การสังเคราะห์ความเป็นเอกภาพของสารประกอบไอโซอินดิโกที่
หมู่แทนที่ต่างกันด้วยปฏิกิริยาซูซูกิ-มิยาอุระ

ชยพล พิมพะสาลี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557

การลดความเบี่ยงเบนของร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบที่หน่วยเติมสารเติมแต่งในการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

นายชนินทร์วุฒิ กาลจักร
นายธฤต อุสาหะนันท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reduction of Percentage of Anionic Detergent Deviation at Post Dosing Unit of a Standard Laundry Detergent Production

CHANINWUT KALAJUCK

TARIT USAHANUNTH

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การลดความเบี่ยงเบนของร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบที่หน่วยเติมสารเติมแต่งในการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน
โดย	นายชนินทร์วุฒิ กาลจักร นายธฤต อุสาหะนันท์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาการลดความเบี่ยงเบนของร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบ (% Active detergent: %AD) ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน การวิเคราะห์ %AD ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอก ความสามารถของกระบวนการพิจารณาที่ 4 หน่วยการผลิต ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน และถังผสมสารเติมแต่ง ด้วยหลักการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากโปรแกรม Minitab 17 พบว่าเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ที่ถังผสมสารเติมแต่งมากที่สุด จากนั้นพิจารณาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ที่ถังผสมสารเติมแต่งโดยการระดมสมอง แผนผังแสดงสาเหตุและผล และใช้การออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป 2 ระดับ ในโปรแกรม Minitab 17 ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ถังผสมสารเติมแต่ง ได้แก่ อัตราการป้อนผงพื้นฐาน ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสม และเวลาการผสม เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าเวลาการผสมมีนัยสำคัญมากกว่าความเร็วรอบในการหมุนของถังผสม ส่วนอัตราการป้อนผงพื้นฐานไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลอง คือ ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง 8 รอบต่อนาที และระยะเวลาการผสม 100 วินาที ที่อัตราการป้อนผงพื้นฐานคงที่ 18 ตันต่อชั่วโมง พบว่าค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกลดลงจาก 1.10 เป็น 0.43 (บริษัทกำหนดพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกไม่เกิน 0.5) และมีดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Cp) เพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 1.51 ส่วนดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เพิ่มขึ้นจาก 0.70 เป็น 1.36 คำนวณต้นทุนสูญเปล่าในเทอมของการใช้ผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน ประมาณ 35.7 ล้านบาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Reduction of Percentage of Anionic Detergent Deviation at Post Dosing Unit of a Standard Laundry Detergent Production
By	Mr. Chaninwut Kalajuck
	Mr. Tarit Usahanunth
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2014
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

ABSTRACT

This project studied the reduction of deviation of % anionic detergent or % active detergent (%AD) of standard laundry detergent. The percentage of anionic detergent indicates washing efficiency of the detergent. The process capability analysis was applied to 4 process units, i.e., spray dryer, airlift, detergent base powder sizer, and drum mixer. According to the process capability analysis, the highest deviation of %AD of the detergent was obviously observed at the drum mixer. The significant parameters at the drum mixer were subsequently considered by brain storming, the cause and effect diagram and finally by the 2^k-full factorial design of experiment from the Minitab 17 software. The concerning parameters at the drum mixer were feed rate of base powder, rotational speed of the drum mixer, and mixing time. For a 95%-confidence level by the Minitab 17 software, the mixing time was found to be more significant than the rotational speed of the drum mixer, while the feed rate of base powder was insignificant. The optimal operating conditions were achieved at the mixing time of 100 s, the rotational speed of the drum mixer of 8 rpm with a constant feed rate of detergent base powder of 18 tons/h. As the result, the average deviation of %AD of the detergent decreased from 1.01 to 0.43 (the control specification of the deviation of %AD of the detergent should not greater than 0.5). Additionally, it was found that the potential capability index (C_p) increased from 0.85 to 1.51, and the process performance capability index (C_{pk}) increased from 0.70 to 1.36. Opportunity cost in terms of the difference of base powder before and after applying the optimum operating conditions of the drum mixer was approximately 35.7 million baht/year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ผลิตภัณฑ์ซักผ้า 5
2.2 ส่วนประกอบในผงซักฟอก 5
2.3 กลไกการชำระล้างของผงซักฟอก 7
2.4 กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 8
2.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) 10
2.6 แผนผังแสดงสาเหตุและผล 12
2.7 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments: DOE) 13
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 18
3.1 การศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 18
3.2 การประเมินส่วนการผลิตหลักที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD 18
3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD 19
3.4 การหาภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 21

4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 21

4.2 ร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ก่อนการดำเนินงาน 27

4.3 ส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD 28

4.4 ปัจจัยที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 31

4.5 ความสัมพันธ์ของปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งกับ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 33

4.6 ผลวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ถังผสมสารเติมแต่ง 36

4.7 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน 37

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อสังเกต 40

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 40

5.2 ข้อสังเกต 41

บรรณานุกรม 42

ภาคผนวก 44

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณภาพของผงพื้นฐานด้วย Unilever Standard Method Analysis 45

ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ 49

ภาคผนวก ค การคำนวณต้นทุนสูญเปล่า 54

ประวัติผู้เขียน 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 พิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผงพื้นฐานและผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 10
2.2 ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ 11
2.3 เกณฑ์การประเมินค่า Cpk 12
4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 22
4.2 ความหมายของสัญลักษณ์จากแผนผังกระบวนการผลิต 26
4.3 Cp และ Cpk ที่ส่วนการผลิตหลักของกระบวนผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 30
4.4 ค่าของตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่ใช้ทดสอบ 34
ข.1 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอก สูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่ง (การทดสอบที่ 1 ถึง 4 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557) 50
ข.2 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอก สูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่ง (การทดสอบที่ 5 ถึง 8 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557) 51
ข.3 ข้อกำหนดเฉพาะคุณภาพผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน 52
ค.1 ค่าเฉลี่ยของ %AD ก่อนและหลังการดำเนินงานเทียบเป็นปริมาณผงพื้นฐาน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 %AD ของตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งในหน่วยเติมสารเติมแต่ง ...3

2.1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของผงซักฟอก ...6

2.2 กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ...8

2.3 ลักษณะของกราฟ Cp สำหรับการกระจายของกระบวนการ ...11

2.4 การกระจายของข้อมูลกับพิกัดข้อกำหนด ...12

2.5 ลักษณะของแผนผังแสดงสาเหตุและผล ...13

4.1 %AD ของตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน จำนวน 349 ตัวอย่าง ...28

4.2 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ...28

4.3 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ ...29

4.4 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน ...29

4.5 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่ถังผสมสารเติมแต่ง ...29

4.6 ผลการวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน จำนวน 94 ตัวอย่าง ...31

4.7 แผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ...31

4.8 แผนภูมิพาเรโตแสดงตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีนัยสำคัญต่อการเบี่ยงเบนของ %AD ...34

4.9 Main effects plot ของตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ...35

4.10 ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ถังผสมสารเติมแต่ง ...35

4.11 ผลการวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งหลังการดำเนินงาน จำนวน 94 ตัวอย่าง ...36

4.12 %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนและหลังการดำเนินงาน ...37

4.13 ความชื้นของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน ...37

4.14 % Fine ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน ...38

4.15 % Course ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน ...38

4.16 Bulk density (BD) ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน ...39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง เป็นบริษัทร่วมทุนระหว่างอังกฤษ - เนเธอร์แลนด์ กลุ่มยูนิลีเวอร์มีกิจการอยู่ใน 150 ประเทศทั่วโลก และมีบริษัทในเครือมากกว่า 500 บริษัท บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคและบริโภคภายใต้เครื่องหมายการค้าชั้นนำหลายชนิด สินค้าที่ผลิต 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน เช่น สารซักฟอก น้ำยาล้างจาน 2) ผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ส่วนบุคคล เช่น แชมพู สบู่ ครีมอาบน้ำ ครีมนวดผม ครีมทาผิว ยาสีฟัน และ 3) ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม เครื่องปรุงรส สารซักฟอกมีทั้งชนิดผงและชนิดของเหลว ผงซักฟอกที่ผลิตมี 2 ชนิด ได้แก่ ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน และผงซักฟอกสูตรเข้มข้น งานวิจัยนี้ได้รับมอบหมายให้ศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วยหน่วยการผลิต 3 หน่วย คือ หน่วยผลิตผงมาตรฐาน หน่วยเติมสารเติมแต่ง และหน่วยบรรจุผลิตภัณฑ์

ความแตกต่างระหว่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและผงซักฟอกสูตรเข้มข้น คือ ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานผลิตจากการผสมวัตถุดิบให้เป็นสเลอรี่แล้วส่งเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ผงที่ออกจากขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย เรียกว่า "ผงพื้นฐาน" ซึ่งหลังจากเติมสารเติมแต่งแล้วจะได้ผงซักฟอก ส่วนผงซักฟอกสูตรเข้มข้นผลิตจากการผสมวัตถุดิบที่เป็นของแข็งให้ได้ผงพื้นฐานโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการผสมสเลอรี่และการอบแห้งแบบพ่นฝอย ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นมีประสิทธิภาพการซักล้างสูงกว่าผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ประสิทธิภาพการซักล้างของสารซักฟอกแสดงด้วยร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบ (%Active detergent: %AD)

พิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่บริษัทควบคุมตามสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น ความหนาแน่นรวม (Bulk density) 0.5-0.65 ความชื้น 2.0-6.0% และ %AD 18-22% (ค่าเบี่ยงเบนของ %AD ไม่เกิน 0.5%) หาก %AD ต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะบริษัทจะส่งผงซักฟอกเป็นรีเวิร์คกลับเข้ากระบวนการผลิต ทำให้เกิดต้นทุนสูญเปล่าและค่าเสียโอกาส เช่นในปี 2557 คำนวณความสูญเสียได้ประมาณ 35.7 ล้านบาท/ปี

ทีมวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เรียนรู้และพัฒนางานวิจัยกับบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด มาตลอด เช่น งานควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ การแก้ปัญหากระบวนการผลิตทั้งที่เกี่ยวกับสารซักฟอก และผลิตภัณฑ์อื่น เช่น

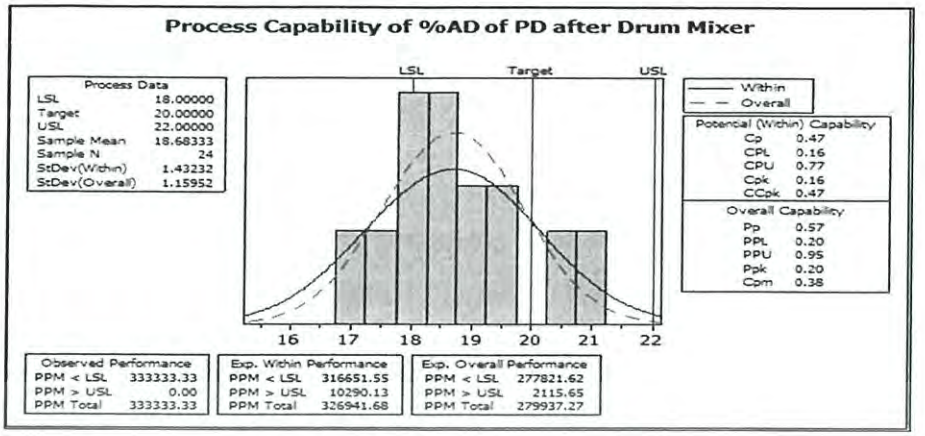
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า [2551] ศึกษาการลดความสูญเสียกรดซัลโฟนิกและการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ผลการดำเนินงานสามารถลดการใช้กรดซัลโฟนิกลง 50 % จากปริมาณที่ใส่เกินจากปฏิกิริยา ปัจจัยที่ศึกษาสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอก ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน และอัตราเร็วรอบของใบกวนที่ถังผสมสเลอรี่ ภาวะการปฏิบัติงานที่ทำให้ค่า % AD เข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่บริษัทกำหนด คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน 132 วินาที และอัตราเร็วรอบของใบกวน 70 รอบต่อนาที

กฤตนารี บุญเรือง และคณะ [2554] ศึกษาการลดความเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ปัญหาคุณภาพที่พบ คือ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าเบี่ยงเบนจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัทไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ ปัจจัยที่มีนัยสำคัญถูกวิเคราะห์ด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล และการระดมสมอง และใช้โปรแกรม Minitab 15 ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ ปัจจัยที่ศึกษาที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้า และแรงดันที่หัวฉีดสเลอรี่ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab 15 ที่ระดับนัยสำคัญ 95% พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีนัยสำคัญมากกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า ส่วนแรงดันที่หัวฉีดสเลอรี่ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลอง สามารถลดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงพื้นฐานเทียบกับก่อนการดำเนินงานได้เท่ากับ 55% และได้ค่าเฉลี่ยของ %AD เพิ่มขึ้น

ก่อนการดำเนินงานผู้วิจัยเก็บข้อมูล %AD ของตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งในหน่วยเติมสารเติมแต่ง จำนวน 24 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 1.1 พบว่า % AD ของผงพื้นฐานเบี่ยงเบนออกจากพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ และมีแนวโน้มไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ ค่าความเบี่ยงเบนของ %AD เท่ากับ 1.16% ซึ่งสูงกว่าค่าที่บริษัทกำหนด คือ 0.5% ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Process potential capability index: Cp) เท่ากับ 0.47 และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: Cpk) เท่ากับ 0.16 แสดงว่าปัญหาคุณภาพการเบี่ยงเบนของ %AD ที่ถังผสมสารเติมแต่งในหน่วยเติมสารเติมแต่งนี้จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 %AD ของตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งในหน่วยเติมสารเติมแต่ง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ

1.2.2 เพื่อหาภาวะปฏิบัติการที่ลดความเบี่ยงเบนของ %AD และควบคุมให้ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด

1.3.2 ประเมินส่วนการผลิตหลักที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ (Airlift) เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน และถังผสมสารเติมแต่ง โดยวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential capability index: Cp) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: Cpk) จากโปรแกรม Minitab 17

1.3.3 วิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และทดสอบค่าของตัวแปรปฏิบัติการที่ได้ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.4 ระยะเวลาการดำเนินงานตั้งแต่ มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง เมษายน พ.ศ. 2558 รวม 10 เดือน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบตัวแปรปฏิบัติการและภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ทำให้ %AD และข้อกำหนดเฉพาะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานอื่นๆ อยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท

1.4.2 สามารถลดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานไม่เกิน 0.5%

1.4.3 สามารถลดปริมาณรีเวิร์ค ต้นทุนสูญเปล่า และค่าเสียโอกาสเนื่องจากผงซักฟอกสูตรมาตรฐานมีค่า %AD ไม่ได้ตามพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลิตภัณฑ์ซักผ้า [โครงการฉลากสีเขียว. 2536]

ผลิตภัณฑ์ซักผ้า หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว สารลดความกระด้างของน้ำ และสารประกอบอื่นๆ มากกว่า 20 ชนิด ผลิตภัณฑ์ซักผ้าอาจส่งผลกระทบและก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากการสะสมของสารบางชนิดที่เป็นส่วนประกอบในแหล่งน้ำและดิน ผลิตภัณฑ์ซักผ้าควรมีปริมาณสารประกอบฟอสเฟตต่ำ สามารถถูกย่อยสลายได้ดีในสภาพธรรมชาติด้วยแบคทีเรีย จึงลดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำและค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

ผลิตภัณฑ์ซักผ้าในที่นี้ครอบคลุมเฉพาะผลิตภัณฑ์ดังต่อไปนี้

1) ผงซักฟอก (Laundry detergent powder)
   1.1 ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (Standard laundry powder detergent)
      - ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือ
      - ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า
      - ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือหรือเครื่องซักผ้า
   1.2 ผงซักฟอกสูตรเข้มข้น (Concentrated laundry powder detergent)
      - ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือ
      - ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า
      - ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือหรือเครื่องซักผ้า
2) ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลว (Liquid laundry detergent powder)
      - ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลวชนิดซักด้วยมือ
      - ผลิตภัณฑ์ซักผ้าชนิดเหลวชนิดซักด้วยเครื่องซักผ้า

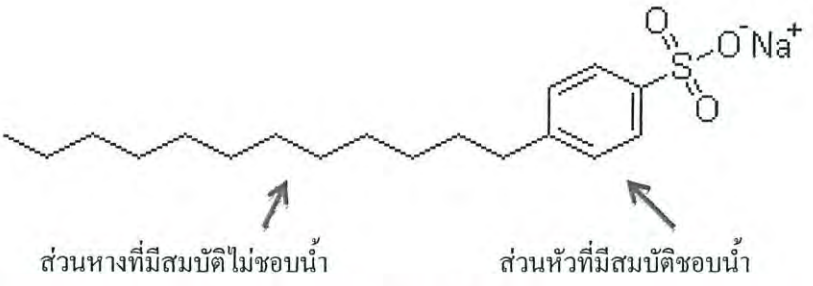
2.2 ส่วนประกอบในผงซักฟอก [สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2550]

ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและสูตรเข้มข้นประกอบด้วยส่วนประกอบหลักและส่วนประกอบที่อาจมีได้

2.2.1 ส่วนประกอบหลัก

1) สารลดแรงตึงผิว (Surface-active agent or surfactant) คือ สารช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำเมื่อละลายในน้ำ ประกอบด้วยส่วนหัวที่มีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic head group) และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic tail) สารลดแรงตึงผิวมี 2 ชนิด คือ สารลดแรงตึงผิวตามธรรมชาติ และสารลดแรงตึงผิวชนิดสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทั่วไปของผงซักฟอก [สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2550]

สารลดแรงตึงผิวแบ่งตามชนิดของประจุได้ 3 ประเภท ได้แก่

- ประจุลบ (Anionic) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกและสบู่
- ประจุบวก (Cationic) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์น้ำยาปรับผ้านุ่ม
- ไม่มีประจุ (Nonionic) นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ

สารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้ในผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน เช่น ลีเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzene sulfonate: LAS) และไพรมาริอัลคิลซัลเฟต (Primary alkyl sulfate: PAS)

2) สารลดความกระด้างของน้ำ (Sequester builder) คือ สารที่ช่วยให้สารลดแรงตึงผิวทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) เกลือของกรดไนทริโลไตรแอซีติก (Nitrolotriacetic acid: NTA) เกลือของกรดเอทิลีนไดแอมีนเตตระแอซีติก (Ethylenediaminetetraacetic acid: EDTA) กรดซิทริก (Citric acid) อนุพันธ์ของกรดซิทริก และซีโอไลต์ (Zeolite) หรือสารใดสารหนึ่งผสมกัน

3) สารรักษาระดับความเป็นเบส (Alkaline builder) คือ สารรักษาระดับความเป็นเบสให้คงที่ตลอดช่วงเวลาการใช้งาน เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) และโซเดียมเซสควิคาร์บอเนต (Sodium sesquicarbonate) หรือสารใดสารหนึ่งหรือผสมกัน

4) สารกันคราบคืน (Anti-soil redeposition agent) คือ สารช่วยป้องกันคราบหรือสิ่งสกปรกที่หลุดออกกลับมาจับผ้าอีกขณะซัก เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxy methylcellulose)

5) สารเพิ่มความใส (Optical brightening agent or optical brightener) คือ สารที่สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลต ทำให้ผ้าดูสดใสยิ่งขึ้น เช่น ไทโนพัล ดีเอ็มเอส (Tinopal DMS)

2.2.2 ส่วนประกอบที่อาจมีได้

1) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate) คือ สารเพิ่มปริมาณ (Filter) ในผลิตภัณฑ์

2) สารเพิ่มฟอง (Suds booster) หรือสารลดฟอง (Suds depressor) คือ สารซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดฟองมากขึ้นหรือน้อยลง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สารฟอก (Oxygen bleach) คือ สารที่อาศัยปฏิกิริยาของแนสเซนต์ออกซิเจน (Nascent oxygen) ในการฟอก

4) สารช่วยการละลาย (Hydrotrope) คือ สารทำให้ผงซักฟอกละลายในน้ำได้ดีขึ้น

5) สารกันหมอง (Anti-tarnishing agent) หมายถึง สารช่วยให้สิ่งซักล้างส่วนที่เป็นโลหะไม่หมองคล้ำ

6) แอนติออกซิแดนต์ (Antioxidant) คือ สารทำให้ส่วนประกอบบางอย่างในผงซักฟอกทำปฏิกิริยากับออกซิเจนช้าลง

7) เอนไซม์ (Enzyme) คือ สารอินทรีย์ที่มีสมบัติช่วยย่อยโมเลกุลของโปรตีน แป้ง หรือไขมันให้เป็นหน่วยย่อยๆ ได้

8) น้ำหอม เติมเพื่อเพิ่มกลิ่นหอมให้ผลิตภัณฑ์

9) สี เติมเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดูสวยงาม

10) สารกันการจับตัวเป็นก้อน

11) สารช่วยขับสิ่งสกปรก (Soil releasing agent) คือ สารช่วยให้สิ่งสกปรกที่ติดผ้าหลุดออกง่ายขึ้น

12) สารต้านจุลินทรีย์ (Anti-microbial compound) หมายถึง สารช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

13) สารละมุน (Mildness additive) หมายถึง สารช่วยให้ผงซักฟอกไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง นิยมใช้ในผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือ

14) สารคงสภาพการเก็บรักษา (Storage stabilizer) หมายถึง สารช่วยยืดอายุการเก็บของผงซักฟอกไม่ทำให้เสื่อมสภาพ

15) สารช่วยให้ผ้านุ่ม (Fabric softening agent) หมายถึง สารที่ทำให้ผ้านุ่มหลังการซักล้าง

16) สารป้องกันไฟฟ้าสถิต (Anti-static agent) หมายถึง สารช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนผ้าทำให้ฝุ่นไม่มาเกาะผ้าหลังซัก

17) สารป้องกันการกัดกร่อน (Anti-corrosion agent) หมายถึง สารช่วยลดการกัดกร่อนในส่วนที่เป็นโลหะของเครื่องซักผ้า

2.3 กลไกการชำระล้างของผงซักฟอก [ชิตณรงค์ สิริสถิตกุล. 2545]

1) การทำให้สิ่งสกปรกและพื้นผิวเปียก (Wetting) โดยใช้สารลดแรงตึงผิว โมเลกุลของสาร ลดแรงตึงผิวจะมีทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ ส่วนของโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ละลายน้ำจะถูกผลักออก ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวเรียงตัวที่ผิวของน้ำ

2) การสะเทิน (Neutralization) คือ การเปลี่ยนสภาพของสิ่งสกปรกที่โดยทั่วไปมีฤทธิ์เป็นกรด (Acidic) ให้กลายเป็นเบสเนื่องจากการทำความสะอาดที่ดีนั้นสภาพของน้ำซักต้องเป็นเบส

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว (Detergency) อาศัยสมบัติของสารลดแรงตึงผิวเพื่อลดแรงดึงดูดระหว่างสิ่งสกปรกและพื้นผิว

4) การละลายน้ำ (Dissolving) สิ่งสกปรกบางชนิดที่ละลายในน้ำได้ สามารถขจัดออกได้ด้วยการละลายน้ำ

5) การแปรสภาพเป็นสบู่ (Saponifiable) ไขมันชนิดต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับเบสจะเปลี่ยนสภาพเป็นสบู่ซึ่งสามารถละลายหรือแขวนลอยในน้ำ

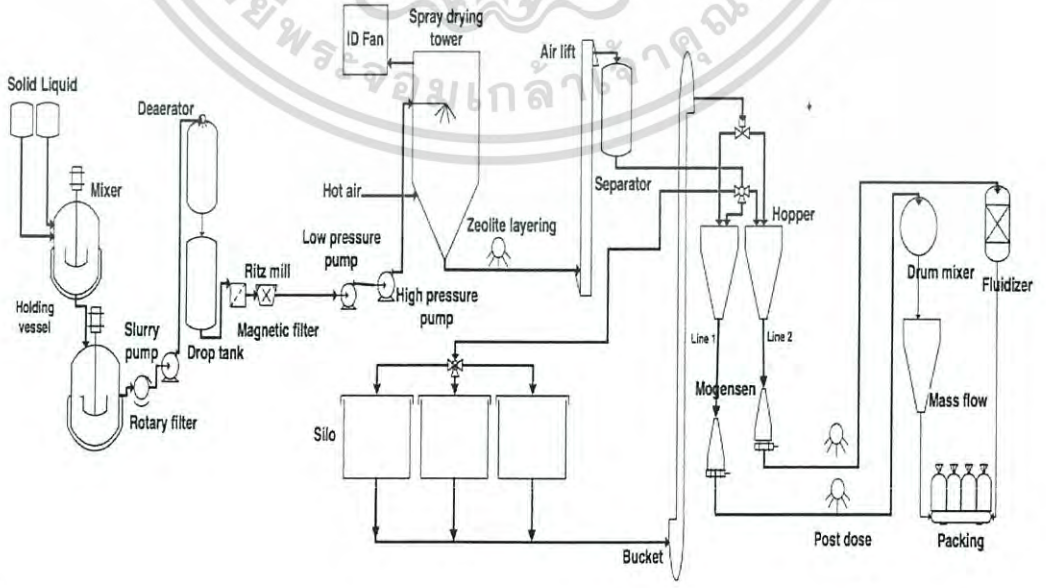
6) การแขวนลอยในน้ำ (Emulsion) ผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมที่ไม่ละลายน้ำสามารถถูกขจัดออกโดยใช้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ละลายได้ในน้ำมันรวมตัวกับผลิตภัณฑ์จากปิโตรเลียมเป็นไมเซลล์ จากนั้นสารลดแรงตึงผิวจะแขวนลอยและกระจายอยู่ในน้ำ

7) การกระจายตัว (Dispersion) สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ฝุ่นละอองต่างๆ เมื่อถูกขจัดออกอาจรวมตัวกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วกลับไปจับเส้นใยได้อีก สารจำพวกซิลิเกต (Silicate) จะป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเหล่านี้รวมตัวกัน

8) การป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ (Suspension or prevention of redeposition) สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำเมื่อถูกขจัดออกจะแขวนลอยในน้ำ แต่สามารถกลับเข้าไปจับกับเส้นใยได้อีก จึงต้องเติมสารป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่ของสิ่งสกปรกเพื่อให้ผ้าสะอาดขึ้น

2.4 กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน [บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. 2557]

กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานแบ่งออกเป็น 3 หน่วยหลัก คือ หน่วยการผลิตผงพื้นฐาน (Base powder production) หน่วยการเติมสารเติมแต่ง (Post dosing) และหน่วยการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packing) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน [บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. 2557]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยการผลิตผงพื้นฐาน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การผสมสเลอรี่ (Slurry mixing) วัตถุดิบทั้งหมดที่เป็นของแข็ง ของเหลว น้ำ และรีเวิร์ค จะถูกผสมเป็นสเลอรี่ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะขนาด 10 ตัน ในเวลา 15-20 นาทีต่อกะ สเลอรี่จะถูกส่งไปถังพัก ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะได้แก่

- ปฏิกิริยาสะเทิน (LAS Neutralization)

$$HLAS + NaOH \rightarrow NaLAS + H_2O \quad (2.1)$$

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O \quad (2.2)$$

- การเกิดผลึก Burkeite (Burkeite formation) [G.T. Austin. 1984]

$$2Na_2SO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2CO_3 \cdot (Na_2SO_4)_2 \quad (2.3)$$

2) สเลอรี่จากถังพักจะถูกส่งไปยังเครื่องกรอง (Rotary filter) เพื่อกรองสิ่งสกปรกและสเลอรี่ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันออก

3) สเลอรี่จะถูกส่งไปยังเครื่องกำจัดอากาศ (Deaerator) โดยใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออก ส่งผลให้สเลอรี่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

4) สเลอรี่ที่ผ่านการดูดอากาศออกแล้วจะถูกส่งไปบดให้มีขนาดเล็กลงและเป็นเนื้อเดียวกันที่เครื่องบด (Rietz mill)

5) สเลอรี่จะถูกส่งเข้าปั๊มความดันต่ำ (Low pressure pump) และปั๊มความดันสูง (High pressure pump) เพื่อเพิ่มความดันของสเลอรี่เป็น 50 bar ก่อนฉีดเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

6) สเลอรี่ที่ความดันสูงจะถูกฉีดเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยสวนทางกับอากาศร้อน ทำให้สเลอรี่แห้งและได้ผงพื้นฐาน (Base power) ออกทางด้านล่างของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

7) ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะถูกผสมกับซีโอไลต์เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน แล้วถูกลำเลียงต่อด้วยสายพานและเครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ (Airlift) ไปยังเครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน (Mogensen sizer) ก่อนเข้าสู่หน่วยเติมสารเติมแต่งและหน่วยบรรจุผลิตภัณฑ์ต่อไป

หน่วยการเติมสารเติมแต่งและหน่วยบรรจุผลิตภัณฑ์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) หน่วยการเติมสารเติมแต่ง ผงพื้นฐานที่ผ่านการคัดขนาดจะถูกลำเลียงโดยใช้สายพานและเติม สารเติมแต่งต่างๆ เช่น เม็ดสี น้ำหอม สารเพิ่มความสดใส เป็นต้น ในอัตราส่วนตามสูตรของผงซักฟอก ผงพื้นฐานและสารเติมแต่งจะถูกผสมกันอย่างสมบูรณ์ที่ถังผสมสารเติมแต่ง (Drum mixer)

2) หน่วยการบรรจุผลิตภัณฑ์ ผงซักฟอกจะถูกบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ตามน้ำหนักและเชื่อมปิดด้วยความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด กำหนดคุณภาพของผงพื้นฐานและผงซักฟอกสูตรมาตรฐานตามพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผงพื้นฐานและผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน [บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์จำกัด. 2557]

พิกัดข้อกำหนดเฉพาะ	ผงพื้นฐาน	ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน
สารทำความสะอาดประจุลบ (Anionic detergent, %AD)	26.475-28.675%	18-22%
ความหนาแน่นรวม (Bulk density, g/cm^3)	0.36-0.44	0.50-0.65
ความชื้น (Moisture content, %)	2.0-4.5%	2.0-6.0%
เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Coarse)	$\leq$5%	
เปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine)	$\leq$20%	

2.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis)

[กิติศักดิ พลอยพานิชเจริญ. 2551]

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ เป็นการวิเคราะห์ระดับคุณภาพที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรม และมีความสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพ ดัชนีชี้วัดที่นิยมใช้ คือ ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential capability index: C_p) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: C_{pk})

2.5.1 ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p)

ความสามารถของกระบวนการเป็นสิ่งที่ต้องการให้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งรวมถึงความสามารถของคน เครื่องจักร วัตถุดิบ การวัดและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันรวมความสามารถของการจัดการด้วย การศึกษาความสามารถของกระบวนการ คือ การหาความผันแปรทั้งหมด และความคงที่ของกระบวนการ ซึ่งต้องพิจารณาแหล่งที่มาของความผันแปรหรือแหล่งที่เป็นไปได้ของความผันแปรที่เกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ C_p แสดงถึงความผันแปรทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่างจากพิกัดข้อกำหนดด้านสูงและต่ำ ค่า Cp สูง แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างมีความผันแปรต่ำสะท้อนถึงการมีความสามารถของกระบวนการที่ดี ค่า Cp คำนวณดังสมการที่ 2.4

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ USL = พิกัดข้อกำหนดด้านสูง (Upper specification limit)

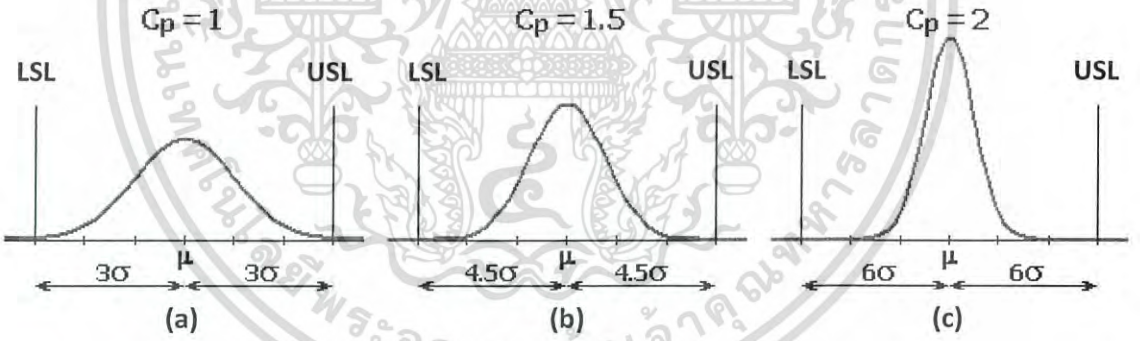
LSL = พิกัดข้อกำหนดด้านต่ำ (Lower specification limit)

σ = ความเบี่ยงเบนของประชากรในระยะสั้น

ดัชนี Cp สำหรับชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการผลิตสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ [กิติศักดิ พลอยพานิชเจริญ. 2551]

ค่าดัชนี C_p	ความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq C_p$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq C_p < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq C_p < 1.67$	ดี
$1.00 \leq C_p < 1.33$	พอใช้ แต่ต้องเฝ้าระวัง
$0.67 \leq C_p < 1.00$	ควรปรับปรุง
$C_p < 0.67$	ควรปรับปรุงอย่างเร่งด่วน



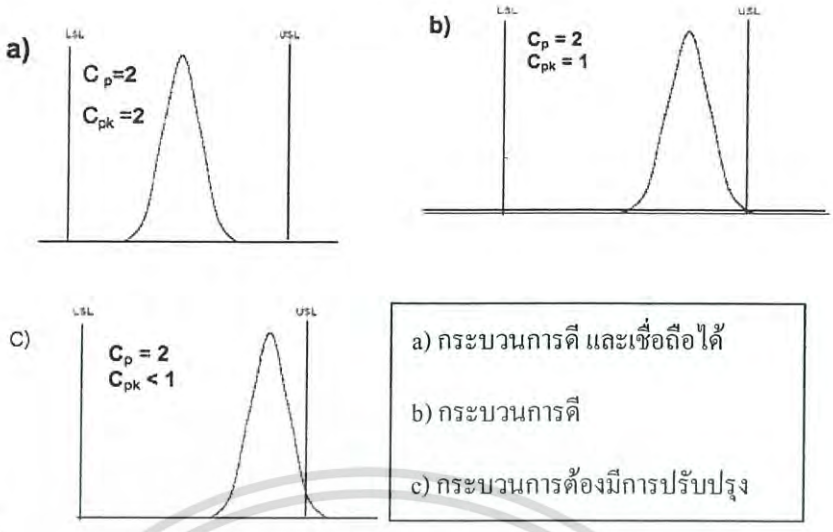
รูปที่ 2.3 ลักษณะของกราฟ C_p สำหรับการกระจายของกระบวนการ [MITCalc. 2003]

จากรูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตที่มีความสามารถซึ่งเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ (c), (b) และ (a) ตามลำดับ

2.5.2 ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk})

ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามพิกัดข้อกำหนดเฉพาะเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้มากน้อยเพียงใด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การกระจายของข้อมูลกับพิกัดข้อกำหนด [ลำปาง แสนจันทร์. 2549]

คำนวณค่า C_{pk} จากสมการดังต่อไปนี้

$$C_{pu} = \frac{USL-\mu}{3\sigma} \tag{2.5}$$

$$C_{pl} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \tag{2.6}$$

$$C_{pk} = \min\left[C_{pu}, C_{pl}\right] \tag{2.7}$$

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมิน C_{pk} [ลำปาง แสนจันทร์. 2549]

ค่าดัชนี C_{pk}	เกณฑ์การประเมิน
$C_{pk} < 1$	ไม่ยอมรับ
$1.00 \leq C_{pk} < 1.33$	พอยอมรับได้ แต่ต้องมีการปรับปรุง
$1.33 \leq C_{pk} < 1.67$	ดีและยอมรับ
$C_{pk} \geq 1.67$	ดีและไว้ใจได้

2.6 แผนผังแสดงสาเหตุและผล [กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ ส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า]

แผนผังแสดงสาเหตุและผล หรือ แผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa diagram) ได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว เป็นแผนผังแสดง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible cause) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ผังก้างปลา (Fish bone diagram) เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายก้างปลา

การกำหนดปัจจัยบนแผนผังแสดงสาเหตุและผล

จะใช้หลักการ 4 M 1 E เป็นตัวกำหนดปัจจัยเพื่อแยกแยะสาเหตุ ดังนี้

M - Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

M - Machine เครื่องจักร หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

M - Material วัตถุดิบ อะไหล่ หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ

M - Method กระบวนการทำงาน

E - Environment สภาพแวดล้อมและบรรยากาศการทำงาน

วิธีการสร้างแผนผังแสดงสาเหตุและผล

1) กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา

2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ

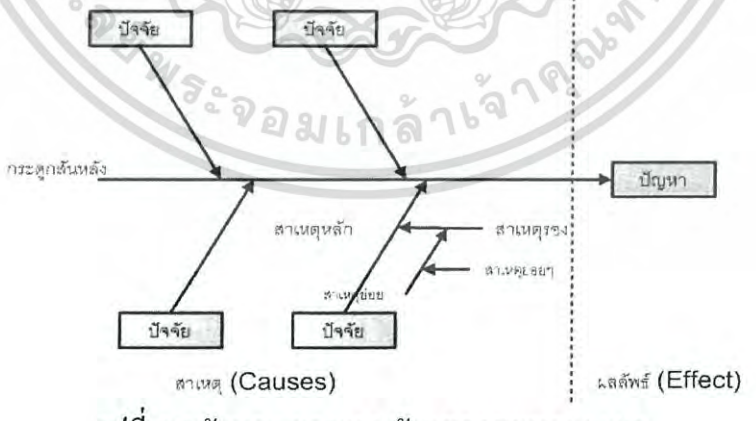
3) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของแต่ละปัจจัย

4) หาสาเหตุหลักของปัญหา

5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ

6) หาแนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

ลักษณะของแผนผังแสดงสาเหตุและผล แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของแผนผังแสดงสาเหตุและผล

2.7 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments: DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ การวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางสถิติในการทดสอบสมมติฐานของการทดลองว่าเป็นไปตามที่ตั้งไว้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระ (Independent variables) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ของกระบวนการนั้น

2.7.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial design)

การทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นรูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกันโดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรืออันตรกริยา (Interactions)

การทดลองแบบแฟกทอเรียลแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full factorial experiment) และการทดลองแบบแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional factorial experiment) การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปเป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป กรณีพิเศษของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือกรณีที่มีจำนวน k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น ใน 2 ระดับนี้จะแทนระดับสูงหรือต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการมีหรือไม่มีของปัจจัยนั้นๆ สำหรับการออกแบบการทดลองเช่นนี้ประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \ldots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล และเรียกการออกแบบการทดลองลักษณะนี้ว่า การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^k

2.7.2 หลักการออกแบบการทดลอง (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551)

1) การสุ่ม (Randomization) คือ การทำการทดลองที่มีลำดับของการทดลองเป็นแบบสุ่มเพื่อให้ข้อมูลแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน วิธีการทางสถิติระบุว่าข้อมูลที่เป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายอย่างอิสระจะทำให้สมมติฐานเป็นจริง

2) จำนวนครั้งของการทดลองซ้ำ (Replication) แสดงถึงการทดลองซ้ำเพื่อให้สามารถมองเห็นและประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้

3) การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลองหรือเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

2.7.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (ปารเมศ ชุติมา. 2545)

1) ทำความเข้าใจปัญหาของกระบวนการโดยศึกษาข้อมูลจากบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2) เลือกตัวแปรตอบสนอง (Response variables) ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง โดยเลือกตัวแปรที่สามารถวัดค่าได้ และกำหนดวิธีการวัดค่าตัวแปรนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เลือกตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (Independent variables) และกำหนดระดับของตัวแปร (Level) ที่คาดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยอาศัยความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการเพื่อพิจารณาเลือกตัวแปร

4) ออกแบบการทดลอง (Experiment design) ได้แก่ การกำหนดขนาดตัวอย่าง กำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ การเลือกลำดับการทดลอง และวิธีการบันทึกผลการทดลอง

5) ดำเนินการทดลอง (Perform the experiment) เป็นการทดลองตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ ตั้งแต่วิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือ

6) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical analysis) เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

7) สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า [2551] ศึกษาการลดความสูญเสียกรดซัลโฟนิกและการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ผลการดำเนินงานสามารถลดการใช้กรดซัลโฟนิกลง 50 % จากปริมาณที่ใส่เกินจากปฏิกิริยา ปัจจัยที่ศึกษาสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอก ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน และอัตราเร็วรอบของใบกวนที่ถังผสมสเลอรี่ ภาวะการปฏิบัติงานที่ทำให้ค่า % AD เข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่บริษัทกำหนด คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน 132 วินาที และอัตราเร็วรอบของใบกวน 70 รอบต่อนาที

รัตน์กรณ์ ชินสุทธิ และเลอศักดิ์ เชี่ยวชาญพัฒนากร [2551] ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิต (Process performance capability) ของผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกได้ด้วยมือและเครื่องซักผ้า พบว่าสาเหตุที่ทำให้ %AD ของผงซักฟอกสูตรเข้มข้นต่ำกว่าค่าเป้าหมายของบริษัท เพราะในขั้นตอนการผสมวัตถุดิบใส่โซเดียมคาร์บอเนตเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาเกินกว่าที่ต้องการทางทฤษฎี จากการทดลองลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตใน Pilot scale ระดับ 15 กิโลกรัมลง 5% โดยน้ำหนัก จากส่วนผสมของสูตรมาตรฐาน พบว่า %AD เข้าใกล้ค่าเป้าหมายของบริษัท และเมื่อทดสอบในกระบวนการผลิตพบว่าการลดปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตลง 3% โดยน้ำหนัก จากส่วนผสมของสูตรมาตรฐาน ค่า %AD ของผงซักฟอกสูตรเข้มข้นต้นแบบเพิ่มขึ้นประมาณ 26% ซึ่งเข้าใกล้ค่าเป้าหมายของบริษัทยิ่งขึ้น สอดคล้องกับค่า Cpk ที่เพิ่มขึ้น 33%

กฤตนารี บุญเรือง และคณะ [2554] ศึกษาการลดความเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ปัญหาคุณภาพที่พบ คือ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าเบี่ยงเบนจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัทไปทางพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ ปัจจัยที่มีนัยสำคัญถูกวิเคราะห์ด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผล และการระดมสมอง และใช้โปรแกรม Minitab 15 ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ ปัจจัยที่ศึกษาที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้า และแรงดันที่หัวฉีดสเลอรี่ จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยโปรแกรม Minitab 15 ที่ระดับนัยสำคัญ 95% พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีนัยสำคัญมากกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า ส่วนแรงดันที่หัวฉีดสเลอรี่ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลอง สามารถลดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงพื้นฐานเทียบกับก่อนการดำเนินงานได้เท่ากับ 55% และได้ค่าเฉลี่ยของ %AD เพิ่มขึ้น

Patricia M. Portillo et al. [2007] ศึกษาตัวปฏิบัติการและการออกแบบเครื่องผสมแบบต่อเนื่อง ได้แก่ มุมของเครื่องผสม (มุมเงย แนวนอน และมุมก้ม) ความเร็วรอบของใบกวน (16-75 rpm) จำนวนใบกวน (29, 34 ใบ) มุมของใบกวน (15-180 องศา) และจำนวนสเตจของเครื่องผสม ประสิทธิภาพการผสมสามารถวิเคราะห์ได้โดยการวัดองค์ประกอบของตัวอย่างด้วย Near infrared spectroscopy เพื่อหาการกระจายขององค์ประกอบ และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation: RSD) ทดลองโดยผสมแลคโตส (100 M, 125 M) กับผงอะซิตามิโนเฟน พบว่าแลคโตส 125 M เครื่องผสมมุมเงย ความเร็วรอบของใบกวน 16 rpm ทำให้ค่า RSD ต่ำที่สุด แสดงว่าภาวะนี้มีประสิทธิภาพการผสมสูงสุด (RSD ต่ำสุด) สรุปได้ว่าทุกตัวแปรปฏิบัติการที่ทดลองส่งผลต่อประสิทธิภาพการผสมทั้งสิ้น การออกแบบเครื่องผสมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสม

Patricia M. Portillo et al. [2009] ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผสมในถังผสมแบบต่อเนื่องโดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ โดยทำการทดลองโดยผสม ผงอะซิตามิโนเฟน กับแลคโตส 100 M และแลคโตส 125 M ด้วยถังผสมแบบต่อเนื่องที่ผลิตโดย GEA Buck systems โดยปรับค่าตัวแปรปฏิบัติการ ได้แก่ มุมของถังผสม (มุมเงย แนวนอน และมุมก้ม) จำนวนใบกวน (29 และ 34 ใบ) ความเร็วรอบของในการหมุน (50-300 rpm) และชนิดของแลคโตส (100 M และ 125 M) การวิเคราะห์ตัวแปรปฏิบัติการที่มีนัยสำคัญด้วยวิธีการทางสถิติใช้ 3-way ANOVA และ 4-way ANOVA เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการผสมซึ่งดูจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation: RSD) พบว่าแลคโตส 100 M และ 125 M มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าขนาดอนุภาคใกล้กันไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผสม แต่มุมเงยของถังผสม จำนวนของใบกวน 34 ใบ และความเร็วรอบของใบกวน 300 rpm ที่ทดสอบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต่ำที่สุด แสดงว่าการผสมดี ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shahar A. et al. [2011] ศึกษาตัวแปรปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องผสมแบบกะชนิดริบบอน ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ เวลาการผสม (5-25 นาที) ความเร็วรอบของใบกวน (40-80 rpm) การเตรียมสารป้อน (with and without preblend) และขนาดของอนุภาค (แลคโตส 100 M มีขนาดอนุภาค 118 μm และ 200 M มีขนาดอนุภาค 49 μm) ทดสอบด้วยสารป้อนที่ผสมแลคโตส 200 M ที่ผ่านการ preblend และมีขนาดอนุภาคเล็ก กับกรดแอสคอร์บิก และผงสังกะสี พบว่าปริมาณของกรดแอสคาบิกจะเข้าใกล้ค่าเป้าหมายได้เร็วที่สุดที่ทุกภาวะปฏิบัติการ สรุปได้ว่าอนุภาคขนาดอนุภาคเล็ก การทำ preblend ก่อนเข้าเครื่องผสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผสม เนื่องจากอนุภาคมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจึงทำให้การรวมตัวระหว่างอนุภาคมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ศึกษาหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน และกำหนดภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมจากค่าของปัจจัยที่มีนัยสำคัญนั้น เพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของ %AD ไม่ให้เกิน 0.5% และควบคุม %AD ให้อยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ของบริษัท คือ 18-22% เพราะหาก %AD ของผงซักฟอกต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะบริษัทจะต้องส่งผงซักฟอกนั้นเป็นรีเวิร์คกลับเข้ากระบวนการผลิต ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสและต้นทุนสูญเปล่าต่างๆ การดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน 1) ศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 2) การประเมินส่วนการผลิตหลักที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD โดยวิเคราะห์จากความสามารถของกระบวนการด้วยดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential capability index: Cp) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: Cpk) 3) การวิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ในส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญจากการระดมสมองและแผนผังแสดงเหตุและผล และ 4) การหาภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ และทดสอบค่าในกระบวนการผลิต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผงซักฟอก

3.1.2 สร้างแผนผังกระบวนการผลิต (Process mapping)

3.2 การประเมินส่วนการผลิตหลักที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD

3.2.1 ศึกษาข้อมูล %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานในกระบวนการผลิตย้อนหลังที่ถังผสมสารเติมแต่ง จำนวน 349 ตัวอย่าง (ข้อมูลก่อนการดำเนินงาน)

3.2.2 เก็บตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานจากส่วนการผลิต 4 ตำแหน่ง (ข้อมูลก่อนการดำเนินงาน) เพื่อนำมาวิเคราะห์ %AD ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จำนวน 46 ตัวอย่าง เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ (Airlift) จำนวน 25 ตัวอย่าง เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน จำนวน 24 ตัวอย่าง และถังผสมสารเติมแต่ง จำนวน 24 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ประเมินส่วนการผลิตหลักที่มีผลต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD สูงสุดด้วยโปรแกรม Minitab 17 โดยพิจารณาจากความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) ด้วยดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Cp) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk)

3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD

3.3.1 วิเคราะห์ปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการต่างๆ ของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญจากหัวข้อ 3.2 ต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD โดยการระดมสมองและแผนผังแสดงสาเหตุและผล เพื่อเลือกปัจจัยที่มีนัยสำคัญสำหรับนำไปออกแบบการทดลองและหาภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปัจจัยนั้นๆ

3.4 การหาภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD

3.4.1 หาภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ได้จากหัวข้อ 3.3.1 ด้วยหลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ (2^k full factorial experiment) ในโปรแกรม Minitab 17 โดยเก็บตัวอย่างผงซักฟอกจากส่วนการผลิตหลัก ที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD จากหัวข้อ 3.2

3.4.2 วิเคราะห์ %AD (จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง คือ $2^3 = 8$ การทดลอง และทำการทดลองซ้ำปัจจัยละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 40 การทดลอง)

3.4.3 นำภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ จากหัวข้อ 3.4.1 ไปทดสอบในกระบวนการผลิต และวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนของ %AD ของตัวอย่างผงซักฟอกจำนวน 40 ตัวอย่าง (ตัวอย่างผงซักฟอกที่ได้จากภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมจะต้องมี %AD ระหว่าง 18-22% และค่าความเบี่ยงเบนของ %AD ไม่เกิน 0.5%)

3.4.4 เปรียบเทียบ %AD ของผงซักฟอกสูตรที่ได้จากภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมกับ %AD ของผงซักฟอกสูตรก่อนการดำเนินงานที่ส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD

3.4.5 นอกจากนี้ยืนยันภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมว่าสามารถผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานได้ตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ โดยวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ %AD ปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine) เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Course) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐาน (Bulk density: BD) จากตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่เก็บจำนวน 3 ตัวอย่างต่อวัน เป็นเวลา 20 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

หน่วยการผลิตหลักของกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด แสดงแผนผังกระบวนการผลิต (Process mapping) ดังตารางที่ 4.1 ได้แก่

- หน่วยการผลิตผงพื้นฐาน (Base powder production) ประกอบด้วย หน่วยการผสมสเลอรี่โดยปฏิกิริยาสะเทิน และเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ ลีเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzene sulfonate: LAS) โซเดียมไฮดรอกไซด์ น้ำ และส่วนประกอบที่อาจมีได้ เช่น วัตถุดิบ A-F ใส่เพื่อเพิ่มสมบัติอื่นให้แก่ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (ตัวอย่างส่วนประกอบที่อาจมีได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.2.2) วัตถุดิบทั้งหมดจะถูกผสมในถังผสมสเลอรี่ หลังจากนั้นกรองสิ่งเจือปนออกจากสเลอรี่แล้วส่งไปเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อผลิตผงพื้นฐาน
- หน่วยการเติมสารเติมแต่ง (Post dosing) ผงพื้นฐานจะถูกลำเลียงไปยังเครื่องคัดขนาดผงพื้นฐานด้วยเครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ (Airlift) และสายพาน แล้วส่งไปเติมสารเติมแต่งต่างๆ ที่ถังผสมสารเติมแต่งด้วยอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงพื้นฐานต่อสารเติมแต่งที่เหมาะสม จะได้ผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ส่งต่อไปหน่วยการบรรจุผลิตภัณฑ์
- หน่วยการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packing) ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานจะถูกส่งไปบรรจุจำหน่ายตามขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

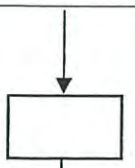
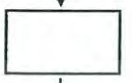
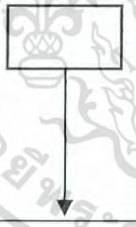
ตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

ขั้นตอน	อินพุต	เอาท์พุต	การควบคุม
1. ถังเก็บวัตถุดิบ	น้ำ LAS NaOH วัตถุดิบ A วัตถุดิบ B วัตถุดิบ C วัตถุดิบ D วัตถุดิบ E วัตถุดิบ F		
2. การผสมสเลอรี่ **2.1 ชั่งน้ำแล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่**	น้ำ		อุณหภูมิของน้ำ 50-65°C (ค่าเป้าหมาย 60°C)
2.2 ชั่ง NaOH แล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่	NaOH ความเร็วรอบของใบกวน		หลังเติม NaOH - อุณหภูมิในถังผสมสเลอรี่ไม่เกิน 70°C - ความเร็วรอบของใบกวน 40-45 rpm
2.3 ชั่ง LAS แล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่	LAS		รอ 120 วินาที เพื่อให้ปฏิกิริยาสะเทินระหว่าง LAS และ NaOH เกิดสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	อินพุต	เอาท์พุต	การควบคุม
2.4 ชั่งวัตถุดิบ A และ B แล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่	วัตถุดิบ A และ B		ความเร็วรอบของใบกวน 65 rpm
2.5 ชั่งวัตถุดิบ C และ D แล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่	วัตถุดิบ C และ D		ความเร็วรอบของใบกวน 65 rpm
2.6 ชั่งวัตถุดิบ E แล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่	วัตถุดิบ E		ความเร็วรอบของใบกวน 65 rpm
2.7 ชั่งวัตถุดิบ F แล้วเติมลงถังผสมสเลอรี่	วัตถุดิบ F		รอ 60 วินาที เพื่อให้สเลอรี่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน
2.8 กวนผสมสเลอรี่จนเป็นเนื้อเดียวกัน		สเลอรี่	กวนผสมสเลอรี่ 120 วินาที ลดความเร็วรอบของใบกวน
2.9 ปล่อยสเลอรี่ลงถังพักสเลอรี่	สเลอรี่		อุณหภูมิในถังพักสเลอรี่ไม่ต่ำกว่า 70°C
3. เครื่องกรองสเลอรี่	สเลอรี่จากถังพักสเลอรี่	สเลอรี่ที่ผ่านการกรองแล้ว	

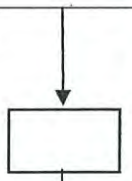
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	อินพุต	เอาท์พุต	การควบคุม
4. เครื่องกำจัดอากาศ 	สเลอรี่ที่ผ่านการกรองแล้ว	สเลอรี่ที่มีความหนาแน่นมากขึ้น	ความดันสุญญากาศ -400 ถึง -500 mbar
5. เครื่องบดสเลอรี่ 	สเลอรี่	สเลอรี่ที่เป็นเนื้อเดียวกัน	
6. เครื่องกรองแม่เหล็ก	สเลอรี่	สเลอรี่ที่ผ่านการกรองแล้ว	
7. ปั๊ม **7.1 ปั๊มความดันต่ำ**	สเลอรี่	สเลอรี่ที่มีความดันสูงขึ้น	ความดัน 1.9 bar
7.2 ปั๊มความดันสูง 	สเลอรี่	สเลอรี่ที่มีความดันสูงขึ้น	ความดัน 50 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	อินพุต	เอาท์พุต	การควบคุม
8. เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	สเลอรี่จากปั๊มความดันสูง	ผงพื้นฐาน	- อัตราการไหลของสเลอรี่ 18 tons/h - อัตราการไหลของอากาศร้อน 70,000 kg/h - อุณหภูมิของอากาศร้อน 290-450°C - ขนาดนอซเซิล 3.0-3.3 mm
9. เติมซีโอไลต์	ซีโอไลต์	ผงพื้นฐาน	
10. เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ	ผงพื้นฐาน	ผงพื้นฐานที่มีอุณหภูมิลดลง	อัตราการไหลของอากาศ 30,000-50,000 cm^3/h
11. หน่วยเติมสารเติมแต่ง **11.1 ชั่งสารเติมแต่งต่างๆ ในอัตราส่วนตามสูตรของผงซักฟอก แล้วปล่อยลงสู่สายพาน**	- ผงพื้นฐาน - สารเติมแต่ง	ผงพื้นฐานและสารเติมแต่งที่ยังไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน	อัตราการป้อนผงพื้นฐาน 15-21 tons/h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

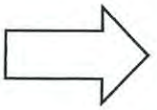
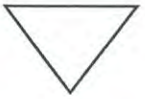
ขั้นตอน	อินพุต	เอาท์พุต	การควบคุม
11.2 ถังผสมสารเติมแต่ง 	ผงพื้นฐานและสารเติมแต่งที่ยังไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน	ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน	- ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง 4-8 rpm - เติมน้ำหอมในอัตราส่วนตามสูตรของผงซักฟอก
12. หน่วยบรรจุผงซักฟอกสูตรมาตรฐานตามน้ำหนัก	ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน	ผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน	

ความหมายของสัญลักษณ์ในตารางที่ 4.1 แผนผังกระบวนการ กำหนดโดย ASME 101 (American Society for Mechanical Engineering) แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความหมายของสัญลักษณ์จากแผนผังกระบวนการผลิต

สัญลักษณ์	ชื่อเรียก	ความหมาย
	Operation การปฏิบัติการ	- การเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพหรือเคมีของวัตถุ - การประกอบชิ้นส่วน - การเตรียมวัตถุเพื่องานขั้นต่อไป - การวางแผน การคำนวณ การให้คำสั่ง - การวิเคราะห์ การทดสอบ - เป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีมูลค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

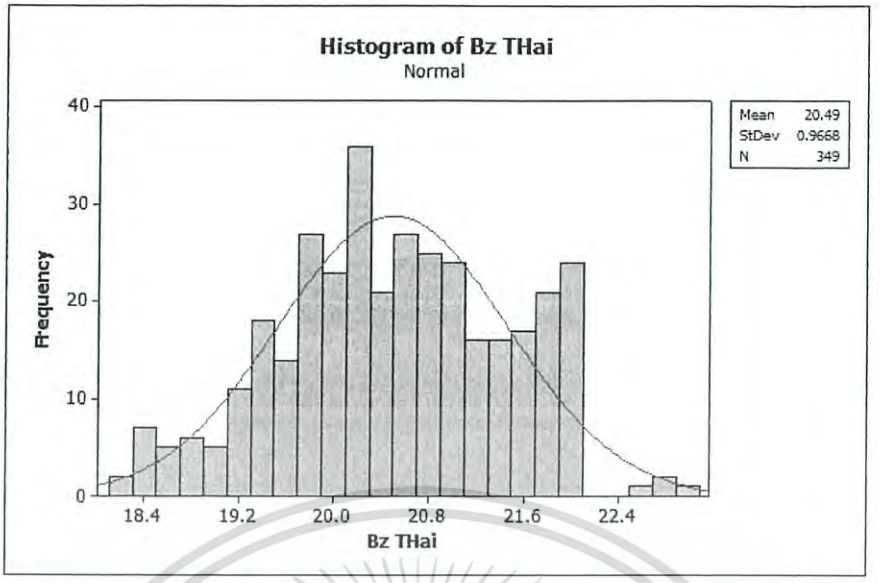
สัญลักษณ์	ชื่อเรียก	ความหมาย
	Transportation การเคลื่อนที่	- การเคลื่อนที่วัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง หรือพนักงานกำลังเดิน - เป็นกิจกรรมที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีมูลค่า
	Storage การเก็บ	- กระบวนการที่อยู่กับที่ หรือการเก็บวัสดุไว้ในสถานที่ถาวรที่รอคำสั่งในการเคลื่อนย้าย - การเก็บชิ้นส่วนรอเป็นเวลานาน - เป็นกิจกรรมที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีมูลค่า
	Delay การคอย	- การเก็บวัสดุชั่วคราวระหว่างรอการปฏิบัติงาน - การรอคอยเพื่อให้งานขั้นต่อไปเริ่มต้น - เป็นกิจกรรมที่ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีมูลค่า

4.2 ร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานก่อนการดำเนินงาน (1 มกราคม ถึง 31 พฤษภาคม 2557)

ผลการตรวจวัด %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานจากกระบวนการผลิตทั้งหมดก่อนการดำเนินงานที่ถังผสมสารเติมแต่ง จำนวน 349 ตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.1 แม้ว่า %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานยังอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ แต่มีค่าความเบี่ยงเบน (Standard deviation) สูงถึง 0.967% ซึ่งสูงกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท จึงต้องดำเนินงานเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของ %AD

อย่างไรก็ดีเนื่องจากกระบวนการผลิตทั้งหมดประกอบด้วย 4 หน่วยการผลิตหลัก คาดว่าบางหน่วยการผลิตหลักมีความไม่สม่ำเสมอของ %AD ดังนั้นต้องตรวจสอบว่าส่วนการผลิตหลักใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD

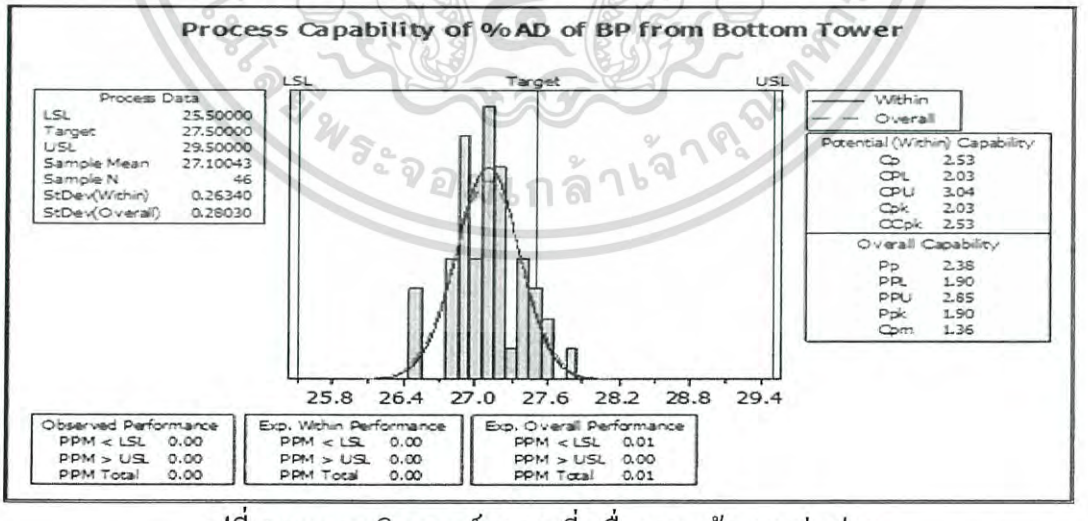
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 %AD ของตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน จำนวน 349 ตัวอย่าง

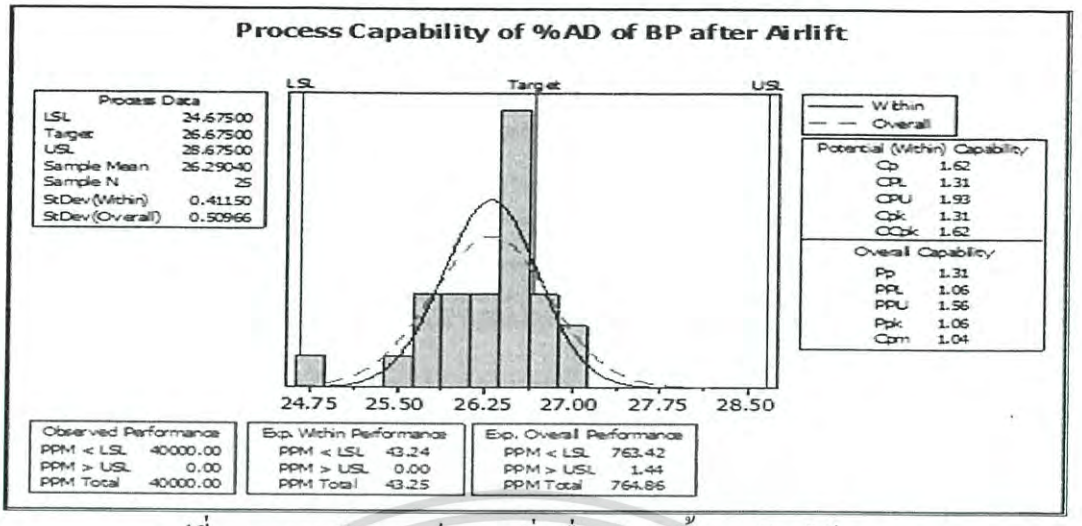
4.3 ส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงเบนของ %AD

ผลการวิเคราะห์ %AD ของตัวอย่างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานด้วยโปรแกรม Minitab 17 ที่เก็บวันที่ 2 มิถุนายน 2558 จากส่วนการผลิตหลัก 4 หน่วย ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จำนวน 46 ตัวอย่าง เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ จำนวน 25 ตัวอย่าง เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน จำนวน 24 ตัวอย่าง และถังผสมสารเติมแต่ง จำนวน 24 ตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4.2-4.5

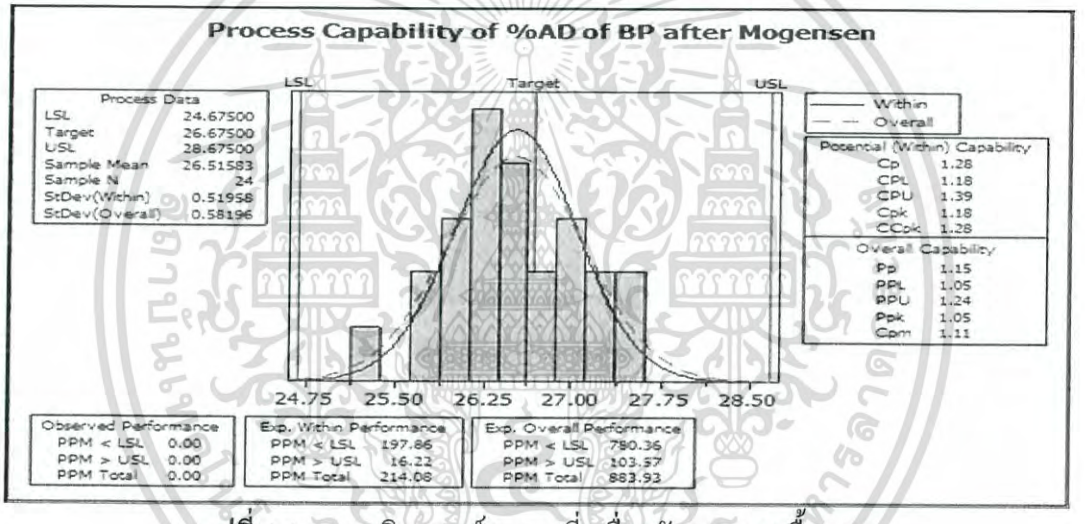


รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

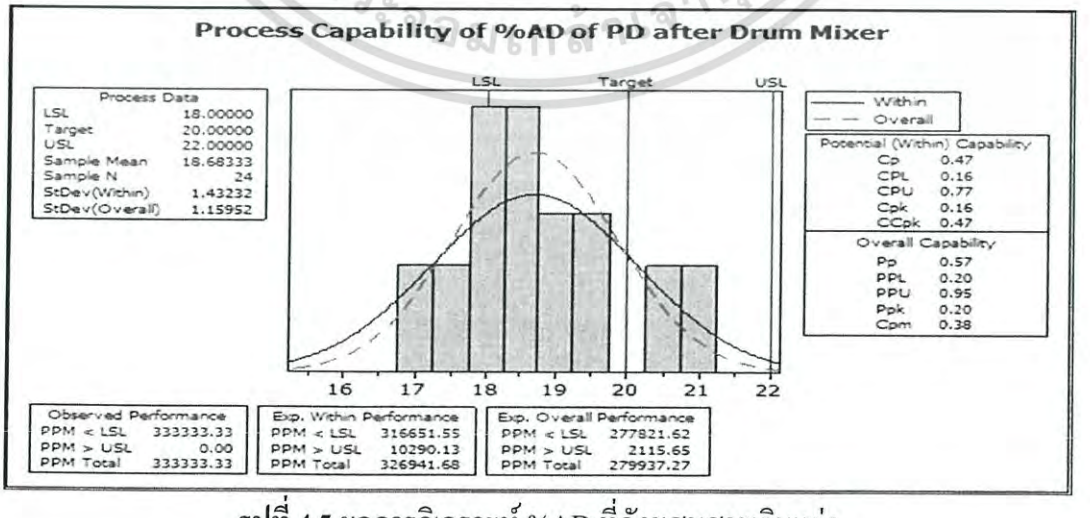
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ %AD ที่ถังผสมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2-4.5 วิเคราะห์ดัชนีความสามารถของกระบวนการ (C_p) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) ของส่วนการผลิตหลัก ดังตารางที่ 4.3

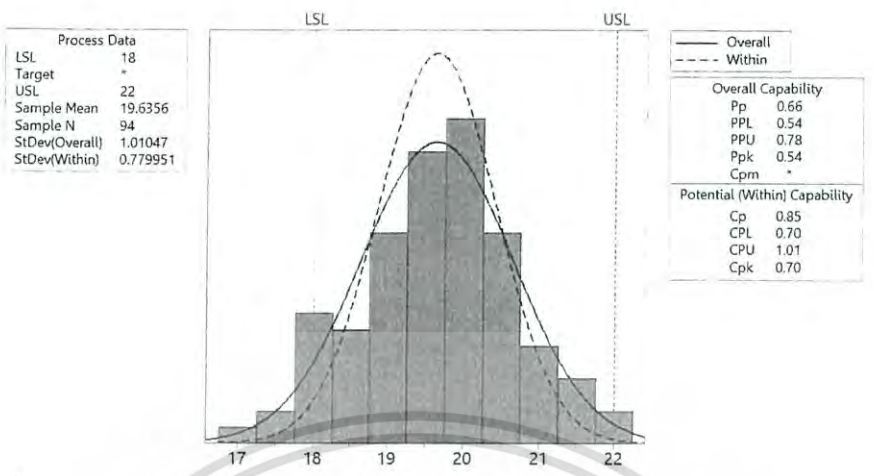
ตารางที่ 4.3 C_p และ C_{pk} ที่ส่วนการผลิตหลักของกระบวนผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

ส่วนการผลิตหลัก	C_p	C_{pk}
เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย	2.53	2.03
เครื่องส่งผงพื้นฐานโดยใช้อากาศ	1.62	1.31
เครื่องคัดขนาดผงพื้นฐาน	1.28	1.18
ถังผสมสารเติมแต่ง	0.47	0.16

หมายเหตุ ตามทฤษฎี C_p และ C_{pk} ของกระบวนการที่ดีควรมีค่ามากกว่า 1.33

จากตารางที่ 4.3 ถังผสมสารเติมแต่งซึ่งอยู่ในหน่วยเติมสารเติมแต่ง (Post dosing unit) มีค่า C_p และ C_{pk} ต่ำที่สุดและต่ำกว่า 1.33 แสดงว่าถังผสมสารเติมแต่งเป็นส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญที่ทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ซึ่งต้องปรับปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งเพื่อลดความเบี่ยงเบนของ %AD จึงเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงานอีกครั้ง จำนวน 94 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.6 พบว่า %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานเบี่ยงเบนออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดของบริษัทไปทางพิกัดข้อกำหนดด้านต่ำ ค่าเฉลี่ยของ %AD เท่ากับ 19.64% แม้ว่า %AD ยังอยู่ในข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 18-22% แต่มี %AD บางค่าต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดด้านต่ำ นอกจากนี้พบว่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) มีค่า 0.85 และ 0.70 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า 1.33 มาก แสดงว่าต้องปรับปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการของถังผสมสารเติมแต่งให้เหมาะสมยิ่งขึ้น (ค่าปัจจัยหรือตัวแปรปฏิบัติการที่เหมาะสมของส่วนการผลิตหลักที่มีนัยสำคัญต้องให้ %AD ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์และมีความเบี่ยงเบนของ %AD ไม่เกิน 0.5%)

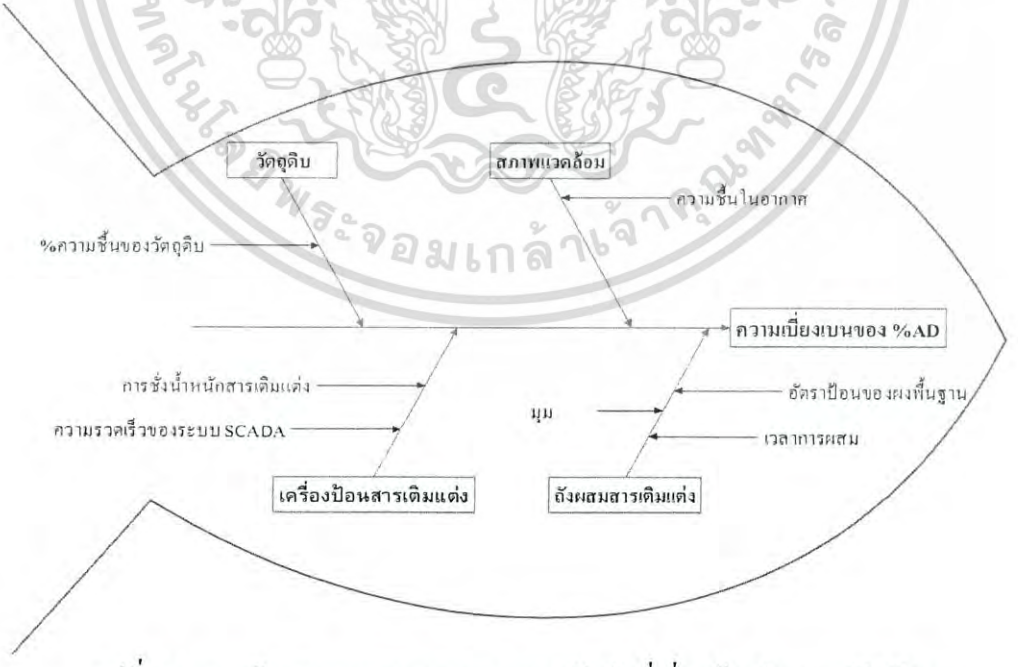
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน จำนวน 94 ตัวอย่าง

4.4 ตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 วิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานด้วยการระดมสมองและแผนผังแสดงสาเหตุและผล ดังต่อไปนี้

4.4.1 วัตถุดิบ

หากความชื้นของสารเติมแต่งที่ถังผสมสารเติมแต่ง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟตสูง จะส่งผลให้ %AD ของผงซักฟอกต่ำลง (เมื่อความชื้นสูงขึ้น น้ำหนักรวมของผงซักฟอกเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเทียบกับปริมาณของสารทำความสะอาดประจุลบที่เท่าเดิม %AD ของผงซักฟอกจึงลดลง) แต่เนื่องจากบริษัทตรวจวัดความชื้นของสารเติมแต่งที่รับมาจากบริษัทผู้ผลิตตรงตามข้อกำหนดทุกครั้งก่อนส่งเข้ากระบวนการ จึงพิจารณาว่าปัจจัยนี้ไม่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

4.4.2 สภาพแวดล้อม

หากความชื้นของอากาศในบรรยากาศแวดล้อมสูง อาจทำให้ความชื้นของสารเติมแต่งและผงซักฟอกสูงขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้ %AD ของผงซักฟอกต่ำลง แต่เนื่องจากบริษัทจัดเก็บสารเติมแต่งอย่างดี สัมผัสกับอากาศได้น้อย และเก็บไม่นาน นอกจากนี้การผลิตผงซักฟอกเป็นระบบปิด ผงซักฟอกไม่ได้สัมผัสกับอากาศจากบรรยากาศ จึงสรุปว่าความชื้นในอากาศไม่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

4.4.3 เครื่องป้อนสารเติมแต่ง

น้ำหนักของสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ต่อผงพื้นฐานใช้ในอัตราส่วนตามสูตรของผงซักฟอกที่ผลิต ซึ่งตั้งค่าโดยโปรแกรม SCADA ที่ห้องควบคุม หากเครื่องชั่งน้ำหนักมีความคลาดเคลื่อนอาจส่งผลต่อค่า %AD และคุณภาพของผงซักฟอกได้ และถ้าระบบควบคุมของโปรแกรม SCADA ช้า จะเกิดความคลาดเคลื่อนในการป้อนสารเติมแต่งได้ แต่เนื่องจากบริษัทสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักและระบบควบคุมโปรแกรม SCADA ทุกเดือน จึงสรุปได้ว่าปัจจัยการชั่งน้ำหนักสารเติมแต่งและความรวดเร็วของระบบ SCADA ไม่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

4.4.4 ถังผสมสารเติมแต่ง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผสมที่ส่งผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD เช่น

Shahar A. และคณะ (2011) ศึกษาตัวแปรปฏิบัติการที่เหมาะสมของเครื่องผสมแบบกะชนิดริบบอน ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ เวลาการผสม (5-25 นาที) ความเร็วรอบของใบกวน (40-80 rpm) การเตรียมสารป้อน (with and without preblend) และขนาดของอนุภาค (แลคโตส 100 M มีขนาดอนุภาค 118 μm และ 200 M มีขนาดอนุภาค 49 μm) ทดสอบด้วยสารป้อนที่ผสมแลคโตส 200 M ที่ผ่านการ preblend และมีขนาดอนุภาคเล็ก กับกรดแอสคอร์บิก และผงสังกะสี พบว่าปริมาณของกรดแอสคาบิกจะเข้าใกล้ค่าเป้าหมายได้เร็วที่สุดที่ทุกภาวะปฏิบัติการ สรุปได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคขนาดอนุภาคเล็ก การทำ preblend ก่อนเข้าเครื่องผสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผสม เนื่องจากอนุภาคมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากจึงทำให้การรวมตัวระหว่างอนุภาคมากขึ้น

จากงานวิจัยนี้แสดงว่าเวลาการผสมและความเร็วรอบของใบกวนมีผลต่อการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จึงคาดว่าอาจมีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

Patricia M. Portillo และคณะ (2009) ศึกษาประสิทธิภาพการผสมด้วยถังผสมแบบต่อเนื่องและวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ โดยทดลองผสมผงอะซิตามินโนเฟนกับแลคโตส 100 M และแลคโตส 125 M ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ แลคโตส (100 M และ 125 M) มุมของถังผสม จำนวนใบกวน (29 และ 34 ใบ) และความเร็วรอบของใบกวน (50-300 rpm) การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการผสมใช้ 3-way ANOVA และ 4-way ANOVA พิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation: RSD) พบว่าแลคโตส 100 M และ 125 M มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าขนาดอนุภาคใกล้กันไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผสม แต่มุมเงยของถังผสม จำนวนของใบกวน 34 ใบ และความเร็วรอบของใบกวน 300 rpm ที่ทดสอบให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ต่ำที่สุด แสดงว่าการผสมดีประสิทธิภาพสูงสุด

จากงานวิจัยนี้แสดงว่ามุมของถังผสม จำนวนของใบกวน และความเร็วรอบของใบกวน เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการผสม จึงคาดว่าอาจมีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD แต่ในทางปฏิบัติสำหรับงานวิจัยนี้ บริษัทที่เป็นกรณีศึกษาไม่ปรับมุมของถังผสมสารเติมแต่งและจำนวนของใบกวน จึงประยุกต์ศึกษาประเด็นความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่งแทนความเร็วรอบของใบกวน

ดังนั้นตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่สามารถปรับค่าได้จากโปรแกรม SCADA ที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานในหัวข้อ 4.5 เพื่อหาตัวแปรปฏิบัติการที่มีนัยสำคัญด้วยหลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ (2^k full factorial experiment) ในโปรแกรม Minitab 17 ได้แก่ อัตราการป้อนผงพื้นฐาน (ปรับค่าได้ 15-21 tons/h) ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง (ปรับค่าได้ 4-8 rpm) และเวลาการผสม (ปรับค่าได้ 60-100 s)

4.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งกับ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

การวิเคราะห์ตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่ง ที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานโดยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ (แต่ละปัจจัยศึกษาที่ 2 ระดับ) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงดังตารางที่ 4.4

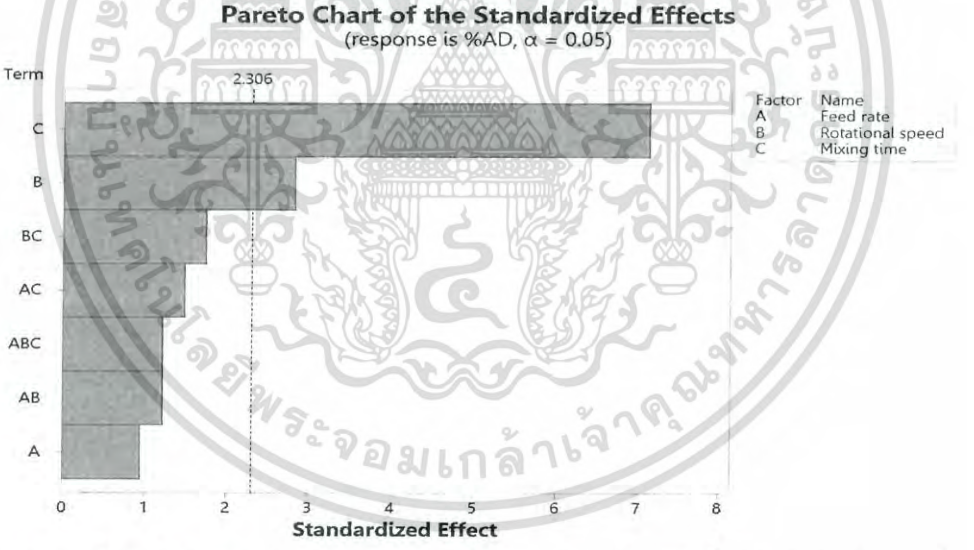
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าของตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่ใช้ทดสอบในกระบวนการผลิต

ตัวแปรปฏิบัติการ	ค่าปกติ ที่บริษัทใช้	ค่าต่ำ	ต่ำสูง
อัตราการป้อนผงพื้นฐาน (tons/h)	18	15	21
ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง (rpm)	6	4	8
เวลาการผสม (s)	80	60	100

หมายเหตุ ค่าของตัวแปรปฏิบัติการแต่ละตัวอยู่ในพิกัดที่บริษัทปรับได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

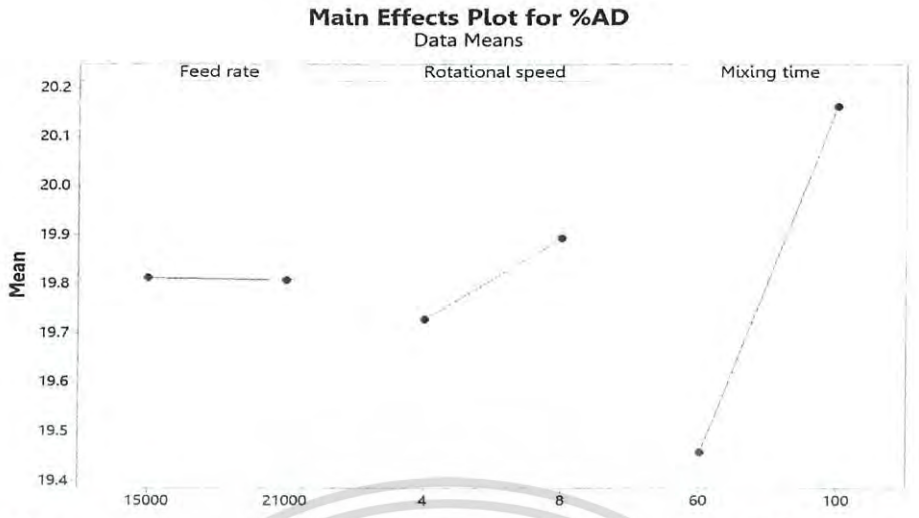
วิเคราะห์ผลของอัตราการป้อนผงพื้นฐาน ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง และเวลาการผสมต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานโดยใช้โปรแกรม Minitab 17 แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 (ข้อมูลดิบแสดงในตารางที่ ข.1 และ ข.2 ภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.8 แผนภูมิพาเรโตแสดงตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีนัยสำคัญต่อการเบี่ยงเบนของ %AD (หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำปัจจัยละ 5 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 40 การทดลอง)

จากรูปที่ 4.8 พบว่ากราฟของเวลาการผสมและความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่งเกินเส้นระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงว่าทั้งสองปัจจัยมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD เวลาการผสมมีนัยสำคัญกว่า ส่วนอัตราการป้อนผงพื้นฐานและอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างปัจจัยไม่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

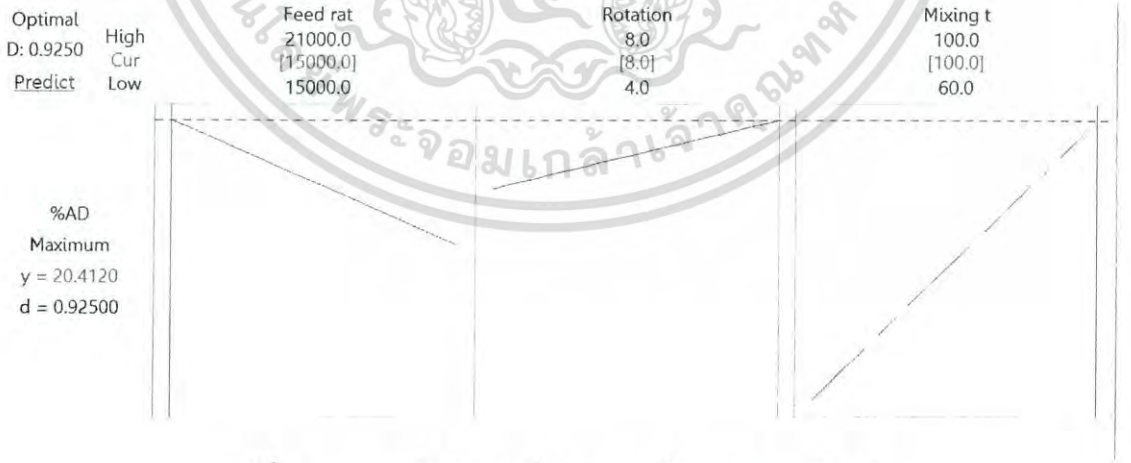
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 Main effects plot ของตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเวลาการผสมมีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD มากกว่าความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง เนื่องจากความชันของเส้นกราฟมากกว่า ส่วนอัตราการป้อนผงพื้นฐานไม่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD

รูปที่ 4.10 แสดงตัวแปรปฏิบัติการที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง 8 รอบต่อนาที เวลาการผสม 100 วินาที เมื่ออัตราการป้อนผงพื้นฐานคงที่ 15 ตันต่อชั่วโมง

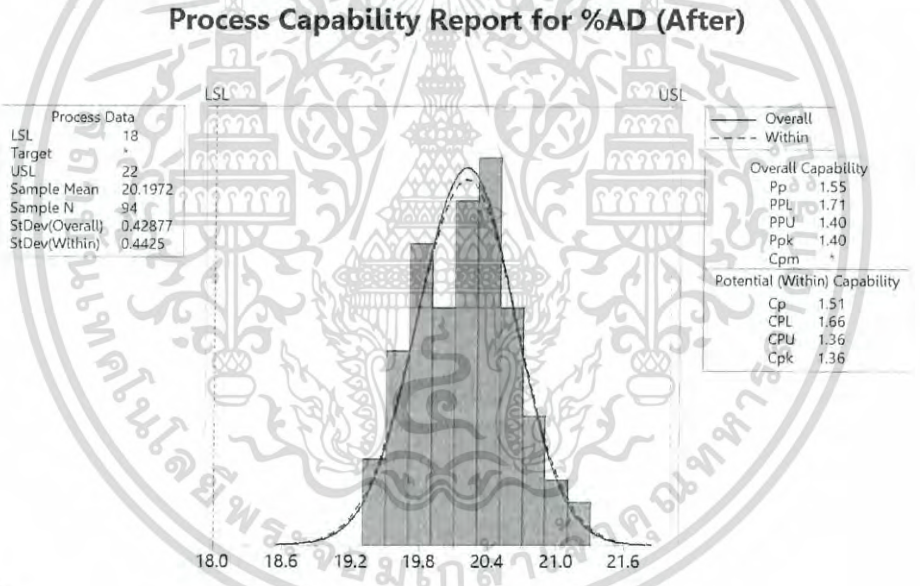


รูปที่ 4.10 ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ถังผสมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมที่ถังผสมสารเติมแต่ง

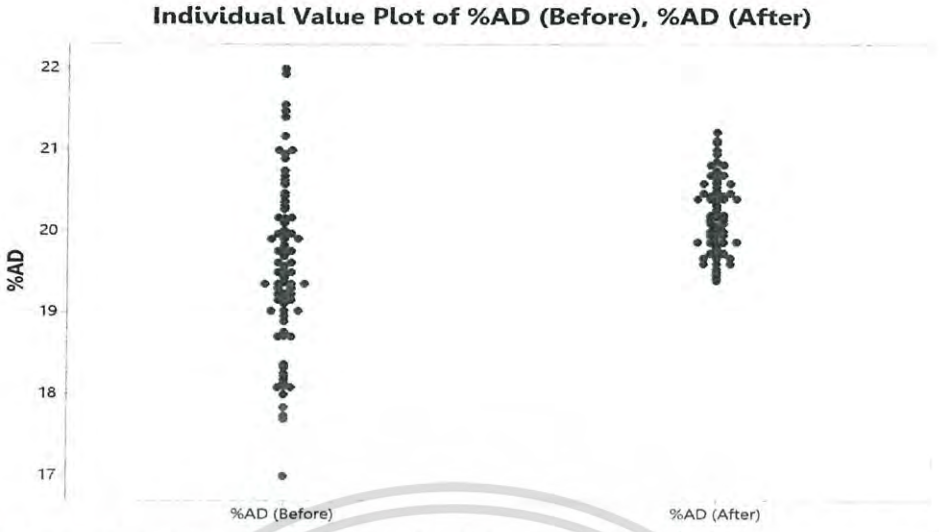
ทดสอบภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสมของถังผสมสารเติมแต่งในกระบวนการผลิต (ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสม 8 รอบต่อนาที และเวลาการผสม 100 วินาที) ที่อัตราการป้อนผงพื้นฐานคงที่ 18 ตันต่อชั่วโมง จากรูปที่ 4.11 เมื่อเปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานก่อนการดำเนินงาน จำนวน 94 ตัวอย่าง (รูปที่ 4.6) พบว่าสามารถลดค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกลงจาก 1.01 เหลือ 0.43 และมีค่าเฉลี่ยของ %AD ของผงซักฟอกเท่ากับ 20.20% ซึ่งอยู่ในพิกัดกำหนดเฉพาะของบริษัท 18-22% ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) เพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 1.51 และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เพิ่มขึ้นจาก 0.70 เป็น 1.36 ซึ่งมีค่าสูงกว่า 1.33 แสดงว่าภาวะปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งมีความเหมาะสมขึ้น



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งหลังการดำเนินงานจำนวน 94 ตัวอย่าง

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนและหลังการดำเนินงานจาก 94 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติการที่เหมาะสม %AD หลังการดำเนินงานไม่เกินพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท (18-22%) และการกระจายตัวลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากรูปค่ากลางของ %AD สูงขึ้น จากประมาณ 19.64 เป็น 20.20

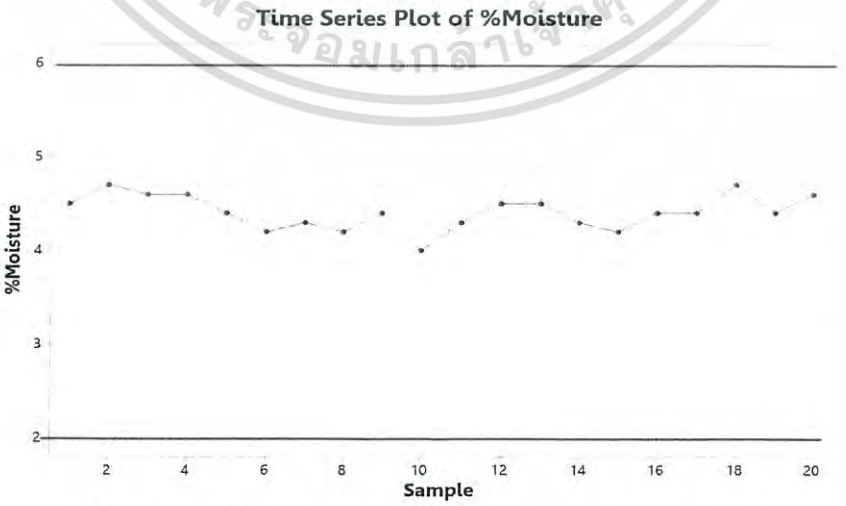
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่งก่อนและหลังการดำเนินงาน

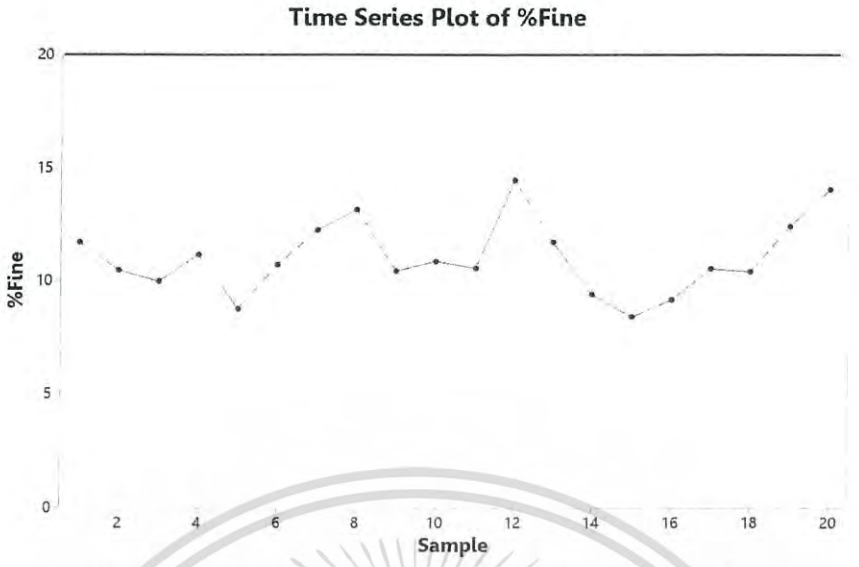
4.7 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 4.13-4.16 พบว่าเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งตามค่าที่เหมาะสม (ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสม 8 รอบต่อนาที และเวลาการผสม 100 วินาที) ที่อัตราการป้อนผงพื้นฐานคงที่ 18 ตันต่อชั่วโมง ข้อกำหนดเฉพาะคุณภาพผลิตภัณฑ์ ได้แก่ %AD ปริมาณความชื้น ปริมาณซักฟอกที่มีขนาดเล็กกว่า 180 μm หรือเปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine) ปริมาณผงซักฟอกที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm หรือเปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Course) และความหนาแน่นรวมของผงซักฟอก (Bulk density: BD) อยู่ตามเกณฑ์ในตารางที่ 2.1 (เก็บตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 3 ตัวอย่างต่อวัน เป็นเวลา 20 วัน ข้อมูลดิบแสดงในตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข)

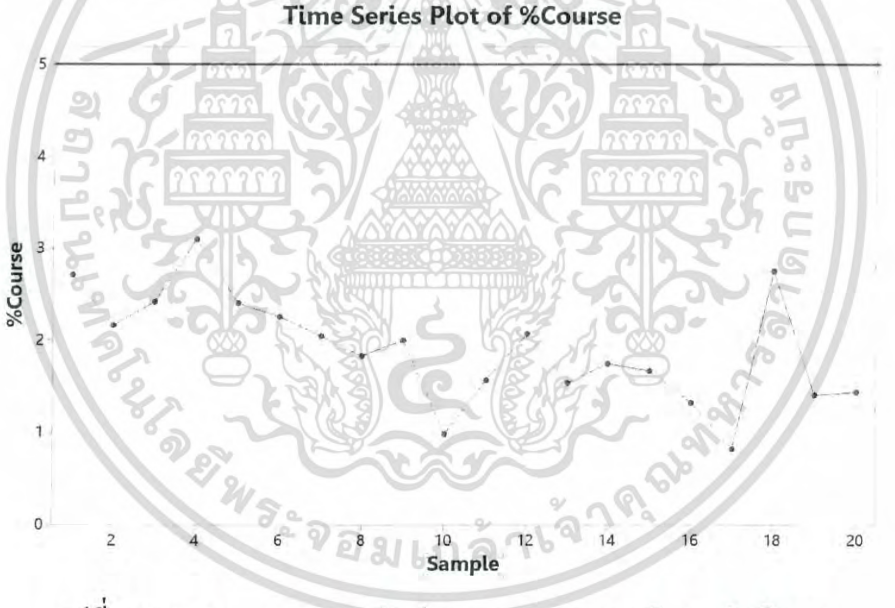


รูปที่ 4.13 ความชื้นของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

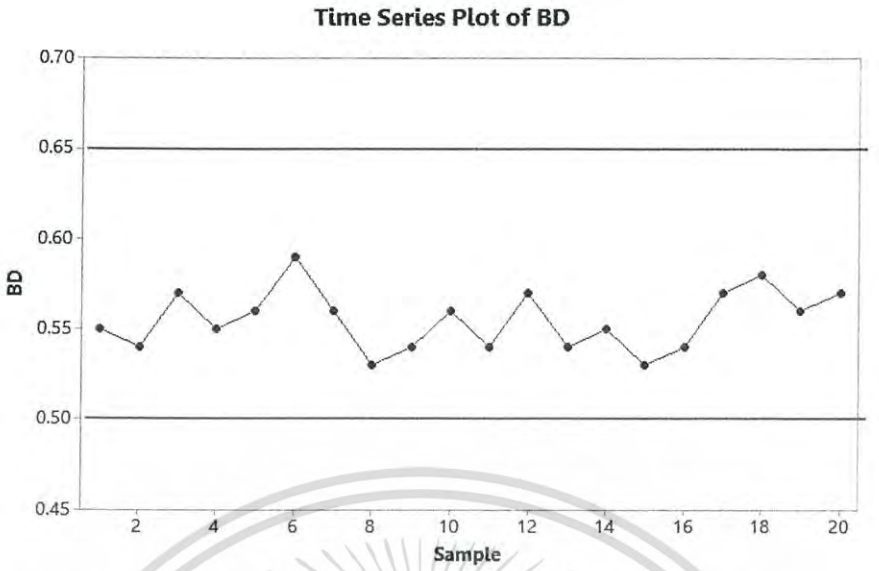


รูปที่ 4.14 % Fine ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน



รูปที่ 4.15 % Course ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 Bulk density (BD) ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อสังเกต

การลดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานของกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการป้อนผงพื้นฐาน ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสม และเวลาการผสม ตัวแปรปฏิบัติการที่มีนัยสำคัญได้จากการระดมสมอง แผนผังแสดงสาเหตุและผล และการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับโปรแกรม Minitab 17 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และทดสอบตัวแปรปฏิบัติการด้วยค่าที่เหมาะสมนั้นในกระบวนการผลิต สรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ส่วนการผลิตหลักของกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดความเบี่ยงของ %AD คือ ถังผสมสารเติมแต่ง

ตัวแปรปฏิบัติการที่ถังผสมสารเติมแต่งที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของ %AD เมื่ออัตราการป้อนผงพื้นฐานคงที่ 18 ตันต่อชั่วโมง คือ

- เวลาการผสม 100 s
- ความเร็วรอบในการหมุนของถังผสม 8 rpm

จากการดำเนินงาน สามารถลดความเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ย %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานลงจาก 1.01 เป็น 0.43 ค่าเฉลี่ยของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานอยู่ในพิกัดกำหนดเฉพาะของบริษัท ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) เพิ่มขึ้นจาก 0.85 เป็น 1.51 และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เพิ่มขึ้นจาก 0.70 เป็น 1.36 นอกจากนั้นข้อกำหนดเฉพาะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณร้อยละความชื้น เปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine) เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Course) และความหนาแน่นรวมของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (Bulk density) มีค่าอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะคุณภาพผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก คำนวณต้นทุนสูญเปล่าในเทอมของการใช้ผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน ประมาณ 35.7 ล้านบาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อสังเกต

ความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานเกิดจากปัจจัยอื่นได้อีก เช่น

- การเติมสารเติมแต่งในผงพื้นฐานที่ลำเลียงผ่านสายพานความยาว 200 เมตร จากเครื่องคัดขนาดไปยังถังผสมสารเติมแต่งเพื่อเติมน้ำหอม อาจเกิดการสูญเสียผงพื้นฐานและสารเติมแต่งระหว่างการลำเลียง ทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานออกจากพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ
- ระบบถ่ายเทอากาศ (Ventilation) ถูกติดตั้งที่หน่วยการเติมสารเติมแต่ง ใช้พัดลมดูดอากาศ (Blower) ดูดอนุภาคของผงพื้นฐานและอนุภาคของสารเติมแต่งในระบบ ความเร็วของลมดูด 4 m/s ทำให้เกิดการสูญเสียผงพื้นฐานและสารเติมแต่งระหว่างการลำเลียง และทำให้เกิดความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานออกจากพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤตนารี บุญเรือง กาญจนา ปรารถนาพร และนนทพร น้อยนาก, **การลดความเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน**, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ ส่วนการศึกษาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, **แผนผังก้างปลา (Fishbone diagram).** [Online]. Available: http://macs.crma.ac.th/~maetee/slides/fishbonediagram.pdf

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, **การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ,** พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551

โครงการฉลากสีเขียว, **ข้อกำหนดฉลากสีเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ซักผ้า**, สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากสีเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2536. [Online]. Available: http://www.tei.or.th/greenlabel/pdf/TGL-10-R1-10.pdf

ชิตณรงค์ สิริสถิตกุล. **กลไกการทำความสะอาดผงซักฟอก (Washing Mechanism).** 2545. [Online]. Available: http://www.vcharkarn.com/vcafe/32974

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน, **การวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis).** [Online]. Available:http://pirun.ku.ac.th/~fengcsr/courses/2008_01/206341/ch8.pdf (1/11/2557)

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และรศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. ท้อป, กรุงเทพฯ.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

รัตน์กรณ์ ชินสุทธิ และเลอศักดิ์ เชี่ยวชาญพัฒนากร, **การเพิ่มดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรเข้มข้น**, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.

ลำปาง แสงจันทร์, **ความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ (Process Capability for Statistic). 2549.** [Online]. Available: http://www.lampang.cmustat.com/QC_Book/Lesson%205.pdf

สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, มาตรฐานอุตสาหกรรมผงซักฟอก. 2550. [Online]. Available: http://library.tisi.go.th/musltim/TIS/TIS-78-2549m.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

อรธีรา เย็นจิตต์รัตตนวลี และอำพร เจียมสง่า, **การลดความสูญเสียกรดซัลโฟนิกและการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือ,** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2551.

เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด, **กระบวนการผลิตผงซักฟอก**

G.T. Austin. 1984. Shreve's Chemical Process Industry. London: Butterworth & Co.Ltd. pp.44-45

MITCalc, **Statistical methods of calculation-RSS, 6 Sigma methods. 2003. [Online].** Available:http://www.mitcalc.com/doc/tolanalysis1d/help/en/tolanalysis1d.htm

Patricia M. Portillo, Marianthi G. Ierapertritou and Fernando J. Muzzio. **Characterization of continuous convective powder mixing process.** Department of Chemical and Biochemical Engineering, Rutgers University, Piscataway. 2007.

Patricia M. Portillo, Marianthi G. Ierapertritou and Fernando J. Muzzio. **Effects of rotation rate, mixing angle, and cohesion in two continuous powder mixers-A statistica approach.** Department of Chemical and Biochemical Engineering, Rutgers University, Piscataway. 2009.

Shahar A., Farah S. Taip, Mohd S. Anuar, Norashikin A. Aziz, Sin T. Yeow and Yus A. Yusof. **The influences of operational parameters and feed preparation in convective batch ribbon powder mixer.** Drug Design, Development and Therapy. 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณภาพของผงพื้นฐาน ด้วย Unilever Standard Method Analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 วิธีวิเคราะห์ร้อยละของสารทำความสะอาดประจุลบของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

หลักการ

ไทเทรตสารละลายของผงพื้นฐานในระบบที่มี 2 เฟส คือ น้ำและคลอโรฟอร์ม ใช้สารละลายมาตรฐานแคตไอออนิกแอ็กทิฟ ได้แก่ Hyamine 1622 เป็นตัวไทเทรต และสารละลายผสม ระหว่าง Cationic dye (Dimidium bromide) กับ Anionic dye (Disulphine blue V) เป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อ Anionic surfactant ที่มีอยู่ในสารละลายของผงพื้นฐานทำปฏิกิริยากับ Cationic dye จะเกิดไอออนของเกลือที่ละลายในชั้นของคลอโรฟอร์ม และเห็นชั้นของคลอโรฟอร์มเป็นสีชมพู และเมื่อเข้าใกล้จุดยุติ Hyamine cation จะเข้าไปแทนที่ Dimidium cation ในชั้นคลอโรฟอร์มทำให้สีชมพูหายไป เมื่อถึงจุดยุติสารละลายในชั้นของคลอโรฟอร์มจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเทาฟ้า

วิธีการ

1. ชั่งผงพื้นฐานประมาณ 5.00 g (W) บันทึกน้ำหนัก และละลายผงพื้นฐานในน้ำกลั่น
2. เทสารละลายของผงพื้นฐานใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. ปิเปตสารละลายผงพื้นฐาน 5 ml (V) ใส่ในขวดที่จะทำการไทเทรต อาจเจือจางด้วยน้ำกลั่นประมาณ 20 ml เพื่อให้สามารถสังเกตสีของสารละลายเมื่อถึงจุดยุติได้ง่ายขึ้น
4. เติมอินดิเคเตอร์ 10 ml และคลอโรฟอร์ม 15 ml ลงไปเขย่าให้เข้ากัน
5. ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าขวด ไทเทรตด้วยสารละลาย Hyamine 1622 ที่ละน้อย และเขย่าทุกครั้ง จนกระทั่งถึงจุดยุติเมื่อสารละลายในชั้นของคลอโรฟอร์มเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเทาฟ้า
6. บันทึกปริมาตรของ Hyamine 1622 ที่ใช้ไทเทรต

การคำนวณ

$$\%AD = \frac{CC \times M \times MW \times 500 \times 100}{1{,}000 \times W \times V}$$

เมื่อ CC = ปริมาตรของ Hyamine 1622 ที่ใช้ไทเทรต

M = ความเข้มข้นของ Hyamine 1622 (0.004 M)

MW = มวลโมเลกุลของโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (NaLAS = 344)

W = น้ำหนักของผงพื้นฐาน (g)

V = ปริมาตรสารละลายของผงพื้นฐานในข้อ 3 (5 ml)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (% Moisture)

วิธีการ

1. เปิดสวิตช์ ON ที่ด้านหน้าเครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น
2. กด Tare (T) ให้หน้าปัดแสดงตัวเลขเป็น 0.000 g แล้วกด Enter
3. ชั่งน้ำหนักผงพื้นฐาน 3 ± 0.1 ลงในถาดใส่ตัวอย่าง แล้วปิดฝาครอบ
4. เครื่องจะทำงาน (ไฟจะสว่าง) เมื่อเครื่องทำงานเสร็จจะแสดงข้อความ END บนหน้าปัด บันทึกปริมาณความชื้นที่วัดได้

ก.3 วิธีวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine) และเปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Coarse)

1. เตรียมชุดตะแกรงร่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm ตามมาตรฐาน ISO 2591 โดยเรียงตะแกรงร่อนตามขนาดของช่องเปิดตามลำดับจากด้านล่าง 0, 125 และ 1,400 μm
2. ชั่งผงพื้นฐาน 25 ± 0.1 g ใส่ในชุดตะแกรงร่อนและปิดฝา
3. ตั้งเวลาเครื่องเขย่าชุดตะแกรงร่อน 5 นาที แล้วเปิดสวิตช์การทำงานของเครื่อง
4. เมื่อครบ 5 นาที ยกชุดตะแกรงร่อนออก นำตะแกรงร่อนชั้นบนสุดออกมา แล้วเทผงพื้นฐานที่ค้างบนตะแกรงร่อนใส่ถ้วยตวง ใช้แปรงไนลอนปัดส่วนที่ติดอยู่บนตะแกรงออกให้หมด แล้วนำไปคำนวณ % Coarse = 4 × น้ำหนักผงพื้นฐานที่ชั่งได้
5. เทผงพื้นฐานที่อยู่ชั้นล่างสุดใส่ถ้วยตวง นำไปชั่ง คำนวณ % Fine = 4 × น้ำหนักผงพื้นฐานที่ชั่งได้

ก.4 วิธีวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐาน (Bulk density: BD)

วิธีการ

1. ใส่ผงพื้นฐานประมาณ 500 g ที่ด้านบนของเครื่องวัดความหนาแน่นรวม แล้วดึงแผ่นเหล็กออกให้ผงพื้นฐานไหลลงกระบอกตวงด้านล่าง ปาดผงพื้นฐานที่ล้นเกินกระบอกตวง
2. ชั่งน้ำหนักผงพื้นฐานในกระบอกตวง แล้วคำนวณความหนาแน่นรวม จากสมการข้างล่าง

$$BD = \frac{\text{น้ำหนักผงพื้นฐานพร้อมกระบอกตวง } (g) - \text{น้ำหนักกระบอกตวง } (g)}{\text{ปริมาตรของกระบอกตวง } (cm^3)}$$

เมื่อ น้ำหนักของกระบอกตวง = 817.5 g

ปริมาตรของกระบอกตวง = 397.3 cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 การหาเวลาการผสมของถังผสมสารเติมแต่ง (Mixing time)

วิธีการ

1. ดำเนินการโดยป้อนเพียงผงพื้นฐานที่ถังผสมสารเติมแต่ง
2. รอให้ผงพื้นฐานเต็มถังผสมสารเติมแต่ง
3. ใส่ผงสีที่ก่อนทางเข้าถังผสมสารเติมแต่งโดยดำเนินการผลิตปกติ
4. จับเวลาและสังเกตสีที่ออกจากหลังถังผสมสารเติมแต่ง แล้วกดหยุดเวลา
5. ผงพื้นฐานและสีที่ใช้ในการทดลองจะเก็บไว้ในถุงเพื่อรอการนำมาผลิตใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่ง (การทดสอบที่ 1 ถึง 4 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557)

การทดสอบ	อัตราป้อนของผงพื้นฐาน (kg/h)	ความเร็วรอบของการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง (รอบ/นาที)	เวลาการผสม (วินาที)	%AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน
1	15,000	4	60	18.71 19 19.44 18.88 19.16
2	15,000	4	100	20.13 20.2 20.22 20.17 20.33
3	15,000	8	60	19.49 19.38 19.72 19.8 19.57
4	15,000	8	100	20.53 20.4 20.12 20.55 20.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความเบี่ยงเบนของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ถังผสมสารเติมแต่ง (การทดสอบที่ 5 ถึง 8 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2557)

การทดสอบ	อัตราป้อนของผงพื้นฐาน (kg/h)	ความเร็วรอบของการหมุนของถังผสมสารเติมแต่ง (รอบ/นาที)	เวลาการผสม (วินาที)	%AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน
5	21,000	4	60	19.29 19.86 19.41 20 19.85
6	21,000	4	100	19.51 20.31 20.21 19.17 20.17
7	21,000	8	60	19.02 19.7 19.31 19.3 20.28
8	21,000	8	100	20.31 19.98 19.69 20.4 19.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อกำหนดเฉพาะคุณภาพผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานหลังการดำเนินงาน

ตัวอย่างที่	%AD	%Moisture	% Fine	% Coarse	Bulk density	วันที่เก็บตัวอย่าง
1	19.97	4.5	11.72	2.71	0.55	20/4/2558
2	20.44	4.7	10.48	2.16	0.54	21/4/2558
3	20.62	4.6	9.97	2.42	0.57	22/4/2558
4	20.4	4.6	11.16	3.1	0.55	23/4/2558
5	20.1	4.4	8.76	2.4	0.56	24/4/2558
6	20.47	4.2	10.72	2.26	0.59	25/4/2558
7	19.87	4.3	12.24	2.05	0.56	26/4/2558
8	20.06	4.2	13.16	1.83	0.53	27/4/2558
9	20.4	4.4	10.43	2	0.54	28/4/2558
10	19.87	4	10.84	0.98	0.56	29/4/2558
11	21	4.3	10.56	1.57	0.54	30/4/2558
12	19.86	4.5	14.47	2.07	0.57	1/5/2558
13	20.19	4.5	11.72	1.54	0.54	2/5/2558
14	19.43	4.3	9.42	1.75	0.55	3/5/2558
15	19.95	4.2	8.42	1.67	0.53	4/5/2558
16	20.33	4.4	9.18	1.32	0.54	5/5/2558
17	20.07	4.4	10.53	0.82	0.57	6/5/2558
18	19.67	4.7	10.41	2.75	0.58	7/5/2558
19	20.2	4.4	12.42	1.41	0.56	8/5/2558
20	19.67	4.6	14.04	1.44	0.57	9/5/2558

หมายเหตุ เก็บตัวอย่างผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ทางออกของถังผสมสารเติมแต่ง ระหว่างวันที่ 20 เมษายน ถึง 9 พฤษภาคม 2558 ค่าเฉลี่ยของ 3 ตัวอย่าง ใน 1 วัน (1 ตัวอย่างต่อ 1 กะการผลิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การคำนวณต้นทุนสูญเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณต้นทุนสูญเปล่า

กำลังการผลิตของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (ปี พ.ศ 2557)	54,750	ตัน/ปี
ประมาณราคาของผงพื้นฐานสำหรับการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน	20,000	บาท/ตัน

บริษัทกำหนดพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 18-22%
(ค่าเฉลี่ยของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ %AD เท่ากับ 20%)
ค่าเฉลี่ยของ %AD ก่อนการดำเนินงาน เท่ากับ 19.64 (จากรูปที่ 4.6)
และค่าเฉลี่ยของ %AD หลังการดำเนินงาน เท่ากับ 20.20 (จากรูปที่ 4.11)

จากข้อกำหนดของบริษัท เมื่ออัตราป้อนผงพื้นฐาน 80%wt สารเติมแต่ง 20%wt จะทำให้ %AD มีค่า 20% ถ้าหาก %AD ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ (20%) พนักงานปฏิบัติการจะแก้ไขด้วยการเพิ่มอัตราป้อนผงพื้นฐานให้มากกว่า 80% เพื่อรักษาให้ %AD ยังคงอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ คำนวณอัตราป้อนผงพื้นฐานใหม่ได้จากสมการ (ค.1)

(อัตราการป้อนผงพื้นฐานเดิม) × (%ADที่ได้) = (อัตราการป้อนผงพื้นฐานใหม่) × (%ADใหม่) (ค.1)

ตัวอย่างการคำนวณแทนค่าในสมการที่ (ค.1) ก่อนการดำเนินงาน
80% × 20.00% = 19.64% × F จะได้ F = 82.47%
อัตราส่วนการป้อนผงพื้นฐานต่อสารเติมแต่งก่อนและหลังการดำเนินงานแสดงดัง ตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 อัตราส่วนการป้อนผงพื้นฐานต่อสารเติมแต่งก่อนและหลังการดำเนินงาน

	ค่าเฉลี่ยของ %AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน	อัตราส่วนการป้อนผงพื้นฐานต่อสารเติมแต่ง
พิกัดข้อกำหนดเฉพาะ (18-22%)	20.00%	80.00%
ก่อนการดำเนินงาน	19.64%	82.47%
หลังการดำเนินงาน	20.20%	79.21%

ใช้ตารางที่ ค.1 คำนวณต้นทุนสูญเปล่าในเทอมของการใช้ผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานดังนี้
(อัตราส่วนการป้อนผงพื้นฐานต่อสารเติมแต่งหลังการดำเนินงาน - อัตราส่วนการป้อนผงพื้นฐานต่อสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน)/100 × กำลังการผลิตของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน
= [(82.47-79.21)/100] × 54,750 ตัน/ปี = 1,785 ตัน/ปี
มูลค่าต้นทุนสูญเปล่า 1,785 ตัน/ปี × 20,000 บาท/ตัน = 35,700,000 บาท/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายชนินทร์วุฒิ กาลจักร
วัน เดือน ปีเกิด 19 กรกฎาคม 2535
ที่อยู่ 123/11 หมู่ 2 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110
Email K.Chaninwut@gmail.com **โทรศัพท์** 083-996-6421

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2551-2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เบญจมราชาลัย
- พ.ศ. 2554-2557 ปริญญาตรี วศ.บ. (เกียรตินิยมอันดับ 1)
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- พ.ศ. 2558- ศึกษาต่อปริญญาโท วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี (สาขาปิโตรเคมี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสบการณ์การฝึกงาน

นักศึกษาฝึกงานแผนก Supply Chain Economics and Planning (ประธานรุ่น และหัวโครงการ CSR) บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน) อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 30 พฤษภาคม 2557

ชื่อ-นามสกุล นายธฤต อุสาหะนันท์
วัน เดือน ปีเกิด 18 สิงหาคม 2535
ที่อยู่ 103/12 นวมินทร์ 22 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพ 10240
Email me3tarit.u@gmail.com **โทรศัพท์** 083-243-1202

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2551-2553 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า
- พ.ศ. 2554-2557 ปริญญาตรี วศ.บ. (เกียรตินิยมอันดับ 2)
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- พ.ศ. 2558- ศึกษาต่อปริญญาโท โครงการทักษะวิศวกรรมเคมี
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประสบการณ์การฝึกงาน

นักศึกษาฝึกงานฝ่ายการผลิต บริษัท อูเบะเคมิคอลส์ เอเชีย จำกัด ที่นิคมอุตสาหกรรม ไออาร์พีซี ระหว่างวันที่ 1 เมษายน ถึง 30 พฤษภาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้