซิกมา 23

หน้า

2.1.3 โมเดลของซิกซ์ ซิกมา 25
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ 42
2.2.1 ประเภทของสีย้อมรีแอกทีฟ 44
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ 46
2.2.3 กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ 47
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 49
บทที่ 3 51
ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase) 51
3.1 บทนำ 51
3.2 การศึกษากระบวนการผลิต 51
3.3 การกำหนดปัญหา 53
3.4 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด 57
3.5 การจัดตั้งคณะทำงาน 57
3.6 สรุประยะนิยามปัญหา 58
บทที่ 4 59
ระยะการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase) 59
4.1 บทนำ 59
4.2 การวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base .. 60
4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัด 64
4.3.1 วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดเครื่องมือทางเคมี HPLC 66
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม 72
4.4.1 การหาสาเหตุและปัจจัยโดยใช้ผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 73

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)..... 76
4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)..... 81
4.5 สรุประยะการตรวจวัดปัญหา 87
บทที่ 5 89
ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)..... 89
5.1 บทนำ..... 89
5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานของการออกแบบการทดลอง..... 89
5.3 ตัวแปรตอบสนอง..... 91
5.4 การออกแบบการทดลอง..... 91
5.5 ขั้นตอนการทดลอง 92
5.6 ผลการทดลอง..... 94
5.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง..... 95
5.7.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับผลการทดลองที่ได้จาก กระบวนการสังเคราะห์การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 96
5.7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับผลการทดลองที่ได้จาก กระบวนการสังเคราะห์การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 98
5.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 100
5.9 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 102
บทที่ 6 104
ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)..... 104
6.1 บทนำ..... 104
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ..... 104
6.2.1 ขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1^{st} Condensation) 104
6.2.2 ขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2^{nd} Condensation) 105

หน้า

6.3 ตัวแปรตอบสนอง 107
6.4 การออกแบบผลการทดลอง 107
6.5 ขั้นตอนการทดลอง 107
6.6 ผลการทดลอง 108
6.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 110
6.7.1 สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ 110
6.7.2 สมมติฐานความเป็นอิสระ 111
6.7.3 สมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล 111
6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 112
6.9 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 116
บทที่ 7 117
ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase) 117
7.1 บทนำ 117
7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต 117
7.3 แนวทางการควบคุมระดับของปัจจัย 120
7.4 สรุประยะการควบคุมการผลิต 121
บทที่ 8 122
บทสรุปและข้อเสนอแนะ 122
8.1 บทนำ 122
8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา 122
8.3 บทสรุประยะการตรวจวัดปัญหา 123
8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 124
8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 124

หน้า

8.6 บทสรุประยะการควบคุมการผลิต 125
8.7 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย 125
8.8 ข้อเสนอแนะ 126
รายการอ้างอิง 127
ภาคผนวก 130
ภาคผนวก ก 131
ข้อมูลระยะนิยามปัญหา 131
ภาคผนวก ข 134
ค่าการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 134
ภาคผนวก ค 137
การควบคุมการผลิต 137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 141

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. 1 รายละเอียดของกำไร-ขาดทุนจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมในแต่ละครั้งการผลิต 10
ตารางที่ 1. 2 สภาวะควบคุมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมระเภท REACTIVE-A Blue Base 11
ตารางที่ 1. 3 เกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิต 11
ตารางที่ 1. 4 ปัจจัยศึกษาเพื่อลดความผันแปรของผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 14
ตารางที่ 1. 5 แสดงขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 20
ตารางที่ 2. 1 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ.....35
ตารางที่ 2. 2 เมทริกซ์การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ 36
ตารางที่ 2. 3 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง 36
ตารางที่ 2. 4 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส 37
ตารางที่ 2. 5 ผลการตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐาน 38
ตารางที่ 2. 6 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางและแบบ Box-Behnken กรณี 3 ปัจจัย 39
ตารางที่ 3. 1 สภาวะควบคุมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base.....53
ตารางที่ 3. 2 เกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิต 53
ตารางที่ 3. 3 รายละเอียดของกำไร-ขาดทุนจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมในแต่ละครั้งการผลิต 56
ตารางที่ 3. 4 คณะทำงานสำหรับงานวิจัยในหน่วยงานต่างๆ 58
ตารางที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ Main component ของวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A จำนวน 30 ล็อต.60
ตารางที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ component ของวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B จำนวน 30 ล็อต 62

หน้า

ตารางที่ 4. 3 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และประเมินระบบการวัดที่เหมาะสม 66

ตารางที่ 4. 4 ผลการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในส่วนของ Main component (หน่วย %Area) 67

ตารางที่ 4. 5 เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการยอมรับระบบการวัด 72

ตารางที่ 4. 6 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลถึงผลผลิตที่ได้ 77

ตารางที่ 4. 7 ผลลัพธ์อันดับทั้ง 8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 79

ตารางที่ 4. 8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) 84

ตารางที่ 4. 9 เรียงลำดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA 86

ตารางที่ 4. 10 ปัจจัยที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ FMEA เพื่อนำไปใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองต่อไป 87

ตารางที่ 5. 1 ระดับของปัจจัยในการทดลองแบบ Box-Behnken สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 90

ตารางที่ 5. 2 ระดับของปัจจัยในการทดลองแบบ Box-Behnken สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 91

ตารางที่ 5. 3 รายละเอียดและลำดับการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 93

ตารางที่ 5. 4 รายละเอียดและลำดับการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken สำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 93

ตารางที่ 5. 5 ผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ในการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken 94

ตารางที่ 5. 6 ผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ในการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken 95

Chulalongkorn University

หน้า

ตารางที่ 6. 1 ปัจจัยและระดับในการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับขั้นตอนการสังเคราะห์สีย้อม.....106
ตารางที่ 6. 2 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียล.....109
ตารางที่ 6. 3 ค่าที่เหมาะสมสำหรับสภาวะควบคุมในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base.....115
ตารางที่ 7. 1 ผลเปรียบเทียบระดับของปัจจัยนำเข้าก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ.....119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1. 1 กระบวนการแปรสภาพจากของเหลวให้เป็นสีผง (Finishing process)..... 2
รูปที่ 1. 2 ตัวอย่างองค์ประกอบหลักของสีย้อมผ้าประเภทรีแอกทีฟ 6
รูปที่ 1. 3 ความต้องการของลูกค้าต่อปี (กิโลกรัม) สำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A และ B..... 7
รูปที่ 1. 4 ราคาต่อกิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม) สำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A และ B 7
รูปที่ 1. 5 ความผันแปร (Variation) ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 8
รูปที่ 1. 6 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base..... 8
รูปที่ 1. 7 กำไร-ขาดทุนของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในแต่ละครั้งการผลิต 9
รูปที่ 1. 8 กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 10
รูปที่ 1. 9 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหา..... 13
รูปที่ 1. 10 เครื่อง HPLC ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม 15
รูปที่ 2. 1 การกระจายตัวภายใต้เส้นโค้งปกติและตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของดีและของเสีย
ที่มีโอกาสเกิดขึ้นภายใต้ระดับของ Six Sigma (±6σ)..... 25
รูปที่ 2. 2 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานตามกระบวนการของ DMAIC 26
รูปที่ 2. 3 แผนผังกระบวนการทำงานแบบ SIPOC..... 27
รูปที่ 2. 4 รูปแบบของ Cause and Effect Diagram 30
รูปที่ 2. 5 แสดงประเภทของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานหรือกระบวนการทดลอง..... 33
รูปที่ 2. 6 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกรณีสองปัจจัย 35
รูปที่ 2. 7 ตัวแบบทางเรขาคณิตของการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กรณี 3 ปัจจัย . 39
รูปที่ 2. 8 แสดงรูปแบบของแผนภูมิควบคุม 41
รูปที่ 2. 9 รูปแบบโครงสร้างหลักของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ 43
รูปที่ 2. 10 ตัวอย่างองค์ประกอบของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ..... 43
รูปที่ 2. 11 ปฏิกิริยาการแทนที่ของหมู่ทางเคมี (Nucleophilic substitution reaction) 44

Chulalongkorn University

รูปที่ 2. 12 ปฏิกิริยาการเติมหมู่ทางเคมี (Nucleophilic addition reaction) 44
รูปที่ 2. 13 โครงสร้างหมู่เกาะผ้าประเภทไดคลอโรไตรอะซีน 45
รูปที่ 2. 14 โครงสร้างหมู่เกาะผ้าประเภทโมโนคลอโรไตรอะซีน 45
รูปที่ 2. 15 ปฏิกิริยาระหว่างหมู่เกาะผ้าไตรอะซีนกับเส้นใยเซลลูโลสบนเส้นใยผ้า..... 45
รูปที่ 2. 16 ตัวอย่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสระหว่างสารประกอบกับน้ำ..... 46
รูปที่ 2. 17 ตัวอย่างหมู่ให้สีประเภท Azo-chromophore ที่มีอะตอมของโลหะอยู่ในโครงสร้าง 47
รูปที่ 2. 18 กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 48
รูปที่ 3. 1 แผนผังกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base.....52
รูปที่ 3. 2 ความผันแปร (S.D.) ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 54
รูปที่ 3. 3 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base..... 54
รูปที่ 3. 4 กำไร-ขาดทุนของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในแต่ละครั้งการผลิต 55
รูปที่ 3. 5 ความสามารถของกระบวนการด้านผลผลิตที่ได้ 56
รูปที่ 4. 1 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบ Main component จากแหล่งที่มา A.....61
รูปที่ 4. 2 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot 62
รูปที่ 4. 3 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบ Main component จากแหล่งที่มา B 63
รูปที่ 4. 4 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot 64
รูปที่ 4. 5 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้..... 68
รูปที่ 4. 6 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ (2)..... 68
รูปที่ 4. 7 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ (3)..... 69
รูปที่ 4. 8 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาที่สามารถส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จาก
กระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base 75
รูปที่ 4. 9 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับคะแนนจากความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix 78
รูปที่ 4. 10 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA.. 86
รูปที่ 5. 1 การจำลองกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base
ในระดับปฏิบัติการ.....90

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 5. 2 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ 96
รูปที่ 5. 3 ผลการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ 97
รูปที่ 5. 4 ผลการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล 98
รูปที่ 5. 5 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ 99
รูปที่ 5. 6 ผลการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ 99
รูปที่ 5. 7 ผลการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล 100
รูปที่ 5. 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 101
รูปที่ 5. 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 102
รูปที่ 6. 1 ค่าที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 105
รูปที่ 6. 2 ค่าที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 106
รูปที่ 6. 3 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ 110
รูปที่ 6. 4 ผลการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ 111
รูปที่ 6. 5 ผลการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล 112
รูปที่ 6. 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base 113
รูปที่ 6. 7 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยต่อผลผลิตที่ได้ 114
รูปที่ 6. 8 ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 115
รูปที่ 7. 1 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 118
รูปที่ 7. 2 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base 118
รูปที่ 7. 3 เปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการในหน่วยผลิตจริง 119
รูปที่ 7. 4 ความสามารถของกระบวนการด้านผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการ 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ข้อมูลทั่วไปและขั้นตอนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษามีการดำเนินธุรกิจประเภทเคมีภัณฑ์ (Chemical industry sector) ที่มีต้นกำเนิดจากประเทศสหรัฐอเมริกาและมีชื่อเสียงในแวดวงอุตสาหกรรมเคมีของโลก ซึ่งมีความแตกต่างจากไปจากอุตสาหกรรมเคมีต่างๆ โดยมีผลิตภัณฑ์ที่แบ่งแยกออกเป็นกลุ่มธุรกิจได้ดังนี้

- กลุ่มธุรกิจวัสดุชั้นสูง (Advance Material and Performance product)
- กลุ่มธุรกิจเม็ดสีย้อมและสารเติมแต่ง (Pigments and Additive)
- กลุ่มธุรกิจพลาสติก (Polyurethane)
- กลุ่มธุรกิจสีย้อมผ้าและสิ่งทอ (Textile Effects)

ในการดำเนินธุรกิจของทางบริษัทถือว่ามีการเติบโตที่รวดเร็วและมีการขยายฐานการผลิตในกลุ่มธุรกิจต่างๆไปทั่วโลก เนื่องจากความสะดวกในการจัดหาวัตถุดิบและค่าจ้างแรงงานที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มธุรกิจ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการศึกษาในกลุ่มธุรกิจสีย้อมผ้าและสิ่งทอที่มีการขยายธุรกิจและฐานการผลิตมาตั้งที่ประเทศไทย

บริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้อยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมสีย้อมผ้าและสิ่งทอในประเทศไทย โดยตั้งอยู่ จังหวัดสมุทรสาคร โดยมีการผลิตสีย้อมผ้ารีแอกทีฟ (Reactive Dye) สำหรับการย้อมผ้าหลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น สีย้อมสำหรับผ้าโพลีเอสเตอร์ (Polyester) , ผ้าคอตตอนหรือผ้าฝ้าย (Cotton) และ ผ้าขนสัตว์ (Wool) โดยผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทมีมากกว่า 50 ผลิตภัณฑ์หรือมากกว่า 50 เฉดสี ซึ่งในกระบวนการผลิตหลักจะผ่านหน่วยการผลิต 3 หน่วยหลักดังนี้

1. หน่วยกระบวนการสังเคราะห์พิเศษหรือเอสเอสยู (SSU plant :Specialty Synthesis Unit) ซึ่งเป็นหน่วยในการสังเคราะห์หมู่เกาะผ้า (Reactive part) และสังเคราะห์สีย้อมโดยการเติมหมู่เกาะผ้าให้กับสารให้สี (Condensation reaction)
2. หน่วยกระบวนการสังเคราะห์สี (Synthesis plant) ซึ่งเป็นหน่วยในการสังเคราะห์สารให้สีและการสังเคราะห์สีย้อมที่เป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ (Coupling reaction) ที่อยู่ในรูปของเหลว รวมไปถึงเป็นหน่วยที่ใช้สำหรับการเตรียมสารตั้งต้นประเภทต่างๆให้อยู่ในรูป

ของสารละลายเพื่อให้พร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ (Raw material preparation)

3. หน่วยกระบวนการสีสำเร็จรูป (Finishing plant) เป็นหน่วยที่รับสีย้อมที่ผ่านการสังเคราะห์จาก Synthesis plant ซึ่งอยู่ในรูปของเหลวเพื่อผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน (Reverse Osmosis) , กระบวนการเติมสารให้ความเสถียร (Standardization process) และสเปรย์สีผง (Spray dry process) เพื่อบรรจุลงกล่องพร้อมสำหรับการส่งมอบให้ลูกค้า

จากกระบวนการผลิตหลักข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่า มีการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟอยู่ในรูปของเหลวจากนั้นมีการผ่านกระบวนการเพื่อให้กลายเป็นสีผง โดยกระบวนการแปรสภาพดังกล่าวเพื่อให้พร้อมกับการส่งมอบให้ลูกค้า แสดงดังรายละเอียดด้านล่าง และรูปที่ 1.1

- กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน/เกลือ(Reverse Osmosis process)
- กระบวนการเติมสารให้ความเสถียร (Standardization process)
- กระบวนการสเปรย์สีผง (Spray dry process)

รูปที่ 1. 1 กระบวนการแปรสภาพจากของเหลวให้เป็นสีผง (Finishing process)

1.1.1 ชนิดของผลิตภัณฑ์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟของทางบริษัท

กลุ่มผลิตภัณฑ์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟของบริษัทนั้นสามารถแยกออกเป็น 2 กลุ่มผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์หลักของทางบริษัทจะเป็นสีย้อมผ้ารีแอกทีฟที่ใช้ย้อมผ้าฝ้ายโดยจัดอยู่ในกลุ่มเอฟที (FT dye) คือ

1. สีย้อมผ้ารีแอกทีฟกลุ่ม REACTIVE-A สีย้อมผ้ากลุ่มนี้ถือเป็นสีย้อมที่เป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานของทางบริษัทที่มีการสังเคราะห์เติมหมู่เกาะผ้า 2 หมู่และมีเฉดสีที่หลากหลายมากกว่า 50 เฉดสี โดยมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามขั้นตอนการสังเคราะห์ทางเคมีในแต่ละกระบวนการผลิต
2. สีย้อมผ้ารีแอกทีฟกลุ่ม REACTIVE-B ซึ่งสีย้อมผ้ากลุ่มนี้มีความพิเศษในส่วนของหมู่เกาะผ้าที่มีหมู่เกาะผ้า 3 หมู่ (Reactive group) จากปกติสีกลุ่มทั่วไปจะมีหมู่เกาะผ้าประมาณ 2 หมู่โดยสีกลุ่ม REACTIVE-B นี้มีคุณสมบัติพิเศษในเชิงของการเกาะผ้าที่รวดเร็วส่งผลทำให้การย้อมสามารถทำได้รวดเร็วกว่าการย้อมแบบปกติ รวมไปถึงการใช้น้ำในการชะล้างสีหลังจากกระบวนการย้อมนั้นก็จะใช้น้ำในปริมาณที่ลดลงตามไปด้วย ทำให้สีกลุ่ม REACTIVE-B นี้เป็นสีที่สามารถลดมลภาวะและน้ำเสีย (Waste water) จากกระบวนการย้อมได้

1.1.2 กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ มีดังนี้

1. กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ เริ่มจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการสังเคราะห์ให้อยู่ในรูปของเหลวเพื่อให้พร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาการเติมหมู่เกาะผ้า โดยในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสามารถจำแนกประเภทของวัตถุดิบออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัตถุดิบที่มีสี (Colour part) และวัตถุดิบที่ไม่มีสี (Non-colour part) ซึ่งการเลือกใช้วัตถุดิบนั้นก็ขึ้นกับประเภทของสีย้อมเป็นหลัก โดยกระบวนการในการเตรียมวัตถุดิบจะต้องมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของแข็ง (Solid form) ให้สามารถละลายอยู่ในรูปของเหลวได้ (Liquid form) โดยสภาวะที่มีการควบคุมก็คือ อุณหภูมิ (Temperature) และความเป็นกรด-ด่าง (Acid-Base : pH) ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ
2. หลังจากมีการเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการการเติมหมู่เกาะผ้าหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาคอนเดนเซชั่น (Condensation reaction) โดยในขั้นตอนนี้จะมีการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในสภาวะที่เหมาะสมแล้วแต่ประเภทของสีย้อมและวัตถุดิบที่เลือกใช้ ซึ่งการทำปฏิกิริยาเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound)โดยสภาวะที่มีการควบคุมคือ อุณหภูมิ(Temperature), ความเป็นกรด-เบส

(Acid-Base : pH), ระยะเวลาในการเติมสารเคมี (Addition time) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Maintaining time) โดยในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าจะมีความแตกต่างกันไปแล้วแต่ประเภทคุณสมบัติของกลุ่มผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากมีการเติมหมู่เกาะผ้า 1 หมู่จะเรียกว่า First condensation reaction หรือหากมีการเติมหมู่เกาะผ้า 2 หมู่จะเรียกว่า Second condensation reaction

3. จากนั้นจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีสำหรับการทำให้หมู่เกาะผ้าที่เติมลงไปนั้นพร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาการย้อมกับเส้นใยเซลลูโลสบนผ้าฝ้าย โดยเรียกกระบวนการนี้ว่าปฏิกิริยาไวนิเลชั่น (Vinylation reaction) ซึ่งมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้เกิดปฏิกิริยา โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ(Temperature) , ความเป็นกรด-เบส(Acid-Base : pH) , ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Maintaining time)
4. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมโดยมีการเติมหมู่เกาะผ้าเรียบร้อยแล้วตามขั้นตอนข้างต้น สีย้อมผ้าจะอยู่ในรูปของเหลว (Liquid form)จากนั้นจะมีการแปรรูปสีย้อมให้อยู่ในรูปของสีผง (Powder form) เพื่อให้พร้อมสำหรับการส่งมอบให้ลูกค้า โดยจะมีการผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน/เกลือ(Reverse osmosis) , กระบวนการเติมสารให้ความเสถียร (Wet standardization) และกระบวนการสเปรย์สีผง (Spray dry) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดมีการควบคุมการผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกันกับกระบวนการสังเคราะห์ข้างต้น เช่น อุณหภูมิ(Temperature) , ความเป็นกรด-เบส(Acid-Base :pH)เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมประเภทสีย้อมผ้าในปัจจุบันถือว่ามีความสำคัญและมีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องมาจากกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทเครื่องแต่งกายและการย้อมผ้านั้นถือเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้โดยรวมจัดเป็นอับดับ 4 ของประเทศ (กรมพาณิชย์ร่วมกับศุลกากร , 2558) จากความสำคัญนี้จะเห็นได้ว่าในปัจจุบันธุรกิจการผลิตสีย้อมผ้ามีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีการเข้ามาลงทุนของบริษัทต่างชาติเพิ่มมากขึ้น และพบอุปสรรคที่สำคัญในการผลิตที่สำคัญสืบเนื่องมาจากต้นทุนในการผลิตที่ค่อนข้างสูง จากราคาของวัตถุดิบในการใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ และประสิทธิภาพในการผลิตที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งการแข่งขันทางการตลาดในกลุ่มอุตสาหกรรมสีย้อมผ้ามีเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะประเทศจีนที่มีฐานการผลิตที่เหมาะสมในแง่ของ

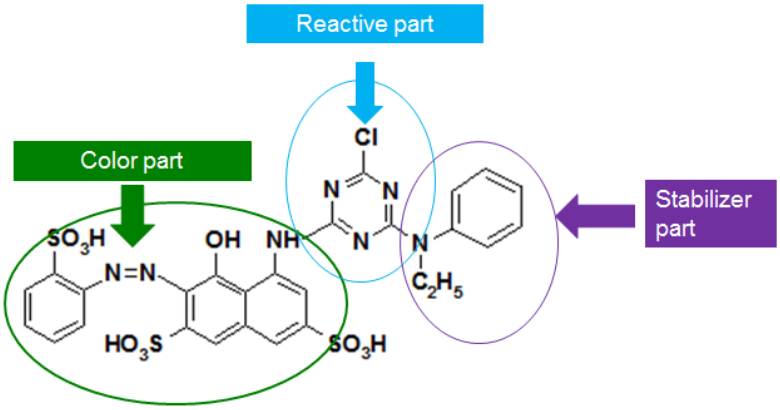
ค่าจ้างแรงงานที่ต่ำกว่า ทำให้บริษัทจำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต เพื่อให้เกิดกระบวนการในการสังเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพและให้ผลผลิตที่สูงมากขึ้น รวมถึงลดความสูญเสียระหว่างกระบวนการผลิตให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ (Reactive dye staff) นั้นมีความแตกต่างจากสีย้อมผ้าประเภทอื่นๆที่สกัดมาจากธรรมชาติ ซึ่งในส่วนของการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟจะอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อทำให้เกิดสีและมีหมู่เกาะผ้าที่ไวต่อปฏิกิริยาทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) ที่อยู่บนเส้นใยผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมผ้า จากหลักการทางเคมีนี้เองจึงทำให้สีย้อมผ้าที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์มีคุณสมบัติพิเศษกว่าสีย้อมผ้าที่ได้จากธรรมชาติหลากหลายประการ ยกตัวอย่าง เช่น การทนต่อสารเคมีที่มาจากน้ำประปา , ความว่องไวต่อปฏิกิริยาในกระบวนการย้อม , และให้เฉดสีที่หลากหลายตามความต้องการของลูกค้า เป็นต้น ด้วยเหตุนี้องค์กรจึงให้ความสำคัญกับการวิจัยและพัฒนาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและการปรับปรุงคุณภาพในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟเพื่อให้เกิดเสถียรภาพกับกระบวนการสังเคราะห์ โดยมีจุดมุ่งหมายในการลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้าซึ่งสามารถส่งผลถึงการเพิ่มผลผลิตสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ได้เช่นเดียวกัน รวมถึงทำให้เกิดของเสียหรือองค์ประกอบอื่นที่ไม่ต้องการจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีน้อยที่สุด (By product , Impurity) โดยรวมแล้วเพื่อยกระดับคุณภาพให้ได้มาตรฐานและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเพื่อให้เกิดความพึงพอใจสูงสุดและเพื่อสร้างมาตรฐานในระบบคุณภาพของกระบวนการผลิตของทางบริษัทเช่นเดียวกัน

โดยในส่วนของการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟนั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนปฏิกิริยาการเติมหมู่เกาะผ้า (Condensation reaction) และปฏิกิริยาทำให้เกิดสี (Coupling reaction) ซึ่งการสังเคราะห์ในแต่ละปฏิกิริยาจะมีการควบคุมสภาวะการสังเคราะห์ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของสารตั้งต้น และโมเลกุลของสีผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งในกระบวนการควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ไม่ว่าจะเป็น สภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH range) , สภาวะอุณหภูมิ (temperature range) รวมไปถึงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอน (Reaction time) ปริมาณของสารตั้งต้นที่ใช้ (Raw material ratio) คุณภาพของสารตั้งต้น (Quality of raw material) ทั้งหมดนี้ล้วนส่งผลต่อผลผลิตของสีย้อม (Reactive dye) ทั้งสิ้น

องค์ประกอบสำหรับสีย้อมผ้ารีแอกทีฟ (Reactive dye staff) โดยภาพรวมแล้วตัวอย่างส่วนประกอบหลักมีอยู่ด้วยกัน 3 ส่วนหลักดังรูปที่ 1.2 คือส่วนของหมู่ให้สี (Color part) , ส่วนของหมู่เกาะผ้า (Reactive part) และในส่วนของการเพิ่มความเสถียร,หมู่ละลายน้ำหรือหมู่เกาะผ้าหรือหมู่ให้สีเพิ่มเติม (Stabiliser , Solubilising , Color or Reactive part)โดยในส่วนองค์ประกอบสำหรับสีย้อมนี้จะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานและเฉดสีที่ต้องการ โดยใน 1 โมเลกุลอาจประกอบไปด้วยหมู่ให้สี หรือ หมู่เกาะผ้ามากกว่า 1 หมู่ได้ ซึ่งความแตกต่างขององค์ประกอบนี้ทำ

ให้คุณสมบัติของสีย้อมผ้ามีความแตกต่างและกระบวนการสังเคราะห์ก็มีความแตกต่างตามไปด้วยนั่นเอง



รูปที่ 1. 2 ตัวอย่างองค์ประกอบหลักของสีย้อมผ้าประเภทรีแอกทีฟ

ความสำคัญของผลผลิตที่ได้ (%Yield) นั้นส่งผลต่อองค์กรในแง่ของกำไร-ขาดทุนซึ่งหากผลผลิตที่ได้น้อยกว่าปริมาณของสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยามากถือว่าผลิตภัณฑ์นั้นขาดทุนในเชิงของความคุ้มค่าในการผลิต ซึ่งด้วยสาเหตุนี้เองจึงให้ความสำคัญกับศึกษาปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มผลผลิตและลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้สำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ

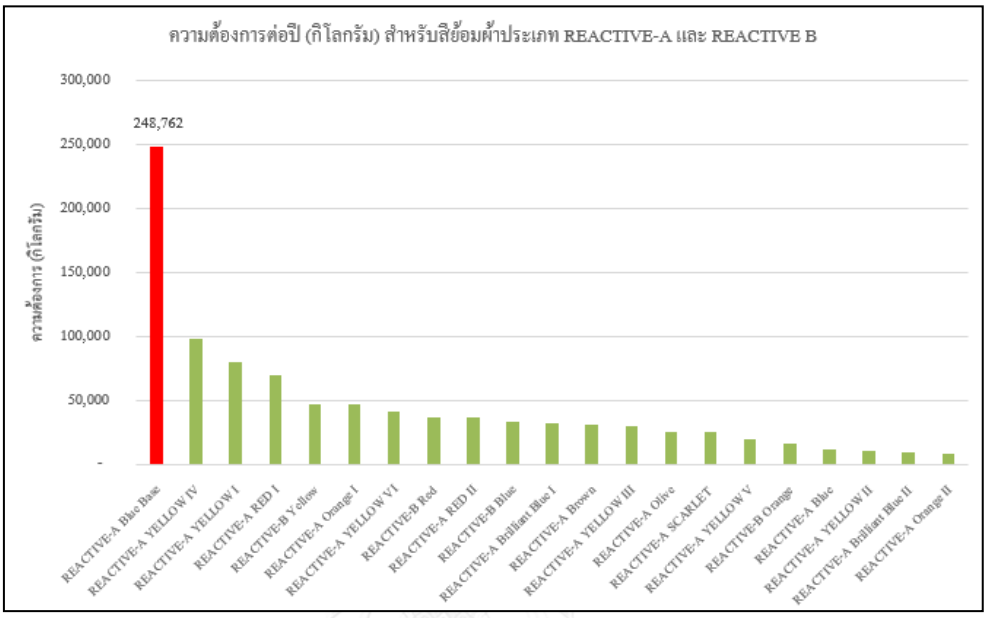
ซึ่งการคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิต มีการคำนวณโดยเทียบกับปริมาณของสีย้อมที่ควรได้จากปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นตามทฤษฎีการคำนวณทางเคมี

เปอร์เซ็นต์ผลผลิต = (ผลผลิตที่ได้จริง / ผลผลิตที่ได้ตามทฤษฎี) x 100

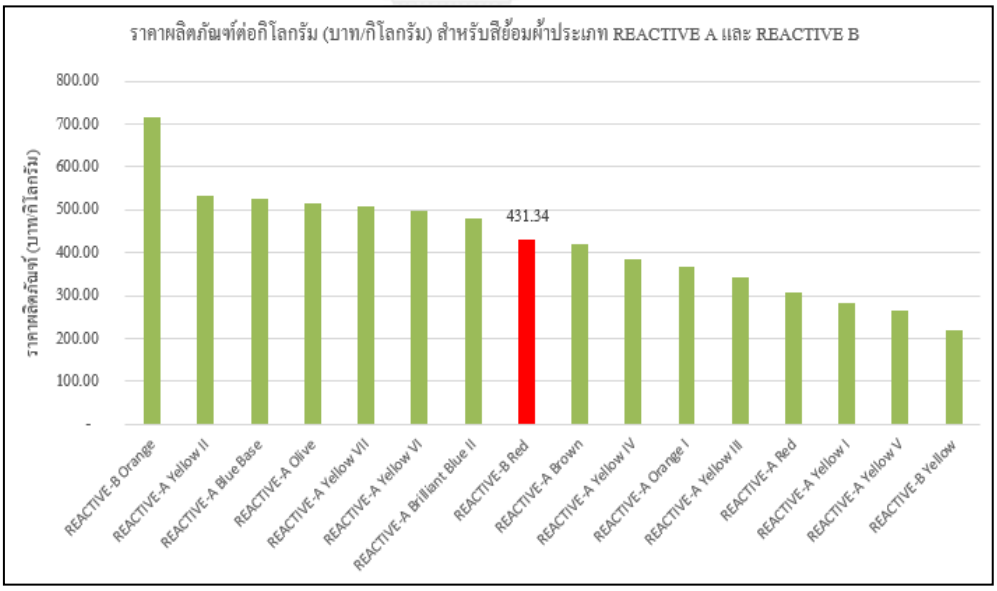
1.3 การศึกษาความสำคัญและสภาพของปัญหาในปัจจุบัน

ในส่วนของกระบวนการสังเคราะห์และสภาวะในการควบคุมในแต่ละขั้นตอนต่างๆนั้น ทางบริษัทได้กระบวนการมาจากหน่วยวิจัยและพัฒนาของบริษัทในต่างประเทศ ซึ่งในแต่ละกระบวนการสังเคราะห์หรือแม้กระทั้งสภาวะที่ต้องมีการควบคุม ทางบริษัทในประเทศไทยจะต้องมีการปรับเปลี่ยนไปบ้างเนื่องมาจากอุปกรณ์-เครื่องมือ มีความแตกต่างกัน รวมถึงสภาวะของสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพและหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์นั้นจึงถือมีความสำคัญ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการผลิตมากที่สุด รวมถึงยังเป็นการทำให้เกิดเสถียรภาพของกระบวนการสังเคราะห์ให้เป็นมาตรฐานด้วยเช่นกัน (Process Stabilization)

สำหรับประเภทของสีย้อมผ้ารีแอกทีฟที่ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงในงานวิจัย คือ สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ซึ่งเป็นสีย้อมภาพที่มียอดขายสูงสุดในบริษัท ดังรูปที่ 1.3 และราคาขายต่อกิโลกรัมที่สูงด้วยเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมชนิดอื่น ดังรูปที่ 1.4



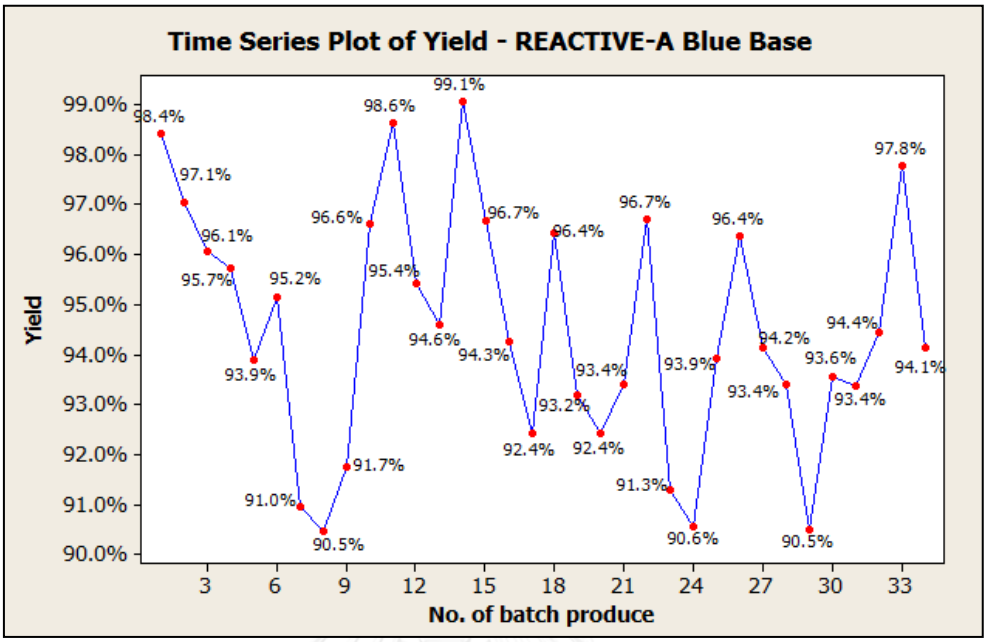
รูปที่ 1. 3 ความต้องการของลูกค้าต่อปี (กิโลกรัม) สำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A และ B



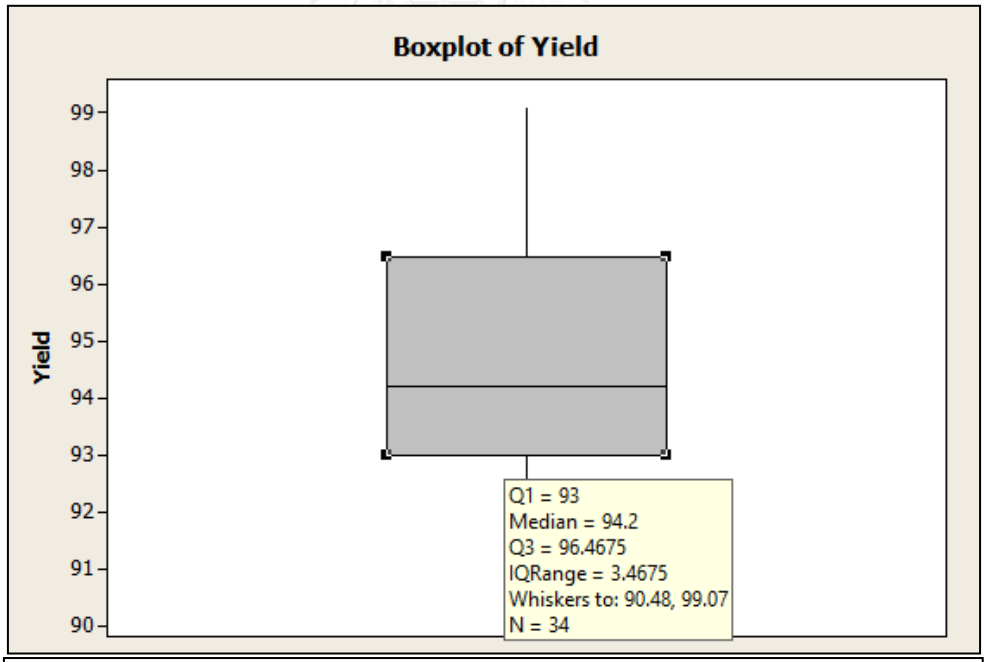
รูปที่ 1. 4 ราคาต่อกิโลกรัม (บาท/กิโลกรัม) สำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A และ B

เนื่องจากปัญหาในปัจจุบันกระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ให้ผลผลิตที่มีความผันแปรที่มากพอสมควร ดังรูปที่ 1.5 และ 1.6 ซึ่งจากปัญหานี้ส่งผล

ต่อบริษัทในแง่ของการดำเนินธุรกิจกำไร-ขาดทุน รวมถึงแสดงให้เห็นถึงมาตรฐานของกระบวนการผลิตเช่นเดียวกัน



รูปที่ 1. 5 ความผันแปร (Variation) ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base



Descriptive Statistics: Yield

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Median
Yield	34	94.497	0.412	2.405	5.784	2.55	90.480	94.200

Variable	Maximum
Yield	99.070

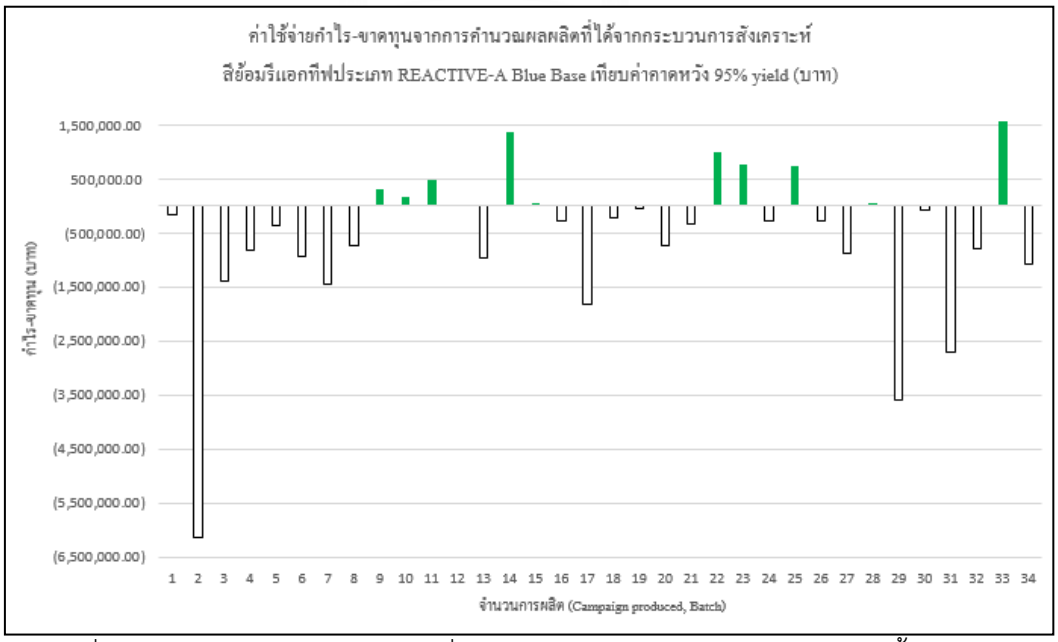
รูปที่ 1. 6 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

จากความผันแปรที่เกิดขึ้นของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ทางผู้วิจัยได้นำเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้มาคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของกำไร-ขาดทุน จากกระบวนการผลิตเมื่อคิดเทียบกับค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% และราคาในการขายผลิตภัณฑ์สีย้อม 525.88 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งรูปแบบในการคำนวณจะคำนวณจากจำนวนในการผลิต (Batch) ต่อครั้งการผลิต (Campaign) โดยเทียบกับปริมาณสีที่ควรจะได้ตามทฤษฎี (กิโลกรัม) และคูณกับผลผลิตคาดหวังที่ 95% ดังที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งจะใช้คิดเป็นค่าตั้งต้น Baseline ในการเทียบกับค่าการผลิตจริง (กิโลกรัม) ที่ได้ในแต่ละครั้งการผลิต

Baseline ในการเทียบ (กิโลกรัม) = ปริมาณสีกิโลกรัมที่ควรได้ตามทฤษฎีต่อ Batch x จำนวน Batch การผลิต x 95% ผลผลิต

ค่าใช้จ่ายกำไร-ขาดทุน (บาท) = ค่าการผลิตจริงที่ได้ในแต่ละครั้งการผลิต (กิโลกรัม) - Baseline ในการเทียบ (กิโลกรัม)

ในการคำนวณหากค่าออกมาเป็น บวก (+) เมื่อเทียบกับค่า Baseline ที่ค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% นั้นจะถือว่าในการผลิตสีย้อมรีแอกทีฟจากกระบวนการสังเคราะห์เกิดกำไรหรือความคุ้มค่าในการผลิต (Saving) แต่ในทางตรงกันข้ามหากค่าออกมาเป็นลบ (-) เมื่อเทียบกับค่า Baseline จะถือว่าในการผลิตสีย้อมรีแอกทีฟจากกระบวนการสังเคราะห์ขาดทุนหรือไม่คุ้มค่าในการผลิต (Not save) ซึ่งกราฟแสดงกำไร-ขาดทุน สำหรับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base แสดงดังรูปที่ 1.7 และรายละเอียดตัวเลขแสดงดังตารางที่ 1.1

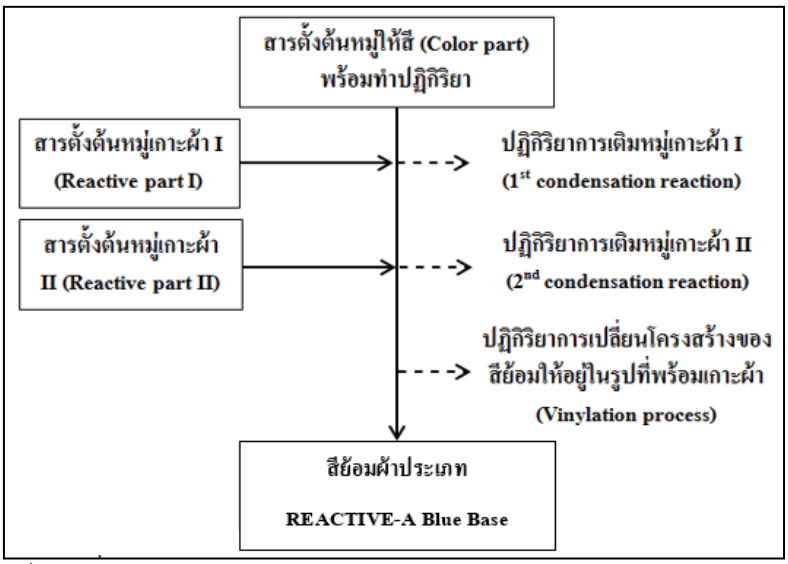


รูปที่ 1. 7 กำไร-ขาดทุนของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในแต่ละครั้งการผลิต

ตารางที่ 1. 1 รายละเอียดของกำไร-ขาดทุนจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมในแต่ละครั้งการผลิต

ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)	ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)	ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)	ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)
1	(151,559)	10	176,978	19	(59,411)	28	61,272
2	(6,130,168)	11	488,352	20	(720,857)	29	(3,603,946)
3	(1,405,709)	12	15,003	21	(320,472)	30	(77,254)
4	(819,885)	13	(966,877)	22	989,248	31	(2,697,321)
5	(352,281)	14	1,372,990	23	760,078	32	(788,152)
6	(945,877)	15	58,105	24	(270,651)	33	1,564,705
7	(1,444,440)	16	(276,861)	25	739,923	34	(1,064,016)
8	(727,119)	17	(1,812,313)	26	(270,785)		
9	302,384	18	(208,170)	27	(879,029)		

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าโดยส่วนมากในการผลิตให้ค่าออกมาเป็นลบ ซึ่งหมายถึงในการผลิตสีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base จากกระบวนการสังเคราะห์ขาดทุนหรือไม่คุ้มค่าในการผลิต โดยมีสามาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆในกระบวนการผลิตซึ่งรายละเอียดจะนำเสนอในส่วนถัดไป กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักคือ การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1^{st} condensation reaction) , การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2^{nd} condensation reaction) และกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสีย้อมให้อยู่ในรูปที่พร้อมสำหรับเกาะผ้า แสดงดังรูปที่ 1.8



รูปที่ 1. 8 กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

โดยในแต่ละขั้นตอนในการสังเคราะห์มีการควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ต่างๆดังนี้ อุณหภูมิ , เวลาในการเติมสารเคมี , เวลาของปฏิกิริยา และ ความเป็น กรด-ด่าง ดังตารางที่ 1.2 และเกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิตที่วัดผลจากเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี (HPLC) ที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1. 2 สภาวะควบคุมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมระเภท REACTIVE-A Blue Base

ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา	สภาวะควบคุม			
	อุณหภูมิ (℃)	เวลาการเติมสารเคมี (นาที)	เวลาการควบคุมปฏิกิริยา (นาที)	ความเป็นกรด-ด่าง
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1	2	15	5	5.5
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2	20	[redacted]	60	8.0
การเปลี่ยนโครงสร้างสีย้อม	25	[redacted]	30	10

ตารางที่ 1. 3 เกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอน	หน่วย	ค่าที่ยอมรับได้
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1	%(A/A)	Main molecule > 90 %
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2	%(A/A)	Main molecule > 75 %
การเปลี่ยนโครงสร้างสีย้อม	%(A/A)	Main molecule > 75 %

รูปที่ 1.8 แผนผังแสดงกระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base เฉพาะกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis process) สามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

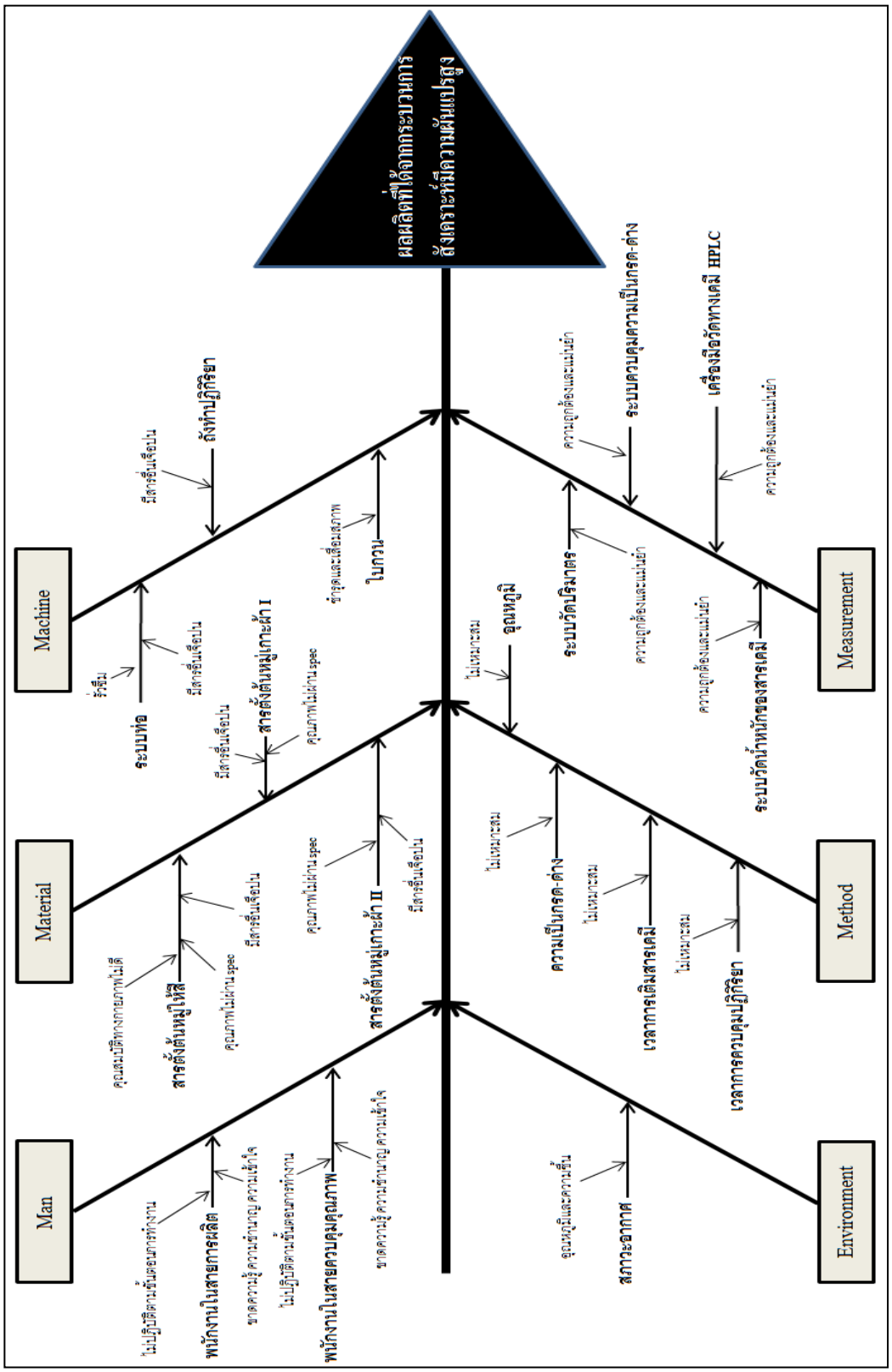
1. กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1^{st} condensation process) โดยกระบวนการนี้จะมีการนำสารตั้งต้นหมู่ให้สีที่ได้จากกระบวนการ Reverse Osmosis ที่กำจัดสิ่งเจือปนออกและได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา นำมาทำปฏิกิริยาการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมด้านอุณหภูมิ , ช่วงความความเป็นกรด-เบสในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction and maintaining time)
2. กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2^{nd} condensation process) โดยกระบวนการนี้จะมีลักษณะคล้ายกับการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1แต่จะมีสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่าง

กันในส่วนของ อุณหภูมิ และ ช่วงความเป็นกรด-เบสในการทำปฏิกิริยา รวมถึงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction and maintaining time)

3. กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสีย้อมให้อยู่ในรูปที่พร้อมเกาะผ้า (Vinylation process) โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการในการทำให้สีย้อมที่สังเคราะห์มานั้นมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเพื่อให้พร้อมสำหรับการนำไปย้อมและทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิ , ความเป็นกรดด่าง และ เวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสำหรับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสีย้อมแต่ละประเภท

จากปัญหาข้างต้นนั้นจะเห็นได้ชัดว่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิตสำหรับการผลิตสีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base นั้นมีความผันแปรสูงและส่วนใหญ่ให้ค่าต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาถึงการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพโดยการวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดความผันแปรสำหรับกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลต่อในการเพิ่มผลผลิตให้มากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังหลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งสามารถใช้เป็นต้นแบบของแนวคิดการพัฒนาคุณภาพเพื่อให้เกิดการทำงานอย่างเป็นระบบ และสามารถใช้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์และพัฒนากับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นได้ ในงานวิจัยจะมีการนำหลักการของซิกซ์ซิกมามาใช้ โดยยึดหลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นหลัก เพื่อนำไปสู่การทำงานและวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์หาปัจจัยร่วมที่สามารถส่งผลถึงเปอร์เซ็นต์ผลผลิตในกระบวนการผลิต เพื่อการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง เช่น การทดสอบสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง , การวิเคราะห์กระบวนการวัด และการบวนการในการควบคุมคุณภาพต่างๆ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีการวิเคราะห์และศึกษาจากกระบวนการในการสังเคราะห์และการผลิตสีย้อมผ้ารีแอกทีฟเฉพาะขั้นตอนของกระบวนการสังเคราะห์เท่านั้น (Synthesis process)

จากปัญหาเรื่องความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base มีการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา โดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1. 9 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหา

จากรูปที่ 1.9 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลที่สามารถส่งผลต่อปัญหาความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base นั้นมีการวิเคราะห์ตามหลักของ 5M1E ซึ่งสามารถจำแนกการวิเคราะห์ปัจจัยออกได้เป็น ปัจจัยจากพนักงาน (Man) , วัตถุดิบตั้งต้นหรือวัตถุดิบนำเข้า (Material) , เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต (Machine) , การวัดและเครื่องมือวัดผล (Measurement) , กระบวนการขั้นตอนวิธีในการทำงาน (Method) และสภาวะแวดล้อมต่างๆที่เกี่ยวข้องในการทำงาน (Environment) ทางผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลถึงปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้ และพบปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base คือกระบวนการทำงานที่มีค่าควบคุมสภาวะการทดลองที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง , เวลาการเติมสารเคมี และเวลาการควบคุมปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนการสังเคราะห์ใน 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 , กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ส่วนกระบวนการในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสีย้อมที่สังเคราะห์ได้จะใช้สภาวะในการทดลองเดิม ซึ่งจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญทั้งหมดนี้ทางผู้วิจัยได้สรุปดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1. 4 ปัจจัยศึกษาเพื่อลดความผันแปรของผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

	ปัจจัยที่จะศึกษาเพื่อลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์
1.	สภาวะของกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1
	1.1 อุณหภูมิ
	1.2 ความเป็นกรด-ด่าง
	1.3 เวลาในการเติมสารเคมี
2.	สภาวะของกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2
	2.1 อุณหภูมิ
	2.2 ความเป็นกรด-ด่าง
	2.3 เวลาในการควบคุมปฏิกิริยา

ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมมีการตรวจวัดคุณภาพในขั้นตอนต่างๆโดยวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีจากเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า High performance liquid chromatography (HPLC chromatography) ซึ่งเป็นเทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสมโดย

อาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary phase) และภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับเครื่อง HPLC เฟสคงที่ คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่ คือ ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่อง HPLC สารดังกล่าวจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม เพื่อให้เกิดการแยกสาร (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และความสามารถในการละลายของสารผสม นอกจากนี้การแยกสารผสมมีความสัมพันธ์กับ น้ำหนักโมเลกุล โครงสร้างของสาร และสมบัติทางเคมีของสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ซึ่งหลังจากที่สารแต่ละชนิดถูกแยกเป็นส่วนๆ จะเคลื่อนที่อยู่ภายในคอลัมน์ในเวลาที่ต่างกัน โดยสารเชิงเดี่ยวแต่ละชนิดจะผ่านเข้าสู่อุปกรณ์ วัดสัญญาณ (Detector) และแปลผลออกมาเป็นโครมาโตรแกรม (Chromatogram) ซึ่งสารเชิงเดี่ยวแต่ละสารจะมีระยะเวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (Retention time, RT) เฉพาะตัวโดยเครื่อง HPLC แสดงดังรูปที่ 1.10

รูปที่ 1. 10 เครื่อง HPLC ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย มีดังนี้

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base เท่านั้น
2. มีกระบวนการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีจากเครื่องมือวิเคราะห์ที่เรียกว่า HPLC chromatography
3. วิเคราะห์ผลการทดลองจากปัจจัยต่างๆโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติและมีการใช้โปรแกรม Minitab ร่วมด้วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบการทดลองต่างๆ
4. ตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ความเป็นไปได้ของปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ โดยวัดออกมาในรูปของเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของปัจจัยต่างๆ และเปรียบเทียบค่าความผันแปร (Variation) และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตเทียบกับกระบวนการเดิม
5. ในการวิเคราะห์และทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม มีการกำหนดใช้วัตถุดิบสารตั้งต้นในการสังเคราะห์มาจากผู้ผลิตเดียวกันทั้งหมดสำหรับทุกการทดลอง
6. ทำการวิเคราะห์สภาวะในกระบวนการสังเคราะห์ในหน่วยของการสังเคราะห์ Synthesis process เท่านั้น

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ มีดังนี้

1. ลดความผันแปรของผลผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base
2. สภาวะที่มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base
3. ลดความสูญเสียต้นทุนและความคุ้มค่าในการผลิตสำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base
4. ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มีค่ามากขึ้น
5. มาตรฐานและแนวคิดในการพัฒนาคุณภาพสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในกระบวนการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มีขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์และวิจัยตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา โดยมีแนวทางและวิธีคิดแก้ปัญหา 5 วิธีการดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. **ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define phase : D)**
    - ศึกษาข้อมูลของกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างละเอียด เพื่อสามารถทำความเข้าใจถึงปัจจัยและขั้นตอนของกระบวนการต่างๆ
    - ศึกษาถึงสาเหตุที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์
    - ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพและกระบวนการ , การลดความผันแปรของกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ที่มีการนำแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย
    - ศึกษาขั้นตอนในการทดสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตเกี่ยวกับผลผลิตที่ได้ เพื่อนำข้อมูลที่มีอยู่มาใช้วิเคราะห์ตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา และเพื่อออกแบบการทดลองเพื่อทดลองในห้องปฏิบัติการ
    - ศึกษาขั้นตอนและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องในเชิงต่างๆ ที่มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุและออกแบบการทดลอง รวมถึงการเก็บข้อมูลจากการทดลองและการวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลองในขั้นตอนสุดท้าย
    - กำหนดปัญหา , จุดประสงค์ เป้าหมายของงานวิจัย และกำหนดตัวชี้วัดและระยะเวลาในการทำงานวิจัย

2. **ขั้นตอนการวัด (Measure phase : M)**
    - วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ในปัจจุบัน และเก็บข้อมูล
    - วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์
    - วิเคราะห์กระบวนการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- รวบรวมข้อมูลต่างๆที่ได้จากกระบวนการเก็บข้อมูลของกระบวนการสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในขั้นตอนถัดไป

3. **ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyse phase : A)**
   - ระดมความคิดและความเป็นไปได้เพื่อหาปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base
   - วิเคราะห์เพื่อเลือกสาเหตุที่สำคัญของปัจจัย โดยพิจาณาจัดอันดับความสำคัญเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อความผันแปรผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการภายใต้เงื่อนไขของเวลาและงบประมาณที่มีอยู่เป็นสำคัญ

4. **ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase : I)**
   - ระดมแนวความคิดเพื่อหาข้อสรุปสำหรับแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา
   - กำหนดปัจจัยและสภาวะในการทดลองเพื่อออกแบบการทดลอง
   - วิเคราะห์เพื่อเลือกแนวทางในการทดลองในห้องปฏิบัติการ
   - กำหนดขั้นตอนการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล
   - ทำการทดลองตามแบบที่วางไว้ในห้องปฏิบัติการ
   - วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
   - เก็บข้อมูลเพื่อวัดผลของข้อมูลหลังกระบวนการปรับปรุงแก้ไข เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5. **ขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ (Control phase : C)**
   - พิจารณาผลการทดลองเพื่อหาวิธีการควบคุมที่เหมาะสม
   - กำหนดแนวทางและวิธีในการวัดผล รวมถึงกำหนดความถี่ในการวัดและเก็บข้อมูล
   - เก็บข้อมูลจากกระบวนการหลังปรับปรุง

- กำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับกระบวนการผลิตสีย้อมผ้ารีแอกทีฟ

6. **สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ**
7. **จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์**
8. **ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย**

   ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยเริ่มเดือนเมษายน 2559 ถึงกุมภาพันธ์ 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1. 5 แสดงขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย											
		เม.ย. 59	พ.ค. 59	มิ.ย. 59	ก.ค. 59	ส.ค. 59	ก.ย. 59	ต.ค. 59	พ.ย. 59	ธ.ค. 59	ม.ค. 60	ก.พ. 60
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง											
2	ศึกษากระบวนการสังเคราะห์พอลิยูรีเทนด้วยเทคนิค REACTIVE-A Blue Base และกำหนดปัจจัยต่างๆ เพื่อเป็นตัวชี้วัดคุณภาพ											
3	ศึกษาและกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ และวิเคราะห์กระบวนการวัดต่างๆ											
4	ศึกษาทฤษฎี และทำการออกแบบการทดลอง											
5	ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้											
6	วิเคราะห์ผลการทดลองหาสมบัติที่เหมาะสมที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์											
7	ทำการทดลองในกระบวนการผลิตจริง โดยการทดลองใช้สภาวะควบคุมต่างๆ ตามการทดลองและผลการทดลองที่เหมาะสมนั้น											
8	วิเคราะห์ผลการทดลองจากกระบวนการผลิตจริง											
9	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ											
10	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์											

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับในบทนี้ทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงทฤษฎีที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยนำเอาเครื่องมือการปรับปรุงคุณภาพและแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อปรับปรุงและพัฒนางานอย่างเป็นระบบเพื่อจุดประสงค์ในการแก้ปัญหาที่ถูกต้องและถูกวัตถุประสงค์ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางเคมีในการสังเคราะห์สีย้อมผ้า เพื่อนำความรู้ต่างๆที่ได้จากการศึกษาทางทฤษฎีมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับงานวิจัย โดยรายละเอียดกระบวนการและแนวคิดต่างๆ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีรายละเอียดดังนี้

2.1 แนวคิดและหลักการของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมาเป็นเครื่องมือและแนวคิดในการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพ โดยจุดมุ่งหมายสำคัญคือลดข้อบกพร่อง หรือความสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อสินค้าและบริการรวมถึงจากกระบวนการผลิต ซึ่งคำว่าคุณภาพในที่นี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการลดข้อบกพร่องหรือลดต้นทุนทางการผลิตโดยส่วนใหญ่แล้วมีการวิเคราะห์ข้อมูลและหาสาเหตุต่างๆเพื่อกำหนดปัญหาที่ถูกต้อง ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเข้ามาช่วยและปัจจัยที่สำคัญอีกประการคือมุ่งเน้นความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญเพื่อสามารถแก้ไขปัญหาเพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการในการผลิตได้อย่างเหมาะสม โดยชื่อของ Six Sigma (6σ) นั้นหมายถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 6σ ซึ่งได้มาจากแนวความคิดที่ว่าโอกาสที่เกิดขึ้น 3.4 ครั้งต่อการผลิตหรือการปฏิบัติงาน 1 ล้านครั้ง

จากความหมายโดยรวมของซิกซ์ ซิกมาข้างต้นนั้น มีผู้เชี่ยวชาญมากมายให้ความหมายเพิ่มเติมของซิกซ์ ซิกมาไว้ดังนี้

ซิกซ์ ซิกมาถือเป็นกลยุทธ์ในการบริหารที่มีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายหลักในการมุ่งเน้นการพัฒนาส่งมอบผลิตภัณฑ์และบริการที่สมบูรณ์และมีคุณภาพสูงสุดให้ลูกค้าเพื่อความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า (Harry M. and Schroeder R. 2006)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นโครงการที่มุ่งเน้นการใช้หลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่ทำงานอยู่ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพและลดความแปรปรวนในกระบวนการหรือระบบการผลิต ซึ่งจุดประสงค์และผลลัพธ์ที่สำคัญที่ได้คือของเสียนกระบวนการผลิตลดลง โดยส่งผลให้เกิดการเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการรวมถึงการเพิ่มผลกำไรให้แก่บริษัท (ปรียาวดี ผลเอนก 2558)

ซิกซ์ ซิกมาเป็นเครื่องมือและแนวทางในการบริหารจัดการคุณภาพ โดยนำเครื่องมือและการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เพื่อการแก้ปัญหาคุณภาพจากกระบวนการผลิต แนะนำมาพัฒนาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อการดำเนินงานในระยะยาว (Seshadri S. and et al 2000)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการคุณภาพระดับองค์กร ซึ่งต้องมีการดำเนินการและวางแผนงานเป็นทีมโดยขั้นตอนในการดำเนินการนั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน คือ ขั้นนิยามปัญหา (Define phase) , ขั้นตอนการวัด (Measure phase) , ขั้นวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyse phase) , ขั้นการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase) และขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ (Control phase) ซึ่งสามารถระบุเป็นตัวย่อหลักๆคือ DMAIC ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมานั้นจะมีการนำเครื่องมือทางสถิติมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น แผนผังแสดงสาเหตุและผลหรือแผนภาพก้างปลา (Cause-Effect / Fish bone diagrams) , การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control : SPC) และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เป็นต้น (Linderman K. and et al. 2008)

ซิกซ์ ซิกมาเป็นกระบวนการและเครื่องมือในการลดต้นทุนในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพ รวมถึงพัฒนาผลกำไรและลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเพื่อขับเคลื่อนธุรกิจและเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับทุกกระบวนการผลิต โดยจุดประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า รวมถึงซิกซ์ ซิกมาถือเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญเพื่อยกระดับธุรกิจและใช้เป็นต้นแบบสำหรับการเกิดนวัตกรรมทางคุณภาพได้อีกประการหนึ่ง (Kim M. and et al. 2003)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการที่ให้ผลลัพธ์ด้านคุณค่าต่อลูกค้าและผู้เกี่ยวข้องในองค์กร โดยมีการมุ่งเน้นการปรับปรุงพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์และประสิทธิผล (Productivity) ขององค์กรเป็นสำคัญ (Indrawati S. and Ridwansyah M. 2015)

ซิกซ์ ซิกมา เป็นกลยุทธ์ในการพัฒนาความสามารถเพื่อการทำกำไรสูงสุดให้กับธุรกิจ โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดหรือลดความแปรปรวน ลดของเสีย ลดต้นทุนในการผลิตสำหรับกระบวนการผลิต รวมไปถึงเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยใช้เครื่องมือและเทคนิคทางสถิติมาเป็นตัวช่วยที่สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ (Coronado B. R. and Antony J. 2002)

กระบวนการซิกซ์ ซิกมา เป็นกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพแบบต่อเนื่อง (Continuous process improvement) ที่มีความนิยมเป็นอย่างมากในแวดวงอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการและต้นทุนคุณภาพของกระบวนการ (Kapadia R. S. and et al. 2016)

2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

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

บริษัทโมโตโรลาเป็นบริษัทแรกในการเริ่มปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยบริษัทมุ่งเน้นไปที่กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์รวมไปถึงการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งการใช้ซิกซ์ ซิกมาของบริษัทโมโตโรลานั้น ได้มุ่งเน้นเพื่อแก้ไขและปรับปรุงการปฏิบัติการภาพรวมของกระบวนการผลิตด้วยการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตนี้เองทำได้โมโตโรลามีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดไปสู่เทคโนโลยีในการผลิตที่เป็นมาตรฐานและสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตไปได้ถึง 2.2 พันล้านบาทภายในระยะเวลา 4 ปี และส่งผลทำได้บริษัทได้รับรางวัลคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award จากรัฐบาลอเมริกาจากการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมามาปรับปรุงกระบวนการและการวิเคราะห์ข้อมูล

หลักจากการประสบความสำเร็จในการใช้ซิกซ์ ซิกมาของบริษัทโมโตโรลานั้น ในปี 1990 โมโตโรลาได้เข้าร่วมกับบริษัท IBM และบริษัทโกดัก (Kodak) เพื่อร่วมกันจัดตั้งสถาบันวิจัยซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma Research Institute : SSRI) โดยให้บริการเกี่ยวกับการฝึกอบรมในเรื่องที่เกี่ยวกับซิกซ์ ซิกมา จากแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับ Black Belt หลักจากการอบรมทางสถาบันมีการให้การรับรอง Black Belt สำหรับผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับแนวคิดและวิธีการซิกซ์ ซิกมา

2.1.2 กรอบแนวคิดสำหรับกระบวนการซิกซ์ ซิกมา

แนวคิดหลักและจุดประสงค์ของซิกซ์ ซิกมาเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิต รวมไปถึงการลดความผันแปรของกระบวนการผลิตโดยความผันแปรของกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของซิกซ์ ซิกมาจะเป็นเครื่องมือและแนวคิดที่ทำให้สามารถลดต้นทุนที่เกิดจากความสูญเปล่าของกระบวนการผลิตลงได้ ซึ่งสามารถสรุปเป็นประเด็นหลักๆได้ดังนี้ (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ 2557)

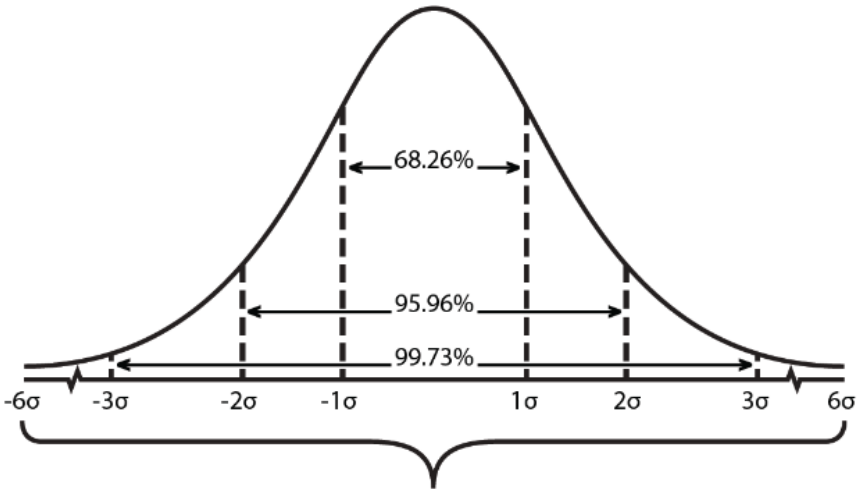
1. มุ่งเน้นที่จะปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อสามารถเข้าใจในความต้องการของลูกค้าและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกประเด็น กล่าวคือ

กระบวนการซิกซ์ ซิกมามีส่วนเกี่ยวข้องกับการประเมินความพึงพอใจของลูกค้าเพื่อนำข้อมูลนั้นกลับมาปรับปรุงเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์และบริหารเป็นสำคัญ

2. การปรับปรุงคุณภาพมีการดำเนินงานอย่างเป็นระบบโดยมีการนำเครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาสนับสนุนการวิเคราะห์ผลเพื่อกำหนดปัญหาและเป้าหมายอย่างชัดเจน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ากระบวนการซิกซ์ ซิกมาเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์บริหารจัดการข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งถึงมือลูกค้า
3. เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆของกระบวนการ และความสัมพันธ์ของปัจจัยที่สามารถส่งผลถึงปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ หรืออาจเรียกว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง (Key Process Output Variables : KPOVs) หรือ Y และปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variables : KPIVs) หรือ X โดยความสัมพันธ์ของปัจจัย X , Y ส่วนมากจะถูกเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการแสดงความสัมพันธ์ Y=f(X)
4. การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพโดยใช้แนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ต้องมีการประสานงานระหว่างบุคลากรที่มีความพร้อมที่จะปรับปรุงคุณภาพ โดยต้องมีการดำเนินงานแบบจัดตั้งเป็นโครงการ กล่าวคือต้องมีการระบุระยะเวลาในการทำโครงการปรับปรุงคุณภาพที่ชัดเจนในส่วนของเวลาในการเริ่มและสิ้นสุดโครงการ รวมถึงความร่วมมือและความสามารถของบุคลากรที่เข้ามาร่วมทีมในตำแหน่งต่างๆ ต้องมีการกำหนดให้ชัดเจนเพื่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการภายในระยะเวลาที่กำหนด

นอกจากนี้ (Verma และ Boyer, 2009) ได้กล่าวเพิ่มเติมในส่วนของกรอบแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ไว้ดังนี้ (ปรียาวดี ผลเอนก 2558)

- การบริหารและจัดการข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดำเนินงานตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา โดยการตัดสินใจต่างๆต้องมีการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูลที่ถูกต้อง ซึ่งต้องไม่ตัดสินใจโดยใช้อคติส่วนตัว
- กระบวนการซิกซ์ ซิกมา เป็นการมุ่งเน้นความสมบูรณ์แบบ โดยมีการอ้างอิงถึงค่าสถิติที่ยอมให้มีโอกาสที่จะเกิดของเสีย 3.4 ส่วนใน 1 ล้านส่วน ยกตัวอย่างเช่นกระบวนการผลิตมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution) พื้นที่ภายใต้โค้งมาตรฐานจะถูกกำหนดโดยค่าพิสัยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) จากค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 2.1



Specification limit	Percent inside specifications	ppm defective
±1 sigma	30.23	697700
±2 sigma	69.13	608700
±3 sigma	93.32	66810
±4 sigma	99.3790	6210
±5 sigma	99.97670	233
±6 sigma	99.999660	3.4

รูปที่ 2. 1 การกระจายตัวภายใต้เส้นโค้งปกติและตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของดีและของเสียที่มีโอกาสเกิดขึ้นภายใต้ระดับของ Six Sigma (±6σ)

จากรูปที่ 2.1 กราฟแสดงการกระจายตัวภายใต้เส้นโค้งปกติ (±6σ) มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำและแสดงให้เห็นว่ากระบวนการทำงานต่างๆภายใต้ระดับของ 6σ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพถึง 99.99966% โดยไม่เกิดของเสีย หรืออีกความหมายดังที่กล่าวไปข้างต้นคือมีโอกาสเกิดของเสีย 3.4 ส่วนใน 1 ล้านส่วน

2.1.3 โมเดลของซิกซ์ ซิกมา

ขั้นตอนการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา ถูกสร้างมาเพื่อการดำเนินการเกี่ยวกับระบบการทำงานหรือระบบปฏิบัติงาน ซึ่งประเด็นสำคัญคือการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและสามารถพัฒนาสินค้าให้เกือบจะมีความสมบูรณ์แบบเพื่อส่งมอบให้แก่ลูกค้า รวมไปถึงการลดความผันแปรต่างๆที่เกิดจากกระบวนการผลิต บนพื้นฐานการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักทางสถิติเข้ามาสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อหาจุดบกพร่องของกระบวนการผลิต ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ถือเป็นส่วนสำคัญในการใช้เพื่อกำจัดข้อบกพร่องต่างๆที่พบจากกระบวนการ (ปรียาวดี ผลเอนก 2558)

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

รูปที่ 2. 2 แผนภาพแสดงวงจรการทำงานตามกระบวนการของ DMAIC

2.1.3.1 ขั้นตอนกำหนดปัญหา (Define phase : D)

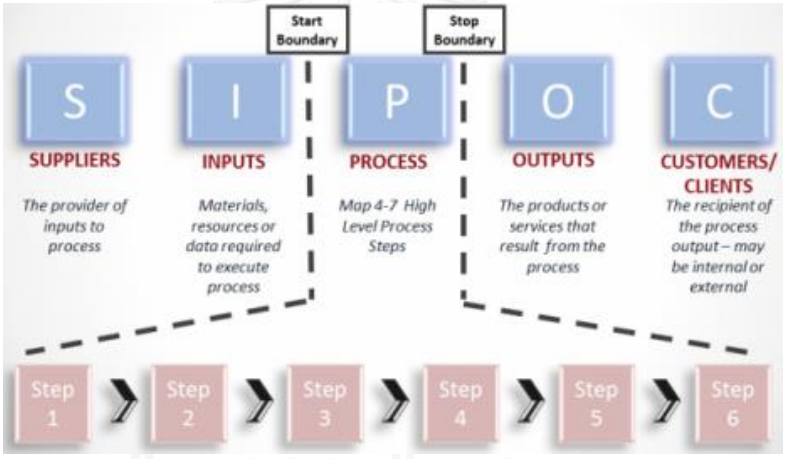
การกำหนดปัญหาถือเป็นขั้นตอนแรกที่มีความสำคัญเพื่อกำหนดเป้าหมายที่ถูกต้องและชัดเจนในการปรับปรุงกระบวนการหรือวิธีการขั้นตอนในการทำงานต่างๆ โดยในการกำหนดปัญหามองถึงความต้องการของลูกค้าเป็นหลักสำคัญ โดยการกำหนดปัญหาเพื่อปรับปรุงนั้นต้องเป็นเรื่องที่มีความสำคัญจริงๆ และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงจุด ซึ่งการกำหนดปัญหาต้องอาศัยการระดมความคิดจากทีมงานปรับปรุงคุณภาพที่มาจากหลายส่วนงานเพื่อให้เห็นถึงปัญหาในหลากหลายรูปแบบและสามารถจัดประเด็นความสำคัญของปัญหาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในขั้นตอนการกำหนดปัญหานี้ได้มีเครื่องมือการดำเนินงานปรับปรุงคุณภาพมาช่วยในการดำเนินงาน ยกตัวอย่างเช่น

- **การกำหนดวางแผนโครงการ (Project charter)**

การวางแผนโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อแก้ปัญหานั้นเป็นเอกสารโครงการที่ระบุ วัตถุประสงค์ , รายละเอียด , หน้าที่ของผู้ร่วมงาน รวมถึงระยะเวลาในการดำเนินโครงการและขอบเขตในการปรับปรุงแก้ไขต่างๆ โดยในการทำเอกสารเพื่อวางแผนการดำเนินโครงการนี้ส่งผลทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้รับข้อมูลและวัตถุประสงค์ที่เข้าใจตรงกัน

- **ผังกระบวนการทำงาน (Process mapping)**

ผังกระบวนการทำงานเป็นเครื่องมือที่ทำให้เห็นระบบและกระบวนการทำงานทั้งหมดว่ามีปัจจัยอะไรบ้างมาเกี่ยวข้องกับกระบวนการหรือโครงการที่เลือกนำมาปรับปรุงและสามารถใช้เป็นตัวสื่อสารให้กับผู้ทีเกี่ยวข้องเห็นรายละเอียดอย่างง่ายได้ด้วยเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น แผนผังกระแสดงกระบวนการทำงานแบบ SIPOC ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2. 3 แผนผังกระบวนการทำงานแบบ SIPOC

2.1.3.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure phase : M)

ในขั้นตอนนี้จะมีการเก็บข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อใช้อธิบายถึงสาเหตุของปัญหาที่จะทำการปรับปรุงรวมไปถึงสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบอกถึงโอกาสความเป็นไปได้ของการเกิดปัญหา โดยการเก็บข้อมูลสามารถวัดผลการทำงานจากกระบวนการต่างๆได้ ยกตัวอย่างเช่นการเก็บข้อมูลเพื่อดูอัตราส่วนของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต หรือการวัดความสามารถของกระบวนการทำงาน เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานี้อาจมีเครื่องมือในการวัดเพื่อเก็บข้อมูลที่แตกต่างกันไปขึ้นกับกระบวนการผลิตในสายการผลิตนั้นๆ เพื่อให้มั่นใจกับข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการวัดมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ต้องมีการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดก่อนโดยการทำ Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R) จากนั้นเข้าสู่

กระบวนการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลถึงปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาเลือกวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลกระทบรุนแรงที่สุดมาแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก ซึ่งในขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานี้ได้มีเครื่องมือการดำเนินงานปรับปรุงคุณภาพมาช่วยในการดำเนินงาน ยกตัวอย่างเช่น

- **ตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการ**

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

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

ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นมีจุดประสงค์ที่สำคัญ คือเพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับการได้มาซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ในเชิงของแหล่งข้อมูลและวิธีการวัด รวมไปถึงการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะเป็นการตรวจสอบดูความคลาดเคลื่อนของระบบว่ามีมากน้อยเพียงใดเพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำของชุดข้อมูลที่ได้มา โดยการวิเคราะห์การวัดเป็นส่วนสำคัญที่ต้องทำก่อนเริ่มกระบวนการปรับปรุงกระบวนการหรือระบบงานต่างๆตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งการพิจารณาระบบในการวัดนั้น มีการพิจารณาโดยดูจากค่าคามแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision) โดยดูจากการวัดเปรียบเทียบผลที่ได้หลายๆครั้ง ที่ให้ค่าใกล้เคียงกันและมีความเบี่ยงเบนจากค่าจริงน้อยที่สุด ซึ่งวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบของการวัดนี้เรียกว่า Gage Repeatability and Reproducibility (Gage R&R)

วิธีในการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เรียกว่า Gage R&R มีการพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. Repeatability แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกันซ้ำกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวัด โดยระบบการวัดที่ดีต้องสามารถให้ค่าการวัดที่มีความใกล้เคียงกันในการทำซ้ำ
2. Reproducibility แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกัน แต่มีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การวัดชิ้นงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือวัดประเภทเดียวกัน แต่เปลี่ยนพนักงานวัดคนละคนกัน ซึ่งคุณสมบัตินี้จะแสดงให้เห็นถึงความผันแปรความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดโดยมีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน

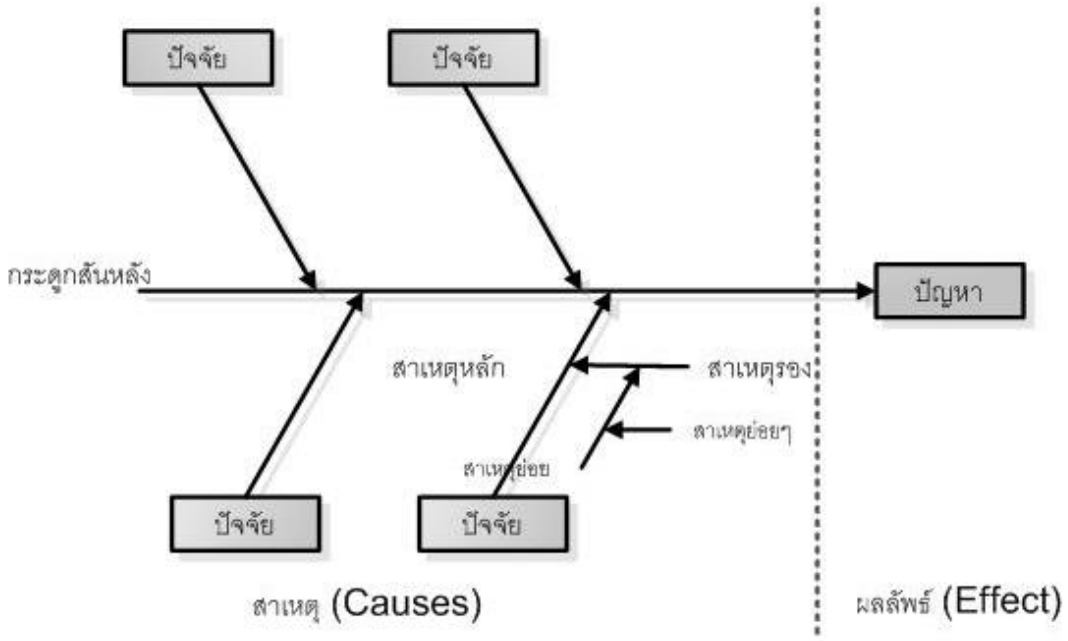
3. Bias (ไบอัส)เป็นรูปแบบของค่าที่ใช้เรียกลักษณะของผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดที่มีความแตกต่างระหว่างค่าจริงที่วัดได้กับค่าเฉลี่ยของการวัดในขั้นตอนนั้น โดยมีข้อจำกัดที่ชิ้นงานที่วัดนั้นต้องวัดบนชิ้นงานประเภทเดียวกัน
4. Linearity หรือความผันแปรเชิงเส้นตรง เป็นการวิเคราะห์หรือพิจารณาค่า Bias ของการวัดข้อมูลที่เกิดจากผู้ทำการวัดเปลี่ยนแปลงขอบเขตหรือย่านของการวัดประเภทนั้นๆ
5. Stability (ความเสถียร)เป็นตัวที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า Bias เมื่อเวลาในการวัดเปลี่ยนแปลงไป

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

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

1. ปัจจัยที่เกิดจากพนักงาน (Man)
2. ปัจจัยที่เกิดจากเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงาน (Machine)
3. ปัจจัยที่เกิดจากระบบการวัด (Measurement)
4. ปัจจัยที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
5. ปัจจัยที่เกิดจากขั้นตอนและวิธีในการทำงาน (Method)
6. ปัจจัยที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมในการทำงาน (Environment)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2. 4 รูปแบบของ Cause and Effect Diagram

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

ตารางแสดงเหตุและผลเป็นตารางที่มีจุดประสงค์หลักคือใช้เพื่อการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ทั้งหมด โดยการวิเคราะห์ใช้ความชำนาญและประสบการณ์เข้ามาช่วยในการตัดสินใจเพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญ ซึ่งจะมีการให้คะแนนปัจจัยต่างๆดังรายละเอียดด้านล่างนี้

0 หมายถึง ปัจจัยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหา

1 หมายถึง ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหาน้อย

3 หมายถึง ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหาปานกลาง

9 หมายถึง ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการทำให้เกิดปัญหาสูง

จากการให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ข้างต้นเสร็จแล้วนั้น จะมีการนำคะแนนที่ประเมินให้ปัจจัยต่างๆมาเรียงลำดับตามรูปแบบของแผนภูมิพาเรโตโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงลำดับของผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน ทำให้สามารถพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลลำดับต้นๆได้โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้น (FMEA) ในขั้นตอนต่อไป

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

การวิเคราะห์รูปแบบนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้ระบุความเสี่ยงสัมพัทธ์ในขั้นตอนของการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยในกระบวนการดำเนินงานสิ่งแรกที่คำนึงถึงคือลดความเสี่ยงของปัจจัยที่สามารถส่งผลกระทบทำให้เกิดปัญหาขึ้นมากที่สุด และดำเนินการติดตามผลหรือแผนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการลดความเสี่ยงนั้นๆ ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัจจัยนั้นสามารถเริ่มทำได้ตั้งแต่ขั้นตอนของการออกแบบ รวมไปถึงสามารถทำได้ในขั้นตอนของการคัดเลือกหาปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลทำให้เกิดปัญหาได้ด้วยเช่นกัน

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบสามารถทำได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Analyse Phase : A)

ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้น เป็นขั้นตอนต่อจากการคัดเลือกปัจจัยที่สามารถส่งผลให้เกิดปัญหา ซึ่งเป็นขั้นตอนการนำปัจจัยที่ให้ลำดับความสำคัญนั้นไปทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญที่จะส่งผลทำให้เกิดปัญหาจริงหรือไม่ และเป็นแนวทางเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการต่อไป โดยจุดประสงค์ที่สำคัญของขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหานี้เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องและตรงจุดมากยิ่งขึ้นนั่นเอง

ในขั้นตอนนี้จะมีการเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์โดยการออกแบบการทดลองเพื่อนำไปสู่การทดลองและการเก็บผลการทดลอง เพื่อนำผลการทดลองนั้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติ ยกตัวอย่างเช่นกระบวนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการออกแบบการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ระดับนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลให้เกิดปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางสถิติเช่น การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) เพื่อพิสูจน์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยแต่ละตัว

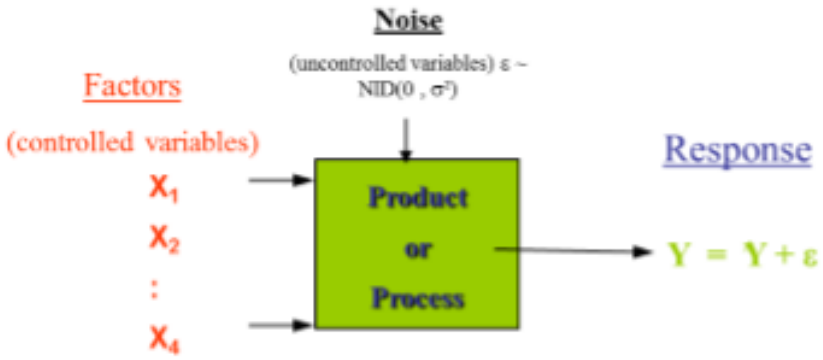
- **การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)**

กระบวนการของการออกแบบการทดลองเป็นการออแบบการเก็บข้อมูลเพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัยต่างๆมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองหรือผลกระทบของปัญหาอย่างไร ซึ่งมีการดำเนินการโดยทำการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่นำเข้าสำหรับกระบวนการที่ต้องการศึกษาเพื่อดูว่าส่งผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากน้อยเพียงใด โดยตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัยนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ปัจจัยที่เราสามารถควบคุมได้ และไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้นั้นส่วนใหญ่แล้วจะมีความเกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมในกระบวนการทำงาน เช่น อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อมหรือความชื้น ส่วนปัจจัยที่เราสามารถควบคุมได้นั้น ยกตัวอย่างเช่น สภาวะในกระบวนการทำงาน (อุณหภูมิ , ระยะเวลาของกระบวนการ , ความเป็นกรด-ด่าง) , ที่มาของวัตถุดิบในกระบวนการผลิต , รูปแบบเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมไปถึงความสามารถของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนและกระบวนการ เป็นต้น

ในขั้นตอนหรือวิธีการดำเนินงานของการออกแบบการทดลองนั้นมีคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองดังรายละเอียดต่อไปนี้ (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ 2557)

- ตัวแปรตอบสนอง (Responses) หมายถึง ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดกระบวนการที่สนใจปรับปรุง ซึ่งต้องสามารถวัดค่าได้ เช่น อัตราผลิตผลดี (yield) , สัดส่วนของเสีย เป็นต้น
- ตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัย (Factors) หมายถึง ตัวแปรที่สามารถควบคุมและสามารถกำหนดค่าได้ ซึ่งได้มาจากการระดมสมอง โดยต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่ทำการทดสอบว่ามีผลกระทบค่าตัวแปรตอบสนองที่เราสนใจหรือไม่ เช่น หากตัวแปรตอบสนอง (Y) เป็นอัตราผลิตผลดี ปัจจัยนำเข้าที่เราสนใจและจะทำการศึกษา (X) คือ อุณหภูมิ , ความเข้มข้นของสารเคมี , ความเป็นกรด-ด่าง รวมถึงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาหรือระยะเวลาในการทำงานของกระบวนการ เป็นต้น
- ตัวแปรรบกวน (Noise variables) หมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งเราไม่สามารถควบคุมได้

- ระดับของปัจจัย (Level) หมายถึง ค่าที่เราวางแผนจะทำการทดสอบปัจจัยต่างๆ
- สภาวะของการทดลอง (Test run) หมายถึง เซ็ตหรือคอมบิเนชั่นของปัจจัยที่ระดับต่างๆ ในการทดลองแต่ละครั้ง
- แบบการทดลอง (Design) หมายถึง รูปแบบของแผนการทดลองที่กำหนดจำนวนครั้งในการทดลอง เช่น แบบการทดลองแฟคทอเรียล และแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบ เป็นต้น
- เมทริกซ์การออกแบบ (Design Matrix) หมายถึง ตารางที่แสดงชุดการทดลองที่ประกอบ ไปด้วยรายละเอียดของกระบวนการTest run ต่างๆ
- ผลกระทบ (Effect) หมายถึง การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง จะถูกวัดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนองเฉลี่ยภายใต้การทดสอบปัจจัยที่สองระดับขึ้นไป



รูปที่ 2. 5 แสดงประเภทของปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการทำงานหรือกระบวนการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง ได้แก่

1. ทดสอบผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Main Effects)
2. ทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Interaction Effects) ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอันตรกิริยา
3. หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองเพื่อใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ
4. สนับสนุนการปรับปรุงในเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบกระบวนการ การ ดำเนินงานของกระบวนการ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการออกแบบการทดลอง: การออกแบบการทดลองจะเป็นการช่วยทำให้ประหยัดจำนวนครั้งในการทดลอง (Runs) ซึ่งการออกแบบการทดลองช่วยคัดเลือกรูปแบบในการทดลองเท่าที่จำเป็นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมและสามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

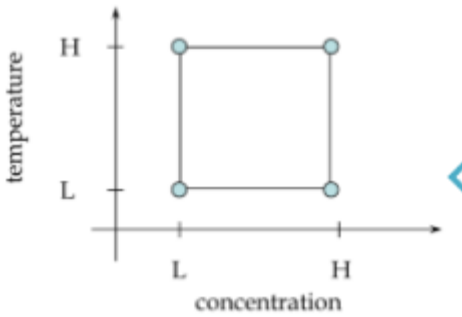
ประเภทของรูปแบบในการออกแบบการทดลอง : รูปแบบในการออกแบบการทั้งลองนั้นมีหลากหลายประเภท แต่สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยในงานวิจัยนี้มีการเลือกใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial design) และแบบ Box-Behnken เพื่อใช้วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และทดสอบหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่สามารถส่งผลทำให้ตัวแปรตอบสนองให้ค่าตามที่ต้องการ

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



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

รูปที่ 2. 6 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบกรณีสองปัจจัย

จากรูปที่ 2.6 เมื่อทำการจัดทุกคอมบิเนชันของทั้งสองระดับของสองปัจจัยที่เลือกทดลองแล้ว จะได้แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบที่ประกอบไปด้วย 4 สภาวะการทดลองที่ระดับการทดลองแตกต่างกัน ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 แสดงเมทริกซ์การออกแบบ

ตารางที่ 2. 1 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ

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

จากการออกแบบการทดลองข้างต้นนั้นควรมีการทดลองซ้ำในแต่ละระดับปัจจัยในการทดลองเพื่อทำให้ทราบถึงระดับความผิดพลาดอย่างสุ่มได้ อย่างน้อยในการออกแบบการทดลองควรมีการทดลองซ้ำสองครั้งในแต่ละระดับปัจจัย และลำดับของการทดลองนั้นควรมีการเรียงลำดับแบบสุ่มด้วยเช่นเดียวกัน เพื่อทำการลดความผิดพลาดของผลการศึกษาที่ได้รับผลกระทบจากตัวแปรรบกวน เช่น ทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิในเตาต่ำช่วงเช้า และทำการทดลองที่ระดับอุณหภูมิสูงในช่วงบ่าย ผลของอุณภูมิในเตาที่สามารถส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตที่ได้นั้นอาจมีการรบกวนของอุณหภูมิในอากาศในช่วงเวลาต่างๆได้ด้วยเช่นกัน ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างเมทริกซ์การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ และมีการทดลองซ้ำสองครั้งที่มีลำดับการทดลองแบบสุ่ม

ตารางที่ 2. 2 เมทริกซ์การออกแบบแฟคทอเรียลกรณีสองปัจจัยที่สองระดับ

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

ขั้นตอนในการออกแบบการทดองแฟคทอเรียลเต็มรูปกรณีปัจจัยสองระดับ

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

ตารางที่ 2. 3 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง

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

ส่วนการกำหนดปัจจัยแบบที่สอง คือ แบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส (Coded unit) ซึ่งในการกำหนดระดับของปัจจัยในรูปแบบนี้จะต้องมีการแปลงค่ารหัสจากสมการ เพื่อให้ได้ค่าดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 ตัวอย่างการกำหนดระดับของปัจจัยแบบหน่วยที่เป็นค่ารหัส

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

โดยที่ -หรือ -1 คือค่าที่สอดคล้องกับระดับต่ำของปัจจัย
+หรือ +1 คือค่าที่สอดคล้องกับระดับสูงของปัจจัย

3. การกำหนดรหัสสำหรับปัจจัยเชิงคุณภาพ ในการพิจารณาปัจจัยนั้นบางกรณีปัจจัยไม่ใช่ปัจจัยเชิงตัวเลข แต่เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา A และ B , เครื่องจักร 1 และ 2 เป็นต้น โดยที่ปัจจัยเชิงคุณภาพเหล่านี้จะต้องถูกเปลี่ยนและกำหนดให้เป็นค่ารหัส -1 หรือ +1 ก่อนนำไปวิเคราะห์
4. การทำการทดลอง (Run the Experiments) จากขั้นตอนการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้จำนวนการทดลองที่ระดับของปัจจัยต่างๆแล้วนั้น ขั้นตอนถัดไปคือการนำแบบการทดลองมาทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อเก็บข้อมูลผลขอตัวแปรตอบสนองที่ให้ค่าออกมาในช่วงการทดลองต่างๆ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองต่อไป
5. การวิเคราะห์ผลการทดลอง สำหรับในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้จะมีขั้นตอนย่อยเบื้องต้นในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลสรุปที่ตรงกับจุดประสงค์ในการทดลองที่ตั้งไว้ ดังรูปแบบนี้
    - ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีลักษณะที่เหมาะสมและสามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอย (Analysis of Variance: ANOVA)สำหรับการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆได้หรือไม่
    - ทำการพิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและกราฟแสดงผลกระทบหลักของปัจจัย
    - คำนวณค่าผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยและผลกระทบหลักของปัจจัย
    - ทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบปัจจัยต่างๆด้วยวิธีการทางสถิติที่เรียกว่าการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- **การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)**

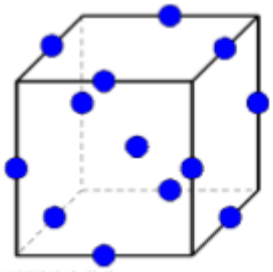
การทดสอบสมมติฐานเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ ซึ่งหลักการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างประชากรจากนั้นอาศัยการแจกแจงทางสถิติเพื่อทดสอบเกี่ยวกับสิ่งที่เราสนใจศึกษา ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) และสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) โดยสมมติฐานหลักจะแทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 และสมมติฐานรองที่ตั้งขึ้นมาเพื่อแย้งกับสมมติฐานหลักนั้นจะแทนด้วยสัญลักษณ์ H_1โดยสมมติฐานรองนี้จะถูกตั้งให้มีความสอดคล้องกับสิ่งที่อยากรู้เนื่องจากสมมติฐานที่จะทำการทดสอบนั้นเป็นการวิเคราะห์จากข้อมูลของประชากรทั้งหมดที่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจริงหรือเท็จ จนกว่าที่จะถูกพิสูจน์โดยการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์อย่างละเอียด แต่เนื่องจากการเก็บข้อมูลทั้งหมดของประชากรเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเป็นจริงหรือเท็จของสมมติฐานที่ตั้งขึ้นนั้นใช้เวลานานรวมถึงส่งผลทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเป็นจำนวนมาก การวิจัยจึงสามารถทำได้โดยการสุ่มตัวอย่างของประชากรมาวิเคราะห์ โดยในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักที่เราตั้งขึ้นนั้นจะมีการพิจารณาจากค่าทางสถิติที่เรียกว่า P-value และมีการกำหนดระดับนัยสำคัญที่มีความสอดคล้องกันกับระดับความเชื่อมั่นในการทดสอบ ยกตัวอย่างเช่น กำหนดการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมัน 95% ดังนั้นระดับนัยสำคัญจะเท่ากับ 0.05 โดยการตัดสินใจการทดสอบนั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5 (Montgomery D. C. and Runger G. C. 2010)

ตารางที่ 2. 5 ผลการตัดสินใจสำหรับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ	**ข้อเท็จจริงของ H_0**	
	H_0 เป็นจริง	H_0 ไม่เป็นจริง
ปฏิเสธ H_0	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ตัดสินใจถูกต้อง
ไม่ปฏิเสธ H_0	ตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) รูปแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบนี้เป็นการออกแบบการทดลองโดยมีจุดประสงค์หลัก คือเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัจจัยที่ส่งผลทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบการทดลองแบบนี้แต่ละปัจจัยจะถูกทดสอบในระดับที่มากกว่า 2 ระดับ การออกแบบการทดลองในรูปแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และแบบการทดลองแบบ Box-Behnken

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้รูปแบบในการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ แบบ Box-Behnken ซึ่งเป็นรูปที่ใช้สำหรับการทดลองที่มี 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยในแต่ละปัจจัยจะมีระดับในการทดลอง 3 ระดับ และมีการสร้างตัวแบบในลักษณะของโพลิโนเมียลกำลังสอง ซึ่งคอมบิเนชันจองการทดลองจะทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Midpoints) ของแต่ละด้านและที่จุดศูนย์กลางของตัวแบบดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2. 7 ตัวแบบทางเรขาคณิตของการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กรณี 3 ปัจจัย

ตารางที่ 2. 6 เมทริกซ์การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางและแบบ Box-Behnken กรณี 3 ปัจจัย

CCD				Box-Behnken			
Rep	X1	X2	X3	Rep	X1	X2	X3
1	-1	-1	-1	1	-1	-1	0
1	1	-1	-1	1	1	-1	0
1	-1	1	-1	1	-1	1	0
1	1	1	-1	1	1	1	0
1	-1	-1	1	1	-1	0	-1
1	1	-1	1	1	1	0	-1
1	-1	1	1	1	-1	0	1
1	1	1	1	1	1	0	1
1	-1.682	0	0	1	0	-1	-1
1	1.682	0	0	1	0	1	-1
1	0	-1.682	0	1	0	-1	1
1	0	1.682	0	1	0	1	1
1	0	0	-1.682	3	0	0	0
1	0	0	1.682				
6	0	0	0				
Total Runs = 20				**Total Runs = 15**			

จากตารางการเปรียบเทียบระหว่างการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางและแบบ Box-Behnken จะเห็นได้ว่าการทดลองแบบ Box-Behnken จะใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่น้อย

กว่าในกรณีที่มี 3 หรือ 4 ปัจจัย แต่ในกรณีที่มี 5 หรือ 6 ปัจจัยนั้นจำนวนครั้งในการทดลองแบบ Box-Behnken อาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าการทดลองแบบส่วนประสมกลางก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าจะเลือกใช้ Full Factorial design หรือ Fractional Factorial design ในการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ซึ่งกรณีที่มีการศึกษาจำนวนของปัจจัยที่มีมากกว่า 4 ปัจจัยขึ้นไป จะทำให้ประสิทธิผลของสมการจากแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ด้อยกว่าสมการที่ได้จากแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง

2.1.3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase : I)

สิ่งสำคัญที่ต้องทำในระยะขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้น เป็นสิ่งที่ทางทีมงานจะต้องกำหนดวิธีการปรับปรุงแก้ไขต่างๆ ดังนี้ (นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ 2557)

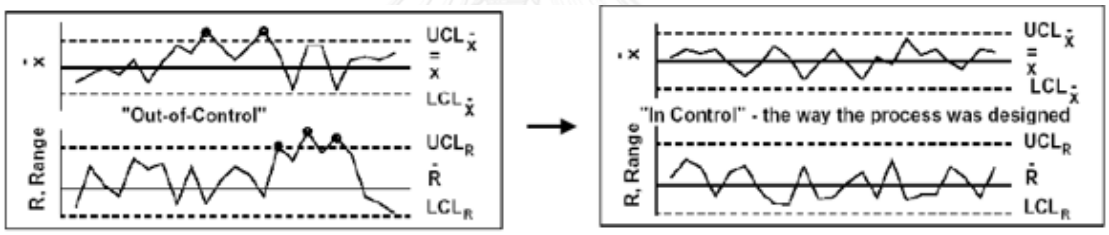
1. กำหนดทางเลือกที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงและทารเลือกทางเลือกที่จะนำไปปฏิบัติ
2. จากข้อมูลที่ได้จากการทำการออกแบบการทดลองและได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญนั้นแล้วนั้น จะต้องนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (KPIVs) กับตัวแปรตอบสนอง (KPOVs) จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบ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

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

2.1.3.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุมกระบวนการ (Control Phase : C)

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

แผนภูมิควบคุมมีจุดประสงค์สำคัญ คือตรวจติดตามกระบวนการและสามารถบอกให้เห็นถึงความผิดปกติของกระบวนการเมื่อมีการเกิดขึ้น เช่น มีค่าสูงหรือต่ำเกินกว่าแนวโน้มที่ควรจะเป็น โดยส่วนประกอบของแผนภูมิควบคุมประกอบไปด้วย เส้นกึ่งกลาง , ขีดควบคุมบน (Upper control limit :UCL) และขีดควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) ซึ่งการกำหนด UCL และ LCL จะขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยและความผันแปรของข้อมูลสำหรับกระบวนการศึกษา ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2. 8 แสดงรูปแบบของแผนภูมิควบคุม

ซึ่งนอกจากแผนภูมิควบคุมที่ใช้เป็นตัวควบคุมกระบวนการหลังการปรับปรุงแล้วนั้น ยังมีเครื่องมือที่นิยมใช้ในการควบคุมอีกหลากหลาย เช่น ระบบควบคุมการทำงาน 5ส , เอกสารแสดงวิธีและรายละเอียดในการทำงาน WI และเครื่องมือคุณภาพพื้นฐานอื่นๆ

- แผ่นตรวจสอบ
- แผนผังพาเรโต
- แผนผังก้างปลา
- แผนผังการกระจาย
- กราฟต่างๆ
- แผนภูมิฮิสโตแกรม

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ

การจำแนกประเภทและความหมายของสีย้อมผ้าแต่ละประเภท สีย้อมสังเคราะห์หรือสีย้อมรีแอกทีฟมีความหมายที่แตกต่างจากสีย้อมประเภทอื่นๆดังนี้

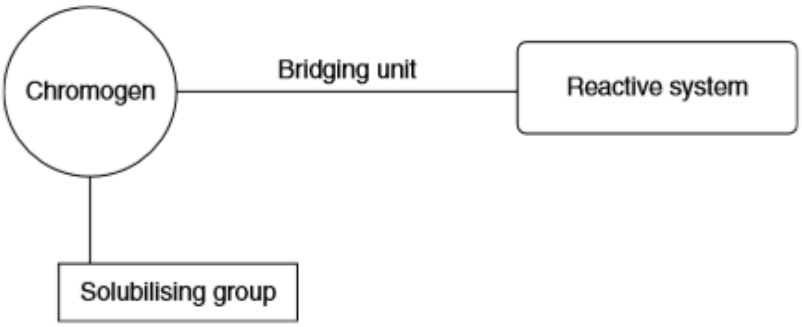
- สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dye staff) คือการสังเคราะห์ทำให้เกิดสีจากกระบวนการทางเคมี โดยสามารถละลายน้ำได้และเกิดกระบวนการทางเคมีเพื่อจับเกาะกับผ้าได้โดยตรงเมื่อผ่านการชักนำด้วยกระบวนการทางเคมีผ่านกระบวนการย้อม
- สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive dye staff) คือสีย้อมที่เกิดจากการสังเคราะห์ผ่านกระบวนการทางเคมีและเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนซ์ (Covalent bond)

สีย้อมประเภทรีแอกทีฟเป็นที่นิยมสำหรับการย้อมโดยทั่วไปรวมไปถึงการพิมพ์สีลงบนเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งในการย้อมผ้าด้วยสีย้อมประเภทรีแอกทีฟในช่วงแรกนั้นพบว่าเวลาในการย้อมรวดเร็วและมีหลากหลายเฉดสีที่ให้ความสว่างแตกต่างกันไป ซึ่งรูปแบบของการย้อมนั้นก็จะขึ้นกับโครงสร้างหรือลักษณะของสีย้อมรีแอกทีฟประเภทนั้นๆ หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาคุณสมบัติของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟให้สามารถตอบสนองต่อการย้อมได้เร็วและให้ประสิทธิภาพในการเกาะผ้าได้มากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนาคุณสมบัติทางเคมีให้สามารถละลายได้ดียิ่งขึ้นในน้ำระหว่างกระบวนการย้อม ในอุตสาหกรรมการผลิตสีย้อมประเภทรีแอกทีฟในปัจจุบันนั้น สีย้อมส่วนใหญ่หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์แล้วจะถูกขายในรูปแบบของสีผง (Chattopadhyay D. P. and Chaudhary R. 1997)

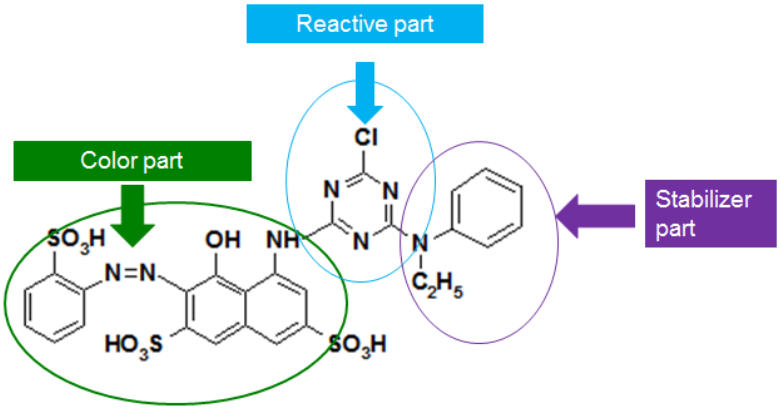
สำหรับสีย้อมประเภทรีแอกทีฟนั้นมีองค์ประกอบอยู่ 3 หมู่ประกอบหลักคือ

1. หมู่ให้สี (Colour part)
2. หมู่เกาะผ้า (Reactive part)
3. หมู่เพิ่มความเสถียรให้กับสีย้อมหรือหมู่ละลายน้ำ (Stabilizer or Solubilizingpart)

แสดงดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2. 9 รูปแบบโครงสร้างหลักของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ
(Chattopadhyay และ Chaudhary R. (1997))



รูปที่ 2. 10 ตัวอย่างองค์ประกอบของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ

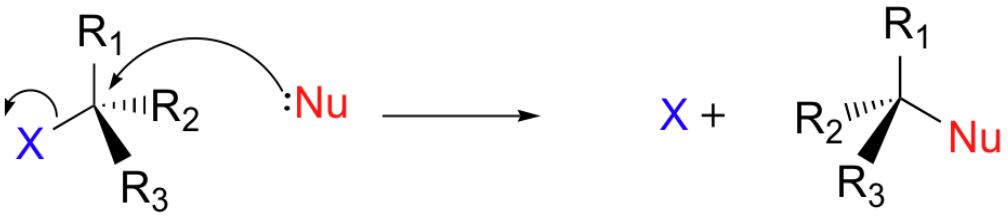
1. หมู่ให้สี (Colour part) เป็นส่วนที่มีองค์ประกอบของสารเคมีที่สามารถให้สีได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารเคมีประเภทที่มีวงอโรมาติก (Aromatic ring) เชื่อมต่อกันและพันธะคู่ระหว่างไนโตรเจน (N=N) รวมถึงโลหะหนักที่มีอยู่ในโครงสร้างก็ส่งผลต่อการให้สีด้วยเช่นกัน โดยจำนวนวงอโรมาติกและพันธะคู่ของไนโตรเจนจะส่งผลต่อโครงสร้างของสารเคมีส่วนให้สีที่ทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันไป
2. หมู่เกาะผ้า (Reactive part) เป็นส่วนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับผ้าฝ้าย เพื่อให้สีย้อมจากการสังเคราะห์นั้นสามารถเกาะจับกับผ้าได้ โดยประสิทธิภาพของสีย้อมนั้นจะขึ้นกับจำนวนของหมู่เกาะผ้าที่และคุณสมบัติทางเคมีที่มีความแตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของผลิตภัณฑ์ของทางบริษัท
3. หมู่เพิ่มความเสถียรให้กับสีย้อม (Stabilizer part) ในส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำให้สีย้อมจากกระบวนการสังเคราะห์นั้นเกิดความเสถียร โดยหมู่เพิ่มความเสถียรจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งานของผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ โดยในส่วนของการเพิ่มความเสถียรนั้นจะช่วยในเรื่องของ

การทนต่อความเป็นกรด-ด่าง หรืออาจช่วยในเรื่องของการทนต่อช่วงอุณหภูมิต่างๆ รวมไปถึงหมู่ละลายน้ำ (Solubilizing part) ที่จะช่วยให้โมเลกุลของสีสามารถละลายน้ำได้ดียิ่งขึ้น

2.2.1 ประเภทของสีย้อมรีแอกทีฟ

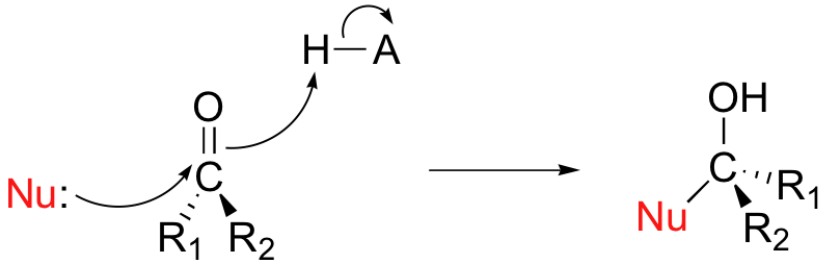
ประเภทของสีย้อมรีแอกทีฟนั้นจะถูกแบ่งตามประเภทของปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งปฏิกิริยาในการสร้างพันธะตามทฤษฎีทางเคมีนั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. สีย้อมที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาแบบการแทนที่ของหมู่ทางเคมี ดังรูปที่ 2.11 (Nucleophilic substitution reaction)



รูปที่ 2. 11 ปฏิกิริยาการแทนที่ของหมู่ทางเคมี (Nucleophilic substitution reaction)

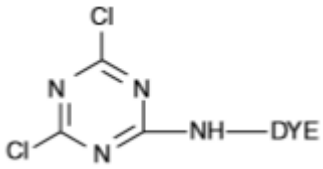
2. สีย้อมที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาแบบการเติมหมู่ทางเคมี ดังรูปที่ 2.12 (Nucleophilic addition reaction)



รูปที่ 2. 12 ปฏิกิริยาการเติมหมู่ทางเคมี (Nucleophilic addition reaction)

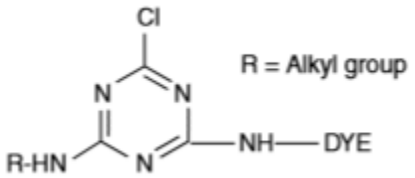
หมู่เกาะผ้า (Reactive group) ที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์สีย้อมประเภทรีแอกทีฟ คือ สารประกอบจำพวกไตรอะซีน (Triazine) ซึ่งเกิดปฏิกิริยาผ่านการแทนที่ของหมู่ทางเคมี (Nucleophilic substitution reaction) ส่วนใหญ่แล้วสารประกอบไตรอะซีนที่ใช้ คือ คลอโรไตรอะซีน (Chlorotriazine) โดยสามารถแบ่งแยกได้ตามจำนวนหมู่ของคลอรีน เช่น ไดคลอโร (Dichloro) หรือ โมโนคลอโร (Monochloro) ซึ่งความแตกต่างของจำนวนคลอรีนที่เกาะอยู่บนสารประกอบ

ไตรอะซีนนี้ ส่งผลที่ให้ความว่องไวในการทำปฏิกิริยามีความแตกต่างกันที่สภาวะการควบคุมที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ไดคลอโรไตรอะซีน มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำกว่า โมโนคลอโรไตรอะซีน รวมไปถึงสภาวะในการย้อมจะเกิดปฏิกิริยาที่สภาวะด่างสำหรับสารประกอบไดคลอโรไตรอะซีน โดยโครงสร้างทั่วไปสำหรับหมู่เกาะผ้าที่เป็นสารประกอบประเภทไดคลอโรไตรอะซีน แสดงดังรูปที่ 2.13



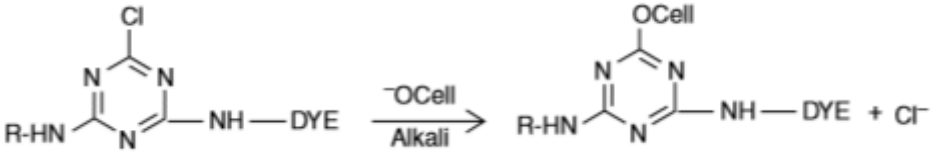
รูปที่ 2. 13 โครงสร้างหมู่เกาะผ้าประเภทไดคลอโรไตรอะซีน
(Woodhead publishing limited, 2011)

ส่วนในทางตรงกันข้ามสำหรับหมู่เกาะผ้าประเภทโมโนคลอโรไตรอะซีน ปฏิกิริยาเกิดที่อุณหภูมิสูงและสภาวะในการย้อมจะเกิดปฏิกริยาในช่วงที่เป็นด่างสูง โดยโครงสร้างทั่วไปสำหรับหมู่เกาะผ้าที่เป็นสารประกอบประเภทโมโนคลอโรไตรอะซีน แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2. 14 โครงสร้างหมู่เกาะผ้าประเภทโมโนคลอโรไตรอะซีน
(Woodhead publishing limited, 2011)

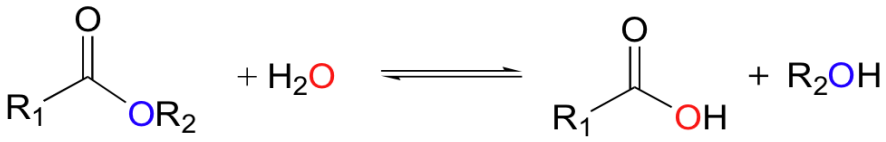
ปฏิกิริยาสำหรับหมู่เกาะผ้าประเภทไตรอะซีนนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลสบนเส้นใยผ้าในระหว่างกระบวนการย้อมผ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2. 15 ปฏิกิริยาระหว่างหมู่เกาะผ้าไตรอะซีนกับเส้นใยเซลลูโลสบนเส้นใยผ้า
(Woodhead publishing limited, 2011)

จากรูปที่ 2.15 ปฏิกิริยาเกิดระหว่างหมู่คลอรีนของหมู่เกาะผ้าประเภทโมโนคลอโรไตรอะซีน ทำปฏิกิริยาแบบการแทนที่ของหมู่ ออกซิเจนจากโมเลกุลของเซลลูโลส (OCellulose) ซึ่งเกิดการสร้าง

พันธะโคเวเลนซ์ขึ้น โดยในขณะเดียวกันหมู่คลอรีนของหมู่เกาะผ้าสามารถเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำที่เป็นสารละลายในกระบวนการย้อมได้เช่นเดียวกัน ซึ่งกระบวนการทำปฏิกิริยากับน้ำจะเรียกว่าปฏิกิริยาไฮโตรไลซีส (Hydrolysis reaction) ดังตัวอย่างปฏิกิริยาแสดงรูปที่ 2.16 เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโตรไลซีสขึ้นจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหมู่เกาะผ้า กล่าวคือสีย้อมจะย้อมติดผ้าได้น้อยลงนั้นเอง ดังนั้นในการเลือกใช้สารละลายในกระบวนการย้อมก็เป็นส่วนที่สำคัญในการควบคุมประสิทธิภาพด้วยเช่นกัน

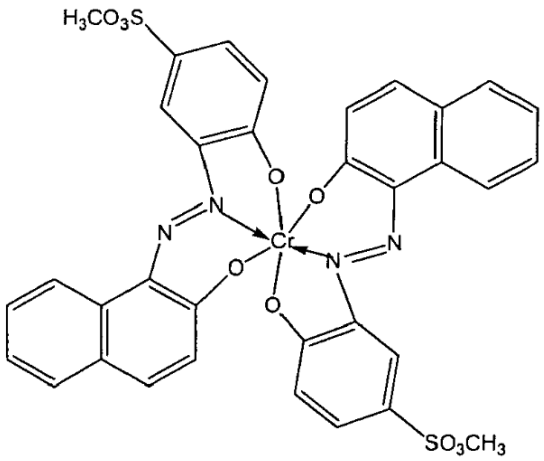


รูปที่ 2. 16 ตัวอย่างปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสระหว่างสารประกอบกับน้ำ

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมหรือในระหว่างกระบวนการย้อม เมื่อกระบวนการมีการควบคุมสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่ไม่เหมาะสมสำหรับอุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง รวมไปถึงระยะเวลาในการเติมสารหรือระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาด้วยเช่นเดียวกัน

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ

สีย้อมประเภทรีแอกทีฟมีคุณสมบัติในการเกาะผ้าที่มีความทนต่อการชะล้างออกจากการล้างหรือจากการโดนแสงแดดเป็นเวลานาน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟแต่ละประเภท ยกตัวอย่างเช่น สีย้อมรีแอกทีฟที่ประกอบด้วยหมู่ให้สีหรือ Azo-chromophore ที่อะตอมของโลหะอยู่ในโครงสร้างของหมู่ให้สี ดังตัวอย่างแสดงรูปที่ 2.17 จะช่วยทำให้คุณสมบัติในการเกาะผ้าสูงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งนอกจากจะทนต่อการล้างหรือโดนแสงแดดแล้วนั้น ยังทนต่อสภาวะในการย้อมที่มีความเป็นกรด-ด่างได้ โดยลักษณะโครงสร้างของหมู่ให้สีจะส่งผลถึงการให้เฉดสีของสีย้อมด้วยเช่นกัน (Kalontarov I. Y. and Kalandarov B. D. 1993)



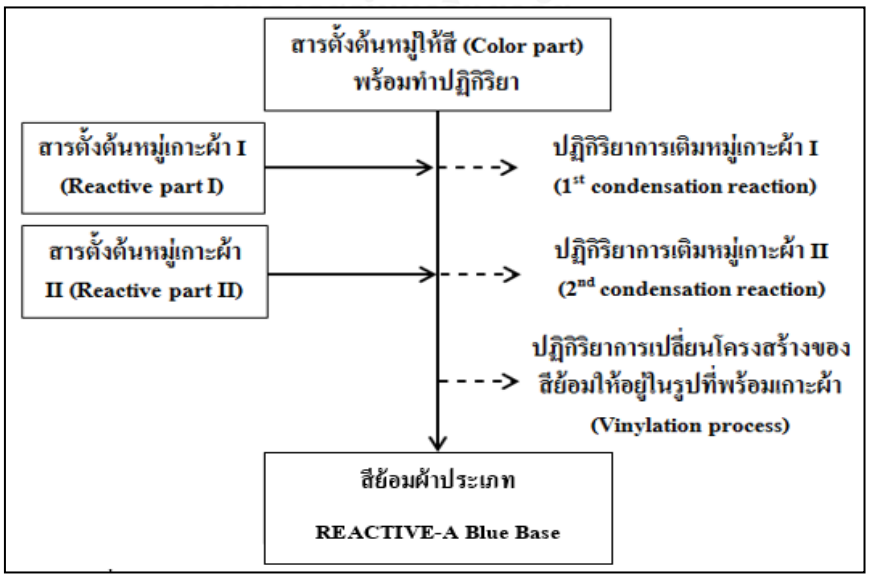
รูปที่ 2. 17 ตัวอย่างหมู่ให้สีประเภท Azo-chromophore ที่มีอะตอมของโลหะอยู่ในโครงสร้าง (C.I. Acid Violet 78)

2.2.3 กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ

1. กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟ เริ่มจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับการสังเคราะห์ให้อยู่ในรูปของเหลวเพื่อให้พร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาการเติมหมู่เกาะผ้า โดยในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบสามารถจำแนกประเภทของวัตถุดิบออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัตถุดิบที่มีสี (Colour part) และวัตถุดิบที่ไม่มีสี (Non-colour part) ซึ่งการเลือกใช้วัตถุดิบนั้นก็ขึ้นกับประเภทของสีย้อมเป็นหลัก โดยกระบวนการในการเตรียมวัตถุดิบจะต้องมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของแข็ง (Solid form) ให้สามารถละลายอยู่ในรูปของเหลวได้ (Liquid form) โดยสภาวะที่มีการควบคุมก็คือ อุณหภูมิ (Temperature) และความเป็นกรด-ด่าง (Acid-Base : pH)ซึ่งจะมีความแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ
2. หลังจากมีการเตรียมวัตถุดิบเรียบร้อยแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการการเติมหมู่เกาะผ้าหรือที่เรียกว่าปฏิกิริยาคอนเดนเซชั่น (Condensation reaction) โดยในขั้นตอนนี้จะมีการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในสภาวะที่เหมาะสมแล้วแต่ประเภทของสีย้อมและวัตถุดิบที่เลือกใช้ ซึ่งการทำปฏิกิริยาเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอินทรีย์ (Organic compound)โดยสภาวะที่มีการควบคุมคือ อุณหภูมิ(Temperature), ความเป็นกรด-เบส (Acid-Base : pH), ระยะเวลาในการเติมสารเคมี (Addition time) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Maintaining time) โดยในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าจะมีความแตกต่างกัน

ไปแล้วแต่ประเภทคุณสมบัติของกลุ่มผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากมีการเติมหมู่เกาะผ้า 1 หมู่จะเรียกว่า First condensation reaction หรือหากมีการเติมหมู่เกาะผ้า 2 หมู่จะเรียกว่า Second condensation reaction

3. จากนั้นจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีสำหรับการทำให้หมู่เกาะผ้าที่เติมลงไปนั้นพร้อมสำหรับการทำปฏิกิริยาการย้อมกับเส้นใยเซลลูโลสบนผ้าฝ้าย โดยเรียกกระบวนการนี้ว่าปฏิกิริยาไวนิเลชั่น (Vinylation reaction) ซึ่งมีการควบคุมสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้เกิดปฏิกิริยา โดยมีการควบคุมอุณหภูมิ(Temperature) , ความเป็นกรด-เบส(Acid-Base : pH) , ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Maintaining time)
4. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมโดยมีการเติมหมู่เกาะผ้าเรียบร้อยแล้วตามขั้นตอนข้างต้น สีย้อมผ้าจะอยู่ในรูปของเหลว (Liquid form)จากนั้นจะมีการแปรรูปสีย้อมให้อยู่ในรูปของสีผง (Powder form) เพื่อให้พร้อมสำหรับการส่งมอบให้ลูกค้า โดยจะมีการผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งเจือปน/เกลือ(Reverse osmosis) , กระบวนการเติมสารให้ความเสถียร (Wet standardization) และกระบวนการสเปรย์สีผง (Spray dry) ซึ่งกระบวนการทั้งหมดมีการควบคุมการผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเช่นเดียวกันกับกระบวนการสังเคราะห์ข้างต้น เช่น อุณหภูมิ(Temperature) , ความเป็นกรด-เบส(Acid-Base :pH)เป็นต้น



รูปที่ 2. 18 กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

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

การนำซิกซ์ ซิกมา เข้ามาปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพในส่วนของกระบวนการทำงานในห้องปฏิบัติการสำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสุขภาพ โดยในงานวิจัยได้มีการนำแนวคิดของลีนมาพัฒนาร่วมกับซิกซ์ ซิกมา ซึ่งส่งผลให้กระบวนการทำงานกับคนไข้ในห้องปฏิบัติการมีประสิทธิภาพมากขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและปรับปรุงกระบวนการทำงานในห้องปฏิบัติการนี้มีการวิเคราะห์ในเรื่องของเวลา หรือการทำ Work process study เพื่อกำจัดเวลาเสียเปล่าระหว่างกระบวนการทำงาน (Kapadia R. S. and et al. 2016)

การนำซิกซ์ ซิกมาร่วมกับลีน เข้ามาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาระบบการผลิตในส่วนของอุตสาหกรรมเหล็ก เพื่อการพัฒนาคุณภาพแบบต่อเนื่อง ในงานวิจัยมีการวิเคราะห์ในส่วนการลดของเสียที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือของ Process mapping เพื่อหากิจกรรมที่ให้คุณค่า (Value added) และกิจกรรมที่ไม่ให้คุณค่า (Non-value added) ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยแนวคิดของลีนซิกซ์ ซิกมา ให้ปริมาณของกิจกรรมที่ไม่ให้คุณค่า 33.67% (Indrawati S. and Ridwansyah M. 2015)

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

การศึกษาถึงการลดความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ส่งโรงงานกระดาษ โดยเครื่องมือที่นำมาใช้ในงานวิจัยคือ การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบร่วมกับการวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมของการผสมเยื่อที่ช่วงความขาวสว่างในช่วงต่างๆกัน 7 ช่วง (ณัฐพร สุขป้อม 2556)

Chulalongkorn University

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

การนำหลักการซิกซ์ ซิกมา เข้ามาวิเคราะห์เพื่อลดระยะเวลาการหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินในกระบวนการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ โดยได้มีการดำเนินการวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา และออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากการดำเนินการตามแบบแผนที่วางไว้ ได้มีการวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงพบว่า หลังการปรับปรุงระยะเวลาการหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินลดลง 85% จาก 150 นาที เหลือ 23 นาที (ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์ 2558)

การนำหลักการของซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นจากกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์ โดยมีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าสาเหตุเกิดจากความสกปรกของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี และระบบจ่ายอากาศในห้องพ่นสี ซึ่งหลังจากได้มีการปรับปรุงกระบวนการต่างๆตามแนวคิดและขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ได้มีการเปรียบเทียบผลของเสียระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง พบว่าของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นลดลง 69% เมื่อเปรียบเทียบกับระยะก่อนปรับปรุง (ทิชา แสนสม 2551)

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

การศึกษาถึงผลของการใช้น้ำยาต้มเยื่อที่ถูกออกซิไดซ์ต่อคุณภาพของเยื่อในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยในกระบวนการศึกษามีการใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางร่วมกับการวิเคราะห์ความถดถอยในการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองประเภทต่างๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลอง ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมต่อตัวแปรตอบสนอง คือ สัดส่วนของน้ำยาต้มเยื่อต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ 34:66 และใช้ร่วมกับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6.0 กรัมต่อกิโลกรัม , อุณหภูมิในการฟิกเยื่อ 85.5 องศาเซลเซียส และเวลาในการฟอก 93 นาที (นพดนัย ขจรไพศาล 2556)

บทที่ 3

ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

3.1 บทนำ

ระยะการนิยามปัญหาถือเป็นขั้นตอนแรกและขั้นตอนที่สำคัญสำหรับหลักการซิกซ์ ซิกมา เพื่อกำหนดจุดประสงค์และเป้าหมายที่ชัดเจนในการปรับปรุงคุณภาพหรือกระบวนการในการทำงานต่างๆ โดยการนิยามปัญหานั้นต้องเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างตรงจุด ซึ่งการนิยามปัญหาต้องอาศัยการระดมความคิดจากทีมงานที่มาจากหลากหลายหน่วยงาน เพื่อให้การนิยามปัญหามีมุมมองที่หลากหลายและสามารถจัดลำดับประเด็นที่สำคัญของปัญหาได้อย่าง ถูกต้อง ในขั้นตอนการนิยามปัญหาประกอบไปด้วย การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย , การศึกษากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิต , การกำหนดปัญหา รวมถึงการกำหนดตัวชี้วัดในการปรับปรุงคุณภาพหรือกระบวนการที่ทำงานศึกษาวิจัย

3.2 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อาศัยหลักการทำปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อให้เกิดสารประกอบที่ให้สีหรือที่เรียกในงานวิจัยนี้ว่าสีย้อมรีแอกทีฟ โดยกระบวนการสังเคราะห์มีการสังเคราะห์ผ่านกระบวนการหลัก 3 กระบวนการหรือ 3 ปฏิกิริยา ดังนี้

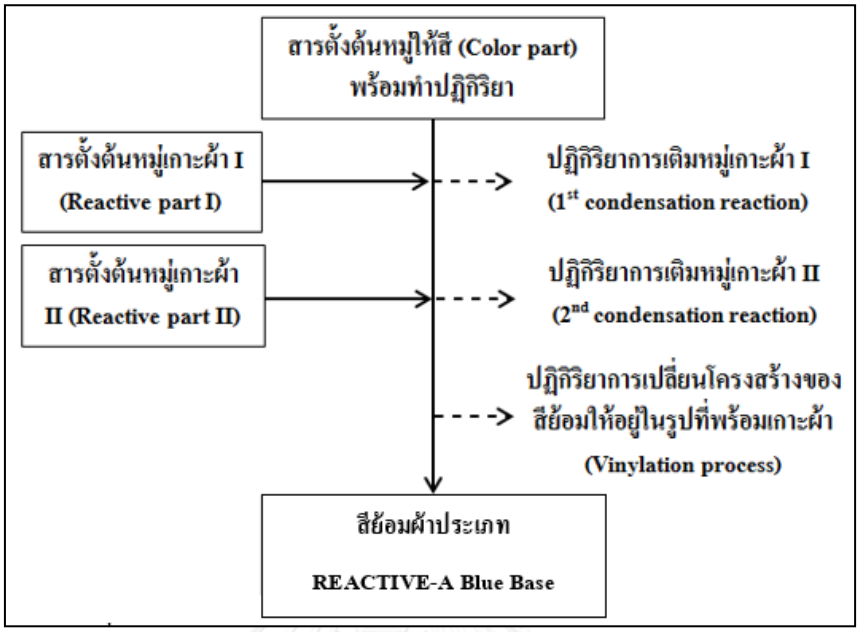
1. กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1^{st} Condensation process)
2. กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2^{nd} Condensation process)
3. กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสีย้อมให้อยู่ในรูปที่พร้อมเกาะผ้า (Vinylation process)

โดยในแต่ละกระบวนการข้างต้น มีการควบคุมสภาวะในการทดลองที่แตกต่างกันไปขึ้นกับประเภทของสารเคมีตั้งต้นและคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งสภาวะที่ควบคุมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมนั้นมีดังนี้

1. อุณหภูมิ
2. เวลาในการเติมสารเคมี
3. เวลาของปฏิกิริยา

4. ความเป็นกรด-ด่าง

กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3. 1 แผนผังกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base

รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base เฉพาะกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis process) สามารถอธิบายรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1. กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1st condensation process) โดยกระบวนการนี้จะมีการนำสารตั้งต้นหมู่ให้สีที่ได้จากกระบวนการ Reverse Osmosis ที่กำจัดสิ่งเจือปนออกและได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยา นำมาทำปฏิกิริยาการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมด้านอุณหภูมิ , ช่วงความความเป็นกรด-เบสในการทำปฏิกิริยาและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction and maintaining time)
2. กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2nd condensation process) โดยกระบวนการนี้จะมีลักษณะคล้ายกับการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1แต่จะมีสภาวะในการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันในด้าน อุณหภูมิ และ ช่วงความเป็นกรด-เบสในการทำปฏิกิริยา รวมถึงระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Reaction and maintaining time)
3. กระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างของสีย้อมให้อยู่ในรูปที่พร้อมเกาะผ้า (Vinylation process) โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการในการทำให้สีย้อมที่สังเคราะห์มานั้นมีการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างเพื่อให้พร้อมสำหรับการนำไปย้อมและทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งจะมีการควบคุมอุณหภูมิ , ความเป็นกรดด่าง และ เวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสำหรับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสีย้อมแต่ละประเภท

สภาวะในการควบคุมในแต่ละขั้นตอนสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3. 1 สภาวะควบคุมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา	สภาวะควบคุม			
	อุณหภูมิ (℃)	เวลาการเติมสารเคมี (นาที)	เวลาการควบคุมปฏิกิริยา (นาที)	ความเป็นกรด-ด่าง
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1	2	15	5	5.5
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2	20		60	8.0
การเปลี่ยนโครงสร้างสีย้อม	25		30	10

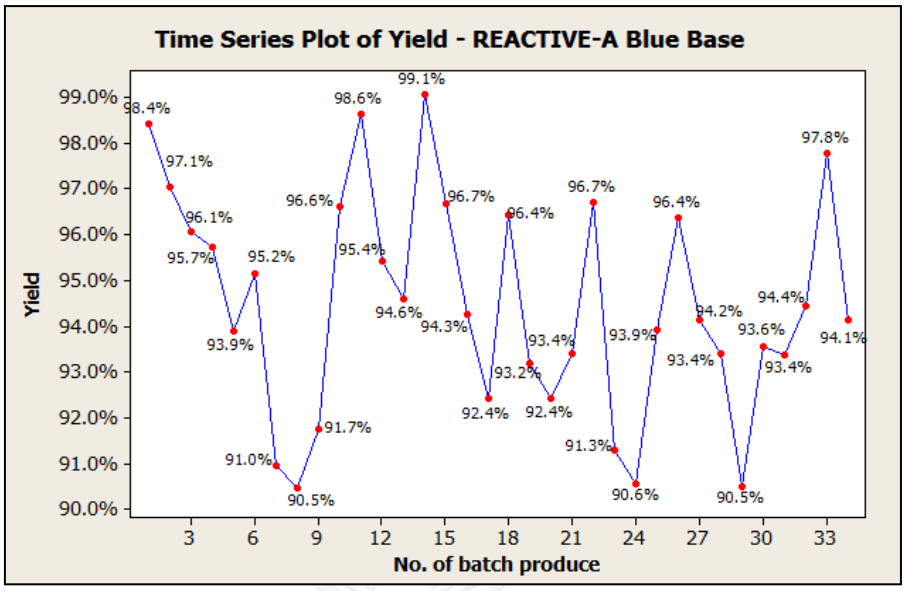
โดยเกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิตที่วัดผลจากเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี (HPLC) ที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3. 2 เกณฑ์กำหนดที่ยอมรับได้ (Specification) ในแต่ละขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอน	หน่วย	ค่าที่ยอมรับได้
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1	%(A/A)	Main molecule > 90 %
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2	%(A/A)	Main molecule > 75 %
การเปลี่ยนโครงสร้างสีย้อม	%(A/A)	Main molecule > 75 %

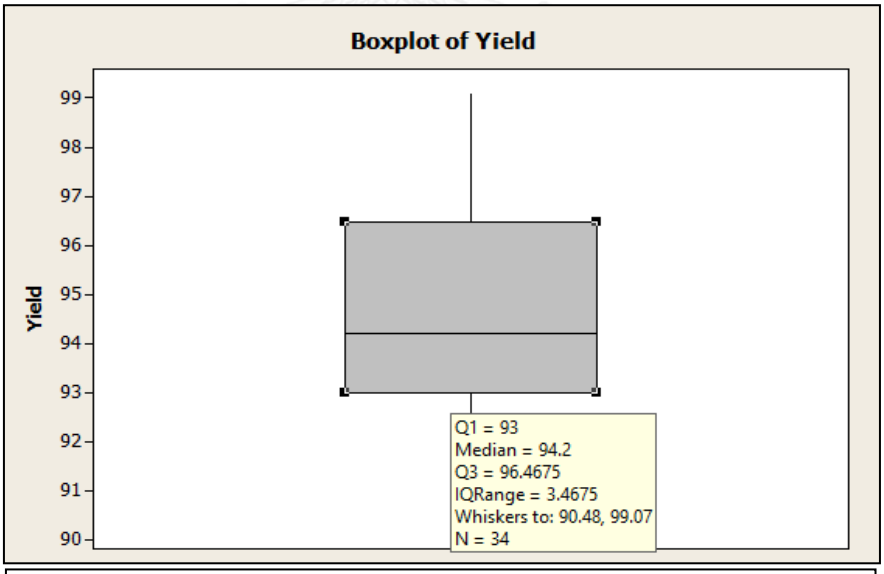
3.3 การกำหนดปัญหา

จากการศึกษาปัญหาในปัจจุบันพบว่ากระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ให้ผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยมีค่าต่ำสุดคือ 90.5 % และค่าสูงสุดคือ 99.1 % ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3. 2 ความผันแปร (S.D.) ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิตที่ได้ตามรูปแบบของ Box plot เพื่อดูการกระจายตัวของข้อมูล แสดงให้เห็นว่าค่ากลาง (Median) ของผลผลิตที่ได้นั้นเอนเอียงไปในทางที่ต่ำกว่าค่าคาดหวังที่ 95% คือให้ค่าเท่ากับ 94.2% ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจากปัญหานี้ส่งผลต่อบริษัทในแง่ของการดำเนินธุรกิจกำไร-ขาดทุน รวมถึงแสดงให้เห็นถึงมาตรฐานของกระบวนการผลิตเช่นเดียวกัน



Descriptive Statistics: Yield

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Median
Yield	34	94.497	0.412	2.405	5.784	2.55	90.480	94.200

Variable	Maximum
Yield	99.070

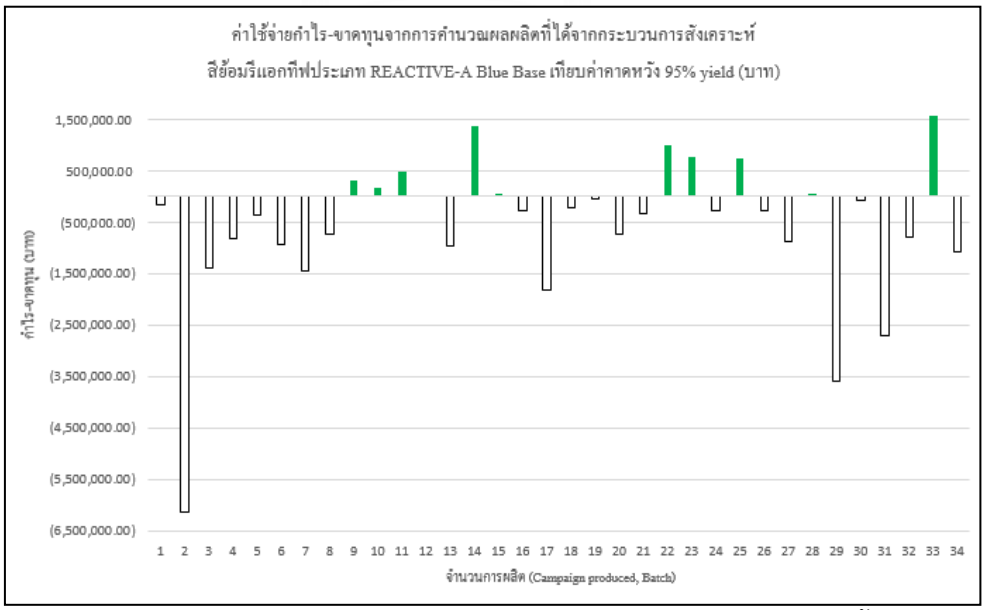
รูปที่ 3. 3 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

จากความผันแปรที่เกิดขึ้นของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ทางผู้วิจัยได้นำเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้มาคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของกำไร-ขาดทุน จากกระบวนการผลิตเมื่อคิดเทียบกับค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% และราคาในการขายผลิตภัณฑ์สีย้อม 525.88 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งรูปแบบในการคำนวณจะคำนวณจากจำนวนในการผลิต (Batch) ต่อครั้งการผลิต (Campaign) โดยเทียบกับปริมาณสีที่ควรจะได้ตามทฤษฎี (กิโลกรัม) และคูณกับผลผลิตคาดหวังที่ 95% ดังที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งจะใช้คิดเป็นค่าตั้งต้น Baseline ในการเทียบกับค่าการผลิตจริง (กิโลกรัม) ที่ได้ในแต่ละครั้งการผลิต

Baseline ในการเทียบ (กิโลกรัม) = ปริมาณสีกิโลกรัมที่ควรได้ตามทฤษฎีต่อ Batch x จำนวน Batch การผลิต x 95% ผลผลิต

ค่าใช้จ่ายกำไร-ขาดทุน (บาท) = ค่าการผลิตจริงที่ได้ในแต่ละครั้งการผลิต (กิโลกรัม) - Baseline ในการเทียบ (กิโลกรัม)

ในการคำนวณหากค่าออกมาเป็น บวก (+) เมื่อเทียบกับค่า Baseline ที่ค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% นั้นจะถือว่าในการผลิตสีย้อมรีแอกทีฟจากกระบวนการสังเคราะห์เกิดกำไรหรือความคุ้มค่าในการผลิต (Saving) แต่ในทางตรงกันข้ามหากค่าออกมาเป็นลบ (-) เมื่อเทียบกับค่า Baseline จะถือว่าในการผลิตสีย้อมรีแอกทีฟจากกระบวนการสังเคราะห์ขาดทุนหรือไม่คุ้มค่าในการผลิต (Not save) ซึ่งกราฟแสดงกำไร-ขาดทุน สำหรับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base แสดงดังรูปที่ 3.4 และรายละเอียดตัวเลขแสดงดังตารางที่ 3.3

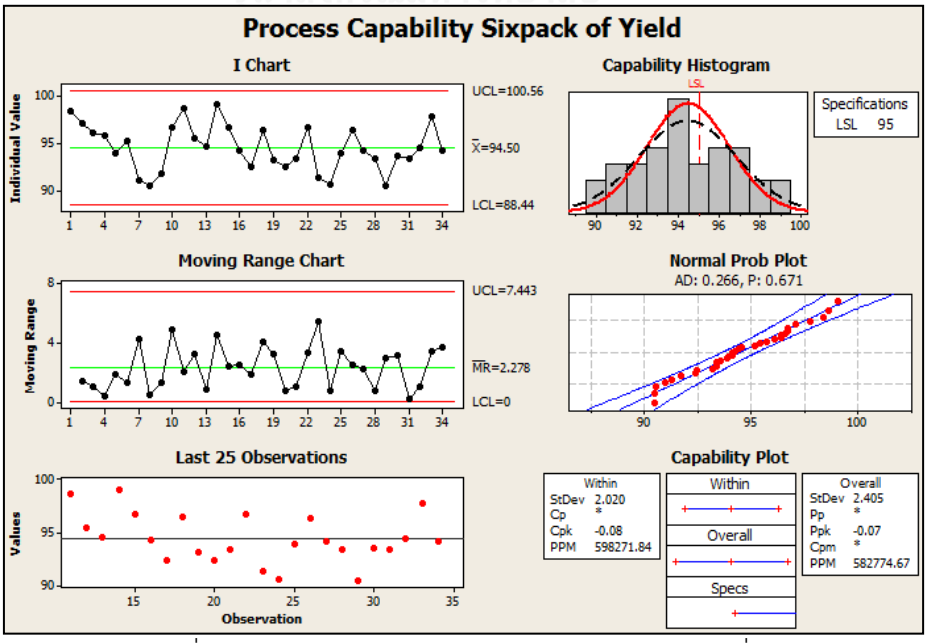


รูปที่ 3. 4 กำไร-ขาดทุนของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในแต่ละครั้งการผลิต

ตารางที่ 3. 3 รายละเอียดของกำไร-ขาดทุนจากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมในแต่ละครั้งการผลิต

ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)	ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)	ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)	ครั้งผลิต	กำไรขาดทุน (บาท)
1	(151,559)	10	176,978	19	(59,411)	28	61,272
2	(6,130,168)	11	488,352	20	(720,857)	29	(3,603,946)
3	(1,405,709)	12	15,003	21	(320,472)	30	(77,254)
4	(819,885)	13	(966,877)	22	989,248	31	(2,697,321)
5	(352,281)	14	1,372,990	23	760,078	32	(788,152)
6	(945,877)	15	58,105	24	(270,651)	33	1,564,705
7	(1,444,440)	16	(276,861)	25	739,923	34	(1,064,016)
8	(727,119)	17	(1,812,313)	26	(270,785)		
9	302,384	18	(208,170)	27	(879,029)		

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าโดยส่วนมากในการผลิตให้ค่าออกมาเป็นลบ ซึ่งหมายถึงในการผลิตสีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base จากกระบวนการสังเคราะห์ขาดทุนหรือเกิดความไม่คุ้มค่าในการผลิต ด้วยสาเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงเลือกที่จะศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base สำหรับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปัญหานั้นพบว่า ผลผลิตที่ได้มีความผันแปรสูง รวมถึงได้ค่าน้อยกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ซึ่งเมื่อนำผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ในแต่ละครั้งการผลิตมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3. 5 ความสามารถของกระบวนการด้านผลผลิตที่ได้

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base นั้นมีการแจกแจงแบบปกติ และค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 94.5% ซึ่งน้อยกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจากข้อมูลผลผลิตที่นำมาศึกษาและวิเคราะห์สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความสามารถของกระบวนการได้ โดยมีค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cpk) เท่ากับ -0.08 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก ดังนั้นปัญหาด้านคุณภาพสำหรับผลผลิตที่ได้สำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base จึงนำมาพิจารณาปรับปรุงในงานวิจัยนี้

3.4 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด

ปัญหาที่จะดำเนินการแก้ไข คือ ปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ (Yield) ในเชิงของความผันแปรที่ลดลงจากปัจจุบัน ซึ่งปัจจุบันให้ค่าอยู่ระหว่าง 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) และการเพิ่มผลผลิตให้มากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% โดยผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีการคำนวณมาจาก

เปอร์เซ็นต์ผลผลิต = (ผลผลิตที่ได้จริง / ผลผลิตที่ได้ตามทฤษฎี) x 100

จากเป้าหมาย คือ การปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์นี้จะส่งผลต่อผลผลิตที่ได้มีความผันแปรที่ลดลง ซึ่งในทางเดียวกันเมื่อความผันแปรลดลง ค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้ควรมีค่าที่มากขึ้นจากเดิม โดยในส่วนนี้จะส่งผลทำให้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลผลิตที่ได้มีค่าที่มากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% เช่นเดียวกัน

3.5 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในขั้นตอนการจัดตั้งคณะทำงานสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้คัดเลือกคณะทำงานจากหลากหลายหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ โดยพิจารณาจากตำแหน่งหน้าที่ , ความรู้ความชำนาญในกระบวนการวิเคราะห์ผลและกระบวนการผลิต เพื่อเป็นส่วนช่วยสำคัญในการระดมความคิดในการแก้ปัญหาด้วยเครื่องมือต่างๆ เพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 3.4 ซึ่งผู้วิจัยทำงานอยู่ในตำแหน่งนักพัฒนากระบวนการผลิต หน่วยงานฝ่ายพัฒนากระบวนการผลิต

ตารางที่ 3. 4 คณะทำงานสำหรับงานวิจัยในหน่วยงานต่างๆ

ตำแหน่ง	การศึกษา	หน่วยงาน
ผู้จัดการฝ่ายผลิต	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ปริญญาโท บริหารธุรกิจ	ฝ่ายผลิต
นักเคมีฝ่ายผลิต	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหการ	ฝ่ายผลิต
วิศวกรเคมีฝ่ายผลิต	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี อุตสาหกรรม	ฝ่ายผลิต
พนักงานฝ่ายผลิต	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี	ฝ่ายผลิต
ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ปริญญาโท บริหารธุรกิจ	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี	ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
นักพัฒนากระบวนการผลิต	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์ สาขาเคมี ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหการ	ฝ่ายพัฒนากระบวนการผลิต

3.6 สรุประยะนิยามปัญหา

หลังจากผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการในการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base รวมถึงศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันสำหรับโรงงานกรณีศึกษา ได้กำหนดปัญหาและขอบเขตของงานวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพคือ จากการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจุบันพบว่า กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ให้ค่าผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยมีค่าระหว่าง 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 94.5% ซึ่งต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% โดยปัจจัยหลักที่ได้วิเคราะห์ร่วมกับคณะทำงานและพบว่าส่งผลต่อผลผลิต คือ สภาวะในการทำปฏิกิริยาทางเคมีในแต่ละขั้นตอนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง , ระยะเวลาการเติมสารเคมี ดังนั้นจุดประสงค์หลักสำหรับงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม เพื่อปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ (Yield) ในเชิงของความผันแปรที่ลดลงจากปัจจุบัน ซึ่งปัจจุบันให้ค่าอยู่ระหว่าง 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) และการเพิ่มผลผลิตให้มากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95%

บทที่ 4

ระยะการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

4.1 บทนำ

จากการนิยามปัญหาตามหลักการของซิกซ์ ซิกมาแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือระยะการตรวจวัดปัญหา ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยใช้หลักการวิเคราะห์และเครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุต่างๆที่สามารถส่งผลถึงปัญหาที่สามารถเป็นไปได้ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยวิเคราะห์ความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Supplier A และ B) รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย (Lot by Lot) เพื่อให้แน่ใจถึงคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาทำการทดลองว่ามีคุณภาพที่ดี และไม่มีความแตกต่างหรือความผันแปรสำหรับการเลือกใช้แหล่งที่มาของวัตถุดิบที่และล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ได้แก่เครื่องวิเคราะห์ทางเคมี HPLC เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณภาพนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำ หลังจากการวิเคราะห์การตรวจวัดคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ และระบบการตรวจวัดทางเคมีเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและรวบรวมข้อมูลต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งเป็นการระดมสมองจากทีมงานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่สามารถเป็นไปได้และส่งผลถึงปัญหาที่ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความผันแปรสูงและได้ต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวังตามที่ได้นิยามปัญหาไป โดยจุดประสงค์ในการระดมสมองจากทีมงานเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าที่มีความเหมาะสม ถูกต้อง และเกี่ยวข้องที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีประเภท REACTIVE-A Blue Base ไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ คือ การวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) จากนั้นวิเคราะห์เพื่อให้คะแนนเรียงลำลับความสำคัญของสาเหตุและผลที่ได้มีการระดมสมองไว้ (Cause and effect matrix) และทำการคัดกรองปัจจัยนำเข้าด้วย FMEA เพื่อให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสมและมีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมสีประเภท REACTIVE-A Blue Base

4.2 การวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base

ในกระบวนการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ทางเคมีนั้น การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบก่อนนำมาเข้ากระบวนการทางเคมีนั้นถือมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ออกมา ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Supplier A และ B) รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย (Lot by Lot) เพื่อให้แน่ใจถึงคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาทำการทดลองว่ามีคุณภาพที่ดี และไม่มีความแตกต่างหรือความผันแปรสำหรับการเลือกใช้แหล่งที่มาของวัตถุดิบที่และล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน โดยในการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบนั้นผู้วิจัยนำค่าการวิเคราะห์ทางเคมีจากเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC มาเป็นตัวหลักในการวิเคราะห์ คือ ค่าองค์ประกอบทางเคมี (Main component) และเลือกจำนวนล็อตเพื่อนำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 30 ล็อตจากแหล่งที่มา A และ B ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับ (Specification) สำหรับคุณภาพของวัตถุดิบ คือ Main component จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ต้องให้ค่ามากกว่า 96%

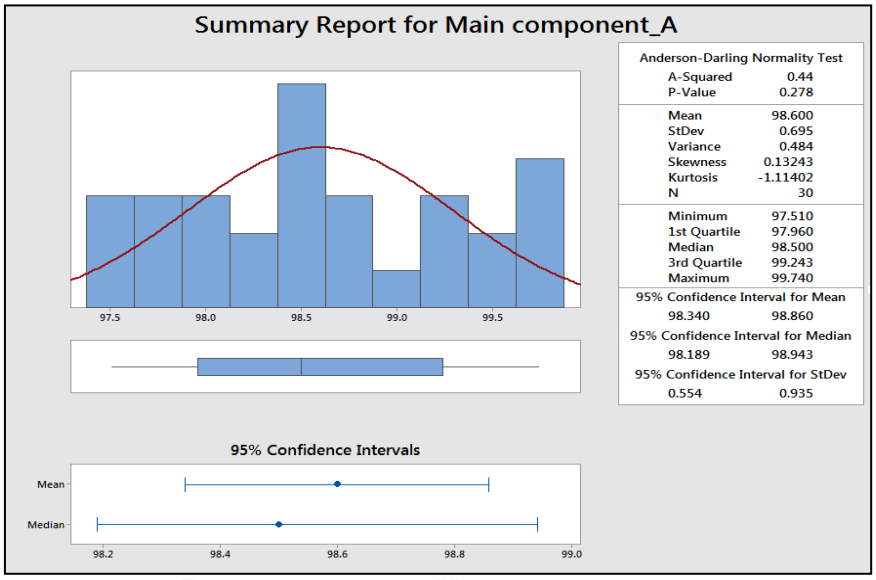
4.2.1 <u>การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A (Lot by Lot)</u>

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ Main component ของวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A จำนวน 30 ล็อต

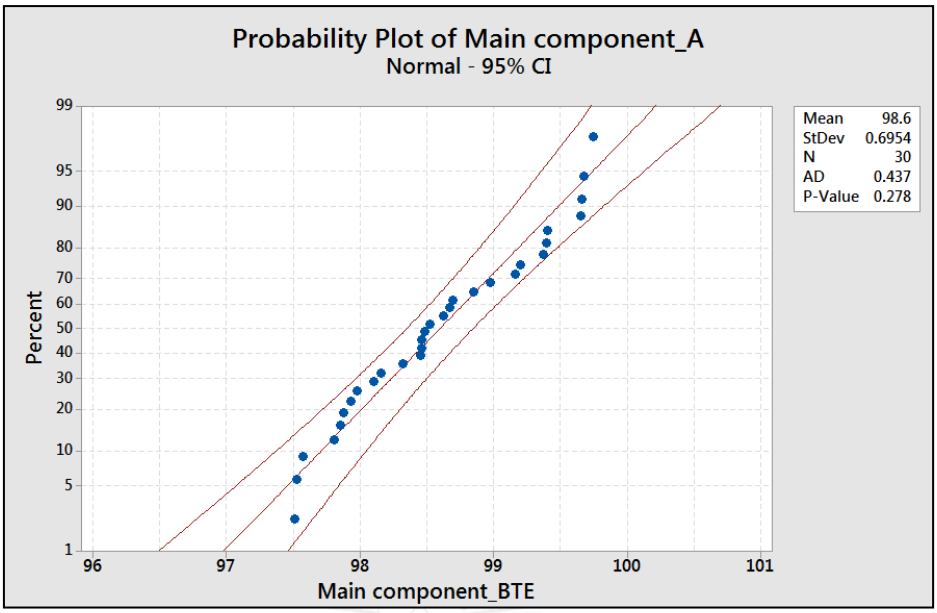
Lot no.	Main component_A	Lot no.	Main component_A	Lot no.	Main component_A
1	99.66	11	98.48	21	98.46
2	99.16	12	98.32	22	97.93
3	98.97	13	97.51	23	97.97
4	99.20	14	98.62	24	97.57
5	99.39	15	98.45	25	98.46
6	98.69	16	97.52	26	97.87
7	98.15	17	99.67	27	97.80
8	98.10	18	97.85	28	98.85
9	99.37	19	99.74	29	99.65
10	99.40	20	98.67	30	98.52

จากตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา A จำนวน 30 ล็อตจะเห็นว่า Main component มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดที่ 96% สำหรับทุกล็อตซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A มีคุณภาพที่ดีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จากนั้นผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของล็อตการผลิตมีมากน้อยเพียงใด เนื่องจากต้องการความมั่นใจในแง่ของความผันแปรของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์จะไม่ส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ เนื่องจากงานวิจัยต้องการลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4. 1 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบ Main component จากแหล่งที่มา A

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้อยู่ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.278 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มา A ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC โดยให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.6% และความผันแปร (S.D) เท่ากับ 0.695 ซึ่งได้มีการยืนยันว่าผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา A นั้นมีการแจกแจงภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยการวิเคราะห์ด้วย Probability plot ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 2 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot

รูปที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบกราฟ Probability plot จะเห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ภายใต้ขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal distribution

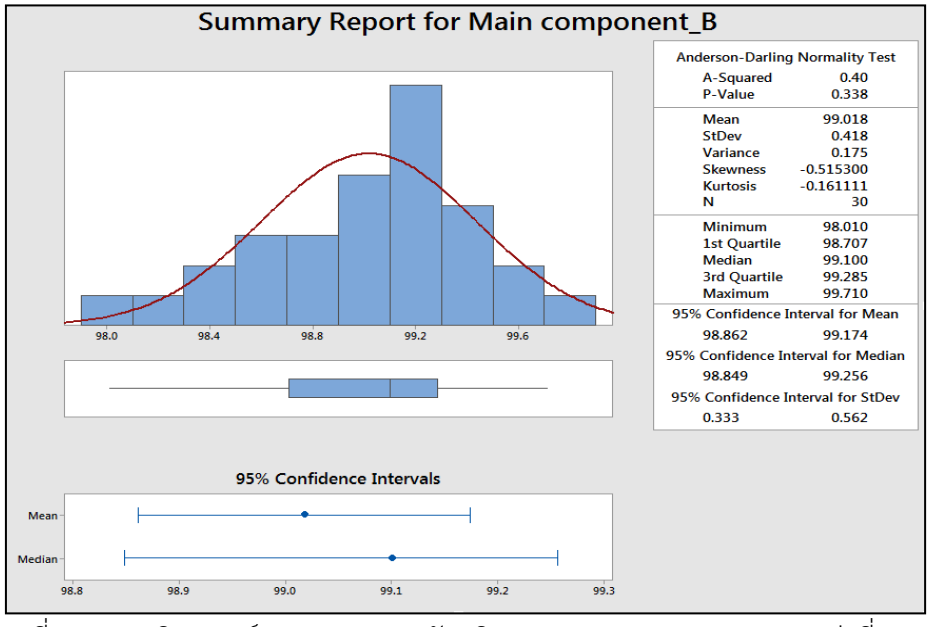
4.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B (Lot by Lot)

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ component ของวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B จำนวน 30 ล็อต

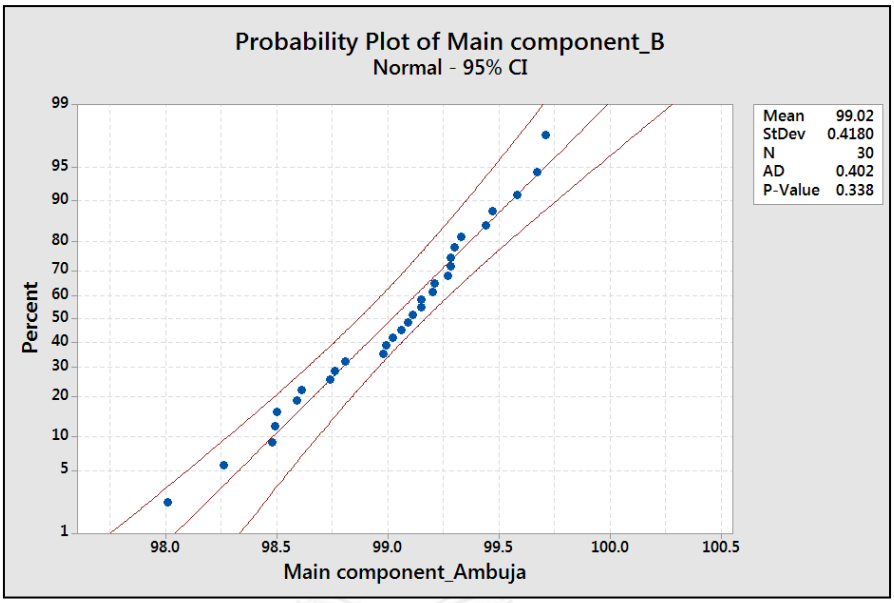
Lot no.	Main component_B	Lot no.	Main component_B	Lot no.	Main component_B
1	98.48	11	99.21	21	98.01
2	98.59	12	99.58	22	99.15
3	99.09	13	99.67	23	99.15
4	98.26	14	98.61	24	98.49
5	99.02	15	98.74	25	99.06
6	99.27	16	99.47	26	99.44
7	99.28	17	98.50	27	99.30
8	98.99	18	98.81	28	99.11
9	98.98	19	98.76	29	99.33
10	99.20	20	99.71	30	99.28

ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา B จำนวน 30 ล็อตจะเห็นว่า Main component มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดที่ 96% สำหรับทุกล็อตซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบจากแหล่งที่มา B มีคุณภาพที่ดีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จากนั้นผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของล็อตการผลิตมีมากน้อยเพียงใด เนื่องจากต้องการความมั่นใจในแง่ของความผันแปรของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์จะไม่ส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ เนื่องจากงานวิจัยต้องการลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4. 3 การวิเคราะห์ผลคุณภาพของวัตถุดิบ Main component จากแหล่งที่มา B

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้อยู่ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.338 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มา B ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC โดยให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 99.0% และความผันแปร (S.D) เท่ากับ 0.418 ซึ่งได้มีการยืนยันว่าผลการวิเคราะห์วัตถุดิบจากแหล่งที่มา B นั้นมีการแจกแจงภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal distribution) โดยการวิเคราะห์ด้วย Probability plot ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4. 4 กราฟวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล Probability plot

รูปที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลในรูปแบบกราฟ Probability plot จะเห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ภายใต้ขอบเขตช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Normal distribution

จากการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันและจากล็อตการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้ผู้วิจัยมั่นใจได้ว่า การเลือกใช้วัตถุดิบจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นแหล่งที่มา A หรือ B ให้คุณภาพของวัตถุดิบที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ได้ตั้งไว้ รวมไปถึงการเลือกใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มาเดียวกันนั้น ให้คุณภาพที่ไม่แตกต่างกัน และให้ความผันแปรน้อยโดยมีความผันแปรเท่ากับ 0.484 สำหรับวัตถุดิบ Lot by Lot จากแหล่งที่มา A และเท่ากับ 0.175 สำหรับวัตถุดิบ Lot by Lot จากแหล่งที่มา B

4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัดนั้นเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในกระบวนการทางเคมี ไม่น้อยไปกว่าการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ เนื่องจากการผลิตหรือการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องอาศัยความมั่นใจและความถูกต้องของระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมไปถึงระบบเครื่องมือวัดที่ใช้ต้องมีเสถียรภาพที่ดี ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบเครื่องมือวัดสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบเครื่องมือวัดในการวิเคราะห์ทางเคมีสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

หรือไม่ โดยการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบเครื่องมือวัดในงานวิจัยนี้ คือ วิเคราะห์เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC ที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในระหว่างขั้นตอนกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟและวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ออกมา ในรูปขององค์ประกอบทางเคมี Main component โดยที่ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่อง HPLC นั้นต้องให้ค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์คุณภาพของกระบวนการสังเคราะห์และคุณภาพของวัตถุดิบว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งนอกเหนือจากระบบการวัดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แล้วนั้น ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมมีระบบการวัดเพื่อควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ด้วยเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ระบบการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) , ระบบการวัดอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส และระบบการควบคุมความเป็นกรด-ด่างระหว่างการควบคุมปฏิกิริยาโดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งระบบการวัดค่าดังที่กล่าวมานั้นทางโรงงานกรณีศึกษาและผู้วิจัยมีการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำของระบบการวัดทุกวันก่อนทำการเริ่มกระบวนการสังเคราะห์ โดยเครื่องมือการสอบเทียบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานการรับรองและระบบ ISO 9001 ดังนั้นระบบการวัดนั้นสามารถให้ค่าการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC โดยห้องปฏิบัติการนั้น หลักการทำการวิเคราะห์มีวิธีการทำงานและปฏิบัติการอย่างเป็นขั้นตอนตามรูปแบบขั้นตอนการทำงาน (Work instruction) ในขั้นตอนของการเตรียมสารเคมี , การใช้เครื่องมืออย่างถูกวิธี เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดตามหลักของ Gage R&R นั้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจในผลที่ได้จากระบบการวัด จึงต้องมีการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของเครื่องมือซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับความผันแปรที่เกิดขึ้นจากระบบการวัดได้ 2 ด้านดังนี้

1. Reproducibility แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกันแต่มีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การวัดชิ้นงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือวัดประเภทเดียวกัน แต่เปลี่ยนพนักงานวัดคนละคนกัน ซึ่งคุณสมบัตินี้จะแสดงให้เห็นถึงความผันแปรความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดโดยมีเงื่อนไขในการทำงานที่แตกต่างกัน

2. Repeatability แสดงถึงค่าที่ได้จากการวัดงานเดียวกันโดยใช้เครื่องมือประเภทเดียวกันซ้ำกันหลายครั้ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้เห็นถึงความผันแปรที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวัด โดยระบบการวัดที่ดีต้องสามารถให้ค่าการวัดที่มีความใกล้เคียงกันในการทำซ้ำ

4.3.1 วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดเครื่องมือทางเคมี HPLC

เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีสำหรับขั้นตอนและกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ โดยค่าที่ได้จากการวัดต้องมีค่าที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งในการทดสอบระบบการวัดของงานวิจัยนี้ กำหนดจำนวนผู้ทำการทดสอบจำนวน 3 คน และเครื่องมือที่ใช้เป็นอุปกรณ์การวัดคือ เครื่องวิเคราะห์ทางเคมี HPLC จำนวน 1 เครื่อง ดังนั้นจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำนวน 10 ตัวอย่าง รวมไปถึงกำหนดการวัดซ้ำจำนวน 2 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง โดยจำนวนของตัวอย่างและจำนวนการวัดซ้ำเป็นไปตามทฤษฎีการเก็บขนาดตัวอย่างเพื่อการประเมินระบบการวัดที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4. 3 ขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และประเมินระบบการวัดที่เหมาะสม

จำนวนผู้ทดสอบ	**จำนวนอุปกรณ์วัด**	**จำนวนชิ้นงานอย่างน้อย**	**จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน**
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

รูปแบบและขอบเขตของการวางแผนเพื่อวิเคราะห์ระบบการวัดเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี HPLC มีดังนี้

1. เลือกผู้ทดสอบจำนวน 3 คนที่มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือ HPLC และคุ้นเคยกับขั้นตอนการทำการวิเคราะห์ตัวอย่างของวัตถุดิบที่ใช้สังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ

2. เตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จำนวน 10 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวอย่างของวัตถุดิบที่มีความแตกต่างกันในเชิงคุณภาพทั้ง 10 ตัวอย่าง

3. กำหนดขั้นตอนการทำงานให้พนักงานทำการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมี Main component ของวัตถุดิบ โดยในแต่ละคนทำการวัดทั้งหมด 10 ตัวอย่าง และทำการวัดซ้ำตัวอย่างละ 2 ครั้ง

4. ในการวัดตัวอย่างมีการออกแบบรูปแบบขั้นตอนลำดับในการวัดของตัวอย่าง โดยใช้ Minitab เพื่อให้เกิดการวัดตัวอย่างแบบสุ่ม (Randomization) ซึ่งจุดประสงค์ คือ เพื่อป้องกันและหลีกเลี่ยงความเอนเอียง (Bias) ขณะทำการวัดค่า

5. ทำการบันทึกผลการวัดผ่านคนกลางเมื่อผู้ทดสอบวัดค่าเสร็จเรียบร้อยในแต่ละตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ เพื่อลดความเอนเอียงระหว่างผู้วัดแต่ละคนได้

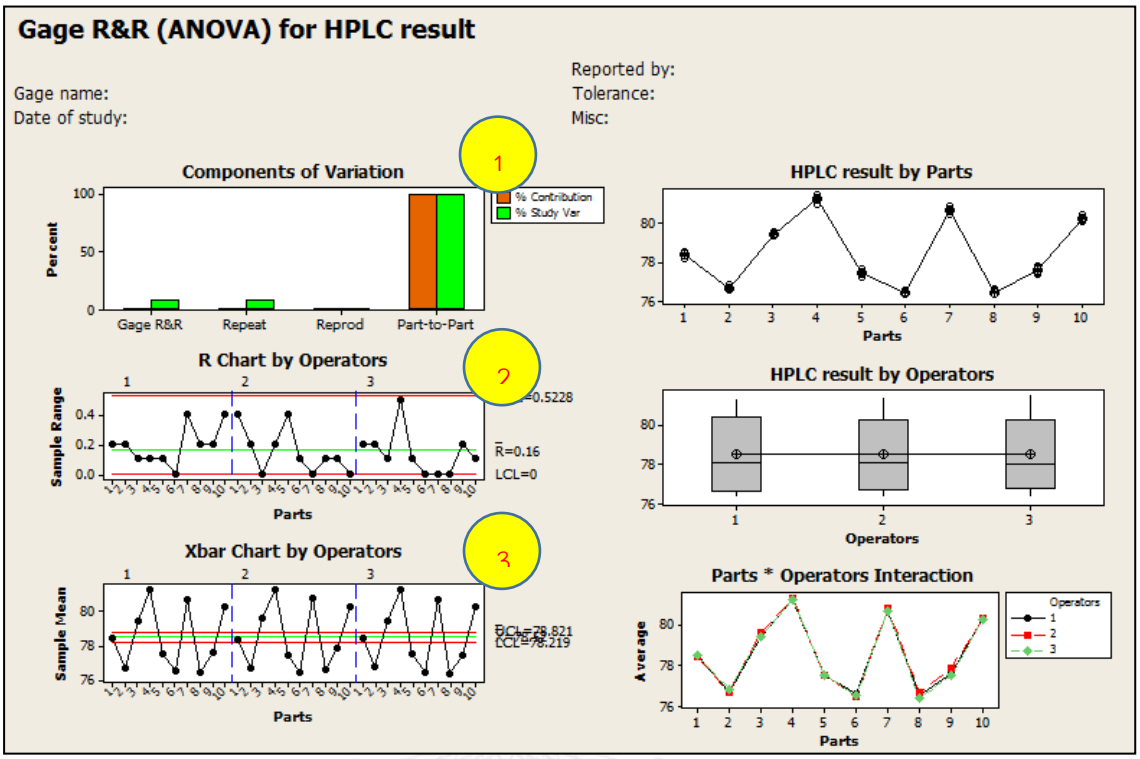
6. นำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัด โดยใช้โปรแกรม Minitab

หลังจากการทดสอบตามวิธีการการดำเนินการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ด้วยเครื่องมือวัดทางเคมี HPLC ตามที่กล่าวมาข้าต้น ทำให้ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 ผลการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในส่วนของ Main component (หน่วย %Area)

ตัวอย่าง	ผู้ทดสอบคนที่ 1		ผู้ทดสอบคนที่ 2		ผู้ทดสอบคนที่ 3	
	วัดค่า ครั้งที่ 1	วัดค่า ครั้งที่ 2	วัดค่า ครั้งที่ 1	วัดค่า ครั้งที่ 2	วัดค่า ครั้งที่ 1	วัดค่า ครั้งที่ 2
1	78.4	78.6	78.6	78.2	78.4	78.6
2	76.8	76.6	76.6	76.8	76.7	76.9
3	79.4	79.5	79.6	79.6	79.5	79.4
4	81.2	81.3	81.2	81.4	81.5	81.0
5	77.5	77.6	77.3	77.7	77.6	77.5
6	76.6	76.6	76.5	76.4	76.5	76.5
7	80.9	80.5	80.8	80.8	80.7	80.7
8	76.4	76.6	76.7	76.6	76.4	76.4
9	77.7	77.5	77.8	77.9	77.6	77.4
10	80.1	80.5	80.3	80.3	80.2	80.3

จากตารางที่ 4.6 ผลการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แสดงผลการทดสอบระบบการวัดองค์ประกอบทางเคมีจากเครื่อง HPLC ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4. 5 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	176.789	19.6433	1393.87	0.000
Operators	2	0.043	0.0215	1.53	0.244
Parts * Operators	18	0.254	0.0141	0.63	0.846
Repeatability	30	0.670	0.0223		
Total	59	177.756			

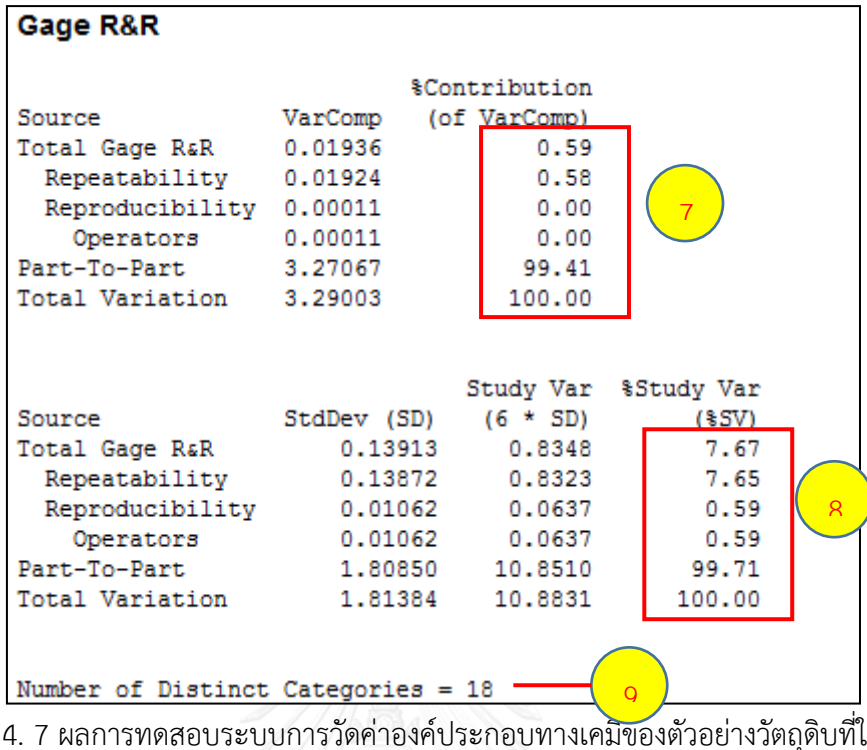
4 5 6

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	176.789	19.6433	1020.80	0.000
Operators	2	0.043	0.0215	1.12	0.336
Repeatability	48	0.924	0.0192		
Total	59	177.756			

รูปที่ 4. 6 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ (2)



Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.01936	0.59
Repeatability	0.01924	0.58
Reproducibility	0.00011	0.00
Operators	0.00011	0.00
Part-To-Part	3.27067	99.41
Total Variation	3.29003	100.00

7

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.13913	0.8348	7.67
Repeatability	0.13872	0.8323	7.65
Reproducibility	0.01062	0.0637	0.59
Operators	0.01062	0.0637	0.59
Part-To-Part	1.80850	10.8510	99.71
Total Variation	1.81384	10.8831	100.00

8

Number of Distinct Categories = 18

9

รูปที่ 4. 7 ผลการทดสอบระบบการวัดค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ (3)

จากผลการทดสอบระบบการวัดสามารถวิเคราะห์และสรุปผลระบบการวัดตามหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. จากกราฟที่ 1 Component of Variation ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่มาจากความแตกต่างกันของลักษณะตัวอย่าง (Part to Part) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 99.41% โดยเมื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนทั้งหมดของระบบการวัดแบบ Gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.59% จึงสามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนส่วนใหญ่ของระบบที่ทำการทดสอบได้นั้นมาจากความแตกต่างกันของลักษณะตัวอย่างที่ทำการวัด

2. จากแผนภูมิที่ 2 แผนภูมิควบคุมพิสัย (R Chart by Operators) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าของตัวอย่างที่นำมาทดสอบสำหรับการทดสอบด้วยพนักงานทั้ง 3 คนนั้นมีค่าพิสัยอยู่ในขอบเขตการควบคุม ซึ่งหมายความว่า ค่าที่ได้จากการวัดซ้ำของแต่ละคนให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

3. จากแผนภูมิที่ 3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (Xbar Chart by Operators) ดังแสดงในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าการวัดค่าของตัวอย่างที่นำมาทดสอบสำหรับการทดสอบด้วยพนักงานทั้ง 3 คนนั้นมีค่าเฉลี่ยเกือบทุดค่าที่ออกนอกช่วงการควบคุมทั้งขอบเขตบน (UCL) และขอบเขต

ล่าง (LCL) ซึ่งหมายความว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดนี้มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความแปรปรวนที่มาจากความแตกต่างกันของลักษณะตัวอย่างที่นำมาทดสอบ

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบระบบการวัดด้วยเครื่องมือ HPLC แสดงดังผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Analysis) ที่ได้ดังรูปที่ 4.7 เพื่อพิจารณาและวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ซึ่งสะท้อนถึงสาเหตุของความแปรปรวนมีปัจจัยของ ลักษณะที่แตกต่างกันของตัวอย่าง , พนักงานที่ทำการทดสอบ หรืออิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของตัวอย่างและพนักงานที่ทำการทดสอบส่งผลต่อค่าการวิเคราะห์ทางเคมี Main molecule/component ที่ได้จากระบบการวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยมีการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยต่างๆ ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

4. การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของลักษณะตัวอย่าง (Parts)

H_0 : ความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างไม่มีผลต่อความแปรปรวน

H_1 : ความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างมีผลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value ความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างมีค่าน้อยกว่าค่า α ที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่าความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างมีผลต่อความแปรปรวนของระบบการวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง HPLC ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5. การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบ (Operators)

H_0 : ความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวน

H_1 : ความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบมีผลต่อความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.7 แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.244 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value ความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบมีค่ามากกว่าค่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) หมายความว่าความแตกต่างของพนักงานที่ทำการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวนของระบบการวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง HPLC ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6. การทดสอบสมมติฐานของอิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบ (Parts * Operators)

   H_0 : อิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวน

   H_1 : อิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบมีผลต่อความแปรปรวน

   จากรูปที่ 4.7 แสดงค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.846 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่า P-Value ของอิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบมีค่ามากกว่าค่า α ที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) อิทธิพลร่วมระหว่างความแตกต่างของลักษณะตัวอย่างกับพนักงานที่ทำการทดสอบไม่มีผลต่อความแปรปรวนของระบบการวัดองค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่อง HPLC ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

7. สัดส่วนองค์ประกอบของความแปรปรวน ดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นสัดส่วนขององค์ประกอบทั้งหมดที่มาจากปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัด เมื่อเปรียบเทียบในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ร้อยละ พบว่าสัดส่วนของค่าความแปรปรวนส่วนใหญ่มาจากปัจจัยความแตกต่างของลักษณะตัวอย่าง (Part to Part) ถึง 99.41% และความแปรปรวนที่มาจากระบบเครื่องมือการวัด (Repeatability) มีค่าเท่ากับ 0.59%

8. ความแปรปรวนจากระบบการวัดเทียบกับความแปรปรวนที่มาจากความแตกต่างของลักษณะตัวอย่าง (%SV หรือ P/TV) ดังรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมดให้ค่า %SV หรือ P/TV เท่ากับ 7.67% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% โดยมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ เมื่ออ้างอิงจากตารางที่ 4.5 เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการยอมรับระบบการวัด (Automotive Industry Action Group : AIAG, 2002)

ตารางที่ 4. 5 เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการยอมรับระบบการวัด

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

9. ระบบการวัดที่มีความสามารถในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้นั้น การแสดงผลของ Number of Distinct Categories (ndc) ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 4 กลุ่มที่แตกต่างกัน โดยที่ ndc หมายถึง ตัวเลขที่แสดงประเภทของข้อมูลที่ได้จากการวัดที่มากจากลักษณะความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าการทดสอบระบบการวัดให้ค่า ndc เท่ากับ 18 แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาสามารถแยกข้อมูลออกได้เป็น 18 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน และข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดสามารถใช้ประมาณค่าความแปรปรวนของกระบวนการวัดได้ด้วยเช่นกัน

สรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงสถิติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบตามกระบวนการของ Gage R&R แสดงให้เห็นว่าผลการประเมินระบบการวัดนี้ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม

หลังจากกระบวนการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลแล้วนั้น ขั้นตอนถัดไปคือขั้นตอนการระดมสมองจากทีมงานเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีความเหมาะสม เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มีความผันแปรสูงและให้ค่าต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง โดยสำหรับการดำเนินงานในขั้นตอนนี้จะอาศัยการประชุมเพื่อระดมความคิดจากทีมงานที่ได้คัดเลือกไว้ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิต , นักเคมีฝ่ายผลิต , วิศวกรฝ่ายผลิต , พนักงานฝ่ายผลิต , ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ , นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ , พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ และผู้ดำเนินงานวิจัยที่อยู่ในส่วนของนักพัฒนากระบวนการผลิต โดยขั้นตอนในการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมนั้นมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่จะส่งผลถึงปัญหาในงานวิจัย โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งการใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผลจะช่วยให้รวบรวมสาเหตุและแยกแยะหมวดหมู่ของปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- หลังจากกระบวนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้จากแผนผังแสดงสาเหตุและผลเรียบร้อยแล้ว ทางทีมงานจะนำปัจจัยที่ได้มาคัดกรองปัจจัยด้วยตารางแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) โดยมีการให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ซึ่งเป็นการให้คะแนนจากทีมงาน และนำคะแนนมาเรียงลำดับในขั้นตอนต่อไป

- จากนั้นนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองด้วยตารางแสดงสาเหตุและผล และการให้คะแนนจากทีมงานมาวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) โดยการระดมสมองจากทีมงาน

4.4.1 การหาสาเหตุและปัจจัยโดยใช้ผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ในขั้นตอนการหาสาเหตุและปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมนั้น จะมีการพิจารณาแยกสาเหตุที่เป็นไปได้ออกตามหมวดหมู่ โดยแบ่งออกเป็น 6 หมวดหมู่ดังนี้

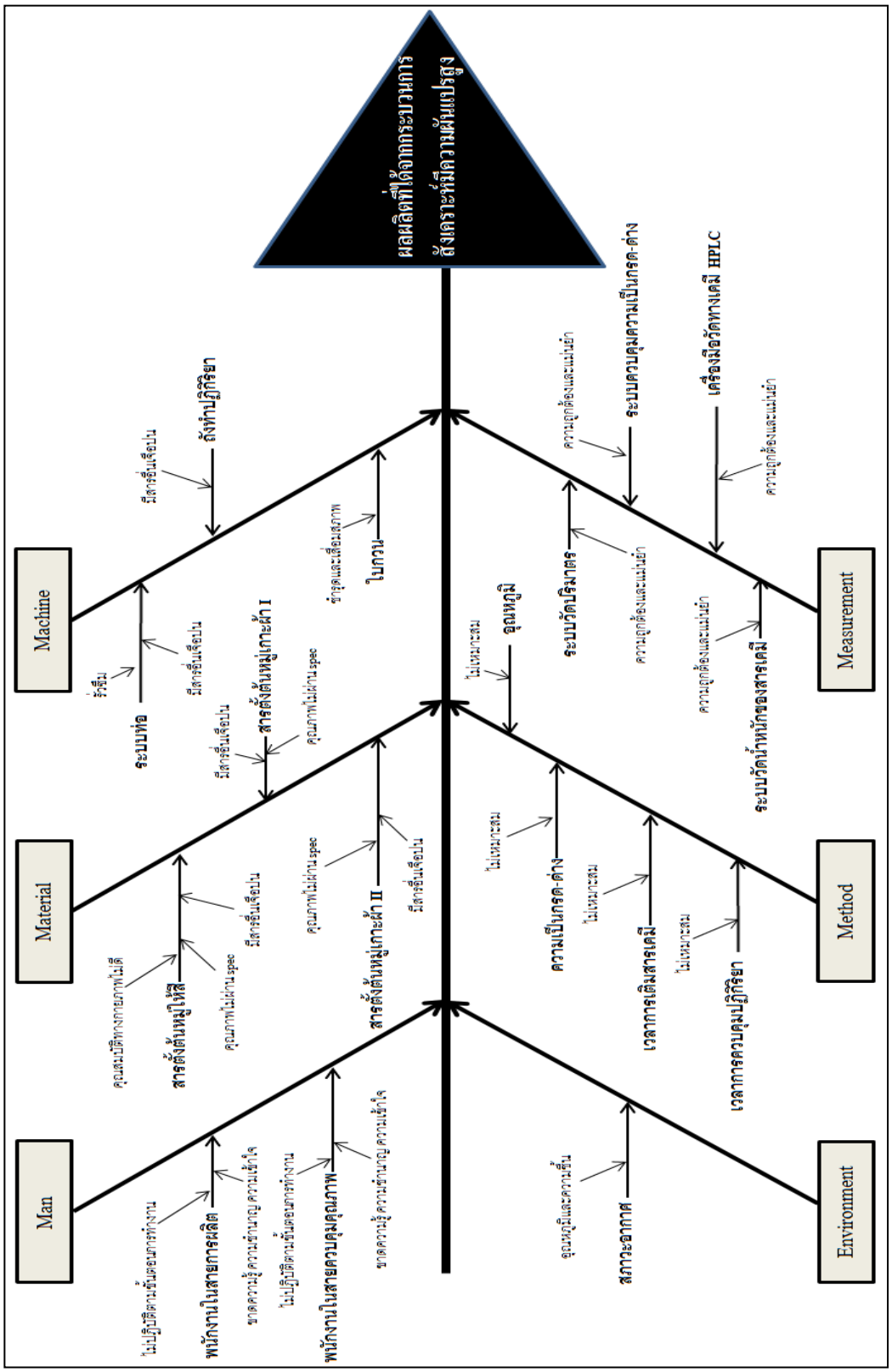
- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุที่เกิดจากวิธีการวัด (Measurement)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- สาเหตุที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม (Environment)

จากทั้ง 6 หมวดหมู่ทีมงานได้ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base ดังแสดงในรูปที่ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 8 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของปัญหาที่สามารถส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base

4.4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากขั้นตอนการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยใช้ผังแสดงสาเหตุและผลได้สาเหตุและปัจจัยทั้งหมด 24 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลต่อ โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) มาวิเคราะห์และให้คะนนสำหรับสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบมาก โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษาถึงรายละเอียดของสาเหตุและปัจจัยที่หมดที่ได้จากการระดมสมองของทีมงาน

2. นำสาเหตุและปัจจัยที่ได้จากการระดมสมองของทีมงานทั้งหมด 24 ปัจจัยใส่ในตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลดังตารางที่ 4.8 จากนั้นให้ทีมงานทุกคนลงคะแนนให้กับทุกปัจจัย โดยการให้คะแนนขึ้นกับความรู้และความชำนาญของสมาชิกในแต่ละคนที่มีต่อสาเหตุและปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลถึงปัญหาที่พบ ซึ่งการลงคะแนนของทีมงานแต่ละคนเป็นอิสระต่อกัน และเกณฑ์ในการลงคะแนนจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 9 คะแนนดังนี้

   0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง

   1 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง น้อยมาก

   3 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง ปานกลาง

   9 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง มากที่สุด

3. หลังจากการลงคะแนนของทีมงานทุกคนครบแล้ว ทำการรวบรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละสาเหตุและปัจจัย เพื่อทำการพิจารณาผลแต่ละปัจจัยตามเกณฑ์ในการสรุปการให้คะแนนดังนี้

   3.1 กรณีที่คะแนนที่ได้อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ได้แก่ 0-1 , 1-3 และ 0-3 คะแนน ให้สรุปโดยพิจารณาจากคะแนนที่มีจำนวนการลงคะแนนมากกว่า เช่น ข้อที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

มีการให้คะแนน 0 จำนวน 4 คน ให้คะแนน 1 จำนวน 3 คน จะสรุปให้คะแนนข้อ 1 เท่ากับ 0 คะแนน

3.2 กรณีที่คะแนนที่ได้ไม่เป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน เช่น 0-9 , 1-9 , 3-9 คะแนน ให้สรุปพิจารณาโดยให้อภิปรายร่วมกันกับทีมงานทีละหัวข้อ และให้คะแนนสรุปร่วมกันทีละหัวข้อจนให้คะแนนครบทุกข้อ

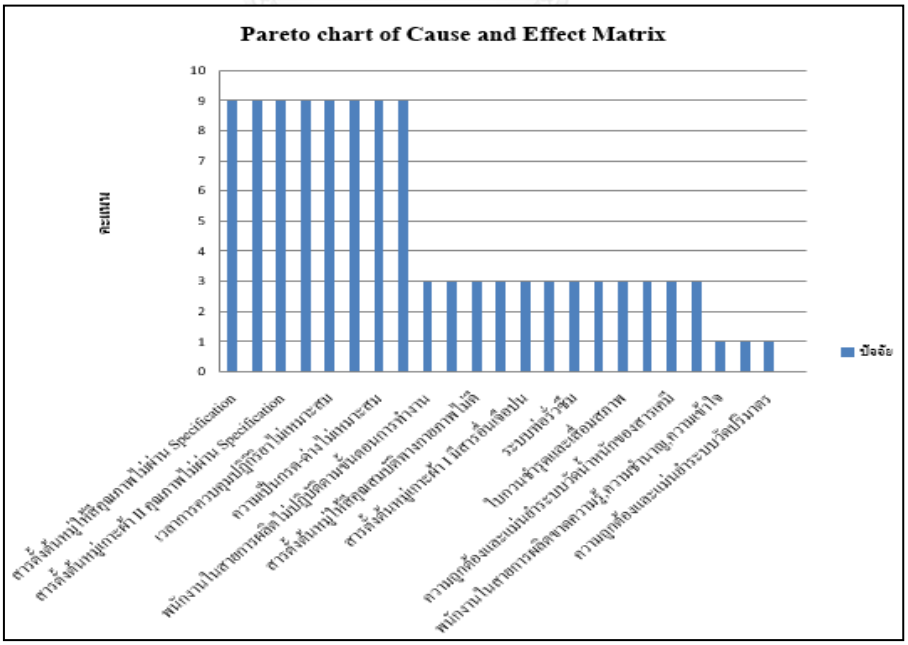
4. ทำการสรุปผลการลงคะแนนในแต่ละปัจจัยลงในตารางแสดงสาเหตุและผล ดังตารางที่ 4.6 จากนั้นนำคะแนนที่ได้มาจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยเรียงลำดับปัจจัยที่ได้คะแนนมากไปน้อยดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4. 6 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลถึงผลผลิตที่ได้

ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัย (Cause and Effect Matrix)				
No.	Area cause	Process Input		ผลสรุปการให้คะแนน (Total)
1	Man	พนักงานในสายการผลิต	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3
2			ขาดความรู้,ความชำนาญ,ความเข้าใจ	1
3		พนักงานในสายควบคุมคุณภาพ	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3
4			ขาดความรู้,ความชำนาญ,ความเข้าใจ	1
5	Material	สารตั้งต้นหมู่ให้สี	คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี	3
6			คุณภาพไม่ผ่าน Specification	9
7			มีสารอื่นเจือปน	3
8		สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	9
9			มีสารอื่นเจือปน	3
10		สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า II	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	9
11			มีสารอื่นเจือปน	3
12	Machine	ระบบท่อ	รั่วซึม	3
13			มีสารอื่นเจือปน	3
14		ใบกวน	ชำรุดและเสื่อมสภาพ	3
15		ถังทำปฏิกิริยา	มีสารอื่นเจือปน	3

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัยที่มีโอกาสส่งผลถึงผลผลิตที่ได้ (ต่อ)

ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัจจัย (Cause and Effect Matrix)				
No.	Area cause	Process Input		ผลสรุปการให้คะแนน (Total)
16	Measurement	ระบบวัดน้ำหนักของสารเคมี	ความถูกต้องและแม่นยำ	3
17		ระบบวัดปริมาตร	ความถูกต้องและแม่นยำ	1
18		ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง	ความถูกต้องและแม่นยำ	9
19		เครื่องมือวัดทางเคมี HPLC	ความถูกต้องและแม่นยำ	3
20	Method	เวลาการควบคุมปฏิกิริยา	ไม่เหมาะสม	9
21		เวลาการเติมสารเคมี	ไม่เหมาะสม	9
22		ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่เหมาะสม	9
23		อุณหภูมิ	ไม่เหมาะสม	9
24	Environment	สภาวะอากาศ	อุณหภูมิและความชื้น	0



รูปที่ 4. 9 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับคะแนนจากความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix

จากรูปที่ 4.9 แผนภูมิพาเรโตแสดงให้เห็นว่า มีทั้งหมด 8 ปัจจัยที่ทีมงานให้คะแนนความสัมพันธ์สูงที่สุดคือ 9 คะแนน ผู้วิจัยจึงได้นำทั้ง 8 ปัจจัยนี้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) ต่อในขั้นตอนถัดไป โดยปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4. 7 ผลลัพธ์อันดับทั้ง 8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

Area cause	**ปัจจัย**
Material	สารตั้งต้นหมู่ให้สี
Material	สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I
Material	สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า II
Measurement	ระแบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง
Method	เวลาการควบคุมปฏิกิริยา
Method	เวลาการเติมสารเคมี
Method	ความเป็นกรด-ด่าง
Method	อุณหภูมิ

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัยที่ส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มีความผันแปรที่สูงและให้ค่าต่ำกว่าค่าคาดหวัง โดยจากการระดมสมองและให้อันดับคะแนนของทีมงานสามารถสรุปรายละเอียดในแต่ละปัจจัยได้ดังนี้

1. สารตั้งต้นหมู่ให้สี (Color part) สารตั้งต้นหมู่ให้สีที่ใช้สำหรับโรงงานกรณีศึกษานี้เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีองค์ประกอบของโลหะอยู่ในโมเลกุลร่วมด้วย ซึ่งเป็นสารประกอบที่ให้สีน้ำเงิน โดยในส่วนของวัตถุดิบในการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบที่มีการสั่งนำเข้าจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยคุณภาพของวัตถุดิบขึ้นกับแหล่งที่มา (Supplier) แต่ละแหล่งและวัตถุดิบที่นำมาใช้ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานของโรงงานในการควบคุมคุณภาพก่อนที่จะนำมาใช้งานได้ ซึ่งคุณภาพของวัตถุดิบเป็นส่วนสำคัญโดยตรงที่ส่งผลถึงผลผลิตของสีย้อมรีแอกทีฟ

2. สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I (Reactive part I) สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I เป็นวัตถุดิบที่ทางโรงงานมีการผลิตเองผ่านกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี โดยหมู่เกาะผ้า I เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาสูง ซึ่งในกระบวนการผลิตหมู่เกาะผ้า I อาศัยหลักการกลั่นลำดับส่วนในการตรวจสอบคุณภาพของสารประกอบที่ได้ โดยอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลและจุดเดือนของสารประกอบที่ผ่านกระบวนการผลิต หากกระบวนการผลิตที่ข้อผิดพลาดในส่วนของระบบการควบคุมสภาวะในการผลิตจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของสารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I ที่ได้รวมไปถึงส่งผลถึงผลผลิตที่ได้ของสีย้อมรีแอกทีฟด้วยเช่นกัน

3. สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า II (Reactive part II) สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า II เป็นสารประกอบเคมีที่ทางโรงงานสั่งนำเข้าจากต่างประเทศเช่นเดียวกันกับสารตั้งต้นหมู่ให้สี ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีที่ว่องไงต่อการทำปฏิกิริยาและว่องไวในการนำไปย้อมผ้าฝ้ายเช่นเดียวกัน โดยในส่วนของการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบจะมีกระบวนการเช่นเดียวกันกับการควบคุมคุณภาพของสารตั้งต้นหมู่ให้สี ดังที่กล่าวไปข้างต้น

4. ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง สำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟหรือกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีนั้น ระบบการควบคุมสภาวะของปฏิกิริยาถือว่ามีความสำคัญมาก เช่นเดียวกันกับระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ของกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ซึ่งในกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ I และครั้งที่ II จะต้องทำภายใต้สภาวะของความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากระบบควบคุมกรด-ด่างมีความผิดปกติหรือวัดผลได้ไม่ตรงกับความเป็นจริง จะส่งผลโดยตรงทำให้ปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์และส่งผลโดยตรงถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟลดลงตามไปด้วย

5. เวลาในการควบคุมปฏิกิริยา ในส่วนของสภาวะที่ต้องควบคุมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟนั้นมีความสำคัญดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ซึ่งเวลาในการควบคุมปฏิกิริยามีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาในแต่ละขั้นตอนการสังเคราะห์ (Rate of Reaction) ซึ่งหากเวลาในการควบคุมปฏิกิริยาไม่เหมาะสม จะส่งผลต่อการ

เกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์หากเวลาในการควบคุมเร็วเกินไป ในทางตรงกันข้ามหากเวลาในการควบคุมปฏิกิริยาช้าหรือนานเกินไปจะส่งผลทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีสมบูรณ์แต่ทำให้โมเลกุลของสีรีแอกทีฟมีการเปลี่ยนแปลงหรือเสื่อมสลายไปตามเวลาได้ในกรณีที่ไม่มีเสถียรภาพของโมเลกุล โดยดังที่กล่าวไปสามารถส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีโดยตรง

6. เวลาการเติมสารเคมี ในการเติมสารเคมีสำหรับกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีนั้นเวลาถือว่าเป็นส่วนสำคัญกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกันดังที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งเวลาในการเติมสารเคมีที่ไม่เหมาะสมคือช้าหรือเร็วเกินไป จะส่งผลถึงคุณภาพและเสถียรภาพของโมเลกุลทางเคมี และส่งผลโดยตรงกับผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์

7. ความเป็นกรด-ด่าง สภาวะความเป็นกรด-ด่างในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีมีความสำคัญดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น และสามารถส่งผลถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์เช่นเดียวกัน ดังนั้นความเป็นกรด-ด่างที่ใช้เป็นสภาวะควบคุมควรมีความเหมาะสมในแต่ละลักษณะและรูปแบบของปฏิกิริยาทางเคมี

8. อุณหภูมิ สภาวะของอุณหภูมิที่ใช้เป็นสภาวะควบคุมของกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีนั้นเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Rate of Reaction) ซึ่งเช่นเดียวกันกับสภาวะในการควบคุมอื่นๆ ควรมีความเหมาะสม เนื่องจากเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟดังที่กล่าวไปข้างต้น

4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ผู้วิจัยมีการวิเคราะห์กับปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัย ที่ผ่านการคัดกรองผ่านกระบวนการ Cause and Effect Matrix มาวิเคราะห์เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างแท้จริง เพื่อนำปัจจัยที่ได้เข้าสู่

กระบวนการปรับปรุงแก้ไขต่อไป โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) โดยการวิเคราะห์และระดมสมองร่วมกันของทีมงานที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิต , นักเคมีฝ่ายผลิต , วิศวกรฝ่ายผลิต , พนักงานฝ่ายผลิต , ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ , นักวิเคราะห์คุณภาพวัตถุดิบ , พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ และผู้ดำเนินงานวิจัยที่อยู่ในส่วนของนักพัฒนากระบวนการผลิต

2. ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการคัดกรองผ่านกระบวนการ Cause and Effect Matrix ทั้งหมด 8 ปัจจัยมาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและบันทึกผลการวิเคราะห์ตามกระบวนการ

3. ประเมินความร้ายแรงของผลกระทบของปัจจัยต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ โดยประกอบด้วย

   - Severity (S) ความรุนแรงของผลกระทบ
   - Occurrence (O) ระดับโอกาสในการเกิดปัญหา
   - Detection (D) ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา

4. ศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการควบคุมป้องกันและแก้ไขความผันแปรและผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่าคาดหวังสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ

5. คำนวณหาค่า RPN (Risk Priority Number) ซึ่งเป็นการคำนวณโดยนำค่า S , O และ D มาคูณกันแล้วบันทึกลงในตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) โดยเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละหัวข้อเป็นดังนี้

   - Severity (S) ความรุนแรงของผลกระทบ

     1 = ไม่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (ผลผลิต)
     3 = มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (ผลผลิต) น้อยมาก
     5 = มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (ผลผลิต) ปานกลาง
     9 = มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (ผลผลิต) มากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- Occurrence (O) ระดับโอกาสในการเกิดปัญหา

  1 = ความถี่ที่ทำให้เกิดปัญหาน้อยมากหรือแทบไม่เกิด
  3 = ความถี่ที่ทำให้เกิดปัญหาน้อย
  5 = ความถี่ที่ทำให้เกิดปัญหาปานกลาง
  9 = ความถี่ที่ทำให้เกิดปัญหามากที่สุด

- Detection (D) ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา

  1 = การควบคุมนี้เกือบแน่นอนแล้วที่จะป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น
  3 = การควบคุมนี้สูงพอที่จะป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น
  5 = การควบคุมนี้พอสมควรที่จะป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น
  9 = การควบคุมนี้ยังห่างไกลมากที่จะป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์และให้คะแนนตามหลักการของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ทางทีมงานได้ระดมสมองและได้ผลการวิเคราะห์ในแต่ละปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัย แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

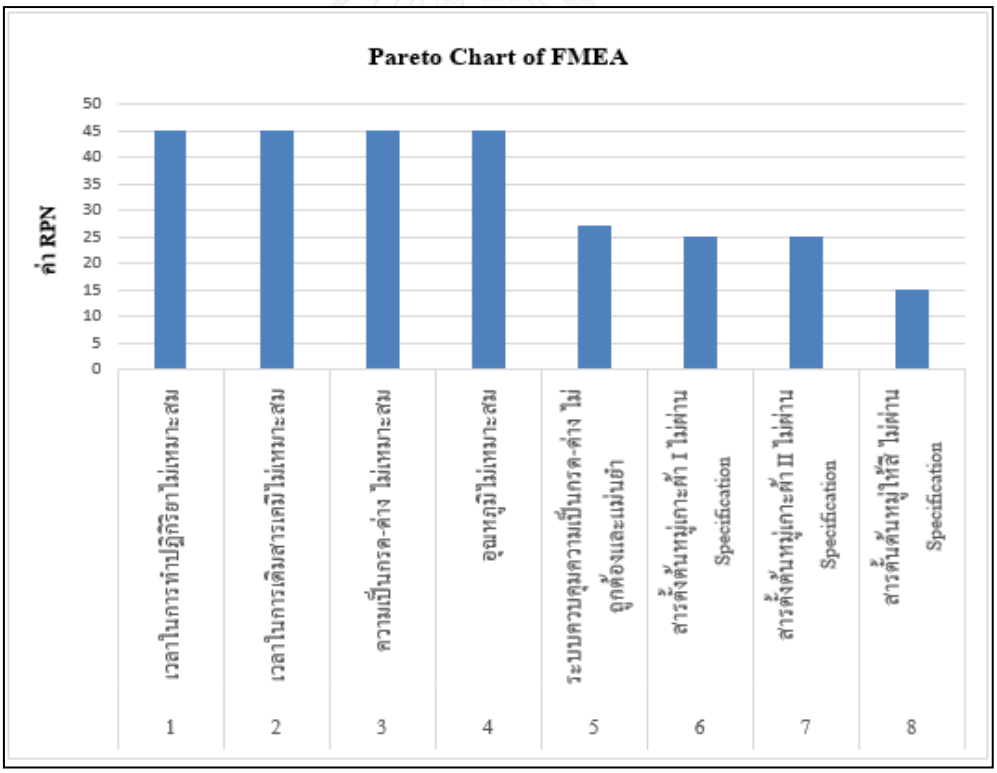
ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของข้อบกพร่อง	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN	ข้อเสนอแนะเพื่อการปฏิบัติ
1	สารสีต้นทางไม่ได้ตามข้อกำหนด Specification	ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ไม่สมบูรณ์ ส่งผลต่อองค์ประกอบของสีที่ได้ลดลง จึงทำให้ผลิตสีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความผันแปรที่ลูกค้าตรวจพบ	5	เกิดความผิดพลาดในกระบวนการสั่งสารที่ผลิตจาก Supplier	3	ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบหลักเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีและเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโรงงานและผู้ผลิต (Supplier) ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต	1	15	ให้ห้องแล็บกับ Supplier เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตวัตถุดิบ
2	สารสีต้นทางมีความชื้น ไม่ตาม Specification	ปฏิกิริยาในการเติมหมู่เกาะด้านข้างสมบูรณ์ส่งผลต่อองค์ประกอบของสีที่ได้ลดลงและความสามารถในการละลายของสีที่ได้น้อย จึงทำให้ผลิตสีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความผันแปรที่ลูกค้าตรวจพบ	5	เกิดความผิดพลาดในกระบวนการสั่งสารที่วัตถุดิบจากความผิดพลาดของขบวนการผลิตสี	1	ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบหลักการวิเคราะห์ผลการตรวจสอบโดยการเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโรงงานและผู้ผลิต	5	25	การปรับปรุงขบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานการทำงานของเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อป้องกันการผิดพลาดของขบวนการ
3	สารสีต้นทางมีความชื้น ไม่ตาม Specification	ปฏิกิริยาในการเติมหมู่เกาะด้านข้างสมบูรณ์ส่งผลต่อองค์ประกอบของสีที่ได้ลดลงและความสามารถในการละลายของสีที่ได้น้อย จึงทำให้ผลิตสีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความผันแปรที่ลูกค้าตรวจพบ	5	เกิดความผิดพลาดในกระบวนการสั่งสารที่วัตถุดิบจาก Supplier	5	ควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบหลักเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีและเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่างโรงงานและผู้ผลิต (Supplier) ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิต	1	25	ให้ห้องแล็บกับ Supplier เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตวัตถุดิบ
4	ขบวนควบคุมความชื้นกระด้าง ไม่ถูกต้องผลผลิตต่ำ	การควบคุมกระด้างที่มีความชื้นและผลผลิตจากการปฏิกิริยาการผลิตของสีลดลง ทำให้ผลิตสีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความผันแปรที่ลูกค้าตรวจพบ	9	เกิดการเปลี่ยนสภาพของการทำปฏิกิริยากับน้ำในขณะทำให้ความสามารถในการละลายของสีที่ได้น้อย	3	มีการเทียบเคียงเครื่องมือและขบวนการควบคุมความชื้นกระด้างก่อนเข้าขบวนการผลิต	1	27	ศึกษาและพัฒนาการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์ในการวัดค่าความชื้นกระด้างให้มีความเที่ยงตรงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของข้อบกพร่อง	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN	ข้อเสนอแนะที่ต้องการปฏิบัติ
5	เวลาในการควบคุมปฏิกิริยาไม่เพียงพอ	ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไม่สมบูรณ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนในคุณภาพ การควบคุมปฏิกิริยาจนเกินไป จึงทำให้เกิดองค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการต้องการน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความแปรปรวนในคุณภาพ ผลผลิตต่ำกว่าที่คาดหวัง	9	กระบวนการในการสังเคราะห์ที่ใช้เวลาไม่เพียงพอกับปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และการขาดการควบคุมอุณหภูมิและความดันในระหว่าง Site การผลิต รวมถึงคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการ	5	ควรมีการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เช่น HPLC และวัดผลองค์ประกอบทางเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ควรมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ	1	45	ควรต้องให้ต้องปฏิบัติการเพื่อหาเวลาในการควบคุมปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสม่ำเสมอ
6	เวลาในการเก็บสารเคมีไม่เพียงพอ	ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไม่สมบูรณ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนในคุณภาพ การควบคุมปฏิกิริยาจนเกินไป จึงทำให้เกิดองค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการต้องการน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความแปรปรวนในคุณภาพ ผลผลิตต่ำกว่าที่คาดหวัง	9	กระบวนการในการสังเคราะห์ที่ใช้เวลาไม่เพียงพอกับปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และการขาดการควบคุมอุณหภูมิและความดันในระหว่าง Site การผลิต รวมถึงคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการ	5	ควรมีการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เช่น HPLC และวัดผลองค์ประกอบทางเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ควรมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ	1	45	ควรต้องให้ต้องปฏิบัติการเพื่อหาเวลาในการควบคุมปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสม่ำเสมอ
7	ความบริสุทธิ์ของสารไม่เพียงพอ	ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไม่สมบูรณ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนในคุณภาพ ซึ่งทำให้เกิดองค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการต้องการน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความแปรปรวนในคุณภาพ ผลผลิตต่ำกว่าที่คาดหวัง	9	กระบวนการในการสังเคราะห์ที่ใช้เวลาไม่เพียงพอกับปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และการขาดการควบคุมอุณหภูมิและความดันในระหว่าง Site การผลิต รวมถึงคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการ	5	ควรมีการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เช่น HPLC และวัดผลองค์ประกอบทางเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ควรมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ	1	45	ควรต้องให้ต้องปฏิบัติการเพื่อหาเวลาในการควบคุมปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสม่ำเสมอ
8	อุณหภูมิไม่เพียงพอ	ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการผลิตไม่สมบูรณ์ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตมีความแปรปรวนในคุณภาพ ซึ่งทำให้เกิดองค์ประกอบทางเคมีที่ต้องการต้องการน้อยและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์มีความแปรปรวนในคุณภาพ ผลผลิตต่ำกว่าที่คาดหวัง	9	กระบวนการในการสังเคราะห์ที่ใช้เวลาไม่เพียงพอกับปฏิกิริยาที่ต้องการให้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และการขาดการควบคุมอุณหภูมิและความดันในระหว่าง Site การผลิต รวมถึงคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการ	5	ควรมีการตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ที่เหมาะสม เช่น HPLC และวัดผลองค์ประกอบทางเคมีให้เป็นไปตามมาตรฐานในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ควรมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ	1	45	ควรต้องให้ต้องปฏิบัติการเพื่อหาเวลาในการควบคุมปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสม่ำเสมอ

ตารางที่ 4. 9 เรียงลำดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ค่า RPN
1	เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม	45
2	เวลาในการเติมสารเคมีไม่เหมาะสม	45
3	ความเป็นกรด-ด่าง ไม่เหมาะสม	45
4	อุณหภูมิไม่เหมาะสม	45
5	ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ไม่ถูกต้องและแม่นยำ	27
6	สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I ไม่ผ่าน Specification	25
7	สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า II ไม่ผ่าน Specification	25
8	สารตั้งต้นหมู่ให้สี ไม่ผ่าน Specification	15



รูปที่ 4. 10 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามอันดับค่า RPN ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA

จากการวิเคราะห์ FMEA ได้นำค่า RPN ที่ได้มาเรียงลำดับปัจจัยที่ได้ค่า RPN จากมากไปน้อย เพื่อดูปัจจัยที่มีความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 4.9 และแผนภูมิพาเรโตเรียงตามค่า RPN ตามลำดับของปัจจัย แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีอยู่ 4 ปัจจัยที่มีคะแนนสูงและแตกต่างจากปัจจัยอื่นๆอย่าง

เห็นได้ชัดโดยจากตารางที่ 4.11 ค่า RPN รวมของปัจจัยทั้ง 4 มีค่าเท่ากับ 180 จากค่า RPN รวมทั้งหมด 272 คะแนนซึ่งสามารถคิดได้เป็น 66.17% ของคะแนนรวมทั้งหมด โดยปัจจัยทั้ง 4 ถูกเลือกนำมาใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไปแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4. 10 ปัจจัยที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ FMEA เพื่อนำไปใช้เป็นปัจจัยในการออกแบบการทดลองต่อไป

ลำดับ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ค่า RPN
1	เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม	45
2	เวลาในการเติมสารเคมีไม่เหมาะสม	45
3	ความเป็นกรด-ด่าง ไม่เหมาะสม	45
4	อุณหภูมิไม่เหมาะสม	45

4.5 สรุประยะการตรวจวัดปัญหา

สำหรับขั้นตอนของระยะการตรวจวัดปัญหาในงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยวิเคราะห์ความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Supplier A และ B) รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย (Lot by Lot) โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบจากแหล่งที่มา A มีค่า P-value เท่ากับ 0.278 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มา A ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมี HPLC เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบที่มาจากแหล่งที่มา B โดยให้ค่า P-value เท่ากับ 0.338 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าวิกฤตที่ 0.05 จึงสามารถสรุปได้เช่นเดียวกับแหล่งที่มา A จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ได้แก่เครื่องวิเคราะห์ทางเคมี HPLC แสดงให้เห็นว่าจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมดให้ค่า %SV หรือ P/TV เท่ากับ 7.67% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าผลการประเมินระบบการวัดนี้ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกเหนือจากระบบการวัดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แล้วนั้น ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมมีระบบการวัดเพื่อควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ด้วยเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ระบบการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) , ระบบการวัดอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส และระบบการควบคุมความเป็นกรด-ด่างระหว่างการควบคุมปฏิกิริยาโดยเครื่องควบคุม

อัตโนมัติ ซึ่งระบบการวัดค่าดังที่กล่าวมานั้นทางโรงงานกรณีศึกษาและผู้วิจัยมีการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำของระบบการวัดทุกวันก่อนทำการเริ่มกระบวนการสังเคราะห์ โดยเครื่องมือการสอบเทียบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานการรับรองและระบบ ISO 9001 ดังนั้นระบบการวัดนั้นสามารถให้ค่าการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

นอกเหนือจากนั้นมีการศึกษาหาสาเหตุและปัจจัยที่เป็นไปได้ที่สามารถส่งผลถึงความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ โดยใช้การระดมสมองของทีมงานเพื่อหาสาเหตุด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผลซึ่งได้ปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 24 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาคัดกรองด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix เพื่อให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัย ทำให้คัดเหลือ 8 ปัจจัยเพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และให้คะแนนเพื่อคำนวณค่า RPN ทำให้พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม , เวลาในการเติมสารเคมีไม่เหมาะสม , ความเป็นกรด-ด่าง ไม่เหมาะสม และ อุณหภูมิไม่เหมาะสม ซึ่งจาก 4 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองและวิเคราะห์ว่าส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างแท้จริง โดยในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำปัจจัยทั้ง 4 เป็นปัจจัยหลักในการใช้ออกแบบการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

5.1 บทนำ

ในส่วนของบทนี้เป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์ปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองมาในบทที่ 4 โดยการระดมความคิดจากทีมงานและใช้เครื่องมือต่างๆมาช่วยในระบบการวิเคราะห์ ซึ่งได้ปัจจัยที่ส่งผลอย่างแท้จริงต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟทั้งหมด 4 ปัจจัยได้แก่ สภาวะในกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีที่ไม่เหมาะสม คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม , เวลาในการเติมสารเคมีไม่เหมาะสม , ความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสม และอุณหภูมิไม่เหมาะสม โดยผู้วิจัยนำปัจจัยที่ 4 ปัจจัยนี้มาทดสอบสมมติฐานทางสถิติว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยส่งผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไมต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ โดยในงานวิจัยนี้มีการเลือกใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken เพื่อใช้วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานของการออกแบบการทดลอง

จากขั้นตอนการวัดการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงนั้น เมื่อได้วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของปัจจัยแล้ว สามารถสรุปปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มีความแปรปรวนสูงและค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดกหวังทั้งหมด 4 ปัจจัย แสดงดังนี้

1. เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม
2. เวลาในการเติมสารเคมีไม่เหมาะสม
3. ความเป็นกรด-ด่างไม่เหมาะสม
4. อุณหภูมิไม่เหมาะสม

โดยลักษณะการทดสอบในแต่ละปัจจัยนั้นใช้การจำลองกระบวนการผลิตสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งมีการทดสอบปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยแยกตามลำดับขั้นตอนในกระบวนการสังเคราะห์ ดังนี้

- ทดสอบปัจจัยอุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการเติมสารเคมี ในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1st Condensation Reaction)
- ทดสอบปัจจัยอุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการทำปฏิกิริยา ในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2nd Condensation Reaction)

รูปที่ 5. 1 การจำลองกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base ในระดับปฏิบัติการ

ในส่วนของการออกแบบการทดลองนั้นใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ซึ่งมีการกำหนดระดับของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5.1 สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และตารางที่ 5.2 สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

ตารางที่ 5. 1 ระดับของปัจจัยในการทดลองแบบ Box-Behnken สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
				ต่ำ(-1)	กลาง(0)	สูง(+1)
1	อุณหภูมิ	℃	Temp	0	5	10
2	ความเป็นกรด-ด่าง	-	pH	5.0	5.5	6.0
3	เวลาในการเติมสารเคมี	นาที	Time dosing	5	10	15

ตารางที่ 5. 2 ระดับของปัจจัยในการทดลองแบบ Box-Behnken สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
				ต่ำ(-1)	กลาง(0)	สูง(+1)
1	อุณหภูมิ	℃	Temp	10	20	30
2	ความเป็นกรด-ด่าง	-	pH	7.0	8.0	9.0
3	เวลาในการทำปฏิกิริยา	นาที	Time maintain	30	45	60

**ขีดจำกัด (Limitation) ของเวลาในการทำปฏิกิริยาคือ 60 นาที (กระบวนการผลิตปัจจุบัน)

5.3 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองในการทดลองคือ องค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องวิเคราะห์ทางเคมี HPLC ในแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

5.4 การออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken โดยมีปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับโดยมีรายละเอียดขั้นตอนในการดำเนินการทดลองดังนี้

1. ทำการทดลองในขั้นตอนแรกแบบแยกขั้นตอนการทดลองระหว่างกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 และวัดผลของตัวแปรตอบสนองซึ่งคือค่าองค์ประกอบทางเคมีในแต่ละขั้นตอน เพื่อในแน่ใจถึงผลที่ได้ในแต่ละขั้นตอนมีความเหมาะสม โดยในแต่ละระดับของปัจจัยมีการทดลอง 1 ครั้ง และเนื่องจากในแต่ละขั้นตอนของการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 มีปัจจัยนำเข้าขั้นตอนละ 3 ปัจจัย ในแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลองสำหรับในแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2

2. ลำดับขั้นตอนในการทดลองมีการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อลดผลกระทบของปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลต่อการทดลอง ซึ่งในการออกแบบการทดลองนี้ใช้กระบวนการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

5.5 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้นนั้น ในแต่ละการทดลองมีการควบคุมปัจจัยอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ทำการศึกษาเพื่อควบคุมสภาวะในการทดลองให้เหมือนกันทุกการทดลอง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่สามารถส่งผลต่อการทดลองได้ ซึ่งรายละเอียดในการควบคุมปัจจัยอื่นๆ มีดังนี้

- ใช้พนักงานคนเดียวในการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟตามรูปแบบการทดลองที่ออกแบบไว้
- ใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการสังเคราะห์จากแหล่งผลิตเดียวกันในทุกประเภทของวัตถุดิบและทุกการทดลอง
- วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC เครื่องเดียวกันทุกการทดลอง
- ใช้อุปกรณ์และสารเคมีอื่นๆ เช่น เครื่องวัดและควบคุมความเป็นกรด-ด่าง , สารละลายในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC เหมือนกันทุกการทดลอง

โดยในแต่ละการทดลองมีรายละเอียดการทดลองในแต่ละปัจจัยและระดับของปัจจัยดังตารางแสดงในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้ และลำดับในการดำเนินการทดลองทำตามลำดับที่แสดงในช่อง StdOrder

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 3 รายละเอียดและลำดับการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temp	pH	Time CF3 dosing
1	1	2	1	0	5.0	10
5	2	2	1	0	5.5	5
10	3	2	1	5	6.0	5
12	4	2	1	5	6.0	15
15	5	0	1	5	5.5	10
8	6	2	1	10	5.5	15
9	7	2	1	5	5.0	5
4	8	2	1	10	6.0	10
2	9	2	1	10	5.0	10
7	10	2	1	0	5.5	15
14	11	0	1	5	5.5	10
13	12	0	1	5	5.5	10
3	13	2	1	0	6.0	10
11	14	2	1	5	5.0	15
6	15	2	1	10	5.5	5

ตารางที่ 5. 4 รายละเอียดและลำดับการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken สำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temp	pH	Time maintain
8	1	2	1	30	8	60
6	2	2	1	30	8	30
12	3	2	1	20	9	60
5	4	2	1	10	8	30
1	5	2	1	10	7	45
13	6	0	1	20	8	45
4	7	2	1	30	9	45
3	8	2	1	10	9	45
7	9	2	1	10	8	60
15	10	0	1	20	8	45
14	11	0	1	20	8	45
11	12	2	1	20	7	60
2	13	2	1	30	7	45
10	14	2	1	20	9	30
9	15	2	1	20	7	30

ในขั้นตอนการทดลองตามรูปแบบการออกแบบการทดลองสำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 นี้จะมีการควบคุมสภาวะสำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ให้มีค่าตามเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะในการทดลองใดๆ เนื่องจากต้องการดูผลการทดลองสำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทดลองสำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 เท่านั้น

ในกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีนั้น การปรับปรุงหรือการทดลองจะต้องมีการทดลองไปทีละขั้นตอนโดยกำหนดให้ขั้นตอนอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนที่สนใจเป็นขั้นตอนควบคุม (สภาวะในการทำปฏิริยาเหมือนปกติ) เพื่อให้สามารถรู้ถึงผลกระทบจากการทดลองในขั้นตอนที่เราสนใจได้อย่างถูกต้องและตรงตามจุดประสงค์หลัก

5.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมี (Main component) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 แสดงผลดังตารางที่ 5.5 และ ตารางที่ 5.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 5. 5 ผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ในการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temp	pH	Time CF3 dosing	Result
1	1	2	1	0	5.0	10	90.10
5	2	2	1	0	5.5	5	80.95
10	3	2	1	5	6.0	5	74.66
12	4	2	1	5	6.0	15	81.97
15	5	0	1	5	5.5	10	92.12
8	6	2	1	10	5.5	15	71.45
9	7	2	1	5	5.0	5	81.55
4	8	2	1	10	6.0	10	68.86
2	9	2	1	10	5.0	10	68.78
7	10	2	1	0	5.5	15	94.32
14	11	0	1	5	5.5	10	90.08
13	12	0	1	5	5.5	10	90.01
3	13	2	1	0	6.0	10	77.83
11	14	2	1	5	5.0	15	90.15
6	15	2	1	10	5.5	5	67.41

ตารางที่ 5. 6 ผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ในการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temp	pH	Time maintain	Result
6	2	2	1	30	8	30	73.15
12	3	2	1	20	9	60	79.86
5	4	2	1	10	8	30	80.56
1	5	2	1	10	7	45	75.87
13	6	0	1	20	8	45	82.98
4	7	2	1	30	9	45	70.91
3	8	2	1	10	9	45	78.23
7	9	2	1	10	8	60	81.98
15	10	0	1	20	8	45	81.34
14	11	0	1	20	8	45	80.89
11	12	2	1	20	7	60	75.98
2	13	2	1	30	7	45	70.67
10	14	2	1	20	9	30	79.09
9	15	2	1	20	7	30	74.68

ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในแต่ขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าข้างต้นนั้น เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้ในแต่ละขั้นตอนนั้นควรผ่านค่ามาตรฐาน (Specification) ที่ทางบริษัทได้กำหนดไว้ในแต่ละขั้นตอน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1^{st} Condensation) ควรมีค่ามากกว่า 90% และกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2^{nd} Condensation) ควรมีค่ามากกว่า 75% โดยผลการทดลองที่ได้ดังแสดงดังตารางในแต่ละขั้นตอนนั้น จะเห็นได้ว่า องค์ประกอบทางเคมีมีทั้งผ่านและไม่ผ่านมาตรฐานที่ทางบริษัทตั้งไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะในการทดลองหรือการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันนั้นส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ โดยในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง , การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนต่อไป

5.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

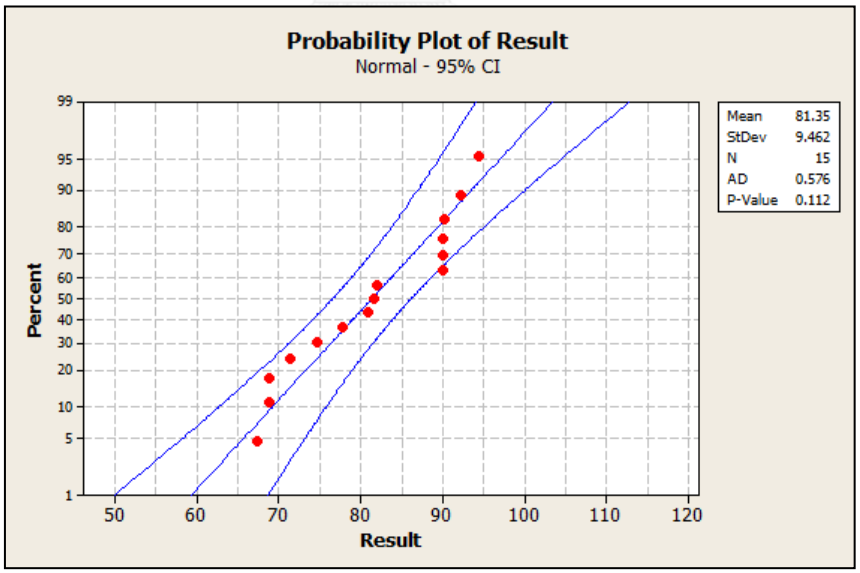
ก่อนกระบวนการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้นั้นต้องมีการตรวจสอบแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ก่อนหรือที่เรียกว่า Model Adequacy Checking) เพื่อตรวจสอบถึงความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ผลเบื้องต้น ซึ่งในกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้นมีขอบเขตและขั้นตอนในการตรวจสอบหลักอยู่ทั้งหมด 3 ข้อได้แก่ การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ , สมมติฐานความเป็นอิสระ

ของข้อมูล และสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งในการตรวจสอบจะใช้โปรแกรม Minitab ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.7.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1

- สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ

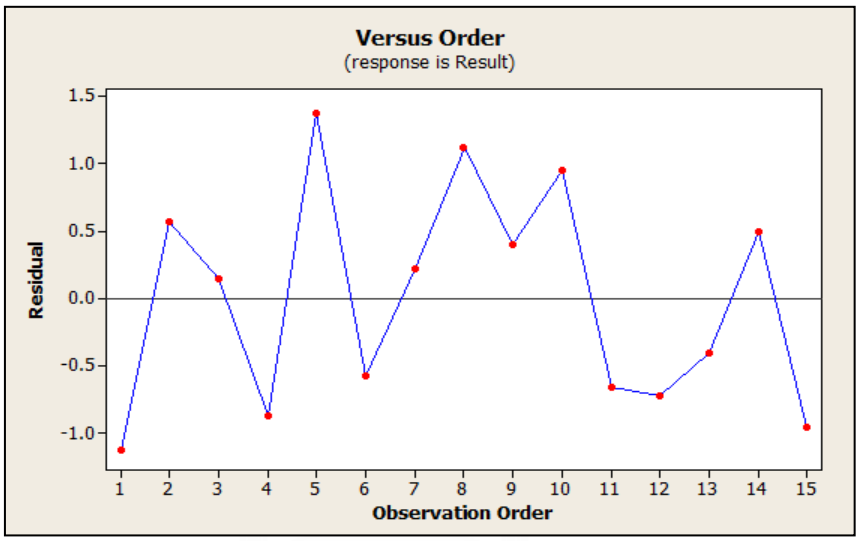
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการกระจายตัวตามเส้นตรง โดยนำข้อมูล Residue ของค่าตัวแปรตอบสนองซึ่งก็คือค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้มาพล็อตกราฟ หากกราฟที่ได้แสดงค่า P-value มากกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีการกระจายตัวหรือการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่ากราฟลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นไปตามเส้นตรง และให้ค่า P-value เท่ากับ 0.112 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5. 2 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ

- สมมติฐานความเป็นอิสระ

การทดสอบความเป็นอิสระของชุดข้อมูล เป็นการทดสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ โดยการพิจารณาจากข้อมูล Residue ของข้อมูลแต่ละตัวกับลำดับในการทดลอง หากกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบไม่มีแนวโน้ม สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยผลการทดสอบได้กราฟแสดงดังรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือไม่มีแนวโน้ม ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน

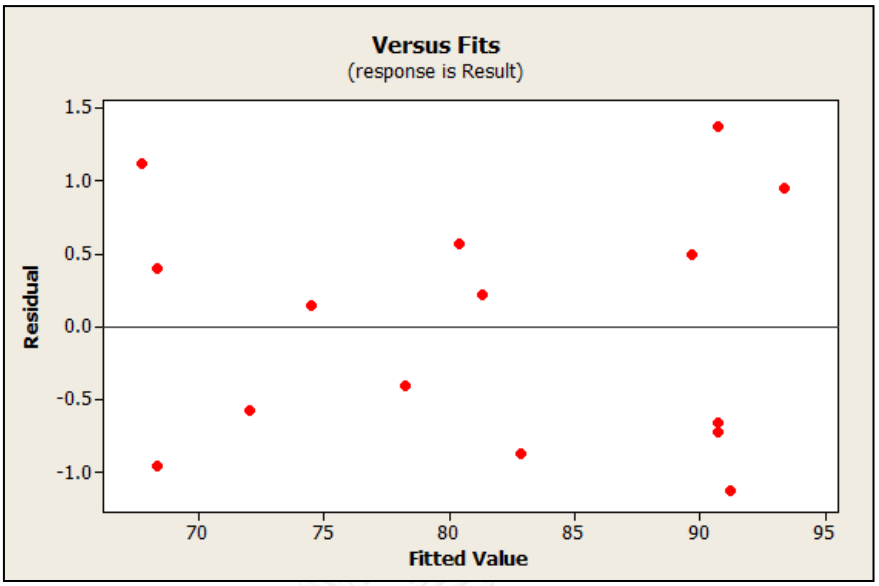


รูปที่ 5. 3 ผลการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ

Chulalongkorn University

- สมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล เป็นการนำค่า Residue ของข้อมูลมาพิจารณาร่วมกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งหากกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่มีรูปแบบ หรือไม่มีแนวโน้ม จะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือไม่มีแนวโน้มที่แน่ชัด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลผลการทดลองที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

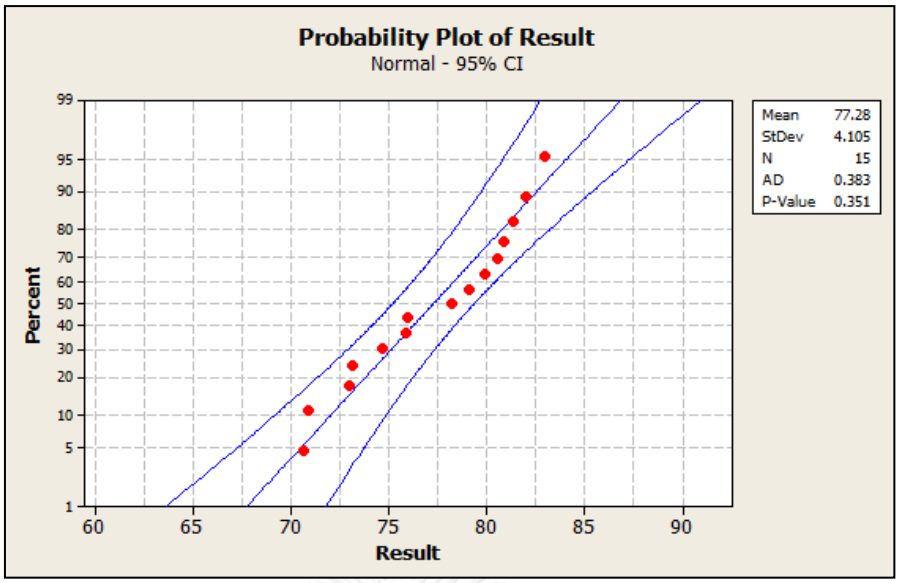


รูปที่ 5. 4 ผลการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

5.7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

- สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ

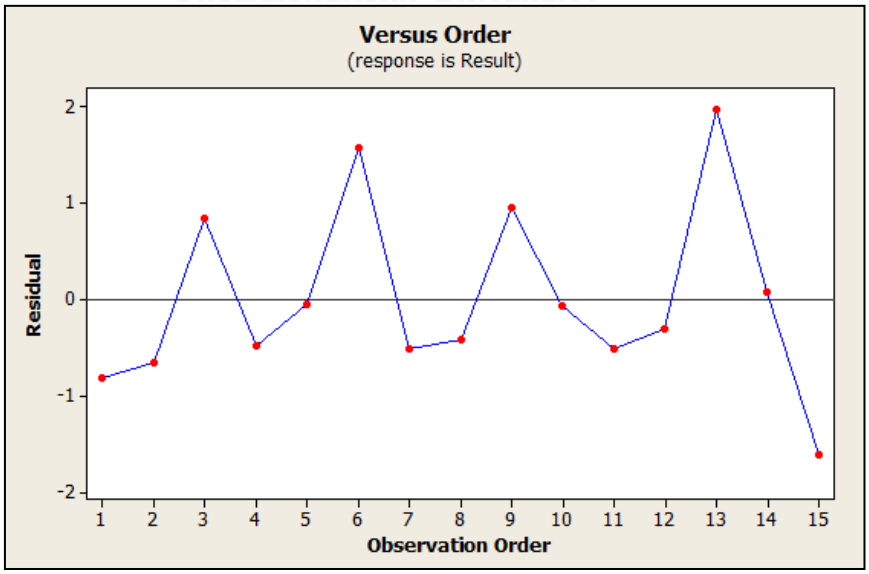
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการกระจายตัวตามเส้นตรง โดยนำข้อมูล Residue ของค่าตัวแปรตอบสนองซึ่งก็คือค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้มาพล็อตกราฟ หากกราฟที่ได้แสดงค่า P-value มากกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีการกระจายตัวหรือการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่ากราฟลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นไปตามเส้นตรงและให้ค่า P-value เท่ากับ 0.351 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5. 5 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ

- สมมติฐานความเป็นอิสระ

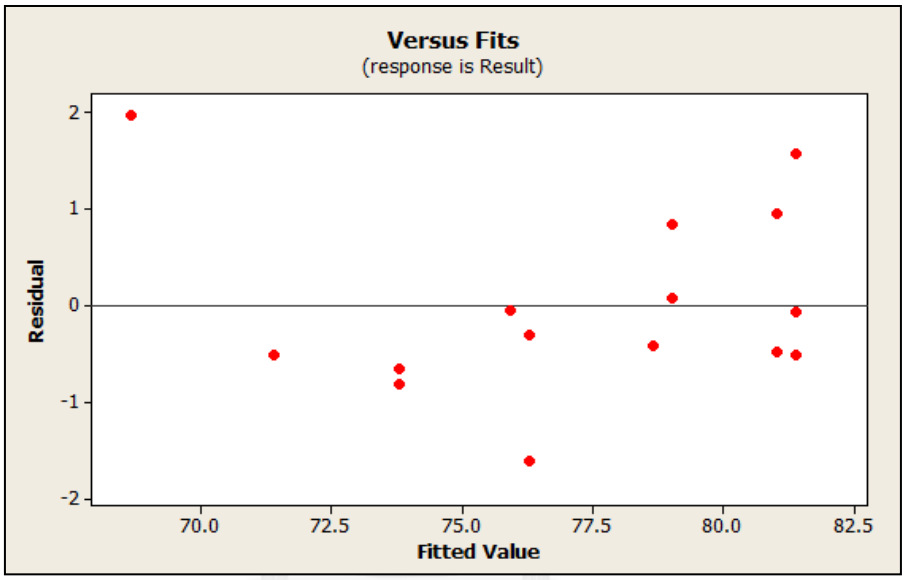
การทดสอบความเป็นอิสระของชุดข้อมูล เป็นการทดสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ โดยการพิจารณาจากข้อมูล Residue ของข้อมูลแต่ละตัวกับลำดับในการทดลอง หากกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบไม่มีแนวโน้ม สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยผลการทดสอบได้กราฟแสดงดังรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือไม่มีแนวโน้ม ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5. 6 ผลการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ

- สมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล เป็นการนำค่า Residue ของข้อมูลมาพิจารณาร่วมกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งหากกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่มีรูปแบบ หรือไม่มีแนวโน้ม จะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือไม่มีแนวโน้มที่แน่ชัด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลผลการทดลองที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล



รูปที่ 5. 7 ผลการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ , มีความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล และมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งทั้ง 3 หัวข้อมีสมมติฐานที่ผ่านข้อกำหนดของทั้ง 2 กระบวนการ คือ กระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 จึงสามารถนำข้อมูลที่ได้นี้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อได้ในขั้นตอนถัดไป

5.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ จะนำผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 5.4 ซึ่งเป็นผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และตารางที่ 5.5 ผลการทดลององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 มาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ Minitab ดังแสดงรายละเอียดต่อไปนี้

Response Surface Regression: Result versus Temp, pH, Time dosing

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	1244.62	138.291	77.93	0.000
Linear	3	787.78	262.593	147.98	0.000
Temp	1	556.11	556.111	313.38	0.000
pH	1	92.89	92.888	52.34	0.001
Time dosing	1	138.78	138.778	78.20	0.000
Square	3	396.54	132.178	74.49	0.000
Temp*Temp	1	295.57	295.570	166.56	0.000
pH*pH	1	107.55	107.551	60.61	0.001
Time dosing*Time dosing	1	39.17	39.170	22.07	0.005
2-Way Interaction	3	60.31	20.103	11.33	0.011
Temp*pH	1	38.13	38.131	21.49	0.006
Temp*Time dosing	1	21.76	21.762	12.26	0.017
pH*Time dosing	1	0.42	0.416	0.23	0.649
Error	5	8.87	1.775		
Lack-of-Fit	3	6.00	2.000	1.39	0.444
Pure Error	2	2.87	1.436		
Total	14	1253.49			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.33212	99.29%	98.02%	91.83%

รูปที่ 5. 8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 จะมีการพิจารณาจากค่า P-value ซึ่งหากค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยจากรูปจะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบคือปัจจัยหลัก อุณหภูมิ (Temp) , ความเป็นกรด-ด่าง (pH) , เวลาในการเติมสารเคมี (Time dosing) และมีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยได้แก่ปัจจัย อุณหภูมิ และ ความเป็นกรด-ด่าง ที่ให้ค่า P-value 0.006 และปัจจัยร่วมระหว่าง อุณหภูมิ และ เวลาในการเติมสารเคมี ที่ให้ค่า P-value 0.017 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถสรุปได้ว่าในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 มีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ที่แท้จริงได้แก่ 3 ปัจจัยคือ ปัจจัย อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการเติมสารเคมี ซึ่งจะนำปัจจัยหลักที่ส่งผลเหล่านี้ไปหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าในการออกแบบการทดลองในขั้นตอนถัดไป

Response Surface Regression: Result versus Temp, pH, Time maintain

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	227.500	25.278	14.97	0.004
Linear	3	120.820	40.273	23.85	0.002
Temp	1	104.618	104.618	61.96	0.001
pH	1	14.824	14.824	8.78	0.031
Time maintain	1	1.378	1.378	0.82	0.408
Square	3	104.855	34.952	20.70	0.003
Temp*Temp	1	59.842	59.842	35.44	0.002
pH*pH	1	53.060	53.060	31.42	0.002
Time maintain*Time maintain	1	1.090	1.090	0.65	0.458
2-Way Interaction	3	1.826	0.609	0.36	0.785
Temp*pH	1	1.124	1.124	0.67	0.452
Temp*Time maintain	1	0.632	0.632	0.37	0.567
pH*Time maintain	1	0.070	0.070	0.04	0.846
Error	5	8.443	1.689		
Lack-of-Fit	3	6.023	2.008	1.66	0.398
Pure Error	2	2.420	1.210		
Total	14	235.943			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.29943	96.42%	89.98%	56.85%

รูปที่ 5. 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

จากรูปที่ 5.9 ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์สำหรับกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 โดยจากรูปจะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลกระทบคือปัจจัยหลัก อุณหภูมิ (Temp) , ความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถสรุปได้ว่าในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 มีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ที่แท้จริงได้แก่ 2 ปัจจัยคือ ปัจจัย อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งจะนำปัจจัยหลักที่ส่งผลเหล่านี้ไปหาค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าระดับในการออกแบบการทดลองในขั้นตอนถัดไป

5.9 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์เพื่อสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 โดยการนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองจากเครื่องมือทางสถิติต่างๆมาทดสอบสมมติฐานโดยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken โดยมีการนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และ

เวลาในการเติมสารเคมี สำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการทำปฏิกิริยา มาออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 15 การทดลองในแต่ละขั้นตอน จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติพบว่า ในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 มีปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งสิ้น 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการเติมสารเคมี และในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 มีปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งสิ้น 2 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้านี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมเพื่อให้เป็นค่าระดับในการออกแบบการทดลองแบบรวมขั้นตอนของกระบวนการทั้งหมดหลังจากมั่นใจแล้วว่าในแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าได้ผลเป็นไปตามคุณภาพที่ตั้งไว้ และวัดตัวแปรตอบสนองออกมาเป็นผลผลิตต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

6.1 บทนำ

จากขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในบทก่อนหน้านี้ ทำให้ได้ปัจจัยที่แท้จริงที่มีผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 จะนำปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญมาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อหาระดับที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัยให้สามารถลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม ซึ่งระดับที่ใช้ในการกำหนดของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลนั้น จะทำการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้ามาใช้เป็นค่ากำหนดระดับในแต่ละปัจจัย และวัดผลตัวแปรตอบสนองคือผลผลิต จากนั้นทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ , วิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ และสรุปค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการโดยรวมเพื่อนำไปสู่การผลิตจริงต่อไป

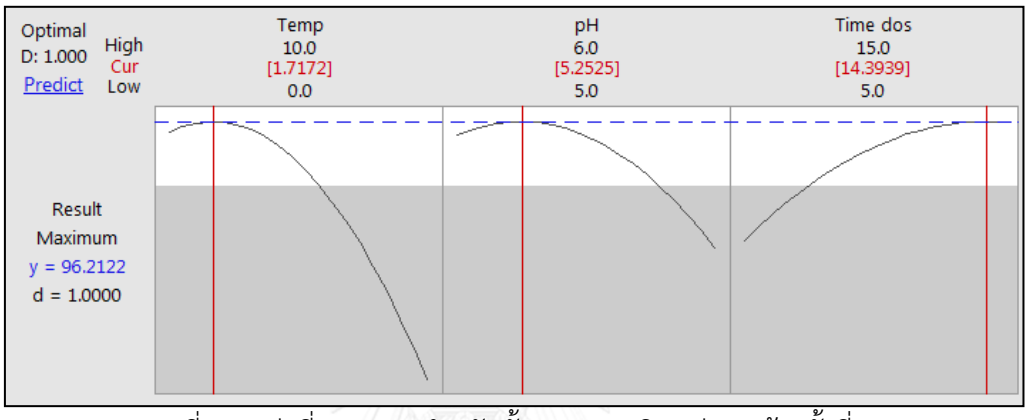
6.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลคือ ปัจจัยที่ผ่านการทดลองและทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและหาปัจจัยที่แท้จริงทั้งหมด 5 ปัจจัยมากำหนดระดับเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยการกำหนดระดับในแต่ละปัจจัยนั้นจะใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่แต่ละขั้นตอนก่อน เพื่อนำค่าที่เหมาะสมที่ได้มากำหนดระดับสำหรับแต่ละปัจจัยต่อไป ดังนี้

6.2.1 ขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (1st Condensation)

- อุณหภูมิ (Temperature)
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- เวลาในการเติมสารเคมี (Time dosing)

นำทั้ง 3 ปัจจัยข้างต้นสำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 มาหาค่าที่เหมาะสมโดยการใช้โปรแกรม Minitab (Response Optimizer) โดยกำหนดค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 แบบ Maximize โดยกำหนด Lower ที่ 90 กำหนด Target ที่ 95 และกำหนด Weight ที่ 1 Important ที่ 1 เมื่อกำหนดเป้าหมายให้กับตัวแปรตอบสนอง รวมถึงกำหนดน้ำหนักและความสำคัญแล้ว จะใช้คำสั่ง Response Optimizer ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาจุดที่มีความเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6. 1 ค่าที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1

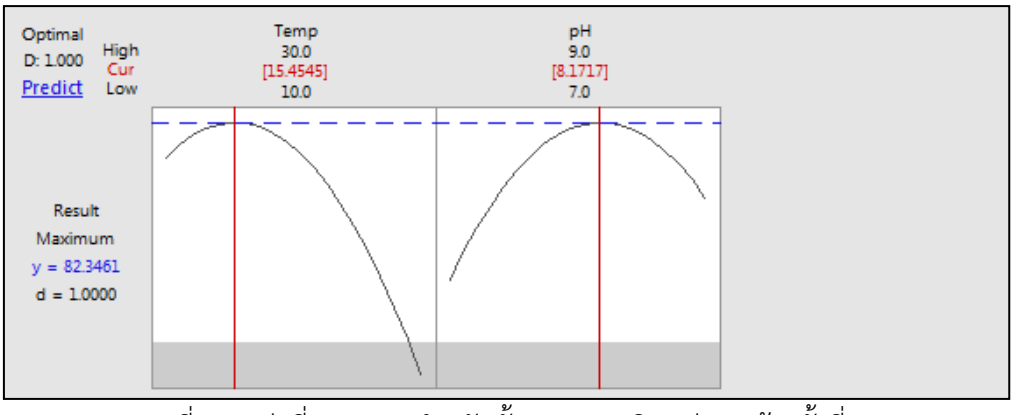
จากรูปที่ 6.1 ผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นค่ากำหนดระดับของปัจจัยในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 โดยอุณหภูมิที่ 1.7 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่างที่ 5.2 และเวลาในการเติมสารเคมีที่ 14.3 นาที ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการกำหนดระดับสำหรับแต่ละปัจจัยต่อไป

Chulalongkorn University

6.2.2 ขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (2nd Condensation)

- อุณหภูมิ (Temperature)
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

นำทั้ง 2 ปัจจัยข้างต้นสำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 มาหาค่าที่เหมาะสมโดยการใช้โปรแกรม Minitab (Response Optimizer) โดยกำหนดค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 แบบ Maximize โดยกำหนด Lower ที่ 75 กำหนด Target ที่ 80 และกำหนด Weight ที่ 1 Important ที่ 1 เมื่อกำหนดเป้าหมายให้กับตัวแปรตอบสนอง รวมถึงกำหนดน้ำหนักและความสำคัญแล้ว จะใช้คำสั่ง Response Optimizer ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาจุดที่มีความเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6. 2 ค่าที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2

จากรูปที่ 6.2 ผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นค่ากำหนดระดับของปัจจัยในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 โดยอุณหภูมิที่ 15.4 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-ด่างที่ 8.1 ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการกำหนดระดับสำหรับแต่ละปัจจัยต่อไป

จากนั้นนำทั้งหมด 5 ปัจจัยข้างต้นมากำหนดระดับเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยลักษณะการทดลองจะใช้การจำลองกระบวนการในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale) ซึ่งการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยจะอิงตามค่าเหมาะสมที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้ายึดเป็นแนวทาง และค่าที่สามารถควบคุมได้จริงในระดับโรงงานและระดับปฏิบัติการ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 6.1 โดยกำหนดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาในขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 คือ 60 นาที ตามกระบวนการผลิตปัจจุบัน

ตารางที่ 6. 1 ปัจจัยและระดับในการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับขั้นตอนการสังเคราะห์สีย้อม

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
				ต่ำ(-1)	กลาง(0)	สูง(+1)
1	อุณหภูมิการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1	℃	A	2	6	10
2	ความเป็นกรด-ด่างในการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1	-	B	5	6	7
3	เวลาในการเติมสารเคมี	นาที	C	5	10	15
4	อุณหภูมิการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2	℃	D	20	25	30
5	ความเป็นกรด-ด่างในการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2	-	E	7.5	8.5	9.5

6.3 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองในการทดลองคือ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยคำนวณตามสูตรการคำนวณต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์ผลผลิต = (ผลผลิตที่ได้จริง / ผลผลิตที่ได้ตามทฤษฎี) x 100

6.4 การออกแบบผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้ใช้รูปแบบในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยมีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัย โดยมีการกำหนดจำนวน Center point จำนวน 5 Center point ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการทดลองดังนี้

1. การทดลองแบบสุ่ม (Randomization) โดยมีการทำลำดับของการทดลองในแต่ละการทดลองเป็นแบบสุ่ม เพื่อลดปัจจัยภายนอกที่สามารถส่งผลต่อผลการทดลอง ซึ่งในการออกแบบการทดลองนี้ ใช้การสุ่มลำดับของการทดลองโดยใช้การออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab

2. การทดลองซ้ำ (Replication) ในการทดลองนี้ทำการทดลองในแต่ละการทดลองเพียงอย่างละ 1 การทดลอง เนื่องจากกระบวนการในการสังเคราะห์ค่อนข้างนานรวมถึงปัจจัยนำเข้ามีค่อยข้างมากถึง 5 ปัจจัย ซึ่งในการทำการทดลองในแต่ละการทดลองผู้ทำการทดลองมีความมั่นใจและเข้าใจในแต่ละการทดลองก่อนเริ่มทำการทดลอง เพื่อลดข้อผิดพลาดต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในกระบวนการทดลอง

3. จำนวนการทดลอง (Runs) การทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ และมีจำนวน Center point เท่ากับ 5 และทำการทดลองการทดลองละ 1 ครั้ง จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 37 การทดลอง

6.5 ขั้นตอนการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองมีจำนวนของการทดลองทั้งหมด 37 การทดลอง ในแต่ละการทดลองจะมีการกำหนดปัจจัยอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับปัจจัยและขั้นตอนที่ทำการศึกษาเพื่อควบคุมสภาวะการทดลองให้เหมือนกันทุกการทดลอง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนต่างๆที่สามารถส่งผลต่อผลการทดลอง โดยสิ่งต่างๆที่ผู้วิจัยควบคุมมีดังนี้

- ใช้พนักงานคนเดียวในการทดการทดลองสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base
- ควบคุมสภาวะการทดลองอื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับสภาวะในขั้นตอนที่ทำการศึกษาให้มีค่าเหมือนเดิมกับค่าปัจจุบันที่มีการใช้อยู่
- ใช้อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆได้แก่ วัตถุดิบตั้งต้น , เครื่องวัดและควบคุมความเป็นกรด-ด่าง , เครื่องมือวิเคราะห์ HPLC , เครื่องวัดการดูดกลืนแสงสำหรับสีย้อมหลังสังเคราะห์ ให้เหมือนกันทุกการทดลอง

โดยลำดับในการทำการทดลองจะอ้างอิงตามหมายเลขลำดับในช่อง StdOrder จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab และสภาวะในการทดลองหรือระดับของแต่ละปัจจัยจะอ้างอิงจากการออกแบบการทดลองเช่นเดียวกัน ซึ่งหลังจากการทดลองในแต่ละการทดลองจะมีการตรวจวัดและคำนวณผลผลิตที่ได้แต่ละการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

6.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อศึกษาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้สามารถลดความผันแปรของผลผลิต (Yield) ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 2 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียล

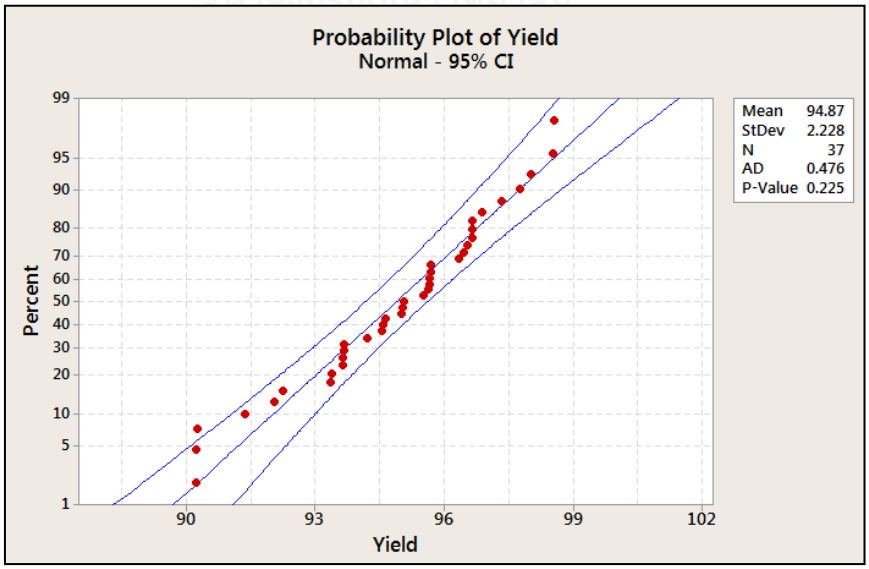
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	Yield
6	1	1	1	10	5	15	20	7.5	96.62
36	2	0	1	6	6	10	25	8.5	95.63
10	3	1	1	10	5	5	30	7.5	95.50
24	4	1	1	10	7	15	20	9.5	93.65
25	5	1	1	2	5	5	30	9.5	96.52
19	6	1	1	2	7	5	20	9.5	93.63
31	7	1	1	2	7	15	30	9.5	92.02
22	8	1	1	10	5	15	20	9.5	96.44
29	9	1	1	2	5	15	30	9.5	98.55
23	10	1	1	2	7	15	20	9.5	96.33
8	11	1	1	10	7	15	20	7.5	94.52
21	12	1	1	2	5	15	20	9.5	96.63
20	13	1	1	10	7	5	20	9.5	94.55
9	14	1	1	2	5	5	30	7.5	96.62
26	15	1	1	10	5	5	30	9.5	91.35
16	16	1	1	10	7	15	30	7.5	95.66
4	17	1	1	10	7	5	20	7.5	95.02
34	18	0	1	6	6	10	25	8.5	94.62
5	19	1	1	2	5	15	20	7.5	98.52
12	20	1	1	10	7	5	30	7.5	95.63
30	21	1	1	10	5	15	30	9.5	93.36
7	22	1	1	2	7	15	20	7.5	95.62
15	23	1	1	2	7	15	30	7.5	97.99
33	24	0	1	6	6	10	25	8.5	95.05
27	25	1	1	2	7	5	30	9.5	90.21
18	26	1	1	10	5	5	20	9.5	90.21
1	27	1	1	2	5	5	20	7.5	97.75
3	28	1	1	2	7	5	20	7.5	97.33
32	29	1	1	10	7	15	30	9.5	92.22
11	30	1	1	2	7	5	30	7.5	93.66
28	31	1	1	10	7	5	30	9.5	90.23
37	32	0	1	6	6	10	25	8.5	93.35
2	33	1	1	10	5	5	20	7.5	93.63
17	34	1	1	2	5	5	20	9.5	96.87
35	35	0	1	6	6	10	25	8.5	95.66
13	36	1	1	2	5	15	30	7.5	94.98
14	37	1	1	10	5	15	30	7.5	94.20

6.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนกระบวนการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้นั้นต้องมีการตรวจสอบแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ก่อนหรือที่เรียกว่า Model Adequacy Checking) เพื่อตรวจสอบถึงความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ผลเบื้องต้น ซึ่งในกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้นมีขอบเขตและขั้นตอนในการตรวจสอบหลักอยู่ทั้งหมด 3 ข้อได้แก่ การตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ , สมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล และสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งในการตรวจสอบจะใช้โปรแกรม Minitab ดังรายละเอียดต่อไปนี้

6.7.1 สมมติฐานการแจกแจงแบบปกติ

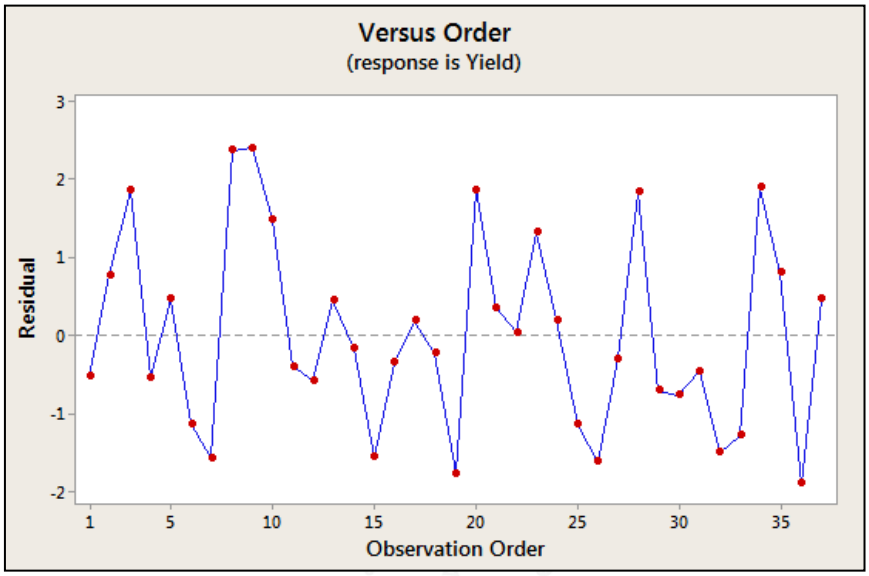
การทดสอบนี้เป็นการทดสอบชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการกระจายตัวตามเส้นตรง โดยนำข้อมูล Residue ของค่าตัวแปรตอบสนองซึ่งก็คือค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้มาพล็อตกราฟ หากกราฟที่ได้แสดงค่า P-value มากกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีการกระจายตัวหรือการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่ากราฟลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นไปตามเส้นตรงและให้ค่า P-value เท่ากับ 0.225 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 6. 3 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ

6.7.2 สมมติฐานความเป็นอิสระ

การทดสอบความเป็นอิสระของชุดข้อมูล เป็นการทดสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ โดยการพิจารณาจากข้อมูล Residue ของข้อมูลแต่ละตัวกับลำดับในการทดลอง หากกราฟที่ได้แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบไม่มีแนวโน้ม สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยผลการทดสอบได้กราฟแสดงดังรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือไม่มีแนวโน้ม ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน

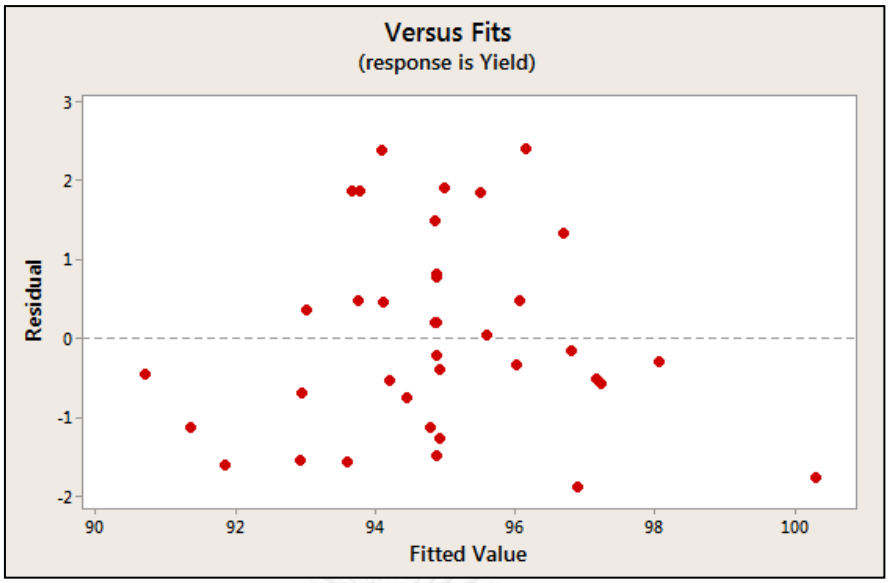


รูปที่ 6. 4 ผลการทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.7.3 สมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล เป็นการนำค่า Residue ของข้อมูลมาพิจารณาร่วมกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งหากกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่มีรูปแบบ หรือไม่มีแนวโน้ม จะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 6.5 จะเห็นได้ว่ากราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือไม่มีแนวโน้มที่แน่ชัด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลผลการทดลองที่ได้มีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล



รูปที่ 6. 5 ผลการทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล

จากการทดสอบสมมติฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ , มีความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล และมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล จึงสามารถนำข้อมูลที่ได้นี้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อได้ในขั้นตอนถัดไป

6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6.6

Factorial Fit: Yield versus A, B, C, D, E

Analysis of Variance for Yield (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	91.492	91.4925	18.2985	20.29	0.006
A	1	28.956	28.9560	28.9560	32.11	0.005
B	1	11.858	11.8585	11.8585	13.15	0.022
C	1	10.811	10.8113	10.8113	11.99	0.026
D	1	10.835	10.8345	10.8345	12.02	0.026
E	1	29.032	29.0322	29.0322	32.20	0.005
2-Way Interactions	10	31.391	31.3912	3.1391	3.48	0.120
A*B	1	12.276	12.2760	12.2760	13.61	0.021
A*C	1	0.195	0.1953	0.1953	0.22	0.666
A*D	1	0.994	0.9941	0.9941	1.10	0.353
A*E	1	1.558	1.5576	1.5576	1.73	0.259
B*C	1	0.300	0.3003	0.3003	0.33	0.595
B*D	1	1.730	1.7298	1.7298	1.92	0.238
B*E	1	6.753	6.7528	6.7528	7.49	0.052
C*D	1	0.000	0.0002	0.0002	0.00	0.989
C*E	1	5.009	5.0086	5.0086	5.55	0.078
D*E	1	2.576	2.5765	2.5765	2.86	0.166
3-Way Interactions	10	39.560	39.5599	3.9560	4.39	0.083
A*B*C	1	7.527	7.5272	7.5272	8.35	0.045
A*B*D	1	0.611	0.6105	0.6105	0.68	0.457
A*B*E	1	4.147	4.1472	4.1472	4.60	0.099
A*C*D	1	3.188	3.1878	3.1878	3.54	0.133
A*C*E	1	0.396	0.3961	0.3961	0.44	0.544
A*D*E	1	2.365	2.3653	2.3653	2.62	0.181
B*C*D	1	9.267	9.2665	9.2665	10.28	0.033
B*C*E	1	1.037	1.0368	1.0368	1.15	0.344
B*D*E	1	11.022	11.0215	11.0215	12.22	0.025
C*D*E	1	0.001	0.0010	0.0010	0.00	0.975
4-Way Interactions	5	6.678	6.6780	1.3356	1.48	0.362
A*B*C*D	1	1.378	1.3778	1.3778	1.53	0.284
A*B*C*E	1	0.557	0.5565	0.5565	0.62	0.476
A*B*D*E	1	1.345	1.3448	1.3448	1.49	0.289
A*C*D*E	1	0.684	0.6844	0.6844	0.76	0.433
B*C*D*E	1	2.714	2.7145	2.7145	3.01	0.158
5-Way Interactions	1	6.038	6.0378	6.0378	6.70	0.061
A*B*C*D*E	1	6.038	6.0378	6.0378	6.70	0.061
Curvature	1	0.001	0.0008	0.0008	0.00	0.978
Residual Error	4	3.607	3.6067	0.9017		
Pure Error	4	3.607	3.6067	0.9017		
Total	36	178.767				

S = 0.949563 R-Sq = 97.98% R-Sq(adj) = 81.84%

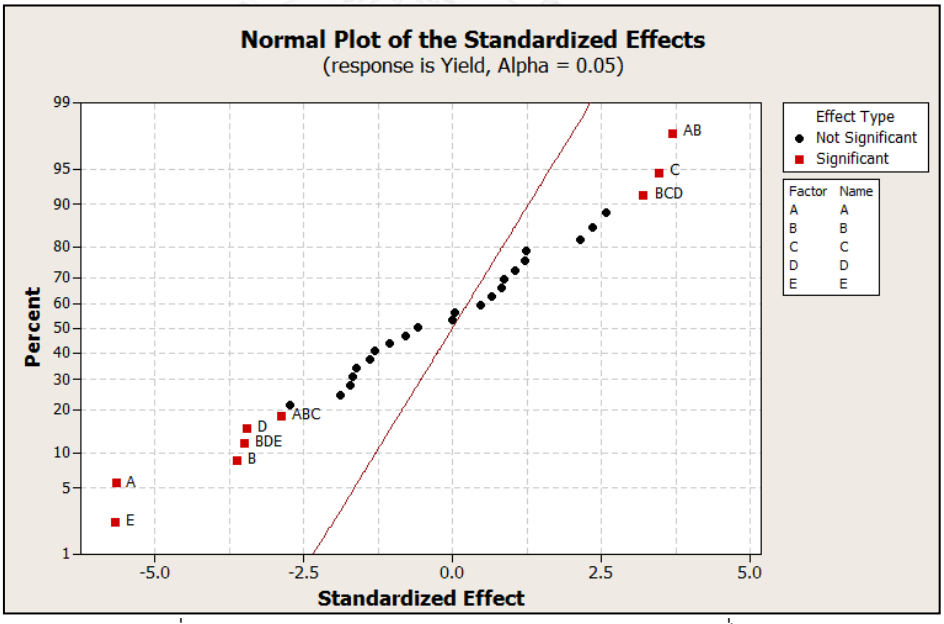
รูปที่ 6. 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A Blue Base

จากรูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ซึ่งในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากค่า P-value หากมีค่าน้อยกว่า 0.05 จะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อผลผลิตที่ได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยจากรูปจะเห็นได้ว่า

1. มีผลจากปัจจัยหลักทั้ง 5 ปัจจัย A , B , C , D และ E คือ อุณหภูมิ (A) , ความเป็นกรด-ด่าง (B) , เวลาในการเติมสารเคมี (C) สำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และ อุณหภูมิ (D) , ความเป็นกรด-ด่าง (E) สำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ให้ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักมีผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

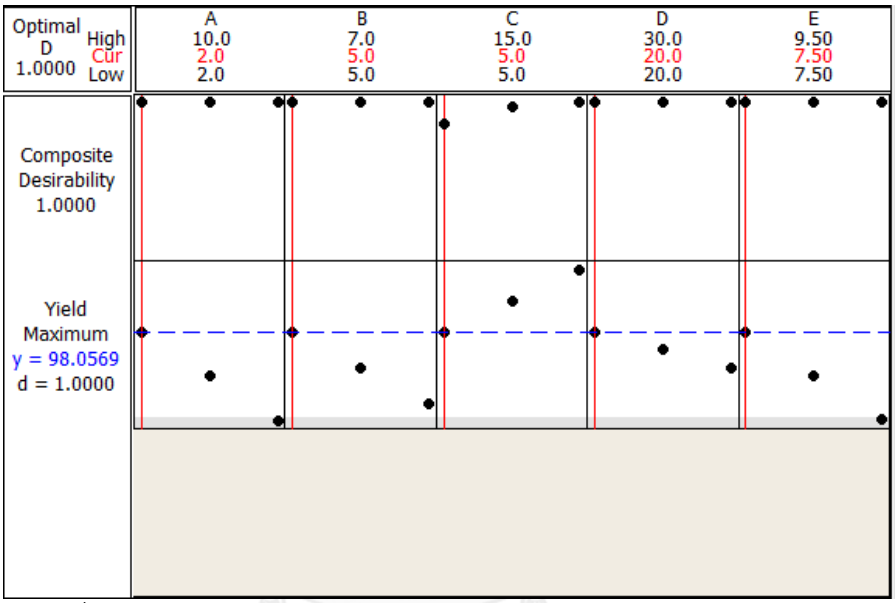
2. มีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยได้แก่ปัจจัย AB ให้ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยมีผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. มีผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่าง 3 ปัจจัย คือ ปัจจัย ABC , BCD และ BDE ให้ค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยมีผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 6. 7 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยต่อผลผลิตที่ได้

จากนั้นนำทั้ง 5 ปัจจัยข้างต้นที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มาหาค่าที่เหมาะสมโดยการใช้โปรแกรม Minitab (Response Optimizer) โดยกำหนดค่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ แบบ Maximize โดยกำหนด Lower ที่ 95 กำหนด Target ที่ 97 และกำหนด Weight ที่ 1 Important ที่ 1 เมื่อกำหนดเป้าหมายให้กับตัวแปรตอบสนอง รวมถึงกำหนดน้ำหนักและความสำคัญแล้ว จะใช้คำสั่ง Response Optimizer ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อหาจุดที่มีความเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 6.8 และตารางที่ 6.3



รูปที่ 6. 8 ค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 3 ค่าที่เหมาะสมสำหรับสภาวะควบคุมในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	ระดับที่เหมาะสม
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (First Condensation)	อุณหภูมิ	℃	2
	ความเป็นกรด-ด่าง	-	5.0
	เวลาในการเติมสารเคมี	นาที	5
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (Second Condensation)	อุณหภูมิ	℃	20
	ความเป็นกรด-ด่าง	-	7.5

เมื่อวิเคราะห์และพิจารณาผลทั้ง 5 ปัจจัย สามารถสรุปได้ว่าค่าที่เหมาะสมหรือระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ที่ทำให้ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท

REACTIVE-A Blue Base มีความผันแปรที่ลดลงและให้ค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง คือ สภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 2 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0 , เวลาในการเติมสารเคมี เท่ากับ 5 นาที และสภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 ดังแสดงในตารางที่ 6.3

6.9 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ทั้งหมด 5 ปัจจัยในแต่ละขั้นตอนการสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง , เวลาในการเติมสารเคมี สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ได้มีการออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟมีความผันแปรที่ลดลง และให้ค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ และมีจำนวน Center point เท่ากับ 5 และทำการทดลองการทดลองละ 1 ครั้ง จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 37 การทดลอง จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักทั้งหมดมีผลต่อค่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 2 และ 3 ปัจจัย โดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ สภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 2 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0 , เวลาในการเติมสารเคมี เท่ากับ 5 นาที และสภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5

บทที่ 7

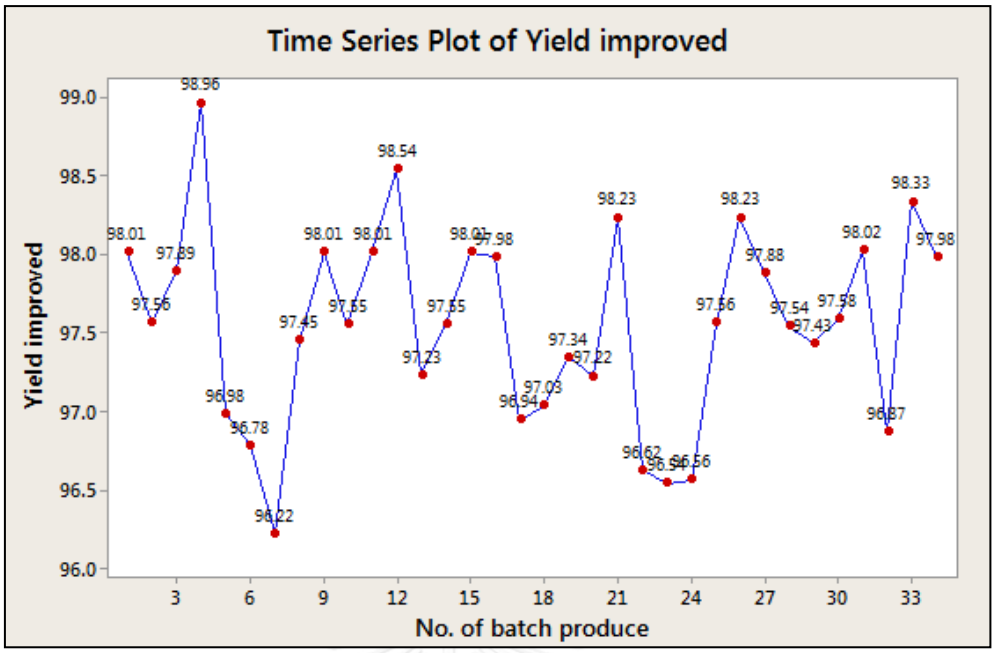
ระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

7.1 บทนำ

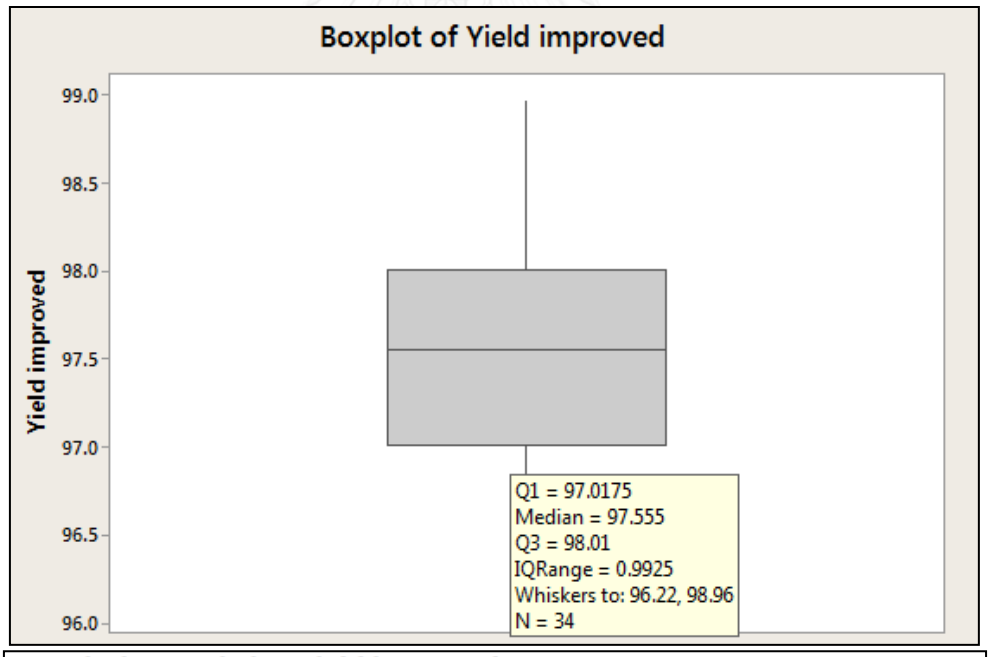
ระยะการควบคุมกระบวนการผลิตถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายสำหรับกระบวนการซิกซ์ ซิกมา โดยในขั้นตอนนี้เป็นการนำแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหามาใช้ในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งนำระดับของปัจจัยที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์และทดลองได้ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้งหมดมาใช้ควบคุมในการผลิตจริงเพื่อยืนยันและวิเคราะห์ผลหลังการปรับปรุง พร้อมทั้งควบคุมกระบวนการในการปฏิบัติงานให้กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base เป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้

7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการนำค่าที่เหมาะสมหรือระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทุกตัวมากำหนดเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตจริง โดยการนัดประชุมกันของทีมงานในหน่วยการผลิตจริงเกี่ยวกับขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงต่างๆ และออกเอกสารในการผลิตโดยอ้างอิงตามสภาวะควบคุมของปัจจัยนำเข้าใหม่ ได้แก่ สภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 2 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0 , เวลาในการเติมสารเคมี เท่ากับ 5 นาที และสภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5 รวมถึงการอธิบายรายละเอียดต่างๆให้กับพนักงานในหน่วยปฏิบัติงานจริงให้รับทราบ หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลค่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ในหน่วยการผลิตจริงทั้งหมด 34 แบทการผลิต เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลกับผลผลิตที่ได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยค่าผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการแสดงดังรูปที่ 7.1 และรูปที่ 7.2 แสดงความผันแปรของผลผลิตที่ได้



รูปที่ 7. 1 ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base



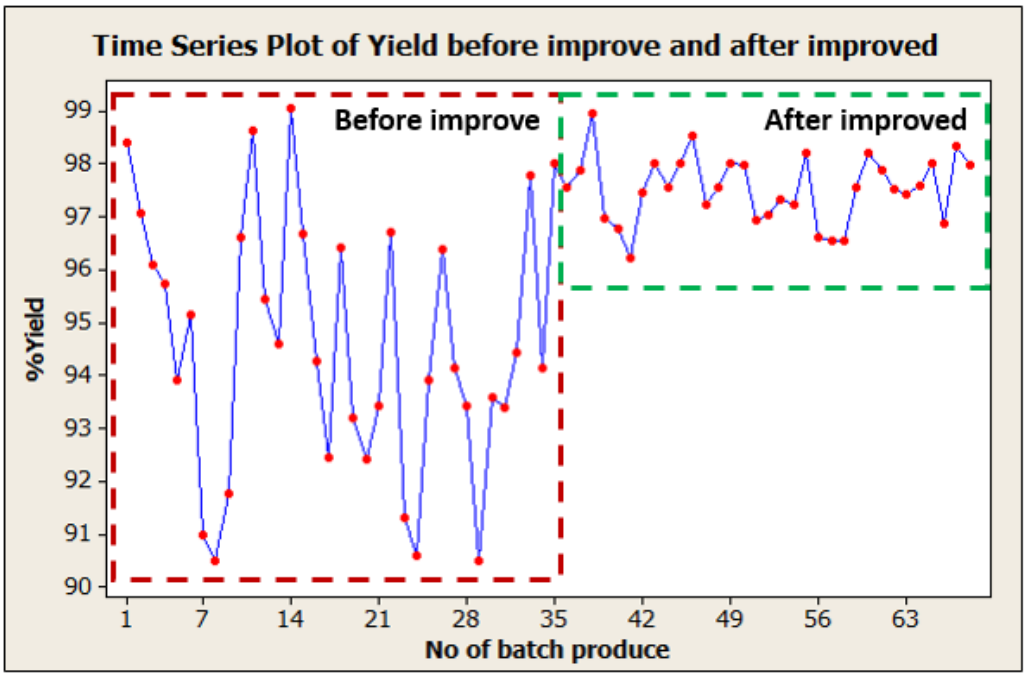
Descriptive Statistics: Yield improved

Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Minimum	Median
Yield improved	34	97.548	0.108	0.630	0.397	0.65	96.220	97.555

Variable	Maximum
Yield improved	98.960

รูปที่ 7. 2 ความผันแปรแบบ Box plot ของผลผลิตสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 7.1 และ 7.2 ให้ค่าผลผลิตอยู่ในช่วง 96.2% - 98.9% (S.D. เท่ากับ 0.63) และให้ค่าผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 97.5% ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 7.3 โดยผลผลิตที่ได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการให้ค่าผลผลิตอยู่ในช่วง 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) และค่าผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 94.4% ซึ่งการปรับระดับและค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษาแสดงการเปรียบเทียบดังตารางที่ 7.1



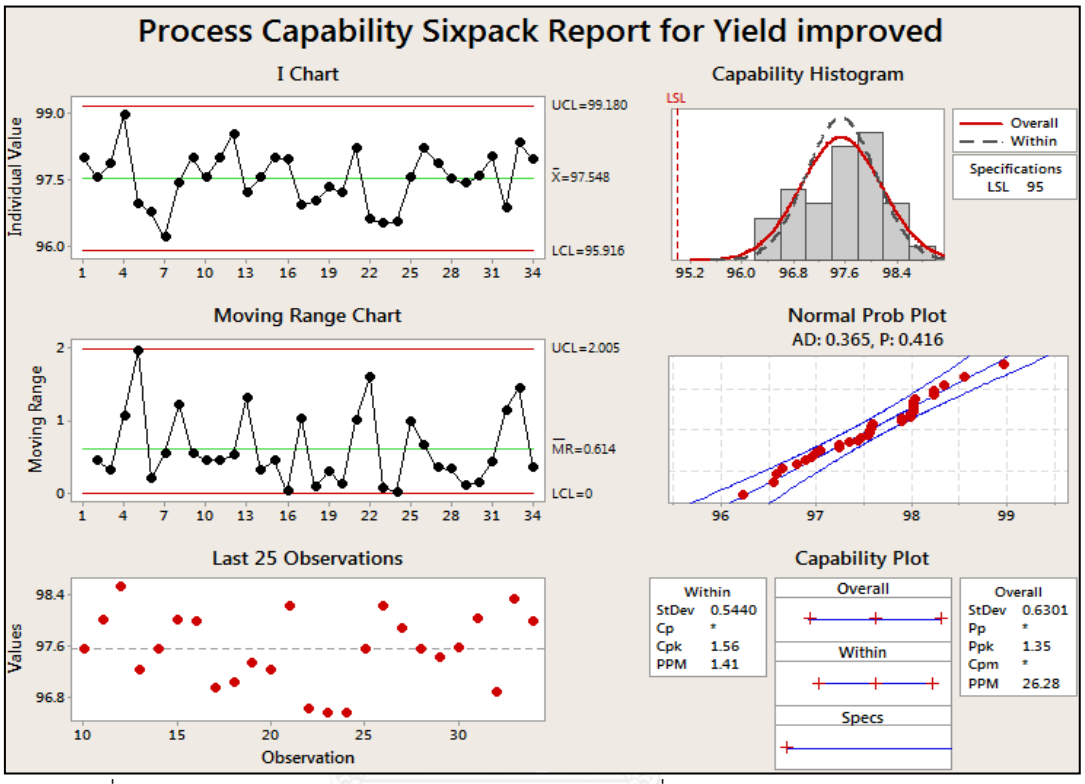
รูปที่ 7. 3 เปรียบเทียบผลผลิตที่ได้ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการในหน่วยผลิตจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7. 1 ผลเปรียบเทียบระดับของปัจจัยนำเข้าก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ขั้นตอนการทำปฏิกิริยา	ปัจจัยนำเข้า	หน่วย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 (First Condensation)	อุณหภูมิ	℃	0	2
	ความเป็นกรด-ด่าง	-	5.5	5.0
	เวลาในการเติมสารเคมี	นาที	15	5
การเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 (Second Condensation)	อุณหภูมิ	℃	20	20
	ความเป็นกรด-ด่าง	-	8.0	7.5

สำหรับข้อมูลผลผลิตที่ได้หลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการ ได้นำข้อมูลผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ในแต่ละครั้งการผลิตมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) โดยแสดงดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7. 4 ความสามารถของกระบวนการด้านผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 7.4 จะเห็นได้ว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ให้ค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cpk) เท่ากับ 1.56 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่มี (Cpk) เท่ากับ -0.08 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ส่งผลให้กระบวนการในการผลิตมีการพัฒนาดีขึ้น

7.3 แนวทางการควบคุมระดับของปัจจัย

จากผลของการนำแนวทางหลังการปรับปรุงกระบวนการเข้าไปในหน่วยผลิตจริงและพบว่าความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base มีค่าลดลง และค่าเฉลี่ยของผลผลิตมีค่ามากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังนั้น จึงมีแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อให้ค่าระดับของปัจจัยสภาวะควบคุมในขั้นตอนการผลิตต่างๆเป็นไปตามแนวทางที่ได้ศึกษามาแล้ว ซึ่งปัจจัยที่ต้องมีการควบคุมได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง , เวลาในการเติม

สารเคมี สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สภาวะในการควบคุมของปัจจัยต่างๆ ทางผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางเพื่อให้พนักงานทุกคนเข้าใจและสามารถปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างถูกวิธีและไปในทิศทางความเข้าใจเดียวกันดังนี้

1. จัดทำเอกสารในการปฏิบัติงาน (Operating Instruction) โดยระบุค่าสภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการผลิตต่างๆ ให้ชัดเจนและง่ายต่อการปฏิบัติตาม

2. พนักงานควบคุมกระบวนการผลิตทำความเข้าใจกระบวนการผลิตและค่าสภาวะควบคุมต่างๆก่อนเริ่มการปฏิบัติงาน

3. พนักงานควบคุมกระบวนการผลิตบันทึกข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต รวมถึงขั้นตอนและสภาวะควบคุมต่างๆ พร้อมทั้งลงเวลาและลงชื่อกำกับในแต่ละขั้นตอนการผลิตอย่างชัดเจน

4. จัดฝึกอบรมพนักงานในการควบคุมกระบวนการผลิตทุกคนให้เข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญในการควบคุมการผลิตให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน

7.4 สรุประยะการควบคุมการผลิต

หลังจากการนำแนวทางการแก้ปัญหาไปปฏิบัติจริงในกระบวนการผลิต โดยนำค่าที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมตามที่มีการกำหนดไว้ มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติจริงในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base เพื่อว่าค่าผลผลิตที่ได้จำนวน 34 แบทการผลิต พบว่าผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์ให้ค่าความผันแปรลดลงจาก 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) ลดเหลือ 96.2% - 98.9% (S.D. เท่ากับ 0.63) และให้ค่าผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 94.4% เป็น 97.5% ซึ่งให้ค่ามากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ในการปรับปรุงกระบวนการนี้ให้ค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cpk) เท่ากับ 1.56 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่มี Cpk เท่ากับ -0.08 พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติงานในการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟประเภท REACTIVE-A Blue Base ตามแนวทางที่พัฒนาและปรับปรุงไว้ โดยมีการจัดทำเอกสารการปฏิบัติงาน (Operating Instruction) และการจัดอบรมเพื่อให้เกิดความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการควบคุมการผลิตให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้าสำหรับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทข้ามชาติที่เข้ามาตั้งและดำเนินธุรกิจในประเทศไทย โดยมุ่งเน้นในการปรับปรุงผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ซึ่งไม่เพียงแค่ลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้เท่านั้น งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นถึงการเพิ่มผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟร่วมด้วย โดยการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์มีการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมผ้ารีแอกทีฟในปัจจุบันให้ผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยให้ค่าผลิตอยู่ระหว่าง 90.4% - 99.1% (S.D. = 2.405 และ Cpk = -0.08) รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 94.5% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ตามที่บริษัทตั้งไว้

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ดำเนินตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน (DMAIC) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและค่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟในแต่ละขั้นตอนและทั้งหมดของกระบวนการ ซึ่งจากการวิเคราะห์ตามหลักการของซิกซ์ ซิกมา ให้ผลหลังปรับปรุงกระบวนการพบว่าค่าความผันแปรของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟมีค่าลดลง ซึ่งให้ค่าระหว่าง 96.2% - 98.9% (S.D. = 0.630 และ Cpk = 1.56) รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 97.5% ซึ่งมากกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง โดยมีบทสรุปในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา

ขั้นตอนการนิยามปัญหา ได้กำหนดปัญหาและขอบเขตของงานวิจัยเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ คือ จากการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจุบันพบว่า กระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ให้ค่าผลผลิตที่มีความผันแปรสูง โดยมีค่าระหว่าง 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) รวมถึงค่าเฉลี่ยของผลผลิตที่ได้มีค่าเท่ากับ 94.5% ซึ่งต่ำกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% โดยปัจจัยหลักที่ได้วิเคราะห์ร่วมกับคณะทำงานและพบว่าส่งผลต่อผลผลิต คือ สภาวะในการทำปฏิกิริยาทางเคมีในแต่ละขั้นตอนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง , ระยะเวลาการเติม

สารเคมี ดังนั้นจุดประสงค์หลักสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในงานวิจัย คือ ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ (Yield) ในเชิงของความผันแปรที่ลดลงจากปัจจุบันและการเพิ่มผลผลิตให้มากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95%

8.3 บทสรุประยะการตรวจวัดปัญหา

ระยะการตรวจวัดปัญหาเป็นขั้นตอนในการหาสาเหตุของปัญหา โดยในงานวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์วัตถุดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base โดยวิเคราะห์ความผันแปรในส่วนของแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน (Supplier A และ B) รวมไปถึงการวิเคราะห์ความแตกต่างของล็อต (Lot) การผลิตในแหล่งที่มาเดียวกันร่วมด้วย (Lot by Lot) โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติทำให้วิเคราะห์ได้ว่าความแตกต่างของล็อตการผลิตจากแหล่งที่มา A ให้ค่าที่ไม่แตกต่างกันในเชิงคุณภาพของวัตถุดิบ เช่นเดียวกันกับวัตถุดิบที่มาจากแหล่งที่มา จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบที่ใช้ในการตรวจวัดคุณภาพของการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟ ได้แก่เครื่องวิเคราะห์ทางเคมี HPLC แสดงให้เห็นว่าจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมดให้ค่า %SV หรือ P/TV เท่ากับ 7.67% ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% จึงสรุปได้ว่าผลการประเมินระบบการวัดนี้ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ นอกเหนือจากระบบการวัดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แล้วนั้น ในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมมีระบบการวัดเพื่อควบคุมสภาวะในการสังเคราะห์ด้วยเช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ระบบการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) , ระบบการวัดอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส และระบบการควบคุมความเป็นกรด-ด่างระหว่างการควบคุมปฏิกิริยาโดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งระบบการวัดค่าดังที่กล่าวมานั้นทางโรงงานกรณีศึกษาและผู้วิจัยมีการสอบเทียบความถูกต้องแม่นยำของระบบการวัดทุกวันก่อนทำการเริ่มกระบวนการสังเคราะห์ โดยเครื่องมือการสอบเทียบนั้นเป็นไปตามมาตรฐานการรับรองและระบบ ISO 9001 ดังนั้นระบบการวัดนั้นสามารถให้ค่าการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นใช้การระดมสมองของทีมงานเพื่อหาสาเหตุเพื่อหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผลซึ่งได้ปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด 24 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่ได้มาคัดกรองด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix เพื่อให้คะแนนตามลำดับความสำคัญของปัจจัย ทำให้คัดเหลือ 8 ปัจจัยเพื่อนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และให้คะแนนเพื่อคำนวณค่า RPN ทำให้พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เหมาะสม , เวลาในการเติมสารเคมีไม่เหมาะสม , ความเป็นกรด-ด่าง ไม่เหมาะสม และ อุณหภูมิไม่เหมาะสม ซึ่งจาก 4 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่ผ่านการคัด

กรองและวิเคราะห์ว่าส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างแท้จริง โดยในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำปัจจัยทั้ง 4 เป็นปัจจัยหลักในการใช้ออกแบบการทดลอง

8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์เพื่อสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าองค์ประกอบทางเคมีที่ได้ในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 โดยการนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองจากเครื่องมือทางสถิติต่างๆมาทดสอบสมมติฐานโดยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken โดยมีการนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการเติมสารเคมี สำหรับขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการทำปฏิกิริยา มาออกแบบการทดลองได้ทั้งหมด 15 การทดลองในแต่ละขั้นตอน จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลเชิงสถิติพบว่า ในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 มีปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งสิ้น 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลาในการเติมสารเคมี และในขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 มีปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งสิ้น 2 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้านี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมเพื่อให้เป็นค่าระดับในการออกแบบการทดลองแบบรวมขั้นตอนของกระบวนการทั้งหมดหลังจากมั่นใจแล้วว่าในแต่ละขั้นตอนกระบวนการเติมหมู่เกาะผ้าได้ผลเป็นไปตามคุณภาพที่ตั้งไว้ และวัดตัวแปรตอบสนองออกมาเป็นผลผลิตต่อไป

8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ทั้งหมด 5 ปัจจัยในแต่ละขั้นตอนการสังเคราะห์ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง , เวลาในการเติมสารเคมี สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และ อุณหภูมิ , ความเป็นกรด-ด่าง สำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ได้มีการออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมรีแอกทีฟมีความผันแปรที่ลดลง และให้ค่าเฉลี่ยมากกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง โดยทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ และมีจำนวน Center point เท่ากับ 5 และทำการทดลองการทดลองละ 1 ครั้ง จึงมี

จำนวนการทดลองทั้งหมด 37 การทดลอง จากการทดลองพบว่าปัจจัยหลักทั้งหมดมีผลต่อค่าผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีผลกระทบของปัจจัยร่วมทั้ง 2 และ 3 ปัจจัย โดยระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ สภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 2 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.0 , เวลาในการเติมสารเคมี เท่ากับ 5 นาที และสภาวะควบคุมสำหรับขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 2 ให้สภาวะควบคุมของอุณหภูมิ เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส , ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.5

8.6 บทสรุประยะการควบคุมการผลิต

ระยะสการติดตามและควบคุมกระบวนการผลิต หลังจากการนำแนวทางการแก้ปัญหาไปปฏิบัติจริงในกระบวนการผลิต โดยนำค่าที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมตามที่มีการกำหนดไว้ มาใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติจริงในกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base เพื่อว่าค่าผลผลิตที่ได้จำนวน 34 แบทการผลิต พบว่าผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์ให้ค่าความผันแปรลดลงจาก 90.4% - 99.1% (S.D. เท่ากับ 2.40) ลดเหลือ 96.2% - 98.9% (S.D. เท่ากับ 0.63) และให้ค่าผลผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 94.4% เป็น 97.5% ซึ่งให้ค่ามากกว่าค่าผลผลิตคาดหวังที่ 95% ในการปรับปรุงกระบวนการนี้ให้ค่าความสามารถของกระบวนการที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cpk) เท่ากับ 1.56 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่มี Cpk เท่ากับ -0.08 พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติงานในการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ตามแนวทางที่พัฒนาและปรับปรุงไว้ โดยมีการจัดทำเอกสารการปฏิบัติงาน (Operating Instruction) และการจัดอบรมเพื่อให้เกิดความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการควบคุมการผลิตให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

8.7 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้พบข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ในกระบวนการเก็บข้อมูลหลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตในหน่วยการผลิตจริงนั้น ในระดับโรงงานต้องรอรอบการผลิตสำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base ซึ่งมีรอบการผลิต 1 ครั้งต่อเดือน จึงส่งผลต่อระยะเวลาในการทำงานวิจัย

2. ในกระบวนการสังเคราะห์ในระดับปฏิบัติการต้องมีการทำการทดลองหลายการทดลองต่อวัน และใช้เวลาหลายวันอาจได้ข้อมูลในการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อย รวมถึงในกระบวนการสังเคราะห์ในระดับปฏิบัติการใน 1 การทดลองใช้เวลานานและมีหลายปัจจัยทำให้สามารถออกแบบการทดลองได้เพียง 1 การทดลอง (ไม่มีการทดลองซ้ำ) ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมาจากส่วนนี้ร่วมด้วยเพียงเล็กน้อย

8.8 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยมีดังนี้

1. ในงานวิจัยการปรับปรุงกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base นี้ สามารถลดความผันแปรของผลผลิตที่ได้และเพิ่มผลผลิตที่ได้มากกว่าค่าผลผลิตคาดหวัง ดังนั้นหากมีการศึกษาในผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นของทางบริษัทโดยใช้แนวทางการศึกษาเช่นเดียวกันนี้ จะเป็นประโยชน์มากขึ้น

2. ในงานวิจัยนี้หากมีการศึกษาถึงปัจจัยนำเข้าอื่นสำหรับขั้นตอนการสังเคราะห์อื่นๆ ที่สามารถส่งผลทำให้ผลผลิตที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้น และความผันแปรลดลงจากเดิม จะเป็นประโยชน์มากยิ่งขึ้นในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการและคุณภาพ

3. ในงานวิจัยนี้พบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยาของกระบวนการสังเคราะห์สีย้อมประเภท REACTIVE-A Blue Base สามารถลดเวลาลงได้จากกระบวนการผลิตปัจจุบัน ซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการผลิตทำให้สามารถลดเวลาในการผลิตได้ และทำให้กำลังการผลิตต่อวันเพิ่มมากขึ้น หากมีการศึกษาถึงรายละเอียดเพิ่มเติม

4. การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตสำหรับงานวิจัยนี้ สามารถทำการศึกษาการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองในส่วนการวิเคราะห์ปัจจัยของขั้นตอนการเติมหมู่เกาะผ้าครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 แทนที่การใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบถึงผลการทดลองที่ได้มีความเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ณัฐพร สุขป้อม (2556). การลดความแปรปรวนของค่าความขาวสว่างของเยื่อที่ส่งโรงกระดาษ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิชา แสนสม (2551). การลดของเสียที่เป็นเม็ดฝุ่นในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าพลาสติกของรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธิดารัตน์ ธัญญรักษ์ (2558). การลดเวลาการหมุนเวียนน้ำชะล้างเรซินในการผลิตน้ำปราศจากแร่ธาตุ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพดนัย ขจรไพศาล (2556). ผลของการใช้น้ำยาต้มเยื่อที่ถูกออกซิไดส์ที่ขั้นตอนการฟอกเยื่อด้วยเปอร์ออกไซด์ในโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ (2557). การปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา.

ปรียาวดี ผลเอนก (2558). การจัดการคุณภาพ. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

ศิรเวทย์ อัศวไชยวงศ์ (2556). การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชู่ประเภทกระดาษชำระม้วนใหญ่ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Chattopadhyay D. P. and Chaudhary R. (1997). "Chemistry and Application of reactive dye." Man-Made Textiles in India **40**: 495-504.

Coronado B. R. and Antony J. (2002). Critical Success Factors for the Successful Implementation of Six Sigma Project in Organisations, The TQM magazine.

Harry M. and Schroeder R. (2006). Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporation. The United States of America, Doubleday.

Indrawati S. and Ridwansyah M. (2015). "Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application." Procedia Manufacturing **4**: 528-534.

Kalontarov I. Y. and Kalandarov B. D. (1993). "Bactericidal reactive dyes: Use in bactericidal polymeric fabrics." International Journal of Polymeric Mateials **19**(3-4): 209-214.

Kapadia R. S. and et al. (2016). "Impact of lean six sigma process improvement methodology on cardiac catheterization laboratory efficiency." Cardiovascular Revascularization Medicine **17**: 95-101.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kim M. and et al. (2003). "Quality Improvement in the Chemical Process Industry using Six Sigma Technique." Computer Aided Chemical Engineering **15**: 244-249.

Linderman K. and et al. (2008). "Six Sigma: Defination and Underlying Theory." Journal of Operation Management **26**: 536-554.

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

Seshadri S. and et al (2000). "Six Sigma: Using Statistics to Reduce Process Variability and Costs in Radiology." Radiology Management **22**: 42-49.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ข้อมูลระยะนิยามปัญหา

ตาราง ก.1 ข้อมูลผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A
ตาราง ก.2 ความต้องการของลูกค้าต่อปีสำหรับสีย้อมผ้าประเภท REACTIVE-A และ B
ตาราง ก.3 ราคาต่อกิโลกรัมสำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A และ B

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ก.1 ข้อมูลผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A

ลำดับการผลิต (Batch No.)	**ผลผลิต (%)**	**ลำดับการผลิต (Batch No.)**	**ผลผลิต (%)**
1	98.4	18	96.4
2	97.1	19	93.2
3	96.1	20	92.4
4	95.7	21	93.4
5	93.9	22	96.7
6	95.2	23	91.3
7	91.0	24	90.6
8	90.5	25	93.9
9	91.8	26	96.4
10	96.6	27	94.2
11	98.6	28	93.4
12	95.4	29	90.5
13	94.6	30	93.6
14	99.1	31	93.4
15	96.7	32	94.4
16	94.3	33	97.8
17	92.4	34	94.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ก.2 ความต้องการของลูกค้าต่อปีสำหรับสีย้อมผ้าประเภท REACTIVE-A และ B

ผลิตภัณฑ์สีย้อม	ความต้องการ (กิโลกรัม)	ผลิตภัณฑ์สีย้อม	ความต้องการ (กิโลกรัม)
REACTIVE-A Blue Base	248,762	REACTIVE-A Brown	31,676
REACTIVE-A YELLOW IV	98,040	REACTIVE-A YELLOW III	29,842
REACTIVE-A YELLOW I	80,536	REACTIVE-A Olive	25,180
REACTIVE-A RED I	70,402	REACTIVE-A SCARLET	25,161
REACTIVE-B Yellow	47,500	REACTIVE-A YELLOW V	20,530
REACTIVE-A Orange I	47,255	REACTIVE-B Orange	16,475
REACTIVE-A YELLOW VI	41,264	REACTIVE-A Blue	12,531
REACTIVE-B Red	37,000	REACTIVE-A YELLOW II	10,991
REACTIVE-A RED II	36,900	REACTIVE-A Brilliant Blue II	10,289
REACTIVE-B Blue	34,095	REACTIVE-A Orange II	9,129
REACTIVE-A Brilliant Blue I	32,713		

ตาราง ก.3 ราคาต่อกิโลกรัมสำหรับสีย้อมประเภท REACTIVE-A และ B

ผลิตภัณฑ์สีย้อม	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)	ผลิตภัณฑ์สีย้อม	ราคาต่อกิโลกรัม (บาท)
REACTIVE-B Orange	717.09	REACTIVE-A Brown	419.12
REACTIVE-A Yellow II	534.22	REACTIVE-A Yellow IV	384.50
REACTIVE-A Blue Base	525.88	REACTIVE-A Orange I	367.06
REACTIVE-A Olive	515.25	REACTIVE-A Yellow III	344.31
REACTIVE-A Yellow VII	509.95	REACTIVE-A Red	309.07
REACTIVE-A Yellow VI	496.84	REACTIVE-A Yellow I	282.82
REACTIVE-A Brilliant Blue II	478.93	REACTIVE-A Yellow V	265.17
REACTIVE-B Red	431.34	REACTIVE-B Yellow	220.61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ค่าการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ตาราง ข.1 ผลการให้คะแนนตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ข.1 ผลการให้คะแนนตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

No.	Area cause	Process Input		ผู้จัดการฝ่ายผลิต	นักเคมีฝ่ายผลิต	วิศวกรฝ่ายผลิต	พนักงานฝ่ายผลิต
1	Man	พนักงานในสายการผลิต	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3	1	1	1
2			ขาดความรู้,ความชำนาญ,ความเข้าใจ	3	1	1	1
3		พนักงานในสายควบคุมคุณภาพ	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3	1	1	1
4			ขาดความรู้,ความชำนาญ,ความเข้าใจ	3	1	1	1
5	Material	สารตั้งต้นหมูให้สี	คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี	3	3	3	3
6			คุณภาพไม่ผ่าน Specification	3	9	3	3
7			มีสารอื่นเจือปน	3	3	1	1
8		สารตั้งต้นหมูเกาะผ้า I	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	3	9	3	3
9			มีสารอื่นเจือปน	3	3	1	1
10		สารตั้งต้นหมูเกาะผ้า II	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	3	9	3	3
11			มีสารอื่นเจือปน	3	3	1	1
12	Machine	ระบบท่อ	รั่วซึม	3	1	1	1
13			มีสารอื่นเจือปน	3	3	3	3
14		ใบกวน	ชำรุดและเสื่อมสภาพ	3	1	3	3
15		ถังทำปฏิกิริยา	มีสารอื่นเจือปน	3	3	3	3
16	Measurement	ระบบวัดน้ำหนักของสารเคมี	ความถูกต้องและแม่นยำ	3	3	3	3
17		ระบบวัดปริมาตร	ความถูกต้องและแม่นยำ	3	1	1	1
18		ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง	ความถูกต้องและแม่นยำ	9	9	3	3
19		เครื่องมือวัดทางเคมี HPLC	ความถูกต้องและแม่นยำ	3	1	1	1
20	Method	เวลาการควบคุมปฏิกิริยา	ไม่เหมาะสม	9	9	3	3
21		เวลาการเติมสารเคมี	ไม่เหมาะสม	9	9	3	3
22		ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่เหมาะสม	9	9	3	3
23		อุณหภูมิ	ไม่เหมาะสม	9	9	3	3
24	Environment	สภาวะอากาศ	อุณหภูมิและความชื้น	0	0	0	0

ตาราง ข.1 ผลการให้คะแนนตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) (ต่อ)

No.	Area cause	Process Input		ผู้จัดการฝ่ายควบคุม	นักวิเคราะห์คุณภาพ	พนักงานฝ่ายควบคุม	นักพัฒนากระบวนการผลิต
1	Man	พนักงานในสายการผลิต	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3	3	3	9
2			ขาดความรู้,ความชำนาญ,ความเข้าใจ	1	1	3	3
3		พนักงานในสายควบคุมคุณภาพ	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงาน	3	3	3	9
4			ขาดความรู้,ความชำนาญ,ความเข้าใจ	1	1	3	3
5	Material	สารตั้งต้นหมู่ให้สี	คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี	1	3	3	3
6			คุณภาพไม่ผ่าน Specification	9	9	9	9
7			มีสารอื่นเจือปน	3	3	3	9
8		สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า I	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	9	9	9	9
9			มีสารอื่นเจือปน	3	3	3	9
10		สารตั้งต้นหมู่เกาะผ้า II	คุณภาพไม่ผ่าน Specification	9	9	9	9
11			มีสารอื่นเจือปน	3	3	3	9
12	Machine	ระบบท่อ	รั่วซึม	3	3	3	9
13			มีสารอื่นเจือปน	1	3	3	3
14		ใบกวน	ชำรุดและเสื่อมสภาพ	1	1	3	3
15		ถังทำปฏิกิริยา	มีสารอื่นเจือปน	3	3	3	3
16	Measurement	ระบบวัดน้ำหนักของสารเคมี	ความถูกต้องและแม่นยำ	1	3	3	3
17		ระบบวัดปริมาตร	ความถูกต้องและแม่นยำ	1	1	3	3
18		ระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง	ความถูกต้องและแม่นยำ	9	9	9	9
19		เครื่องมือวัดทางเคมี HPLC	ความถูกต้องและแม่นยำ	3	3	3	9
20	Method	เวลาการควบคุมปฏิกิริยา	ไม่เหมาะสม	9	9	9	9
21		เวลาการเติมสารเคมี	ไม่เหมาะสม	9	9	9	9
22		ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่เหมาะสม	9	9	9	9
23		อุณหภูมิ	ไม่เหมาะสม	9	9	9	9
24	Environment	สภาวะอากาศ	อุณหภูมิและความชื้น	0	0	0	1

ภาคผนวก ค

การควบคุมการผลิต

ตาราง ค.1 ข้อมูลผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A ก่อนและหลังการปรับปรุง

ตาราง ค.2 ตัวอย่างคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ค.1 ข้อมูลผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A ก่อนและหลังการปรับปรุง

ลำดับการผลิต (Batch No.)	**ผลผลิต (%)**	**ลำดับการผลิต (Batch No.)**	**ผลผลิต (%)**
1	98.4	1	98.0
2	97.1	2	97.6
3	96.1	3	97.9
4	95.7	4	99.0
5	93.9	5	97.0
6	95.2	6	96.8
7	91.0	7	96.2
8	90.5	8	97.5
9	91.8	9	98.0
10	96.6	10	97.6
11	98.6	11	98.0
12	95.4	12	98.5
13	94.6	13	97.2
14	99.1	14	97.6
15	96.7	15	98.0
16	94.3	16	98.0
17	92.4	17	96.9
18	96.4	18	97.0
19	93.2	19	97.3
20	92.4	20	97.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ค.1 ข้อมูลผลผลิตที่ได้จากการสังเคราะห์สีย้อม REACTIVE-A ก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับการผลิต (Batch No.)	**ผลผลิต (%)**	**ลำดับการผลิต (Batch No.)**	**ผลผลิต (%)**
21	93.4	21	98.2
22	96.7	22	96.6
23	91.3	23	96.5
24	90.6	24	96.6
25	93.9	25	97.6
26	96.4	26	98.2
27	94.2	27	97.9
28	93.4	28	97.5
29	90.5	29	97.4
30	93.6	30	97.6
31	93.4	31	98.0
32	94.4	32	96.9
33	97.8	33	98.3
34	94.1	34	98.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง ค.2 ตัวอย่างคู่มือการปฏิบัติงานสำหรับการผลิต

Property of	Manufacturing Procedure			Page	
Product	REACTIVE-A Blue Base			Item	
Authors		Site		Date	
Replaces		Building		Rev. No.	

	3.8 FIRST CONDENSATION AND SECOND CONDENSATION	STEP
	CHECK THE SCRUBBER IS IN OPERATION	1
	VESSEL CHECK: EMPTY AND CLEAN BOTTOM VALVE CLOSED START THE SCRUBBER PUMP CHECK THE N_2 PRESSURE ICE AVAILABLE(MIN 5 TONS)	2
	CHECK THE TRANSFER LINE FROM R-104	3
	INSTALL pH METER IN OPERATION POSITION	4
	RECEIVE FAST THE **XXXXXXXXXXXXXX** SOLUTION	5
XXXX LT	ADD SOFT WATER FOR DILUTION	6
QUALITY	EXACT QUANTITY OF ICE IS IMPORTANT, MUST LOADING THE QUANTITY OF ICE COMPLETLY	
	CHECK pH OF SOLUTION, CONTROL pH 9.5-10.0(ADJUST IN RANGE IF REQUIRE) WITH	
XX LT	**CAUSTIC LYE 20% (Prod.No.1000011219)**	7
	"Nitrogen low flow 1 min and high flow 5 min CF3 line flushing"	8
XX KG	ADD ICE	9
	KEEP A SAMPLE AND SENT TO IPC FOR - CHECK CONTENT OF XXXXX BY ARGUS (SHOULD BE AROUND 15 – 18% BEFORE MAKE A REACTION)	10(IPC)
QUALITY	***SET THE AGITATOR TO THE MAXIMUM SPEED***	
	CHECK PIPE FROM THE VESSEL: AMINE RECEIVER 2 IS CORRECT CONNECTED	11
XX KAI	IMMEDIATELY RECEIVE IN 10-20 MINUTES **XXXXXXXXX**	12
	AT THE SAME TIME, IF pH LOWER THAN 5.5, CONTROL pH 5.5 WITH	
XX LT	**CAUSTIC LYE 20% (Prod.No. 1000011219)** R003=15-20% (CONTROL pH DURING RECEIVE XXXXXX)	13
QUALITY	THE CONSUMPTION OF CAUSTIC LYE 20% MUST BE AROUND 33-55 LT, IF CONSUMPTION IS OUT OF THIS RANGE CAN LEAD TO DEVIATION(TOO LITTLE OR TOO MUCH OF XXXXXXX, WRONG pH FROM XXXXXX SOLUTION)	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนภัทร สุวณิชย์ เกิดเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2532 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ในปี พ.ศ. 2556 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งนักเคมีพัฒนากระบวนการ แผนกการวิจัยพัฒนากระบวนการและผลิตภัณฑ์ในบริษัทเอกชนข้ามชาติแห่งหนึ่ง และในปี 2558 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University