# พารามิเตอร์จากเครื่องร่อนคัดขนาดต่อประสิทธิภาพการซักล้าง ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

รัฐพร ตาแก้ว
ศิลาวรรณ รัตนวิภา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

# พารามิเตอร์จากเครื่องร่อนคัดขนาดต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

รัฐพร ตาแก้ว

ลีลาวรรณ รัตนวิภา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2556

# PARAMETERS FROM THE PARTICLE SIZER AFFECTING TO PERCENT ACTIVE DETERGENT OF STANDARD LAUNDRY POWDER DETERGENT

**RATTAPORN TAKAEW**
**LEELAWAN RATTANAVIPA**

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT**
**OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF**
**BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERRING**
**FACULTY OF ENGINEERING**
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
**KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG**
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
**ACADEMIC YEAR 2013**

**ปริญญานิพนธ์เรื่อง** พารามิเตอร์จากเครื่องร่อนคัดขนาดต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

**โดย** นางสาวรัฐพร ตาแก้ว

นางสาวลีลาวรรณ รัตนวิภา

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

**อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** คุณไพบูลย์ ชูโชติรส

Technology and Innovation Manager

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด

**ปริญญานิพนธ์** สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

---

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

..................................................ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

..................................................กรรมการ

(อ.บุญชัย โชติวิริยวาณิชย์)

..................................................กรรมการ

(อ.ศิริพันธ์ มุรธาธัญลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **ปริญญานิพนธ์เรื่อง** | พารามิเตอร์จากเครื่องร่อนคัดขนาดต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน |
| **โดย** | นางสาวรัฐพร ตาแก้ว<br>นางสาวลีลาวรรณ รัตนวิภา |
| **ปริญญา** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมเคมี |
| **ปีการศึกษา** | 2556 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | รศ. ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** | คุณไพบูลย์ ชูโชติรส บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด |

## บทคัดย่อ

ประสิทธิภาพการซักล้าง (Active detergent: % AD) แสดงความสามารถในการลดแรงตึงผิวและการทำความสะอาดของผงซักฟอก ข้อกำหนดเฉพาะของ % AD ของผงพื้นฐานของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่เป็นกรณีศึกษาก่อนผสมสารเติมแต่งมีค่า 24.675-28.675 % และมีค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะซึ่งเป็นค่าเป้าหมายเท่ากับ 26.675 % ก่อนดำเนินงานพบว่า % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีค่าต่ำลงและเบี่ยงเบนออกจากค่าเป้าหมายไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ เพราะเกิดการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูงจากการร่อนคัดขนาด ผงพื้นฐานส่วนนี้จะถูกนำกลับเป็นรีเวิร์ค (Rework) เข้ากระบวนการผลิต ทำให้เกิดต้นทุนสูญเปล่าและต้นทุนค่าเสียโอกาส เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงสาเหตุและผลการระดมสมอง และการวิเคราะห์แบบ why-why และใช้โปรแกรมมินิแทปวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ พบว่าพารามิเตอร์หรือปัจจัยที่มีนัยสำคัญซึ่งทำให้ % AD ของผงพื้นฐานมีค่าต่ำลง ได้แก่อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด ส่วนอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานไม่มีนัยสำคัญ เพราะซีโอไลต์ทำให้ผงพื้นฐานมีขนาดใหญ่และลดอัตราการไหลของผงพื้นฐาน ดังนั้นเมื่อลดค่าอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดจาก 50.15 เป็น 28.87 ตันต่อชั่วโมง สามารถลดรีเวิร์คที่เกิดจากการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูง และผงพื้นฐานขนาดใหญ่ได้ 143.43 ตันต่อปี คำนวณมูลค่าจากรีเวิร์คที่ลดลงโดยไม่รวมต้นทุนค่าเสียโอกาสเท่ากับ 574,000 บาทต่อปี พบว่าค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Process potential capability index: Cp) เพิ่มขึ้นจาก 0.99 เป็น 1.71 ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: Cpk) เพิ่มขึ้นจาก 0.51 เป็น 1.04 และคำนวณมูลค่าของผงพื้นฐานที่มีค่าเฉลี่ยของ % AD เพิ่มขึ้นจาก 25.70 เป็น 25.89 % ได้เท่ากับ 4,627,000 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Report title** | Parameters from the Particle Sizer Affecting to Percent Active Detergent of Standard Laundry Powder Detergent |
| **By** | Miss Rattaporn Takaew |
| | Miss Leelawan Rattanavipa |
| **Degree** | Bachelor of Engineering |
| **Program** | Chemical Engineering |
| **Year** | 2013 |
| **Advisor** | Assoc. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum |
| **Co-advisor** | Mr. Paiboon Choochotiros The Unilever Thai Holdings Limited |


## ABSTRACT

Percent active detergent (% AD) is one of detergent specifications indicating the ability of the detergent to reduce surface tension and its washing efficiency. The lower and upper specifications of % AD of base powder, which represents the detergent before adding additives, are 24.675-28.675 % with mean or the target value of 26.675 %. Before this work, it was observed that %AD of the base powder after passing the Mogensen sizer decreased. The resulting %AD deviated from the target control specification to lower specification limit (LSL) due to loss of small size base powder having high active detergent. This base powder was sent to rework resulting in unnecessary costs and opportunity cost. Root causes of low %AD base powder were analyzed by the cause and effect diagram, brain storming and why-why analysis. Of the overall possible root causes, the significant parameters were consequently determined by the Minitab program. High mass flow rate of base powder to the Mogensen sizer led to low active detergent base powder, while the weight ratio of zeolite to base powder was insignificant as the zeolite helps form large size base powder and reduces its volumetric flow rate. Therefore, by reducing base powder to the Mogensen sizer from 50.15 to 28.87 ton/h, the decrease in rework in terms of loss of small size base powder having high active detergent including the oversize base powder totally 143.43 ton/year was obtained, which was equivalent to 574,000 Baht/year. The process potential capability index (Cp) increased from 0.99 to 1.71 and the process performance capability index (Cpk) increased from 0.51 to 1.04. The calculated opportunity cost regarding the increase in high active detergent of base powder from 25.70 to 25.89 % was about 4,627,000 Baht/year.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการทำงาน

ขอขอบคุณคณะผู้บริหารของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ที่ให้โอกาสทำโครงการและสนับสนุนวัตถุดิบและเครื่องมือ คุณประชา โภคฐิติยุกต์ ผู้อำนวยการฝ่ายผลิต กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ในครัวเรือน คุณไพบูลย์ ชูโชติรส ตำแหน่ง Technology and Innovation Manager คุณพรศักดิ์ ยางสูง หัวหน้างานฝ่ายผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน คุณกันย์ศนี สุภาพกุล ตำแหน่ง QA Supervisor Homecare Powder และพนักงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการทำงาน

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ครู อาจารย์ คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ทำโครงการขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้

รัฐพร ตาแก้ว
ลีลาวรรณ รัตนวิภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... II
กิตติกรรมประกาศ ..... III
สารบัญ ..... IV
สารบัญตาราง ..... VII
สารบัญรูป ..... IX
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ ..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ ..... 4
1.3 ขอบเขตของโครงการ ..... 4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ ..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 6
2.1 สารซักฟอก ..... 6
2.2 ส่วนประกอบของสารซักฟอก ..... 6
2.3 กระบวนการผลิตลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต ..... 9
2.4 กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ..... 10
2.5 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานและผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ..... 12
2.6 หลักการของเครื่องร่อนคัดขนาด Mogensen sizer ..... 14
2.7 ซีโอไลต์ ..... 16
2.8 เครื่องมือแห่งคุณภาพ ..... 16
2.9 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ..... 28
2.10 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป ..... 32
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 37

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน ..... 40
3.1 เขียนแผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานก่อนการดำเนินงาน ........ 40
3.3 วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ % AD ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (ดัชนี Cp) และดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (ดัชนี Cpk) ก่อนการดำเนินงาน ........ 41
3.4 วิเคราะห์ข้อกำหนดด้านคุณภาพ ขนาด และรูปร่างของผงพื้นฐานที่เครื่องร่อนคัดขนาด ........ 42
3.5 วิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ........ 43
3.6 ทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ........ 43
3.7 วิเคราะห์ปริมาณผงพื้นฐานที่สูญเสียเป็นรีเวิร์ค ค่าเฉลี่ยของ % AD ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ และดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการหลังการดำเนินงาน ........ 43

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล ........ 44
4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ........ 44
4.2 ประสิทธิภาพการซักล้างของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอก และความสามารถของกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานก่อนการดำเนินงาน ........ 47
4.3 ข้อกำหนดด้านคุณภาพ ขนาด และรูปร่างของผงพื้นฐานที่เครื่องร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน ........ 51
4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ........ 59
4.5 การทดสอบปัจจัยที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาดด้วยโปรแกรมมินิแทป R. 15 ........ 68
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
4.6 การทดสอบปัจจัยที่คาดว่ามีนัยสำคัญที่ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลงด้วยโปรแกรมมินิแทป R. 15 ........ 70

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า


4.7 ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป R. 15 ........ 72

4.8 ปริมาณผงพื้นฐานที่สูญเสียเป็นรีเวิร์คจากเครื่องร่อนคัดขนาดและประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15 ........ 73

4.9 ความสามารถของกระบวนการที่เครื่องร่อนคัดขนาดหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15 ........ 75

4.10 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15 ........ 77

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ ........ 79

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน ........ 79

5.2 ข้อเสนอแนะ ........ 79

บรรณานุกรม ........ 81

ภาคผนวก ก ข้อมูลดิบ ........ 84

ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของผงพื้นฐานและผงซักฟอก ........ 108

ภาคผนวก ค การคำนวณอัตราการให้ผลผลิตของเครื่องร่อนคัดขนาดสูงสุด (Capacity) และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ........ 112

ประวัติผู้เขียน ........ 116



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 วัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องมือแห่งคุณภาพในการวิเคราะห์ปัญหา................17
ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะและหน้าที่ของกราฟแต่ละประเภท.................................................19
ตารางที่ 2.3 การตีความหมายตามลักษณะฮีสโตแกรม..............................................................23
ตารางที่ 2.4 ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp................29
ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนด % AD ของบริษัทของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอก..............41
ตารางที่ 4.1 ความหมายของสัญลักษณ์จากแผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอก
สูตรมาตรฐาน ...............................................................................................46
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของ % AD ของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอกที่ตำแหน่งต่างๆ และ
ข้อกำหนด % AD ของบริษัท...........................................................................47
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยปริมาณผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด...............................55
ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร
ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด ..............................................................65
ตารางที่ 4.5 ค่าของปัจจัยที่ศึกษา...........................................................................................68
ตารางที่ 4.6 ปริมาณรีเวิร์คที่เกิดขึ้นจากภาวะปฏิบัติงานปกติที่ใช้ในการทดลองนี้และหลังใช้
ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป............................................74
ตารางที่ ก.1 % AD ของผงพื้นฐานวันที่ 13 – 30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ............................85
ตารางที่ ก.2 % AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือที่สายการผลิตที่ 1
วันที่ 13-30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 ..............................................................86
ตารางที่ ก.3 % AD ของสเลอรี่ที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ก่อนการดำเนินงาน ..........................87
ตารางที่ ก.4 % AD ของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน
และ % AD ของผงซักฟอกที่ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน .....88
ตารางที่ ก.5 % AD ของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน ................89
ตารางที่ ก.6 ความชื้นของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน...............90
ตารางที่ ก.7 ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด...............................
ก่อนการดำเนินงาน...........................................................................................90
ตารางที่ ก.8 เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด
ก่อนการดำเนินงาน...........................................................................................91
ตารางที่ ก.9 เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด
ก่อนการดำเนินงาน...........................................................................................91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ก.10 ปริมาณของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน ..........92
ตารางที่ ก.11 % AD ของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน ...........92
ตารางที่ ก.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด ....................93
ตารางที่ ก.13 เปอร์เซ็นต์ของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตรและมี % AD สูงที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด ของการทดสอบปัจจัย........................................95
ตารางที่ ก.14 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบปัจจัย ....99
ตารางที่ ก.15 ปริมาณรีเวิร์คจากภาวะปฏิบัติงานปกติที่ใช้ในการทดลองนี้และจากภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป ............................ 103
ตารางที่ ก.16 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ จากภาวะปฏิบัติงานปกติ........................................104
ตารางที่ ก.17 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ จากภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป ........................................106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

**หน้า**


รูปที่ 1.1 % AD ของผงพื้นฐานที่เป็นกรณีศึกษา (13 - 30 กันยายน พ.ศ. 2556) ........................3
รูปที่ 1.2 % AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือจากสายการผลิตที่ 1 (13 - 30 กันยายน พ.ศ. 2556) ........................4
รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต ........................9
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องร่อนคัดขนาด Mogensen sizer ........................14
รูปที่ 2.3 ลักษณะการติดตั้งตะแกรงร่อนของเครื่องร่อนคัดขนาด........................15
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซีโอไลต์........................16
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างของแผ่นตรวจสอบที่ใช้หาประเภทของข้อบกพร่องที่เกิดจากการฉีดชิ้นงานพลาสติก ........................20
รูปที่ 2.6 แผนผังพาเรโตแสดงมูลค่าความสูญเสียจากการตัดวัสดุชนิดต่างกันในกระบวนการผลิตห้องสะอาด........................21
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแผนผังแสดงสาเหตุและผล ........................22
รูปที่ 2.8 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยของแผนผังการกระจาย ........................25
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมปริมาณความชื้นของผงพื้นฐาน ........................26
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แผนภูมิต้นไม้ (Tree diagram) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบ why-why ........................27
รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบลักษณะกราฟดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ........................29
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนี Cpk กับพารามิเตอร์ k........................30
รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบลักษณะกราฟดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการเมื่อ Cp = 1.33 ........................31
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ........................32
รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง Main effects plot ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาและตัวแปรตอบสนอง ........................34
รูปที่ 2.16 กราฟปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยที่ศึกษาและตัวแปรตอบสนอง ........................34
รูปที่ 2.17 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลในโปรแกรมมินิแทป ........................35
รูปที่ 2.18 การเลือกชนิดการออกแบบการทดลอง จำนวนปัจจัย และจำนวนการทดลองซ้ำในโปรแกรมมินิแทป ........................36
รูปที่ 2.19 Worksheet แสดงผลการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย (แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง)........................36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.20 แผนผังพาเรโตจากโปรแกรมมินิแทปเพื่อใช้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ....37
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน M1) หลังเติมซีโอไลต์ก่อนเข้าเครื่องร่อนคัดขนาด M2) ที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดและ M3) ที่รถรองผงพื้นฐาน ....42
รูปที่ 4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ....46
รูปที่ 4.2 % AD ของผงพื้นฐานก่อนการดำเนินงาน (ตำแหน่งที่ 4: หลังเติมซีโอไลต์) ....48
รูปที่ 4.3 % AD ของผงพื้นฐานก่อนการดำเนินงาน (ตำแหน่งที่ 5: ที่สายพานลำเลียงหลังเครื่องร่อนคัดขนาด) ....49
รูปที่ 4.4 % AD ของผงซักฟอกก่อนการดำเนินงาน (ตำแหน่งที่ 6: หลังออกจาก Drum mixer) ..50
รูปที่ 4.5 ความชื้นของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด ....51
รูปที่ 4.6 ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด ....51
รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด ....52
รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด ....52
รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด M1 คือ ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด M2 คือ ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด M3 คือผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด ....54
รูปที่ 4.10 ลักษณะของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดที่มีขนาดรูเปิด 8 มิลลิเมตร ....55
รูปที่ 4.11 ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านเครื่องร่อนคัดขนาดและแยกด้วยตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 10 เมช ....56
รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ....56
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายอนุภาคผงพื้นฐานที่มี % AD 25.82 % ที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ....57
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายอนุภาคผงพื้นฐานที่มี % AD 25.24 % ที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเผยแพร่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า


รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายอนุภาคผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD 27.77 % ซึ่งติดไปกับผงพื้นฐานขนาดใหญ่ที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อน(Oversize) ....59
รูปที่ 4.16 แผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก ....60
รูป ที่ 4.17 อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงพื้นฐานและสารเติมแต่งของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือ ....63
รูปที่ 4.18 การอุดตันของตะแกรงจากผงพื้นฐานที่มีความชื้นสูง ....67
รูปที่ 4.19 แผนผังพาราโตจากโปรแกรมมินิแทปแสดงปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากการร่อนคัดขนาด ....69
รูปที่ 4.20 Main effects plot ของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดและอัตราส่วน โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง ....70
รูปที่ 4.21 แผนผังพาราโตจากโปรแกรมมินิแทปแสดงปัจจัยที่มีนัยสำคัญทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง ....71
รูปที่ 4.22 Main effects plot ของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดและอัตราส่วน โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานที่ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง ....72
รูปที่ 4.23 ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป ....73
รูปที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด ก) ภาวะปฏิบัติงานปกติก่อนการดำเนินงาน ข) ภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้ และ ค) ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป ....75
รูปที่ 4.25 % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้ .... 76
รูปที่ 4.26 % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป ....76
รูปที่ 4.27 ความชื้นของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน....77
รูปที่ 4.28 ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน ....77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า


รูปที่ 4.29 เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน.......78
รูปที่ 4.30 เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน.......78
รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด.......94



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ผลิตและจำหน่ายสินค้าอุปโภคและบริโภคหลายชนิด เช่น ผงซักฟอก แชมพู สบู่ น้ำยาล้างจาน ครีมบำรุงผิว และไอศกรีม เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ผงซักฟอกของบริษัทมี 2 สูตร ได้แก่ ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและผงซักฟอกสูตรเข้มข้น ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.) แบ่งผงซักฟอกสูตรมาตรฐานเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือ
2. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า และ
3. ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า

โครงการนี้ศึกษาเฉพาะผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือ ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานผลิตโดยผสมวัตถุดิบทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลวให้เป็นสเลอรี่ (Slurry) แล้วส่งเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ผงพื้นฐาน (Base powder) หลังจากนั้นจึงผสมสารเติมแต่งต่างๆ ในผงพื้นฐานเพื่อเพิ่มคุณสมบัติ แล้วจึงส่งผงซักฟอกที่ได้เข้ากระบวนการบรรจุภัณฑ์

ข้อกำหนดด้านคุณภาพที่สำคัญของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานประกอบด้วย

1. ประสิทธิภาพการซักล้าง ซึ่งแสดงความสามารถในการทำความสะอาดและปริมาณสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzen sulfonate: LAS) หรือกรดซัลโฟนิก ประสิทธิภาพการซักล้างระบุด้วย % AD (Active detergent) ตามสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกหรือ % AD ต้องสูงกว่า 18 % บริษัทกำหนด คือ % AD 18-22 % (ค่าเป้าหมายหรือค่ากลางสูงกว่ากฎหมาย คือ 20 %) ส่วน % AD ของผงพื้นฐาน กำหนดระหว่าง 24.675-28.675 % (ค่าเป้าหมาย คือ 26.675 %)

2. ความหนาแน่นรวม (Bulk density: BD) ข้อกำหนดความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานและของผงซักฟอกเท่ากับ 0.42-0.50 และ 0.51-0.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยมีค่าเป้าหมาย คือ 0.46 และ 0.57 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

3. ความชื้น (Moisture content: % MC) ข้อกำหนดความชื้นของผงพื้นฐานของบริษัทอยู่ระหว่าง 2-4.5 wt% (ค่าเป้าหมายของบริษัท คือ 3 wt%) ส่วนข้อกำหนดของผงซักฟอกอยู่ระหว่าง 2-6 wt% (ค่าเป้าหมาย คือ 4 wt%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Coarse) คือ อัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานหรือผงซักฟอกที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร และไม่สามารถผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 10 เมช ตามข้อกำหนดของบริษัทเปอร์เซ็นต์ผงหยาบต่อน้ำหนักทั้งหมดต้องไม่เกิน 5 wt%

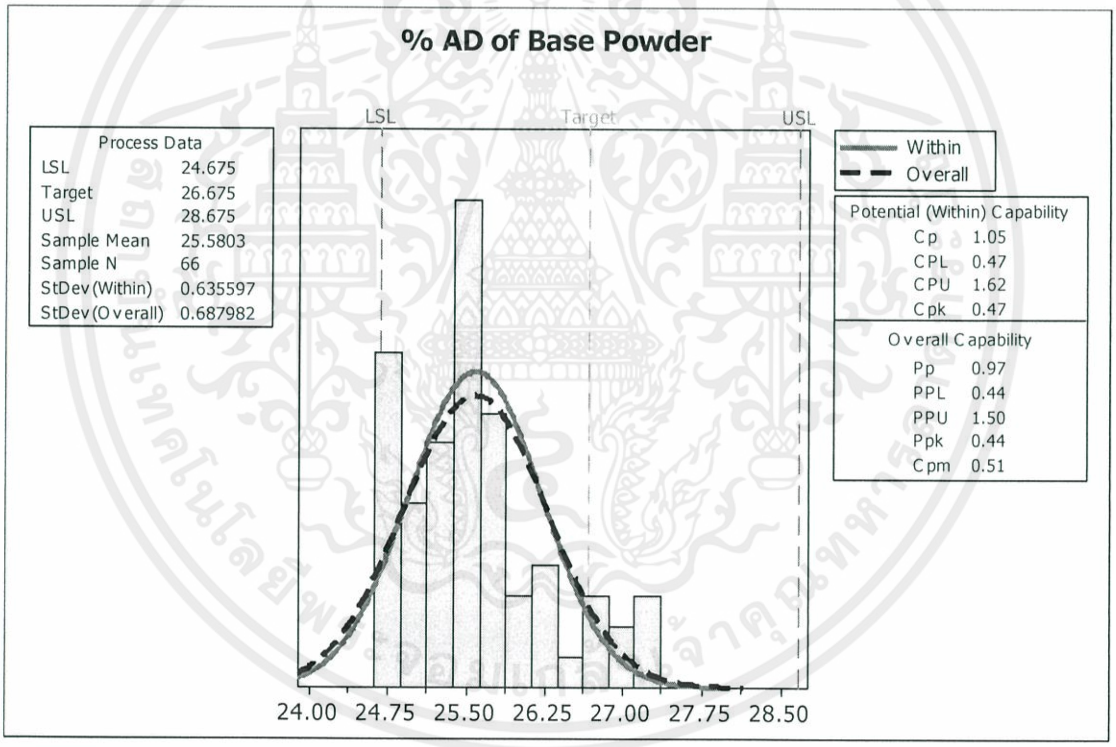
5. เปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine) คือ อัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานหรือผงซักฟอกที่มีขนาดเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร และสามารถผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 80 เมช ตามข้อกำหนดของบริษัทเปอร์เซ็นต์ผงละเอียดต่อน้ำหนักทั้งหมดต้องไม่เกิน 20 wt%

หากคุณภาพของผงพื้นฐานและผงซักฟอกต่ำกว่าข้อกำหนด บริษัทจะต้องปรับให้ได้ตามมาตรฐาน หรือนำกลับเข้ากระบวนการผลิตใหม่กลายเป็นรีเวิร์ค (Rework) ซึ่งทำให้เกิดเวลาและต้นทุนสูญเปล่า เพราะต้องใช้ทรัพยากรการผลิตเพิ่มขึ้น ได้แก่ วัตถุดิบ สาธารณูปโภค พลังงาน และแรงงาน นอกจากนี้ยังเกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสเนื่องจากไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ตามเป้าหมาย และอาจสูญเสียส่วนแบ่งทางการตลาดได้

การเก็บข้อมูลระหว่างวันที่ 13 - 30 กันยายน พ.ศ. 2556 และคำนวณค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Process potential capability index: Cp) และค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: Cpk) ของ % AD ของผงพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 1.1 พบว่าค่าดัชนี Cp และ Cpk เท่ากับ 1.05 และ 0.47 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ กระบวนการที่ดีควรมีค่าดัชนี Cp และ ดัชนี Cpk มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 สำหรับกระบวนการผลิตผงซักฟอกค่าดัชนี Cp และ Cpk ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 1 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551) ดัชนี Cp ใช้วัดความสามารถของกระบวนการในรูปของความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตเทียบกับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านสูงและด้านต่ำ ส่วนดัชนี Cpk ใช้วัดการเบี่ยงเบนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งสะท้อนได้ว่าการผลิตผงพื้นฐานยังมีข้อบกพร่องที่ส่งผลให้ % AD ของผงพื้นฐานเบี่ยงเบนออกจากพิกัดข้อกำหนดเฉพาะที่เป็นค่าเป้าหมาย และมีแนวโน้มส่วนใหญ่ไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ เห็นได้จากรูปที่ 1.1 ในทางปฏิบัติหาก % AD ของผงพื้นฐานต่ำกว่าค่าเป้าหมาย หรือต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำไม่มากนัก บริษัทจะต้องเพิ่มปริมาณผงพื้นฐานที่ใช้ในขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง (เพิ่มสัดส่วนของผงพื้นฐานที่ใช้มากกว่าสารเติมแต่ง) เพื่อให้ผงซักฟอกยังคงมี % AD ได้ตามข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่ถ้า % AD ของผงพื้นฐานต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำมาก บริษัทจะส่งไปเป็นรีเวิร์คที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่

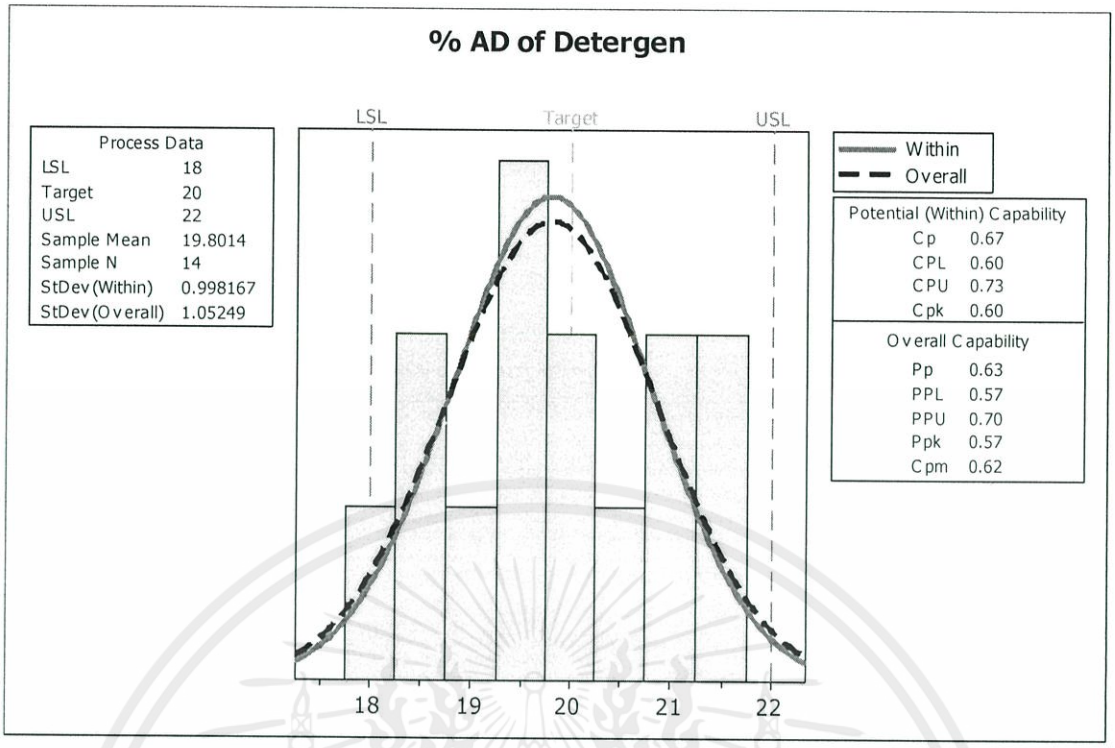
ในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 1.2 เห็นได้ว่า ค่าดัชนี Cp และ Cpk ของ % AD ของผงซักฟอกก็อยู่ในเกณฑ์ต่ำเช่นเดียวกัน บ่งชี้ว่าต้องปรับปรุงการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน จากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น รดีบูรณ์ ชินสุทธิ (2546) พบปัญหา % AD ของผงซักฟอกต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ หลังจากวิเคราะห์สาเหตุจึงได้สอบเทียบชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก (Calibrate weighting) ของสารเติมแต่ง ทำให้สามารถลดรีเวิร์คได้ และลดจำนวนครั้งที่ % AD ของผงซักฟอกไม่ได้ตามมาตรฐานจาก

3.03 ครั้งต่อสัปดาห์ เหลือ 0.29 ครั้งต่อสัปดาห์ อรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า (2551) พบว่าความเร็วรอบของใบกวนมีผลต่อ % AD มากกว่า เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทินในขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ เมื่อลดเวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน และเพิ่มความเร็วรอบของใบกวน % AD ของผงพื้นฐานเพิ่มขึ้น และกฤตนารี บุญเรือง และคณะ (2554) พบว่า% AD ของผงพื้นฐานจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยและอุณหภูมิของอากาศขาเข้า อย่างไรก็ตามผู้ทำโครงการและทีมวิจัยของบริษัทเชื่อว่ายังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก ยังมีหลายขั้นตอนในกระบวนการผลิตผงซักฟอกที่ไม่เคยศึกษา ดังนั้นโครงการนี้จะหาปัจจัยที่ส่งผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานในสายการผลิตที่ 1 ซึ่งมีกำลังผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 45,000 ตันต่อปี เพื่อหาแนวทางควบคุมปัจจัยนั้นเพื่อให้ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกเข้าใกล้ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท




**รูปที่ 1.1** % AD ของผงพื้นฐานที่เป็นกรณีศึกษา (13 - 30 กันยายน พ.ศ. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 1.2** % AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือที่เป็นกรณีศึกษาจากสายการผลิตที่ 1 (13 - 30 กันยายน พ.ศ. 2556)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐาน

1.2.2 เพื่อหาแนวทางควบคุมประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานให้เข้าใกล้ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือ

1.3.2 ตรวจสอบ % AD ที่ตำแหน่งต่างๆ ในขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน และขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเพื่อหาตำแหน่งในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ต้องปรับปรุง

1.3.3 วิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผล และการระดมสมอง

1.3.4 ใช้การวิเคราะห์แบบ why-why และโปรแกรมมินิแทป R.15 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐาน

1.3.5 หาภาวะปฏิบัติงานที่ทำให้ประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย ซึ่งคือค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อ % AD ของผงพื้นฐาน

1.4.2 สามารถเพิ่ม % AD ของผงพื้นฐานให้เข้าใกล้ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ

1.4.3 สามารถลดรีเวิร์ค ต้นทุนสูญเปล่า และต้นทุนค่าเสียโอกาสเนื่องจากการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูงจากการร่อนคัดขนาด และผงพื้นฐานขนาดใหญ่ (Oversize)

1.4.4 สามารถใช้ความรู้ที่ได้ประยุกต์ขยายผลกับสายการผลิตที่ 2 ซึ่งมีกำลังผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน 45,000 ตันต่อปี เช่นกัน

1.4.5 เพิ่มความสามารถในการแข่งขันของบริษัท

1.4.6 ผู้ทำโครงการเรียนรู้กระบวนการผลิต เกิดทักษะในการวางแผนดำเนินงาน สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาได้อย่างถูกต้อง และสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างเป็นระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 สารซักฟอก (Detergents) (โครงการฉลากเขียว. 2540; สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549)

สารซักฟอกเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเสื้อผ้า มีสารลดแรงตึงผิวเป็นองค์ประกอบหลัก แบ่งเป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. สารซักฟอกชนิดผง ได้แก่

    1.1 ผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (Standard laundry powder detergent) แบ่งเป็น

    - ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือ
    - ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า
    - ผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า

    1.2 ผงซักฟอกสูตรเข้มข้น (Concentrated laundry powder detergent) แบ่งเป็น

    - ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือ
    - ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า
    - ผงซักฟอกสูตรเข้มข้นชนิดซักฟอกด้วยมือและเครื่องซักผ้า

2. สารซักฟอกชนิดเหลว (Laundry liquid detergent)

## 2.2 ส่วนประกอบของสารซักฟอก (สำหนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549)

ส่วนประกอบของสารซักฟอก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนประกอบหลัก และส่วนประกอบที่อาจมีได้

### 2.2.1 ส่วนประกอบหลัก ได้แก่

- **สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)** เป็นสารที่มีประจุลบ (Anionic) ประจุบวก (Cationic) ไม่มีประจุ (Nonionic) หรือมีทั้งประจุบวกและลบ เมื่อละลายอยู่ในน้ำหรือสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย สารลดแรงตึงผิวจะลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้ไขมันและคราบสกปรกที่ติดอยู่กับเนื้อผ้าหลุดออก

- **สารลดความกระด้างของน้ำ (Sequestering builder)** เป็นสารช่วยให้สารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น โดยจะรักษาสมดุลความเป็นกรดด่างของน้ำ และช่วยลดความกระด้างของน้ำ ตัวอย่าง เช่น โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate) ซีโอไลต์ (Zeolite) เกลือ

ของกรดไนทริโลไตรแอซีติก (Nitrilotriacetic: NTA) กรดซิตริก (Citric acid) และอนุพันธ์ของกรดซิตริก (Citric acid and derivatives) สารใดสารหนึ่งหรือผสมกัน

- **สารกันคราบคืน (Anti-soil redeposition agent)** เป็นสารป้องกันและไม่ให้คราบหรือสิ่งสกปรกที่ตกตะกอนกลับเข้าเกาะเนื้อผ้า เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose)

- **สารรักษาระดับความเป็นด่างให้คงที่ตลอดช่วงการซักล้าง (Alkaline builder)** เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) สารใดสารหนึ่งหรือผสมกัน

- **สารเพิ่มความสดใส (Optical brightening agent or optical brightener)** เป็นสารที่สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต ทำให้เสื้อผ้าดูขาวขึ้น เช่น สารไทโนพัล ดีเอ็มเอส (Tinopal DMS)

**2.2.2 ส่วนประกอบที่อาจมีได้** เช่น

- **โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate)** เป็นสารที่เกิดขึ้นร่วมกับการสังเคราะห์สารโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Sodium linear alkylbenzen sulfonate: NaLAS) โซเดียมซัลเฟตเป็นทั้งวัตถุดิบและสารเติมแต่ง ช่วยป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของผงซักฟอก (Processing acid) ส่วนใหญ่ใช้เติมเพื่อเพิ่มปริมาณ

- **สารเพิ่มฟอง (Suds booster)** เป็นสารที่ใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้เกิดฟองมากขึ้น ใช้เติมในผงซักฟอกชนิดซักด้วยมือ

- **สารลดฟอง (Suds depressor)** เป็นสารซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิวจะทำให้ฟองลดลง ใช้เติมลงในผงซักฟอกชนิดซักฟอกด้วยเครื่องซักผ้า

- **สารฟอก (Oxygen bleach)** หมายถึง สารที่อาศัยปฏิกิริยาของแนสแซนต์ออกซิเจน (Nascent oxygen) ในการฟอก สารฟอกต้นตอ (Bleach precursor) หมายถึง สารที่ละลายในน้ำจะเกิดสารฟอกขึ้น สารคงสภาพของสารฟอกต้นตอ (Stabilizer for bleach precursor) หมายถึง สารที่ผสมกับสารฟอกต้นตอแล้วทำให้สารฟอกต้นตอสลายตัวช้าลง สารเหล่านี้ทำให้ผ้าดูขาวขึ้น

- **สารช่วยการละลาย (Hydrotrope)** เป็นสารที่ทำให้ผงซักฟอกละลายน้ำได้ดีขึ้น

- **สารกันหมอง (Anti-tarnishing agent)** เป็นสารที่ช่วยให้สิ่งซักล้างที่มีส่วนที่เป็นโลหะไม่หมองคล้ำ

- **แอนติออกซิแดนต์ (Anti-oxidant)** เป็นสารที่ทำให้ส่วนประกอบบางอย่างของผงซักฟอกเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **เอนไซม์ (Enzyme)** เป็นสารอินทรีย์ที่ช่วยย่อยโมเลกุลของโปรตีน แป้ง หรือไขมัน ให้เป็นหน่วยย่อยๆ ได้ ปัจจุบันนิยมใช้แพร่หลายมากขึ้น เพราะมีประสิทธิภาพในการชำระล้าง สามารถย่อยโปรตีนของเหงื่อไคล คราบโลหิต

- **สีและน้ำหอม** เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดูสวยงาม และมีกลิ่นหอมน่าใช้

- **สารต้านจุลินทรีย์ (Anti-microbial compound)** เป็นสารที่ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

- **สารกันไฟฟ้าสถิต (Anti-static agent)** เป็นสารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนเนื้อผ้า

- **สารช่วยขับสิ่งสกปรก (Soil releasing agent)** เป็นสารที่ช่วยให้สิ่งสกปรกที่ติดเนื้อผ้าหลุดออกง่ายขึ้น โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ช่วยขจัดคราบสิ่งสกปรกออกจากเนื้อผ้า

- **สารช่วยคงสภาพผิวหนัง (Mildness additive)** เป็นสารที่ช่วยให้ผงซักฟอกไม่ทำอันตรายผิวหนัง

- **สารคงสภาพการเก็บรักษา (Storage stabilizer)** เป็นสารที่ช่วยให้สามารถเก็บผงซักฟอกไว้ได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ

- **สารช่วยให้ผ้านุ่ม (Fabric softening agent)** เป็นสารที่ทำให้ผ้านุ่มขึ้นหลังจากซักแล้ว

- **สารต้านไฟฟ้าสถิต (Anti-static agent)** เป็นสารที่ช่วยลดประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นบนเนื้อผ้า

- **สารต้านการกัดกร่อน (Anti-corrosion)** เป็นสารที่ช่วยลดการกัดกร่อนส่วนที่เป็นโลหะของเสื้อผ้า และช่วยป้องกันการสึกหรอของส่วนประกอบของเครื่องซักผ้า

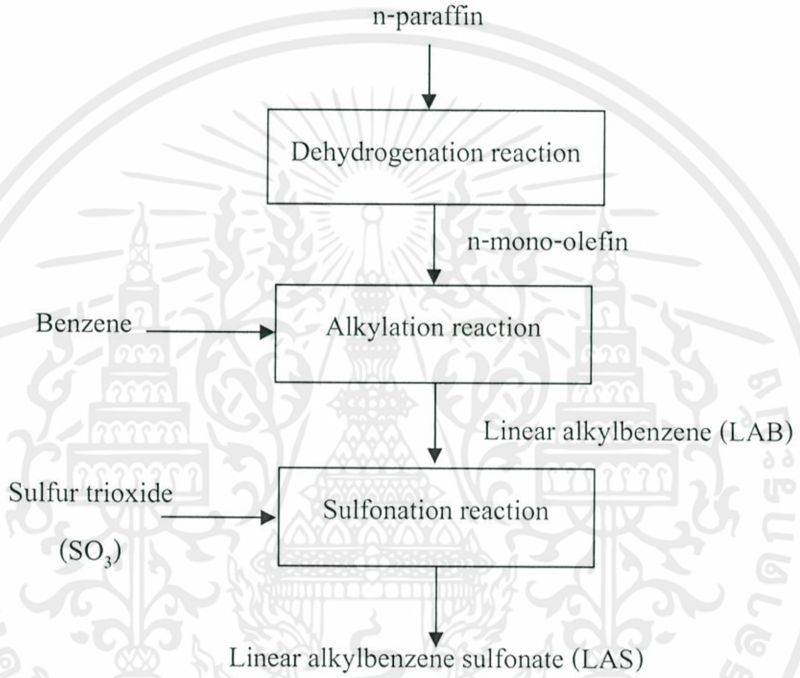
- **สารกันคราบกลับคืน** เป็นสารที่ช่วยป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกกลับเข้าไปเกาะกับเนื้อผ้าที่สะอาดแล้ว เช่น โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

- **สารประกอบอื่นๆ ที่อาจมีได้ และสามารถทดสอบได้** เช่น โซเดียมไฮโดรฟอสเฟต (Sodium hydrophosphate) โซเดียมออร์โทฟอสเฟต (Sodium orthophosphate) หรือ โซเดียมเมทาฟอสเฟต (Sodium metaphosphate) สารทั้งสามชนิดช่วยลดความกระด้างของน้ำจากไอออนแคลเซียมและแมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 กระบวนการผลิตสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Linear alkylbenzene sulfonate: LAS) (G. T. Austin. 1984; Berna, J. L. et al. 1995; Norman C. 1997)

สารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต เป็นสารที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 10-14 อะตอม บนสายอัลคิล (Alkyl chain) ซึ่งต่อกับวงแหวนเบนซีนที่ตำแหน่งพารา สารนี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมผลิตสารซักฟอก เพราะเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ชำระล้างสิ่งสกปรก มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ และเป็นสารที่สามารถเข้ากันได้และทำงานร่วมกับส่วนผสมอื่นๆ ในผงซักฟอกได้ดี




**รูปที่ 2.1** กระบวนการผลิตสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต

รูปที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต เริ่มต้นจากการเปลี่ยนนอร์มัลพาราฟิน (n-paraffin) ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอัลเคน (Alkane) ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม มีจำนวนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 14-18 อะตอม และมีโครงสร้างแบบโซ่ตรงให้อยู่ในรูปของสารไฮโดรคาร์บอนประเภทอัลคีน (Alkene) ในกลุ่มโอเลฟิน โดยการดึงไฮโดรเจนออก (Dehydrogenation reaction) แล้วทำปฏิกิริยาอัลคิลเลชัน (Alkylation reaction) กับเบนซีน (Benzene) เกิดสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีน (Linear alkylbenzene: LAB) ซึ่งจะถูกส่งต่อไปทำปฏิกิริยาซัลโฟเนชัน (Sulfonation reaction) กับแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfur trioxide: $SO_3$) ดังสมการที่ (2.1) ได้สารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตหรือกรดซัลโฟนิก และเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แบบผันกลับได้ (Reversible) ระหว่างลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตกับน้ำ ดังสมการที่ (2.2) ได้ผลิตภัณฑ์ลิเนียร์อัลคิลเบนซีนกับกรดซัลฟิวริก นอกจากนี้กรดซัลฟิวริกยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์กับน้ำในบรรยากาศ ดังสมการที่ (2.3)

$$\underset{\text{Sulfur trioxide}}{SO_3} + \underset{\text{Alkyl benzene}}{C_6H_6\text{-}(CH_2)_{11}\text{-}CH_3} \longrightarrow \underset{\text{Alkyl benzene sulfonate}}{HSO_3\text{-}C_6H_6\text{-}(CH_2)_{11}\text{-}CH_3} \qquad (2.1)$$

$$\underset{\text{Alkyl benzene sulfonate}}{HSO_3\text{-}C_6H_6\text{-}(CH_2)_{11}\text{-}CH_3} + \underset{\text{Water}}{H_2O} \rightleftharpoons \underset{\text{Sulfuric acid}}{H_2SO_4} + \underset{\text{Alkyl benzene}}{C_6H_6\text{-}(CH_2)_{11}\text{-}CH_3} \qquad (2.2)$$

$$\underset{\text{Sulfur trioxide}}{SO_3} + \underset{\text{Water}}{H_2O} \longrightarrow \underset{\text{Sulfuric acid}}{H_2SO_4} \qquad (2.3)$$

การผลิตสเลอรี่ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน สารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตจะถูกทำให้เป็นกลางโดยการทำปฏิกิริยาสะเทิน (Neutralization reaction) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้โซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต ดังสมการที่ (2.4) ในขณะเดียวกันจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงระหว่างกรดซัลฟิวริกที่เกิดจากปฏิกิริยาในสมการที่ (2.2) และ (2.3) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate: $Na_2SO_4$) และน้ำ ดังสมการที่ (2.5)

$$HLAS + NaOH \longrightarrow NaLAS + H_2O \qquad (2.4)$$

$$H_2SO_4 + NaOH \longrightarrow Na_2SO_4 + H_2O \qquad (2.5)$$

## 2.4 กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)

กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนการผลิตผงซักฟอก และส่วนการบรรจุผงซักฟอก ส่วนการผลิตผงซักฟอก ซึ่งแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

**1. ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ (Slurry mixing)** เริ่มจากการชั่งวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง ของเหลว และน้ำตามสูตรการผสมปกติ (บางครั้งใช้รีเวิร์คผสมร่วม) ปริมาณรวม 10 ตัน แล้วนำมาผสมในถังผสมแบบแบทช์ (Batch mixer) ในเวลา 20 นาทีต่อแบทช์ ในระหว่างการผสมจะเกิดปฏิกิริยาสะเทินระหว่างสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ สารโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตละลายในเนื้อสเลอรี่ ดังสมการที่ (2.4) เมื่อครบเวลาการผสมสเลอรี่จะถูกส่งไปยังถังพักสเลอรี่ (Holding tank) แล้วนำไปกรองสเลอรี่ที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสิ่งสกปรกออกด้วยเครื่องกรอง (Rotary filter) หลังจากนั้นสเลอรี่จะถูกส่งไปยังเครื่องกำจัดอากาศ (Deaerator) โดยใช้ปั๊มสุญญากาศดูดอากาศออก สเลอรี่จะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นก่อนส่งไปยังเครื่องกรองแม่เหล็ก (Magnetic filter) เพื่อกรองเศษโลหะที่ติดมา แล้วจึงบดสเลอรี่ให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องบด (Rietz mill) หลังจากนั้นสเลอรี่จะถูกเพิ่มความดันโดยใช้ปั๊มความดันต่ำ (Low pressure pump) เพื่อให้มีความดันประมาณ 4-5 บาร์ จากนั้นเพิ่มความดันให้สูงถึง 45-50 บาร์ ด้วยปั๊มความดันสูง (High pressure pump) ก่อนส่งสเลอรี่เข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)

ถ้าปริมาณรีเวิร์คซึ่งคือผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนด (Oversize) และผงซักฟอกที่มีข้อกำหนดด้านคุณภาพต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะมากพอ จะใช้รีเวิร์คผสมรวมกับวัตถุดิบอื่นๆ (สำหรับผงพื้นฐานที่มีข้อกำหนดด้านคุณภาพต่ำกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ ได้แก่ % AD ความหนาแน่นรวม ความชื้น เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ และเปอร์เซ็นต์ผงละเอียด จะไม่ใช้เป็นรีเวิร์ค แต่จะนำไปผสมกับผงพื้นฐานที่มีข้อกำหนดด้านคุณภาพได้ตามมาตรฐาน) มาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทกำหนดใช้รีเวิร์คไม่เกิน 5 wt% ต่อแบทช์ ขั้นตอนผสมสเลอรี่ที่ใช้รีเวิร์คเริ่มจากการผสมรีเวิร์คกับน้ำในถังผสมขนาด 5 ตัน โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของรีเวิร์คต่อน้ำเท่ากับ 60 : 40 wt% แล้วนำไปผสมกับวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง ของเหลว และน้ำ ปริมาณรวม 10 ตัน ในถังผสม เนื่องจากผงพื้นฐานและผงซักฟอกที่เป็นรีเวิร์คมี % AD แตกต่างกัน บริษัทจึงไม่มีข้อกำหนดของ % AD ของรีเวิร์ค เพราะไม่สามารถควบคุม % AD ของรีเวิร์คที่นำมาผสมสเลอรี่ได้ การใช้รีเวิร์คมีผลให้สัดส่วนของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตที่ถูกใช้ในการผสมสเลอรี่ลดลง ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกต่ำ แต่ถ้ารีเวิร์คที่ใช้มี % AD สูง ผงพื้นฐานและผงซักฟอกจะมี % AD สูง

**2. ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน** สเลอรี่จากปั๊มความดันสูงถูกส่งไปยังเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อระเหยน้ำออก สเลอรี่จะถูกฉีดเป็นฝอยและไหลลงสวนทางกับอากาศร้อนอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส ที่ได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ของแก๊สธรรมชาติ ภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจะถูกทำให้มีความดันเป็นสุญญากาศ เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพการระเหยน้ำออกจากละอองสเลอรี่ดียิ่งขึ้นได้เป็นผงพื้นฐาน (Base powder) ตกลงทางด้านล่างของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย จากนั้นจะผสมซีโอไลต์กับผงพื้นฐานในอัตราส่วน 3 : 97 % w/w เพื่อป้องกันผงพื้นฐานจับตัวกันเป็นก้อนและช่วยให้ผงพื้นฐานไหลได้ดีขึ้น แล้วลำเลียงผงพื้นฐานด้วย Air lift โดยใช้อากาศเป่าผงพื้นฐานจากด้านล่างไปยังสายพานลำเลียงที่อยู่ด้านบน ผงที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐานจะไม่ถูกลำเลียงขึ้นไปแต่จะตกลงมาด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลกและถูกนำไปทำเป็นรีเวิร์ค ผงพื้นฐานที่ผ่านการลำเลียงด้วย Air lift จะมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส และถูกส่งไปยังขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งโดยตรง หรือส่งไปเก็บสำรองไว้ในไซโล (Silo) เพื่อรอการเติมสารเติมแต่งต่อไป ผงพื้นฐานจะต้องถูกนำมาคัดขนาดอีกครั้งด้วยเครื่องร่อนคัดขนาด (Mogensen sizer) เพื่อคัดแยกผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน (Oversize) ออกจากผงพื้นฐานก่อนนำไปเติมสารเติมแต่ง

**3. ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง (Post dosing unit)** หลังจากการร่อนคัดขนาดเพื่อคัดแยกผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่เกินข้อกำหนดออกแล้ว ผงพื้นฐานจะถูกผสมกับสารเติมแต่งต่างๆ เช่น สารเพิ่มความสดใส สารฟอกขาว สี น้ำหอม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้วยเครื่องผสมแบบดรัม (Drum mixer) ได้ผงซักฟอก การเติมสารเติมแต่งขึ้นกับคุณลักษณะของผงซักฟอกแต่ละสูตรที่ต้องการ สุดท้ายจึงลำเลียงผงซักฟอกไปยังเครื่องบรรจุในส่วนการบรรจุผงซักฟอกต่อไป

## 2.5 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานและของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)

### 2.5.1 ประสิทธิภาพการซักล้าง (Active detergent: % AD) (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)

ระหว่างการดำเนินการโครงการนี้ บริษัทได้ปรับเปลี่ยนสูตรการผสมผงซักฟอกโดยลดปริมาณผงพื้นฐานและเพิ่มปริมาณสารเติมแต่ง และปรับเปลี่ยนข้อกำหนด % AD ของผงซักฟอกให้อยู่ระหว่าง 18 - 22 % (ค่าเป้าหมาย คือ 20 %) จากเดิมที่กำหนด 19.4 - 22.6 % (ค่าเป้าหมาย คือ 21 %)

### 2.5.2 ความหนาแน่นรวม (Bulk density: BD) (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด; พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2556)

ความหนาแน่นรวมของอนุภาค คือ ความหนาแน่นซึ่งรวมช่องว่างทั้งหมด ได้แก่ ช่องว่างในโครงสร้าง ช่องว่างระหว่างอนุภาคกับภาชนะ และช่องว่างระหว่างอนุภาคกับอนุภาค สามารถวัดได้จากน้ำหนักของอนุภาคแห้งต่อปริมาตรของอนุภาคที่รวมรูพรุน ความหนาแน่นรวมจะต่างจากความหนาแน่นเนื้อ (Solid density) หรือความหนาแน่นจริง (True density) ซึ่งหมายถึงความหนาแน่นของอนุภาคที่ไม่รวมปริมาตรของรูพรุน ดังนั้นความหนาแน่นรวมจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นเนื้อเสมอ

หากความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท ความหนาแน่นรวมของผงซักฟอกก็มีโอกาสจะต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัทเช่นกัน ทำให้ไม่สามารถบรรจุผงซักฟอกลงบรรจุภัณฑ์ได้เนื่องจากจะไม่ได้น้ำหนักตามเกณฑ์ในปริมาตรที่บรรจุ ซึ่งถ้าต้องการบรรจุผงซักฟอกลงบรรจุภัณฑ์ให้ได้น้ำหนักตามเกณฑ์จะต้องเพิ่มปริมาณผงพื้นฐานที่ใช้ในขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งทำให้เพิ่มต้นทุนการผลิตที่ไม่จำเป็น ในทางตรงกันข้ามหากผงซักฟอกมีความหนาแน่นรวมสูงกว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท แม้ว่าจะบรรจุผงซักฟอกลงบรรจุภัณฑ์ได้ตามน้ำหนัก แต่ผู้บริโภคอาจรู้สึกได้ว่าผงซักฟอกที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์มีปริมาณน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานและผงซักฟอก คือ ขนาดและ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นของอนุภาค ถ้าผงพื้นฐานและผงซักฟอก มีขนาดเล็ก ช่องว่างระหว่างอนุภาคกับภาชนะและ

ช่องว่างระหว่างอนุภาคกับอนุภาคจะลดลง และความหนาแน่นรวมจะสูงขึ้น แต่ถ้าความชื้นของอนุภาคสูง ผงพื้นฐานและผงซักฟอกจะหนักขึ้นและมีความหนาแน่นรวมสูงขึ้น

**2.5.3 ความชื้น (Moisture content) (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)**

ความชื้นในอนุภาคเป็นค่าที่แสดงปริมาณน้ำที่มีอยู่ นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ 2 วิธี ดังนี้

1. ความชื้นฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนโดยมวลของความชื้นในของแข็งต่อของแข็งแห้ง คำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$M_d = [(w-d)/d] \times 100 \qquad (2.6)$$

2. ความชื้นฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนโดยมวลของความชื้นในของแข็งต่อของแข็งชื้น คำนวณได้จากสมการที่ (2.7)

$$M_w = [(w-d)/w] \times 100 \qquad (2.7)$$

เมื่อ $M_d$ = ความชื้นฐานแห้ง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

$M_w$ = ความชื้นฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

$w$ = มวลของของแข็งชื้น (กิโลกรัม)

$d$ = มวลของของแข็งแห้ง (กิโลกรัม)

หากความชื้นสูงผงพื้นฐานจะรวมตัวกันเป็นก้อน และมีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท จึงได้ผงซักฟอกที่ขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท (Oversize) ทำให้ความสามารถในการละลายน้ำและประสิทธิภาพการซักล้างลดลง นอกจากนี้หากผงพื้นฐานและผงซักฟอกมีความชื้นสูง สมบัติการไหลจะต่ำลง การขนถ่ายไปยังขั้นตอนต่างๆ จึงทำได้ยาก แต่หากผงพื้นฐานและผงซักฟอกมีความชื้นต่ำ ความหนาแน่นรวมจะต่ำลงและมีโอกาสแตกระหว่างการขนถ่ายสูง ผงซักฟอกจึงมีขนาดเล็กกว่าข้อกำหนดของบริษัท (ถ้าผงซักฟอกมีขนาดเล็ก ช่องว่างระหว่างอนุภาคกับอนุภาคและอนุภาคกับภาชนะจะลดลง ความหนาแน่นรวมจะสูงขึ้น)

**2.5.4 เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ (% Coarse) (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)**

เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานหรือผงซักฟอก คือ อัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานหรือผงซักฟอกที่ไม่สามารถผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 10 เมช ต่อน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งเป็นผงพื้นฐานหรือผงซักฟอกที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร ตามข้อกำหนดของบริษัท เปอร์เซ็นต์ผงหยาบต่อน้ำหนักทั้งหมดต้องไม่เกิน 5 wt% ผงซักฟอกที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนดเฉพาะ ความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงจึงอาจทิ้งคราบขาวของผงซักฟอกบนเสื้อผ้า และประสิทธิภาพการซักล้างก็ลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ผงซักฟอกที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนดเฉพาะจะไม่สามารถบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ได้ เพราะน้ำหนักของผงซักฟอกในปริมาตรที่บรรจุจะต่ำกว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

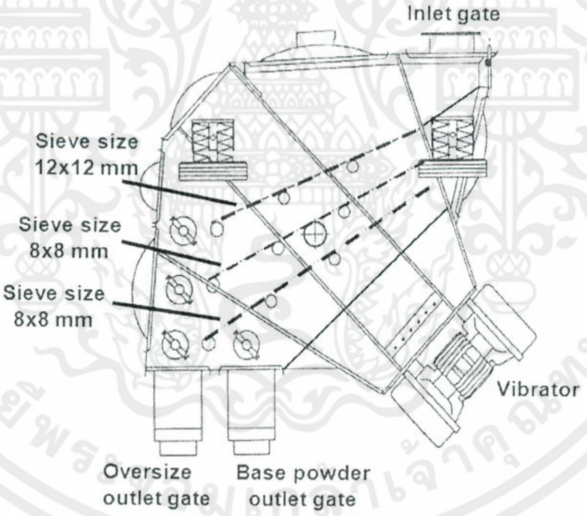
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5.5 เปอร์เซ็นต์ผงละเอียด (% Fine) (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)**

เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานหรือผงซักฟอก คือ อัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานหรือผงซักฟอกที่สามารถผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 80 เมช ต่อน้ำหนักทั้งหมด ซึ่งเป็นผงพื้นฐานหรือผงซักฟอกที่มีขนาดเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร ตามข้อกำหนดของบริษัทเปอร์เซ็นต์ผงหยาบต่อน้ำหนักทั้งหมดต้องไม่เกิน 20 wt% ผงซักฟอกที่มีขนาดเล็กละลายน้ำได้ดี จึงมีประสิทธิภาพการซักล้างสูง อย่างไรก็ดีหากขนาดของผงซักฟอกเล็กเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาความหนาแน่นรวมของผงซักฟอกสูง ยิ่งกว่านั้นผงซักฟอกขนาดเล็กอาจฟุ้งกระจายติดบริเวณปากซองบรรจุภัณฑ์เป็นอุปสรรคต่อการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ด้วยความร้อน

## 2.6 หลักการของเครื่องร่อนคัดขนาด Mogensen sizer (คู่มือการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาด ของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด; Allgaier Group. 2556)

เครื่องร่อนคัดขนาดใช้ในขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานสำหรับคัดแยกผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่เกินข้อกำหนดเฉพาะของบริษัทออกก่อนนำไปเติมสารเติมแต่ง



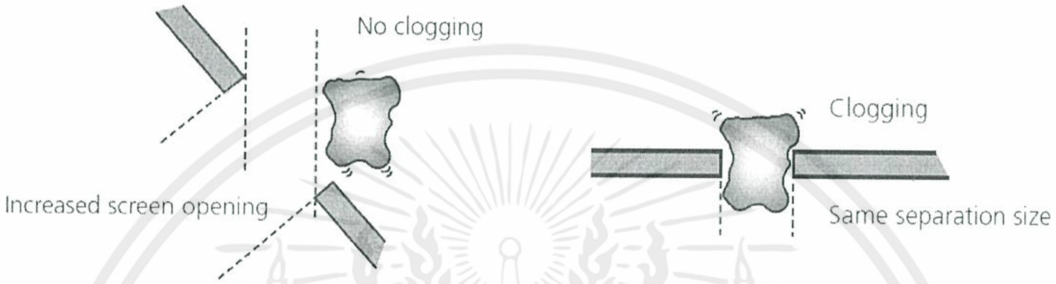

**รูปที่ 2.2** ส่วนประกอบหลักของเครื่องร่อนคัดขนาด Mogensen sizer (เอกสาร Core Design ของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องร่อนคัดขนาด แสดงดังรูปที่ 2.2 ประกอบด้วย

1. **ช่องทางเข้า (Inlet gate)** ของผงพื้นฐานที่ต้องการคัดแยกขนาด
2. **ตะแกรงร่อน (Sieve)** ทำหน้าที่คัดแยกผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรง ลักษณะของตะแกรงร่อนเป็นแผ่นแบนสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความกว้างด้านละ 2 เมตร เรียงซ้อนกันจำนวน 3 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของรูตะแกรงจากชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง เท่ากับ 12×12, 8×8 และ 8×8 มิลลิเมตร ตามลำดับ ผงพื้นฐานที่ผ่านการคัดขนาดจะเล็กกว่า 8 มิลลิเมตร ตะแกรงร่อนจะถูกติดตั้งให้เอียงเพื่อลดการอุดตันของผงพื้นฐานในรูตะแกรง ทำให้มีประสิทธิภาพในการร่อนคัดขนาดสูงกว่าการติดตั้งตะแกรงร่อนในแนวราบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ก และ ข ข้อจำกัดของการคัดขนาดด้วยตะแกรงร่อน คือ เกิดการชนและกระแทกกันของผงพื้นฐานกับตะแกรงร่อนระหว่างการคัดขนาด ทำให้ผงพื้นฐานแตกหักได้ (พิมพ์เพ็ญ. 2556)




ก) กรณีติดตั้งตะแกรงร่อนแบบเอียง ข) กรณีติดตั้งตะแกรงร่อนในแนวราบ

**รูปที่ 2.3** ลักษณะการติดตั้งตะแกรงร่อนของเครื่องร่อนคัดขนาด (Allgaier Group. 2556)

**3. เครื่องสั่นสะเทือน (Vibrator)** ทำหน้าที่สั่นเครื่องร่อนคัดขนาดด้วยแรงเชิงกลให้ผงพื้นฐานไหลผ่านรูตะแกรงร่อนได้ดีขึ้นและลดการอุดตัน แต่เนื่องจากผงพื้นฐานประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดต่างกัน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จะแยกขึ้นมาด้านบน ผงพื้นฐานส่วนนี้จะไม่ผ่านรูตะแกรงร่อนและถูกแยกออกไปที่ช่องทางออกเป็นรีเวิร์ค

**4. ช่องทางออกของผงพื้นฐานที่ผ่านรูตะแกรงร่อน (Base powder outlet)** ผงพื้นฐานที่ผ่านการร่อนคัดขนาดและมีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุด จะไหลลงฮอปเปอร์ที่ช่องทางออกนี้ก่อนนำไปเติมสารเติมแต่ง

**5. ช่องทางออกของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านรูตะแกรงร่อน (Oversize outlet)** สำหรับผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านรูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุด ซึ่งประกอบด้วยผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่ารูตะแกรงร่อน เนื่องจากผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กบางส่วนจะติดไปกับผงพื้นฐานขนาดใหญ่ จะไหลลงรถรองผงพื้นฐาน หรือโทดบิน (Tote bin) ที่ช่องทางออกนี้เพื่อรอการนำไปทำเป็นรีเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ซีโอไลต์ (Zeolite) (ศิรินุช ลอยหา. 2556; บัญญัติ สุขศรีงาม. 2547)

ซีโอไลต์ คือ ผลึกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicates crystalline) ซึ่งมีหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอนหรืออะลูมิเนียมหนึ่งอะตอมอยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 4 อะตอม ($SiO_4$ หรือ $AlO_4$) สร้างพันธะกันเป็นรูปทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ดังรูปที่ 2.4 ก โครงสร้างรูปทรงสี่หน้าที่เชื่อมต่อกันด้วยอะตอมออกซิเจนจะเกิดโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและมีช่องว่างระหว่างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.4 ข ทำให้ซีโอไลต์มีลักษณะเป็นผลึกแข็งและมีรูพรุนที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบ ซีโอไลต์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ใช้ดูดซับโมเลกุลของสารเคมีทั้งในสถานะแก๊สและของเหลว นอกจากนั้นยังใช้เป็นส่วนผสมของผงซักฟอกเพื่อลดความกระด้างของน้ำ เพราะซีโอไลต์มีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุกับไอออนแคลเซียมและแมกนีเซียมในน้ำ ผงซักฟอกจึงสามารถละลายน้ำได้ นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังดูดซับสีและสิ่งสกปรกที่ละลายอยู่ในน้ำและป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกย้อนกลับมาเกาะเนื้อผ้าได้อีก (บัญญัติ สุขศรีงาม. 2547)

ก) โครงสร้างปฐมภูมิของ $SiO_4$ และ $AlO_4$ ข) $SiO_4$ และ $AlO_4$ ที่เชื่อมกันด้วยอะตอมออกซิเจน

**รูปที่ 2.4** โครงสร้างของซีโอไลต์ (ศิรินุช ลอยหา. 2556)

การผลิตผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ซีโอไลต์จะถูกผสมกับผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และเนื่องจากซีโอไลต์มีความเป็นขั้วสูงจึงสามารถดูดซับน้ำในผงพื้นฐานได้ดี จึงป้องกันไม่ให้ผงพื้นฐานจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่เกินกว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังช่วยเพิ่มสมบัติการไหลของผงพื้นฐานให้ดีขึ้น

## 2.8 เครื่องมือแห่งคุณภาพ (Quality tools) (วันรัตน์ จันทกิจ. 2554; อรพรรณ วิชัยเดช และนิวิท เจริญใจ. 2554; ประชาสรรณ์ แสนภักดี. 2546; อมรวนนณ รังกูล. 2556)

เครื่องมือแห่งคุณภาพใช้กำหนดและหาสาเหตุของปัญหาเพื่อการปรับปรุงงาน วัตถุประสงค์ของการใช้งานเครื่องมือต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 โครงการนี้ใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล การระดมสมอง (Brainstorming) และแผนผังต้นไม้ (Tree diagram) แบบ why-why เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** วัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องมือแห่งคุณภาพในการวิเคราะห์ปัญหา (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549)

| เครื่องมือ / วัตถุประสงค์ | การระดมสมอง | แผนผังการไหลในกระบวนการ | แผนผังแกนท์ | แผนผังแสดงสาเหตุและผล | แผ่นตรวจสอบ | แผนผังพาเรโต | กราฟ | แผนผังการกระจาย | ฮิสโตแกรม | แผนภูมิควบคุม | แผนผังกลุ่มเครือญาติ | แผนผังความสัมพันธ์ | แผนผังต้นไม้ | แผนผังลูกศร | แผนผังเมทริกซ์ | แผนผังการวิเคราะห์ข้อมูล | แผนผังขั้นตอนการตัดสินใจ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **จำแนกแยกแยะข้อมูล** | ● | ● | | ● | ● | ○ | ○ | ○ | ○ | | ● | | | | ○ | ○ | |
| **จัดกลุ่มปัญหา** | ○ | ● | | ● | | | | | | | ● | ● | ○ | | | | |
| **วางแผนโครงการ** | ○ | | ● | | | | | | | | | | ○ | ● | | | ○ |
| **คัดเลือกหัวข้อปัญหา** | ○ | ○ | | ● | ○ | ● | ○ | | ● | ● | | ● | | | ● | ● | |
| **ค้นหาปัญหา/สาเหตุ** | ○ | ● | | ● | ○ | | ○ | ○ | | ○ | | ● | ● | | ○ | ○ | |
| **จัดลำดับความสำคัญ** | | | | | | ● | ● | | | | | | | | ● | ● | |
| **เปรียบเทียบข้อมูล** | | | | | ○ | ● | ● | | | ● | | | | | | | |
| **หาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของสาเหตุและปัญหา** | ○ | ○ | | ● | ○ | | | ● | | | | ● | ○ | | ● | ● | |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ 2.1** วัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องมือแห่งคุณภาพในการวิเคราะห์ปัญหา (ต่อ) (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549)

| เครื่องมือ / วัตถุประสงค์ | การระดมสมอง | แผนผังการไหลในกระบวนการ | แผนผังแกนท์ | แผนผังแสดงสาเหตุและผล | แผ่นตรวจสอบ | แผนผังพาเรโต | กราฟ | แผนผังการกระจาย | ฮิสโตแกรม | แผนภูมิควบคุม | แผนผังกลุ่มเครือญาติ | แผนผังความสัมพันธ์ | แผนผังต้นไม้ | แผนผังลูกศร | แผนผังแมทริกซ์ | แผนผังการวิเคราะห์ข้อมูล | แผนผังขั้นตอนการแผนผัง การตัดสินใจ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ดูความเปลี่ยนแปลงเมื่อมีปัจจัยบางอย่างเปลี่ยนไป** | | | | | ○ | | ● | ● | ○ ● | ○ | | | | | | | |
| **หาความแปรปรวนของกระบวนการ** | | | | | ○ | | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| **ตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการ** | | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| **หาแนวทางแก้ไข** | ● | ● | | | | | | | | | | | ● | | | | ● |
| **ติดตามผลการปฏิบัติ** | ○ | ● | | | ○ | ● | ○ | | ● | ● | | | | | | | |
| **สร้างมาตรฐานใหม่** | | ○ | | | ● | | | | ○ | ○ | | | | | | | |

ความหมายสัญลักษณ์ ● = ใช้ได้ดีมาก ○ = พอใช้ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**2.8.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (วันรัตน์ จันทกิจ. 2554; ประชาสรรณ์ แสนภักดี. 2546)**

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการผลิต ช่วยในการศึกษาปัญหา การเลือกปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด ประกอบด้วย กราฟ (Graph) แผ่นตรวจสอบ (Check sheet) แผนผังพาเรโต (Pareto diagram) แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) หรือแผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) แผนผังการกระจาย (Scatter diagram) และแผนภูมิควบคุม (Control chart)

**1. กราฟ** คือ แผนภูมิที่มีลักษณะเป็นรูปภาพ ใช้นำเสนอข้อมูลเพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น กราฟมีหลายประเภทจึงต้องเลือกใช้ตามความเหมาะสมของข้อมูลที่มีอยู่และสิ่งที่ต้องการนำเสนอ ลักษณะเฉพาะและหน้าที่ของกราฟแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ลักษณะเฉพาะและหน้าที่ของกราฟแต่ละประเภท (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549)

| ประเภทของกราฟ | ลักษณะเฉพาะและหน้าที่ |
|---|---|
| **กราฟแท่ง** | -ใช้เมื่อมีข้อมูลอย่างน้อย 2 ข้อมูลขึ้นไป โดยใช้การเปรียบเทียบพื้นที่หรือความสูงของเส้นกราฟ<br>- เหมาะสำหรับใช้เปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา แต่ไม่เหมาะสำหรับการดูแนวโน้มในระยะยาว |
| **กราฟเส้น** | - ใช้สำหรับการดูแนวโน้ม การพยากรณ์ในอนาคต และสามารถทำนายผลจากข้อมูลในอดีตได้เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป<br>- ใช้ควบคุมแผนงานให้ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ |
| **กราฟวงกลมและกราฟเข็มขัด** | - ใช้เปรียบเทียบความมากน้อยของข้อมูลแต่ละประเภทตามสัดส่วนของพื้นที่กราฟ ซึ่งพื้นที่ทั้งหมดจะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์<br>- กราฟวงกลมใช้เมื่อมีข้อมูลชุดเดียว แต่กราฟเข็มขัดจะใช้เมื่อมีข้อมูลหลายชุด |
| **กราฟใยแมงมุม** | - เป็นกราฟรูปหลายเหลี่ยมใช้เปรียบเทียบปริมาณความมากน้อยของแต่ละข้อมูล โดยการกำหนดจุดลงในแต่ละเส้นแกนของข้อมูลแบบเส้นใยแมงมุม |

**2. แผ่นตรวจสอบ** คือ แบบฟอร์มที่ออกแบบเพื่อบันทึกข้อมูล แผ่นตรวจสอบที่ดีต้องมีวัตถุประสงค์ชัดเจน ทำให้บันทึกข้อมูลได้ง่าย สะดวก ถูกต้อง และผู้อ่านสามารถเข้าใจได้อย่างรวดเร็ว แผ่นตรวจสอบใช้ได้ดีในกิจกรรมการค้นหาปัญหา การแก้ปัญหา และการปรับปรุงคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบแผ่นตรวจสอบขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างของแผ่นตรวจสอบที่ใช้นับจำนวนของเสียจากความบกพร่องของชิ้นงานที่เกิดจากการฉีดชิ้นงานพลาสติก

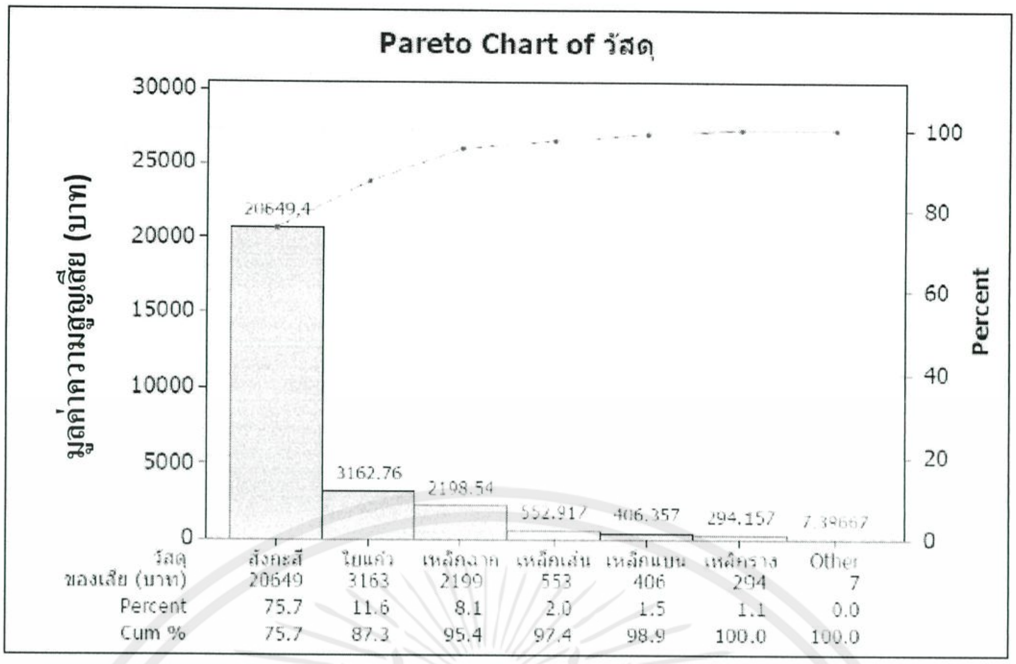
สินค้า................................................ วันที่................................................
ขั้นตอนการผลิต ตรวจสอบขั้นสุดท้าย แผนก................................................
ชนิดของความบกพร่อง ตำหนิที่ผิวชิ้นงาน รอยแตก ชื่อผู้ตรวจสอบ................................................
ฉีดไม่เต็มชิ้น รูปร่างบิดเบี้ยว ล็อตที่................................................
จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ: 1625 ใบสั่งเลขที่................................................
หมายเหตุ ตรวจทุกชิ้น

| ชนิดของความบกพร่อง | จำนวนความถี่ | ผลรวมแต่ละชนิดของความแตกต่าง |
|---|---|---|
| ตำหนิที่ผิวชิ้นงาน | //// //// //// // | 17 |
| รอยแตก | //// //// / | 11 |
| ฉีดไม่เต็ม | //// //// //// //// //// / | 26 |
| รูปร่างบิดเบี้ยว | /// | 3 |
| อื่นๆ | //// | 5 |
| | รวมจำนวนความบกพร่อง | 62 จุดบกพร่อง |
| จำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย | //// //// //// //// //// //// //// //// // | 42 ชิ้น |

**รูปที่ 2.5** ตัวอย่างของแผ่นตรวจสอบที่ใช้หาประเภทของข้อบกพร่องที่เกิดจากการฉีดชิ้นงานพลาสติก (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549)

3. **แผนผังพาเรโต** คือ แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดหรือสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น ใช้ตรวจสอบว่าปัญหาใดเป็นปัญหาสำคัญที่สุด แผนผังมีลักษณะเป็นกราฟแท่ง ชนิดหรือสาเหตุของความบกพร่องอยู่ในแกน X ซึ่งปัญหาที่ทำให้เกิดความสูญเสียสูงสุดจะอยู่ทางซ้ายมือ และเรียงลำดับมาทางขวามือตามปัญหาที่มีความสูญเสียลดลง ส่วนแกน Y แสดงปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น พร้อมกับแสดงเปอร์เซ็นต์สะสมของปริมาณความสูญเสียซึ่งแสดงถึงความถี่ของการเกิดปัญหาที่ฝั่งตรงข้ามของแกน Y แผนผังพาเรโตจะบ่งชี้ปัญหาที่สำคัญที่ต้องแก้ไขก่อนอย่างเร่งด่วนเป็นอันดับแรก (ด้านซ้ายของแผนผังที่มีเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียสะสมสูงที่สุดในกลุ่ม เช่น มากกว่าหรือเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์) รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างแผนผังพาเรโตของมูลค่าความสูญเสียจากการตัดวัสดุชนิดต่างกันในกระบวนการผลิตห้องสะอาด พบว่าการตัดสังกะสีมีมูลค่าความสูญเสียมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องการแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารพึงระวัง ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



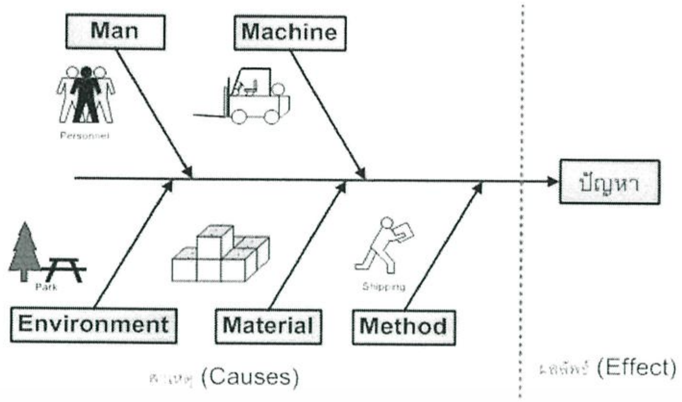

**รูปที่ 2.6** แผนผังพาเรโตแสดงมูลค่าความสูญเสียจากการตัดวัสดุชนิดต่างกันในกระบวนการผลิตห้องสะอาด (อรพรรณ วิชัยเดช และนิวิท เจริญใจ. 2554)

**4. แผนผังแสดงสาเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา** คือ แผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549) โครงสร้างของแผนผังแสดงสาเหตุและผล แสดงดังรูปที่ 2.7 ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

1. ส่วนปัญหา (Problem) หรือผลลัพธ์ (Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา
2. ส่วนสาเหตุ (Causes) สามารถแยกย่อยออกเป็น
   - ปัจจัย (Factors) ที่มีผลกระทบต่อปัญหา
   - สาเหตุหลัก
   - สาเหตุย่อย

แผนผังที่มีข้อมูลสมบูรณ์จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมดที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.7** โครงสร้างของแผนผังแสดงสาเหตุและผล (ประชาสรรณ์ แสนภักดี. 2546)

การสร้างแผนผังแสดงสาเหตุและผลต้องทำเป็นทีม โดยใช้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดปัญหาที่ส่วนหัวปลาให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ หากกำหนดปัญหาไม่ชัดเจนตั้งแต่แรก จะทำให้ต้องใช้เวลามากในการค้นหาสาเหตุ

2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ โดยใช้หลักการ 4 M 1 E เพื่อนำไปสู่การแยกสาเหตุต่างๆ ดังนี้

- M Man คนงาน พนักงานปฏิบัติการ
- M Machine เช่น เครื่องจักร อุปกรณ์อำนวยความสะดวก
- M Material เช่น วัตถุดิบ อะไหล่ที่ใช้ในกระบวนการ
- M Method วิธีการทำงาน
- E Environment เช่น อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

3. การระดมสมอง เพื่อหาสาเหตุของแต่ละปัจจัย โดยใช้หลักการ 5 W 1 H ดังนี้

- What อะไรคือปัญหา
- Who ใครหรือสิ่งใดทำให้เกิดปัญหา เช่น คน หรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ
- When ปัญหาเกิดขึ้นเมื่อไหร่
- Where ปัญหาเกิดขึ้นที่กระบวนการใด หรือตำแหน่งใด
- Why ทำไมจึงทำสิ่งนั้น หรือทำไมจึงเกิดเหตุการณ์นั้น
- How เหตุการณ์ หรือสิ่งที่ทำนั้นเป็นอย่างไร หรือทำได้อย่างไร

4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5. ฮิสโตแกรม** คือ กราฟแท่งแบบเฉพาะที่มีแกน Y แสดงความถี่ และแกน X แสดงข้อมูลของคุณสมบัติที่สนใจ เรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ใช้วิเคราะห์ความผันแปร (Variation) ของคุณภาพผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากรูปทรงและขนาดของการกระจายของข้อมูล การตีความหมายตามลักษณะของฮีสโตแกรมแสดงดังตารางที่ 2.3

ฮิสโตแกรมถูกนำมาใช้กับลักษณะงานต่างๆ ดังนี้

1. เมื่อต้องการตรวจสอบสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นจากคน เครื่องจักร และอุปกรณ์ โดยดูการกระจายของกระบวนการทำงาน

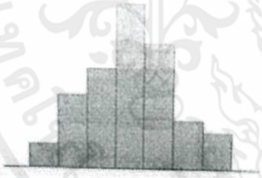
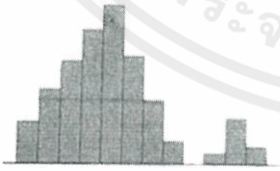
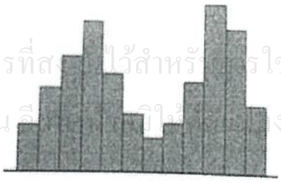
2. เมื่อต้องการเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์กับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ (Lower specification limit: LSL) และพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านสูง (Upper specification limit: USL) หรือค่าเป้าหมาย (Target value)

3. เมื่อต้องการตรวจสอบความสามารถของกระบวนการ (Process capability)

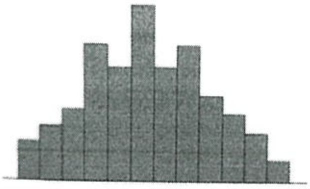
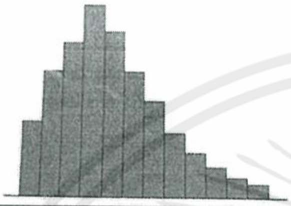
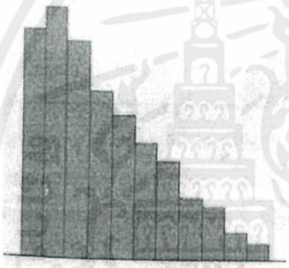
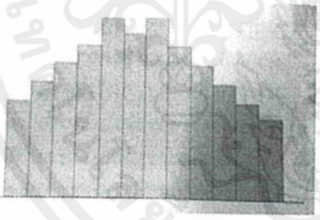
4. ใช้ควบคู่กับเครื่องมือคุณภาพอื่นๆ เช่น แผนภาพแสดงสาเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

5. เมื่อต้องการติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในระยะยาว

**ตารางที่ 2.3** การตีความหมายตามลักษณะของฮีสโตแกรม (วันรัตน์ จันทกิจ, 2549)

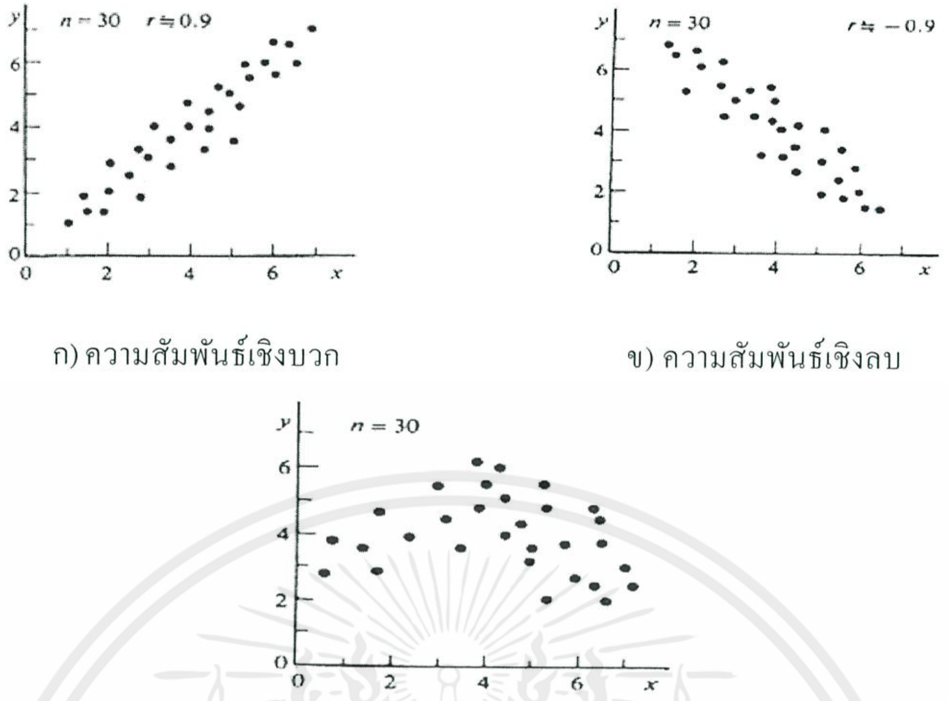
| ลักษณะกราฟ | ความหมาย |
|---|---|
| **รูปทรงระฆังคว่ำ (Bell-shaped distribution)**<br> | เป็นรูปแบบการกระจายแบบปกติ ลักษณะสำคัญ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเข้าใกล้ศูนย์กลางของกราฟ และกระจายออกทางด้านซ้ายและด้านขวาอย่างสมมาตรกัน |
| **รูปทรงเกาะแก่ง (Isolated-peak distribution)**<br> | คุณภาพของผลิตภัณฑ์บางส่วนแยกออกไปจากกลุ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ คล้ายรูปเกาะแก่ง ส่วนมากเกิดจากความผิดพลาดในการตรวจสอบคุณภาพ |
| **รูปทรงภูเขาสองยอด**<br>**(Double-peak distribution)**<br> | คุณภาพของผลิตภัณฑ์แยกออกเป็น 2 กลุ่ม กราฟลักษณะนี้เกิดจากการปะปนกันของข้อมูลคุณภาพที่มาจาก 2 แหล่ง ที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงต้องแยกข้อมูลออกจากกันก่อนที่จะวิเคราะห์ผล |

**ตารางที่ 2.3** การตีความหมายตามลักษณะของฮีสโตแกรม (ต่อ) (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549)

| **ลักษณะกราฟ** | **ความหมาย** |
|---|---|
| **รูปทรงหวีหัก (Comb distribution)**  | กราฟจะมีลักษณะเป็นแท่งสูงและต่ำสลับกัน ไม่มีแนวโน้มที่แน่นอน กราฟลักษณะนี้อาจเกิดจากความผิดพลาด หรือความคลาดเคลื่อนจากการวัด |
| **รูปทรงเบ้ (Skewed distribution)**  | กราฟจะมีลักษณะเบ้ไปทางด้านซ้ายหรือด้านขวาตามฐานนิยม (Mode) ของข้อมูล อาจเกิดมาจากการเก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาสั้นๆ |
| **รูปทรงถูกตัด (Truncated distribution)**  | กราฟจะมีลักษณะคล้ายรูปทรงระฆังคว่ำที่ถูกตัดออกไป 1 ข้าง เกิดจากการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีการคัดของเสียออกไป เหลือเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านข้อกำหนด 100 % |
| **รูปทรงที่ราบสูง (Plateau distribution)**  | คุณภาพของผลิตภัณฑ์มีฐานนิยมไม่ชัดเจน อาจเกิดมาจากผลิตภัณฑ์มีแหล่งที่มาหลายแหล่งซึ่งมีความผันแปรใกล้เคียงกัน |

**6. แผนผังการกระจาย (Scatter diagram)** คือ แผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัย ว่าสัมพันธ์กันในลักษณะใด การสร้างแผนผังการกระจายจะให้ปัจจัยหนึ่งอยู่ในแกน X ซึ่งเป็นปัจจัยอิสระที่มีค่าปรับเปลี่ยนไป และอีกปัจจัยหนึ่งอยู่ในแกน Y ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยในแกน X แผนผังการกระจายที่พบมากมีด้วยกัน 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ก) ความสัมพันธ์เชิงบวก ข) ความสัมพันธ์เชิงลบ

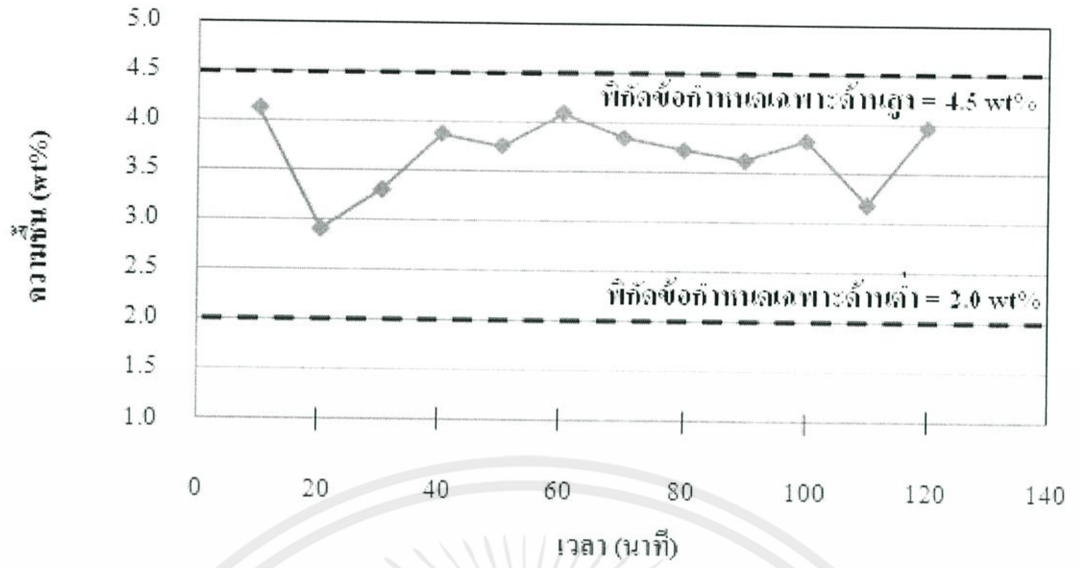
ค) ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

**รูปที่ 2.8** รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ปัจจัยของแผนผังการกระจาย (วันรัตน์ จันทกิจ. 2549)

จากรูปที่ 2.8 ก เมื่อปัจจัยในแกน X เพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจัยในแกน Y เพิ่มขึ้น จึงเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก รูปที่ 2.8 ข เป็นความสัมพันธ์เชิงลบ กล่าวคือ เมื่อปัจจัยในแกน X เพิ่มขึ้น ทำให้ปัจจัยในแกน Y ลดลง และรูปที่ 2.8 ค ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย เพราะไม่มีแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ชัดเจน

7. **แผนภูมิควบคุม** คือ เครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต การสร้างแผนภูมิควบคุมทำได้โดยนำข้อมูลด้านคุณสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์มาเปรียบเทียบกับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำและด้านสูง ซึ่งแสดงถึงขอบเขตในการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 หากคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่นอกขอบเขตของเส้นพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำและด้านสูงแสดงว่ากระบวนการผลิตไม่อยู่ในการควบคุม จะต้องหาสาเหตุที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและเร่งดำเนินการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติโดยเร็วและมีคุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.9** ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมปริมาณความชื้นของผงพื้นฐาน

### 2.8.2 การระดมสมอง (วันรัตน์ จันทกิจ. 2554)

การระดมสมอง คือ การแสดงความคิดเห็นร่วมกันระหว่างสมาชิกเพื่อค้นหาแนวคิดและแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหา ซึ่งเป็นการคิดซึ่งไร้แบบแผน

**กฎในการระดมสมอง** คือ

1. เปิดโอกาสให้ทุกคนได้แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ
2. รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
3. ไม่จำเป็นต้องดูข้อเท็จจริงหรือเหตุผล เน้นที่ปริมาณความคิด
4. อนุญาตให้คิดนอกกรอบ หรือออกนอกลู่นอกทางได้
5. ห้ามวิจารณ์ในระหว่างที่มีการแสดงความคิดเห็น
6. ไม่ควรใช้อารมณ์
7. เมื่อได้ผลจากการระดมสมองแล้ว ควรรวบรวมไว้เป็นหมวดหมู่แล้วนำไปปรับปรุง

**ขั้นตอนในการระดมสมอง** แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสำรวจปัญหา (Define problem) เมื่อต้องการปัญหาใหม่จะให้สมาชิกทุกคนที่มีส่วนร่วมตั้งประเด็นคำถามและขยายมุมมองร่วมกัน เช่น บริษัทยูนิลิเวอร์ ไทย โฮสดิ้ง จำกัด ต้องการลดปริมาณรีเวิร์คที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จึงเปิดประเด็นคำถามว่า "อะไรบ้างที่เป็นสาเหตุของการเกิดรีเวิร์ค" หลังจากระดมความคิดแล้ว ให้รวบรวมความคิดและจัดเป็นกลุ่ม เพื่อระบุปัจจัยที่จะนำไปดำเนินการแก้ไขต่อไป

2. การสร้างความคิด (Generating ideas) หลังจากที่ได้ประเด็นปัญหาจากขั้นตอนที่ 1 โดยสมมติว่าสาเหตุสำคัญของการเกิดรีเวิร์ค คือประสิทธิภาพการซักล้างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงซักฟอกไม่ได้ตามมาตรฐาน จึงเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างความคิดว่า “มีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน”

3. การพัฒนาหนทางแก้ไข (Developing the solution) นำหัวข้อจากขั้นตอนที่ 2 มาเปิดประเด็นอีกครั้ง และระดมสมองร่วมกันว่า “จะแก้ไขปรับปรุงปัจจัยต่างๆ นั้นได้โดยวิธีใดบ้าง”

**2.8.3 แผนผังต้นไม้ (วันรัตน์ จันทกิจ. 2554; อมรวนนณ รังกูล. 2556)**

แผนผังต้นไม้แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์แบบ why-why ซึ่งใช้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อทำให้ได้พบต้นตอของปัญหาที่แท้จริง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และการวิเคราะห์แบบ how-how ซึ่งใช้วิเคราะห์เพื่อหามาตรการแก้ไขสาเหตุนั้นๆ

ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ why-why มีดังนี้

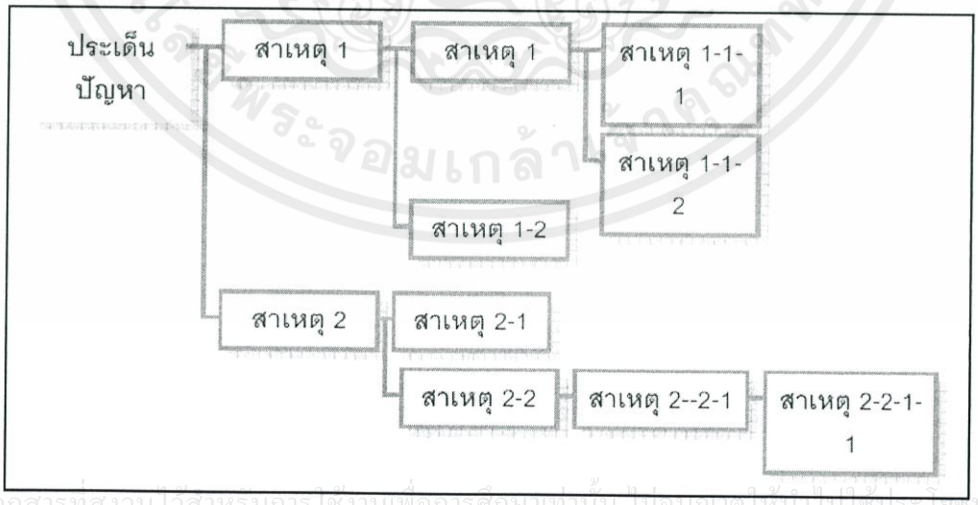
1. วิเคราะห์ข้อเท็จจริง โดยไปดูสถานการณ์จริง (Genba) และดูสภาพของจริง (Genbutsu) เพื่อให้รู้อย่างลึกซึ้งว่าสาเหตุที่แท้จริงนั้นมีที่มาที่ไปอย่างไร และลักษณะอาการเป็นอย่างไร

2. วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โดยการถามคำถาม ทำไม ไปเรื่อยๆ จนเจอสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยการถามกลับไป-มา ว่าสิ่งนั้นๆ เป็นเหตุเป็นผล หรือมีความสอดคล้องกันเชิงตรรกะ (Logic) หรือไม่ การพิจารณาด้วยวิธีนี้จะช่วยทำให้การวิเคราะห์ถูกต้องมากขึ้น

4. วิเคราะห์วิธีแก้ไขปัญหา และหามาตรการป้องกันการเกิดซ้ำ

5. นำมาตรการที่ได้ไปปฏิบัติจริง นอกจากนี้อาจนำมาตรการดังกล่าวไปขยายผลกับสิ่งอื่น หรือหน่วยงานอื่นที่มีความใกล้เคียงกัน




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**รูปที่ 2.10** ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แผนภูมิต้นไม้ (Tree diagram) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบ why-why (อมรวนนณ รังกูล. 2556)

## 2.9 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis: PCA) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551; วิบูรณ์. 2551; วิบูรณ์. 2554)

การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการจากเป้าหมายที่กำหนด ทำให้ทราบความสามารถที่มีของกระบวนการโดยวิเคราะห์ข้อบกพร่องของกระบวนการที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และวางแผนเพื่อควบคุมหรือดำเนินการปรับปรุงกระบวนการ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2551) กล่าวไว้ว่า การเก็บข้อมูลและประเมินความสามารถของกระบวนการจะให้ประโยชน์หลายประการต่อการปรับปรุงคุณภาพ เช่น

1. การใช้คาดการณ์ว่ากระบวนการมีความสามารถในการผลิตได้ตามข้อกำหนดเฉพาะได้ดีเพียงไร
2. การช่วยเหลือการตัดสินใจเพื่อเลือกหรือปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต
3. การกำหนดความถี่ของการสุ่มตรวจสอบตัวอย่างเพื่อจุดประสงค์ในการเฝ้าพินิจกระบวนการ
4. การกำหนดความต้องการด้านสมรรถนะสำหรับอุปกรณ์ใหม่
5. การเลือกผู้ส่งมอบ และควบคุมผู้ส่งมอบ
6. การวางแผนกำหนดลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิต
7. การลดความผันแปรสำหรับกระบวนการผลิต
8. การลดต้นทุนคุณภาพ (Cost of quality) ด้วยการลดปริมาณข้อบกพร่องด้านคุณภาพของกระบวนการ

โครงการนี้ใช้การประเมินความสามารถของกระบวนการเพื่อประโยชน์ในด้านการลดความผันแปรของประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานและการลดต้นทุนคุณภาพด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการซักล้างในผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ซึ่งการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการพิจารณาได้จาก

### 2.9.1 ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Process potential capability index: Cp) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551; วิบูรณ์ พงศ์พรทรัพย์. 2551)

ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ หรือดัชนี Cp เป็นดัชนีที่ใช้วัดความสามารถของกระบวนการในรูปของความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยเปรียบเทียบกับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) กล่าวคือดัชนี Cp พิจารณาสัดส่วนความกว้างของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะเปรียบเทียบกับการกระจายตัวของคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังสมการที่ (2.8)

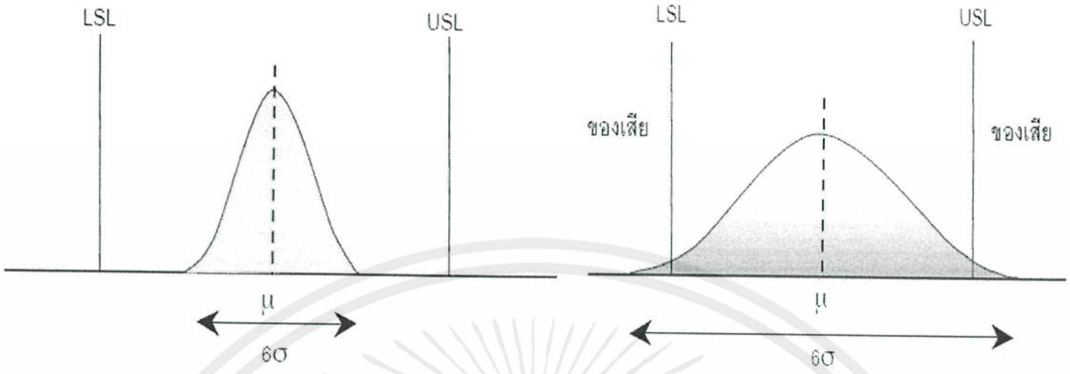
$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_{ST}} \tag{2.8}$$

เอกสารนี้... สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ USL คือ ค่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านสูง (Upper specification limit)

LSL คือ ค่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ (Lower specification limit)

$6\hat{\sigma}_{ST}$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคุณภาพผลิตภัณฑ์




ก) ความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ที่ Cp > 1

ข) ความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์ ที่ Cp < 1

**รูปที่ 2.11** เปรียบเทียบลักษณะกราฟดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (วิบูรณ์ พงศ์พรทรัพย์. 2551)

**ตารางที่ 2.4** ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551)

| ค่าดัชนี Cp | ลำดับของความสามารถของกระบวนการ |
|---|---|
| $2.00 \leq Cp$ | ดีเหลือเชื่อ |
| $1.67 \leq Cp < 2.00$ | ดีเลิศ |
| $1.33 \leq Cp < 1.67$ | ดี |
| $1.00 \leq Cp < 1.33$ | พอใช้ แต่ต้องเฝ้าระวัง |
| $0.67 \leq Cp < 1.00$ | ควรปรับปรุง |
| $Cp < 0.67$ | ควรปรับปรุงอย่างเร่งด่วน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนี Cp ยิ่งมีค่าสูงยิ่งดี เพราะแสดงว่ากระบวนการมีความผันแปรต่ำหรือมีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้อยเมื่อเทียบกับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ โดยทั่วไปดัชนี Cp ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ก ซึ่งหมายความว่ากระบวนการมีความสามารถด้านศักยภาพ หากดัชนี Cp มีค่าต่ำกว่า 1.33 ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ข ควรปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความผันแปร ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแสดงดังตารางที่ 2.4

**2.9.2 ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Process performance capability index: Cpk) (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551; วิบูรณ์ พงศ์พรทรัพย์. 2554)**

ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ หรือดัชนี Cpk คือ ดัชนีที่ใช้วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการว่าคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงเบี่ยงเบนออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือค่าเป้าหมาย (Target) มากน้อยเพียงไร ดัชนี Cpk สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9) และความสัมพันธ์ของสมการแสดงดังรูปที่ 2.12 ลักษณะของการเบี่ยงเบนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะแสดงดังรูปที่ 2.13

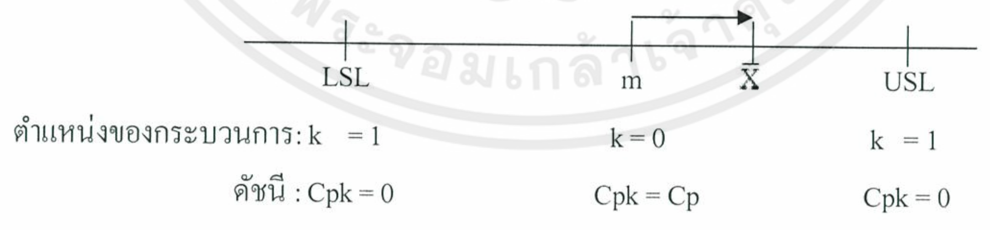
$$Cpk = Cp\,(1 - k) \qquad (2.9)$$

เมื่อ

$$k = \frac{\text{ระยะระหว่างตำแหน่งของกระบวนการจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ}}{\frac{1}{2}\text{ของความคลาดเคลื่อนอนุโลม}}$$

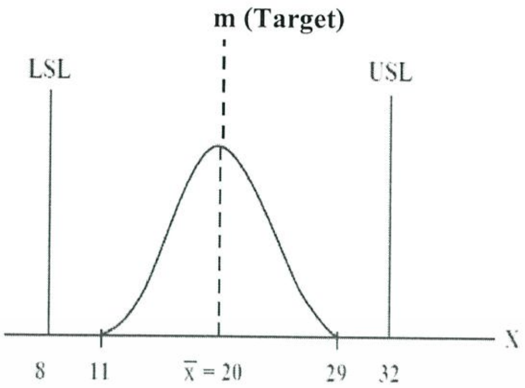
$$= \frac{2\,|m-\bar{x}|}{USL-LSL}$$

$$m = \frac{USL+LSL}{2}$$

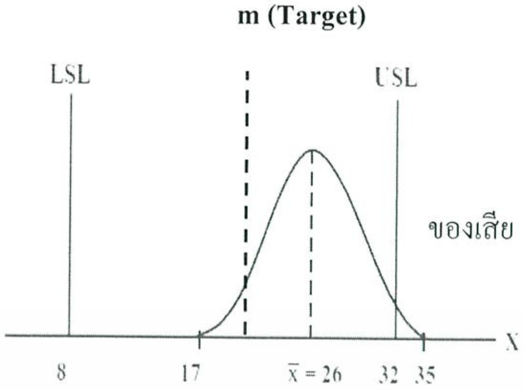



**รูปที่ 2.12** ความสัมพันธ์ของค่าดัชนี Cpk กับพารามิเตอร์ k (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551)

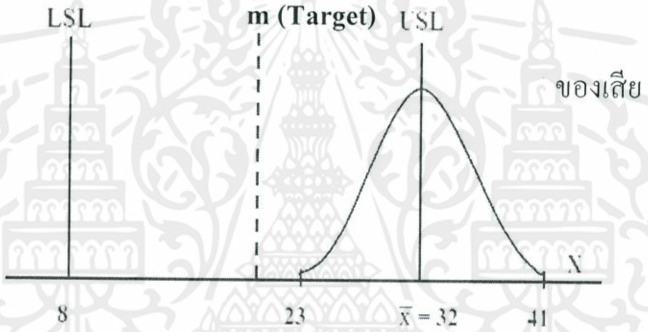
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ก) ค่าเฉลี่ยอยู่ตรงค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ (Cpk = 1.33)




ข) ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะและพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (Cpk = 0.66)




ค) ค่าเฉลี่ยอยู่ตรงพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (Cpk = 0)

**รูปที่ 2.13** เปรียบเทียบลักษณะกราฟดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการเมื่อ Cp = 1.33 (วิบูรณ์ พงศ์พรทรัพย์. 2554)

สำหรับกระบวนการทั่วไป ค่าดัชนี Cpk ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.00 หรือหากมีความเหมาะสมควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.33 ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ก ซึ่งแสดงว่ากระบวนการมีความสามารถด้านศักยภาพดี หากค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเบี่ยงเบนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะทั้งด้านต่ำหรือด้านสูง ค่าดัชนี Cpk จะลดลง แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ในรูปที่ 2.13 ข และรูปที่ 2.13 ค แสดงความเบี่ยงเบนของคุณภาพผลิตภัณฑ์ออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะไปทางด้านพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านสูง และมีค่าดัชนี Cpk ต่ำกว่า 1.33 ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและก่อให้เกิดของเสีย ดังนั้นการประเมินความสามารถของกระบวนการควรใช้ดัชนี Cpk ร่วมกับดัชนี Cp

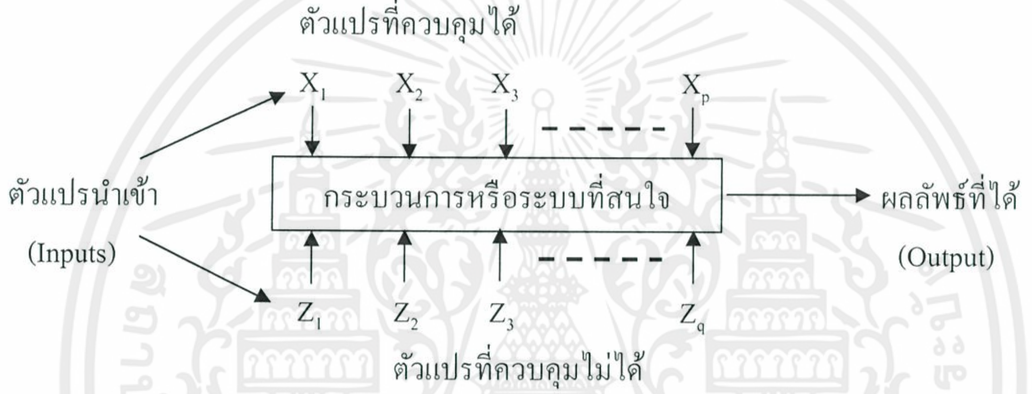
## 2.10 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551; บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด. 2557)

### 2.10.1 คำศัพท์ที่ควรทราบในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง คือ การวางแผนการทดลองให้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ก่อนที่จะลงมือปฏิบัติจริง โดยควบคุมปัจจัยบางตัวที่ไม่ต้องการศึกษาขณะทำการทดลอง

คำศัพท์ที่ควรทราบในการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

**1. ตัวแปรตอบสนอง (Response variable)** คือ ตัวแปรผลลัพธ์ (Output) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality characteristics) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต และต้องการควบคุมให้เป็นไปตามข้อกำหนด ในโครงการนี้ตัวแปรตอบสนอง คือ ประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐาน




**รูปที่ 2.14** ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551)

**2. ปัจจัย (Factors)** คือ ปัจจัยนำเข้า (Input) ที่ใช้ในกระบวนการผลิต แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) รูปที่ 2.14 แสดงปัจจัยนำเข้าที่เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

2.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของกระบวนการผลิต ในโครงการนี้ปัจจัยที่ควบคุมได้ คือ อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน เป็นต้น

2.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ มักเป็นปัจจัยเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ความชื้นในอากาศ ฝุ่นละออง เป็นต้น

**3. ระดับปัจจัย (Levels of factors)** คือ จำนวนค่าของปัจจัยหนึ่งปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองหนึ่งการทดลอง เช่น ปัจจัย A และ B ทำการศึกษาที่ 2 ระดับ ดังนั้นปัจจัย A และ B จึงทดลองที่ค่าสูง และค่าต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.10.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป (Factorial design of experiment)**

การทดลองเชิงแฟกทอเรียล คือ การศึกษาผลกระทบของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปและสามารถศึกษาปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (Interaction) ได้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบ่งเป็น 2 กรณี คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full factorial design of experiment) และการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional factorial design of experiment) โครงการนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปด้วยโปรแกรมมินิแทป

ในกรณีที่มีจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และมีจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ (Replicates) n ครั้ง จะเรียกว่า การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูป แบบ $2^k$ ซึ่งจำนวนการทดลองจะมีทั้งหมด [2×2×…×2 (จำนวน k ครั้ง)] $\times n = 2^k \times n$

การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนอง สามารถวิเคราะห์จากกราฟ 2 ชนิด ได้แก่

**1. Main effect plot** คือ กราฟผลกระทบหลัก ใช้แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองจากปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแกน Y คือ ตัวแปรตอบสนอง แกน X คือ ปัจจัยหลักที่ศึกษา เส้นกราฟของปัจจัยที่มีความชันมากจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองมาก รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างของ Main effects plot ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1.1 ความชันของเส้นกราฟเป็นบวก แสดงว่าเมื่อปัจจัยที่ศึกษาเพิ่มขึ้น ตัวแปรตอบสนองจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

1.2 ความชันของเส้นกราฟเป็นลบ แสดงว่าเมื่อปัจจัยที่ศึกษาเพิ่มขึ้น ตัวแปรตอบสนองจะมีแนวโน้มลดลง

1.3 ความชันของเส้นกราฟเป็นศูนย์ แสดงว่าปัจจัยที่ศึกษาไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

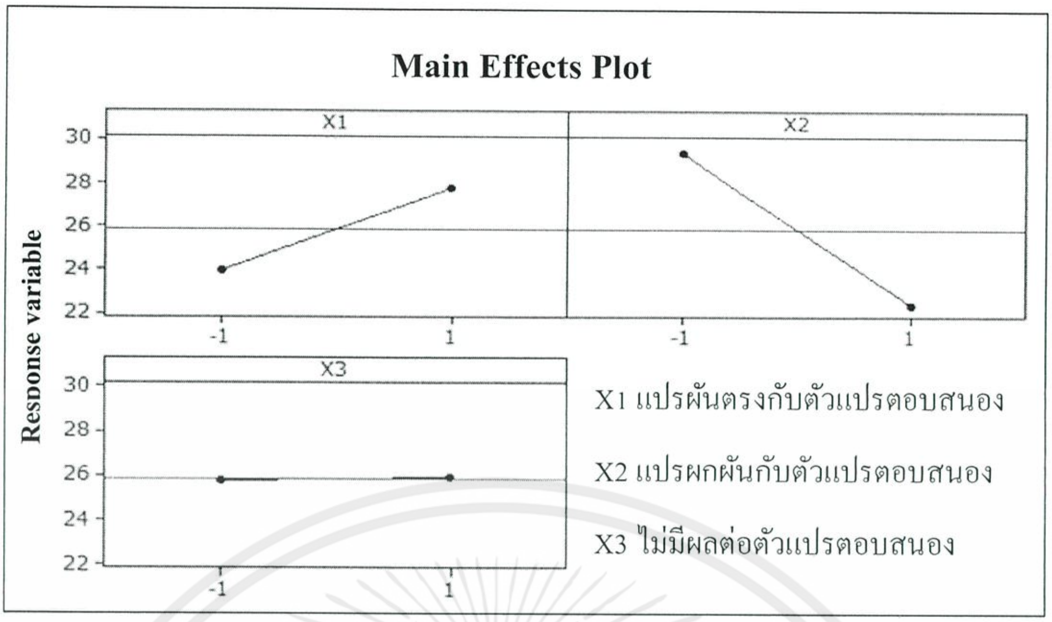
**2. Interaction plot** คือ กราฟที่ใช้พิจารณาปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย หรืออันตรกิริยา รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยร่วมในลักษณะต่างๆ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

2.1 กรณีที่เส้นกราฟขนานกันแสดงว่า 2 ปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือเป็นปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองร่วมกัน ดังรูปที่ 2.16 ก

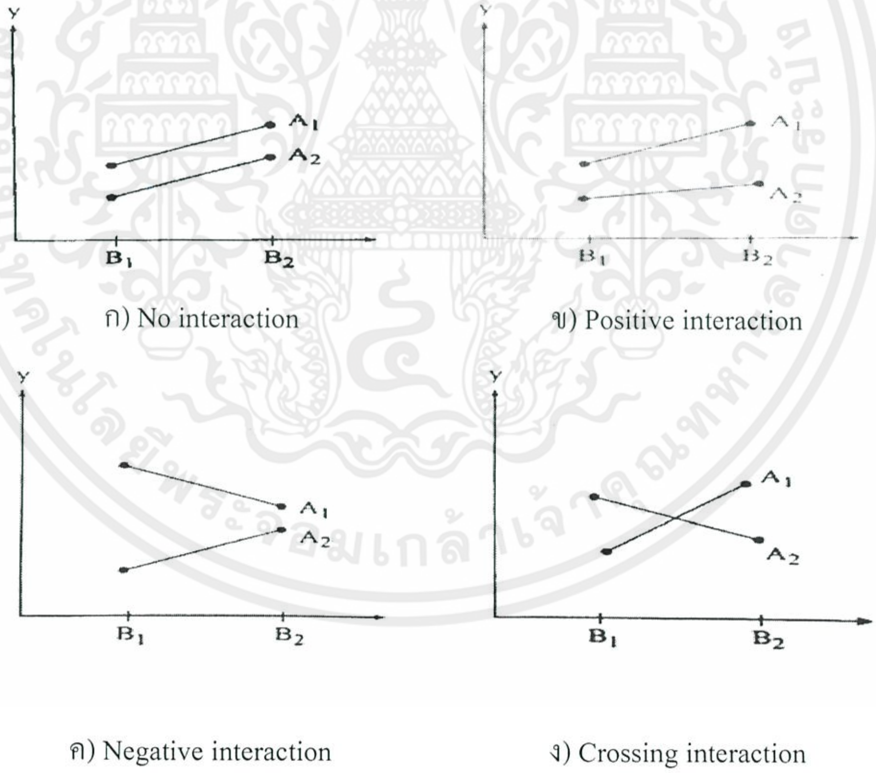
2.2 กรณีที่ระดับปัจจัย A สูงขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างเส้นกราฟของระดับปัจจัย B เพิ่มขึ้น เรียกผลกระทบนี้ว่า Positive interaction ดังรูปที่ 2.16 ข

2.3 กรณีที่ระดับปัจจัย A สูงขึ้น ค่าความแตกต่างระหว่างเส้นกราฟของระดับปัจจัย B ลดลง เรียกผลกระทบนี้ว่า Negative interaction ดังรูปที่ 2.16 ค

2.4 กรณีที่เส้นกราฟของระดับปัจจัย B ตัดกัน เรียกผลกระทบนี้ว่า Crossing interaction ดังรูปที่ 2.16 ง




**รูปที่ 2.15** ตัวอย่าง Main effects plot ระหว่างปัจจัยที่ศึกษาและตัวแปรตอบสนอง




**รูปที่ 2.16** กราฟปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยที่ศึกษาและตัวแปรตอบสนอง (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551)

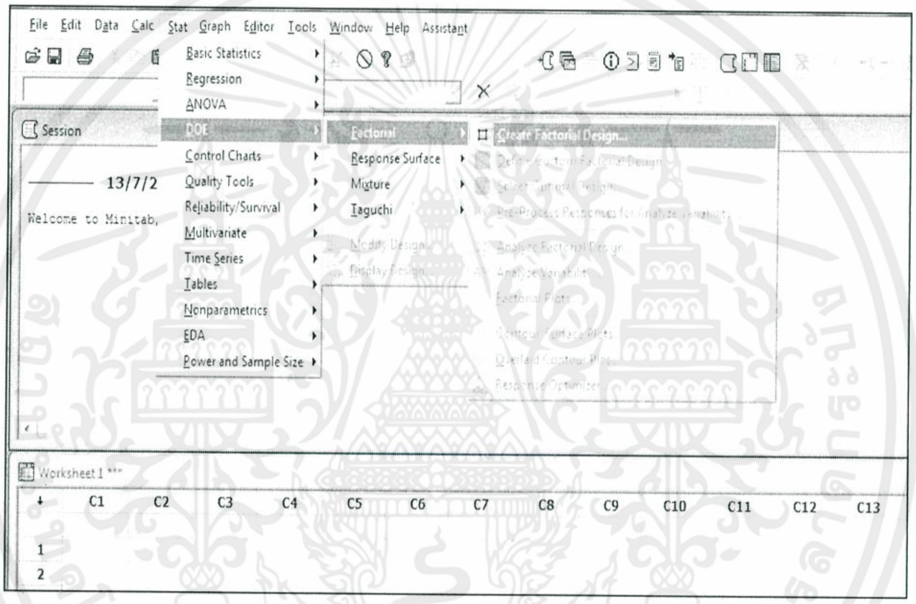
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.10.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลด้วยโปรแกรมมินิแทป** R. 15 **(บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด. 2557)**

ก่อนที่จะใช้โปรแกรมมินิแทปในการออกแบบการทดลอง จะต้องหาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อวางแผนการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

**การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลด้วยโปรแกรมมินิแทป มีขั้นตอนดังนี้**

1. ใช้โปรแกรมมินิแทป สร้างตัวแบบการทดลอง โดยใช้คำสั่ง Stat > DOE > Factorial > Create factorial design ดังรูปที่ 2.17

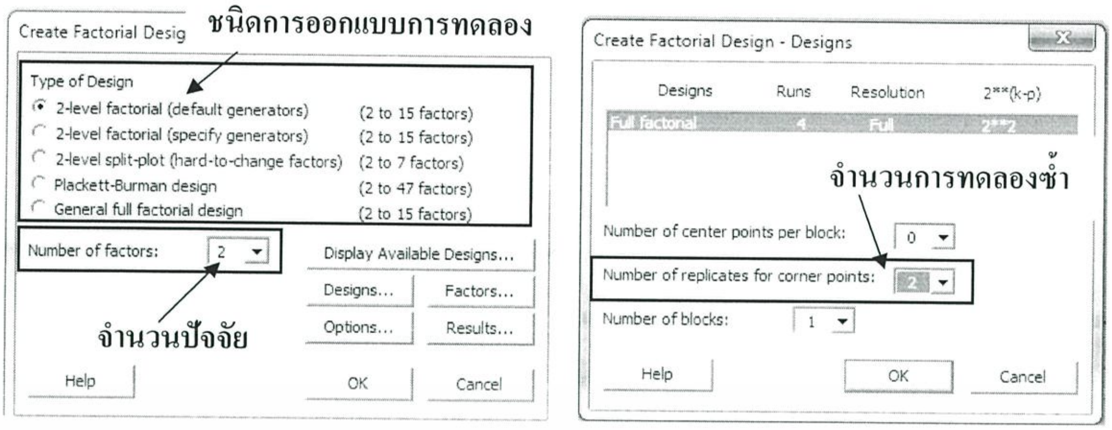



**รูปที่ 2.17** การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลในโปรแกรมมินิแทป

2. เลือกชนิดการออกแบบการทดลอง และเลือกจำนวนปัจจัยที่ศึกษา โครงงานนี้เลือกชนิดการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ที่หน้าต่างโปรแกรม คือ 2-level factorial (Default generators) เลือกจำนวนปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย ดังรูปที่ 2.18 ก

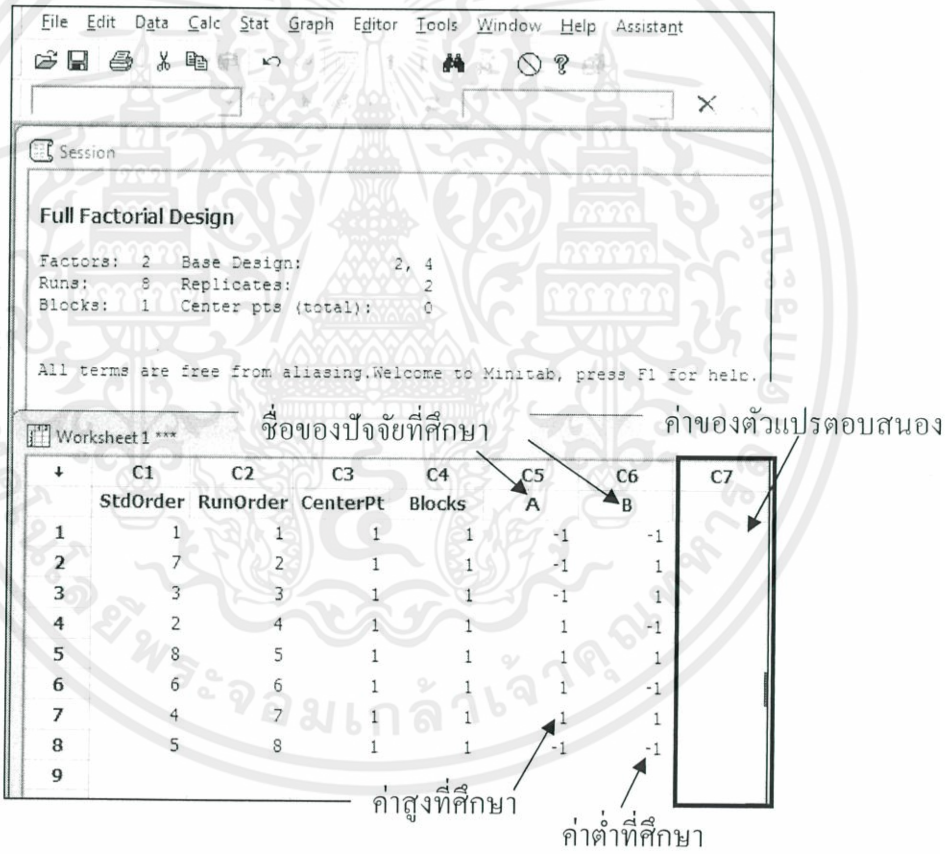
3. คลิกที่ Design เพื่อใส่จำนวนการทดลองซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ข โดยเลือกตัวเลขที่ช่อง Number of replicates for corner points เท่ากับ 2 เพื่อออกแบบการทดลองให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จากนั้นคลิก OK โปรแกรมมินิแทปจะออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.19

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ก) ข)

**รูปที่ 2.18** การเลือกชนิดการออกแบบการทดลอง จำนวนปัจจัย และจำนวนการทดลองซ้ำในโปรแกรมมินิแทป



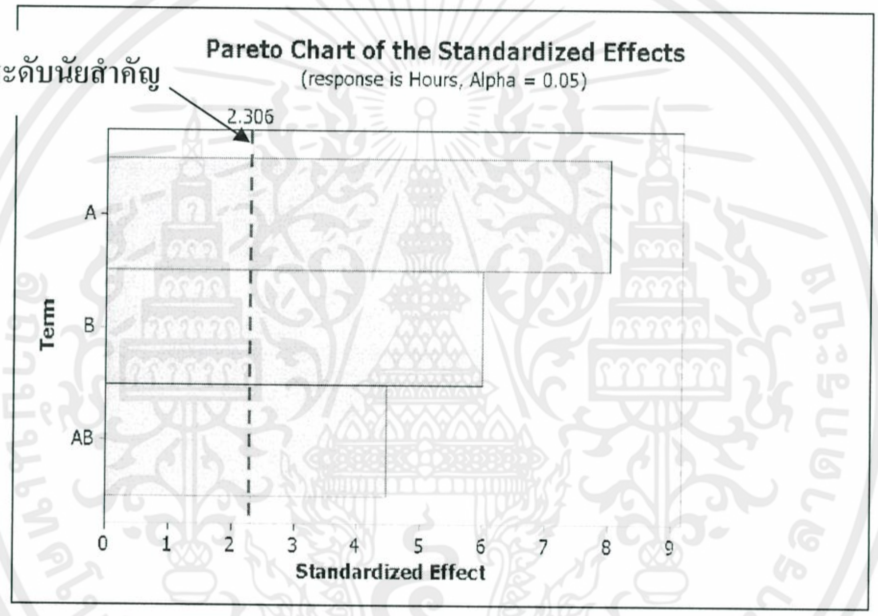

**รูปที่ 2.19** Worksheet แสดงผลการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย (แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง)

4. ทำการทดลองตามการออกแบบการทดลอง บันทึกผลการทดลองลงใน Worksheet ที่คอลัมน์ว่างถัดไปในด้านขวามือ จากรูปที่ 2.19 คือ คอลัมน์ C7 ในรูปที่ 2.19 และใส่ชื่อ

ของค่าตัวแปรตอบสนองที่ช่องบนสุดของคอลัมน์ บันทึกผลของค่าตอบสนองตามลำดับการทดลอง แล้ววิเคราะห์ผลการทดลอง

**2.10.4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองจากโปรแกรมมินิแทป**

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองจากโปรแกรมมินิแทป สามารถใช้แผนผังพาเรโต ซึ่งแกน X คือ ผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Standardized effects) และแกน Y คือ ปัจจัยที่ศึกษา หากปัจจัยใดมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเกินเส้นแสดงค่าของระดับนัยสำคัญ $\alpha$ เท่ากับ 0.05 ปัจจัยนั้นจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 2.20 พบว่า ปัจจัย A ปัจจัย B และปัจจัยร่วมระหว่าง A และ B มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ




**รูปที่ 2.20** แผนผังพาเรโตจากโปรแกรมมินิแทปเพื่อใช้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**รดีบูรณ์ ชินสุทธิ (2546)** ศึกษาการลดรีเวิร์คในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ด้วยหลักการออกแบบการทดลองและการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ พบว่า สาเหตุหลักของการเกิดรีเวิร์ค คือ % AD ที่หน่วยผสมสารเติมแต่งไม่ได้ตามมาตรฐาน ปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญต่อ % AD คือ ปริมาณการเติมผงพื้นฐานและวัตถุดิบอื่นๆ ได้แก่ ซัลเฟต โซดาแอช ไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และการผสมของวัตถุดิบในฟลูอิไดเซอร์ไม่ดี จากผลวิจัยโดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ไว้สำหรับการ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงชุดเครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบและฟลูอิไดเซอร์ สามารถลดจำนวนครั้งที่ % AD ไม่ได้ตามมาตรฐานจาก 3.03 ครั้งต่อสัปดาห์ เหลือ 0.29 ครั้งต่อสัปดาห์ ทำให้สามารถลดรีเวิร์คได้

**อรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า (2551)** ศึกษาการลดการสูญเสียกรดซัลโฟนิกและการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือ พบว่าสาเหตุของการสูญเสียกรดซัลโฟนิก คือ โปรแกรม SCADA ที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตตั้งค่าการใส่กรดซัลโฟนิกเกิน 1 % ของค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี ดังนั้นจึงลดกรดซัลโฟนิกที่เกินจากอัตราส่วนปริมาณสารสัมพันธ์ (Stoichiometric ratio) 0.5 % โดยน้ำหนัก สามารถลดการใช้กรดซัลโฟนิกลงได้ 50 % หรือเท่ากับ 128 ตันต่อปี สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอก พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานในขั้นตอนของการผลิตสเลอรี่ คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทินและความเร็วรอบของใบกวน เมื่อทดลองใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน 100, 130 และ 160 วินาที และใช้ความเร็วรอบของใบกวน 45, 58 และ 70 รอบต่อนาที พบว่า % AD ของผงพื้นฐานเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทินลดลงและความเร็วรอบของใบกวนเพิ่มขึ้น โดยความเร็วรอบของใบกวนมีผลต่อ % AD มากกว่า ภาวะปฏิบัติงานปกติใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน 135 วินาที และความเร็วรอบของใบกวนเท่ากับ 65 รอบต่อนาที ผงพื้นฐานมีค่าเฉลี่ยของ % AD อยู่ในช่วง 23.4-24.7 % หลังจากนำภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป คือ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน 132 วินาที และความเร็วรอบของใบกวนเท่ากับ 70 รอบต่อนาที มาปรับใช้ ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานมีค่าอยู่ในช่วง 23.9-24.8 %

**กันยาลักษณ์ แก้วประสิทธิ์ และคณะ (2552)** ศึกษาการลดการสูญเสียผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน พบว่าที่ใต้เครื่องลำเลียงผงพื้นฐานด้วยอากาศเกิดการสูญเสียผงพื้นฐานที่มีขนาดตรงตามมาตรฐานของบริษัทเป็นรีเวิร์คมากที่สุด และมีปริมาณ 2.16 ตันต่อวัน สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียผงพื้นฐานที่มีขนาดตรงตามมาตรฐานของบริษัทอย่างมีนัยสำคัญ คือ อัตราการฉีดสเลอรี่เข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และอัตราการไหลของอากาศที่เครื่องลำเลียงผงพื้นฐานด้วยอากาศ ซึ่งการสูญเสียผงพื้นฐานที่มีขนาดตรงตามมาตรฐานที่ใต้เครื่องลำเลียงผงพื้นฐานด้วยอากาศแปรผันตรงกับอัตราการฉีดสเลอรี่เข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่จะแปรผกผันกับอัตราการไหลของอากาศที่เครื่องลำเลียงผงพื้นฐานด้วยอากาศ จากการทดสอบในกระบวนการผลิต โดยให้อัตราการฉีดสเลอรี่ที่หออบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ และตั้งค่าอัตราการไหลของอากาศที่เครื่องลำเลียงผงพื้นฐานด้วยอากาศตามความสัมพันธ์ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปเท่ากับ 39,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สำหรับหัวฉีดสเลอรี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร จำนวน 8 หัว สามารถลดการสูญเสียผงพื้นฐานที่มีขนาดตรงตามมาตรฐานของบริษัทไปกับผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่ได้ 0.43 ตันต่อวัน หรือ 58.05 ตันใน 180 วัน ส่วนหัวฉีดสเลอรี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร จำนวน 4 หัว และตั้งค่าอัตราการไหลของอากาศที่เครื่อง

ลำเลียงผงพื้นฐานด้วยอากาศเท่ากับ 42,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าสามารถลดการสูญเสียผงพื้นฐานได้ 0.27 ตันต่อวัน หรือ 12.15 ตันใน 60 วัน

**กฤตนารี บุญเรือง และคณะ (2554)** ศึกษาการลดความเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยโปรแกรมมินิแทป ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีนัยสำคัญมากกว่าอุณหภูมิของอากาศขาเข้า ส่วนแรงดันของหัวฉีดสเลอรี่ไม่มีนัยสำคัญ และ % AD ของผงพื้นฐานจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าและอุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 70,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า 415 องศาเซลเซียส โดยให้อัตราการฉีดสเลอรี่คงที่ที่ 23 ตันต่อชั่วโมง สามารถลดความเบี่ยงเบนของ % AD จากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานเพิ่มขึ้นจาก 25.66 เป็น 26.22 % ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้นจาก 1.57 เป็น 1.65 และดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการเพิ่มขึ้นจาก 0.77 เป็น 1.28

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินงาน

## 3.1 เขียนแผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

เขียนแผนผังกระบวนการผลิต (Process mapping) ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน และขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง

## 3.2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานก่อนการดำเนินงาน

เก็บตัวอย่างของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน และขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ % AD รวมทั้งหมด 6 ตำแหน่ง ดังนี้ (จำนวนตัวอย่างจะเก็บให้ได้มากที่สุดระหว่างระยะเวลา 1 กะ ที่ศึกษา)

- **ตำแหน่งที่ 1** สเลอรี่ที่ถังผสม เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากสิ้นสุดการผสมสเลอรี่ทุก 1 แบทช์ จำนวน 7 ตัวอย่าง รวม 7 แบทช์

- **ตำแหน่งที่ 2** สเลอรี่ก่อนเข้าปั๊มความดันสูง เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างสเลอรี่ที่ถังผสมแล้ว 5 นาที จำนวน 7 ตัวอย่าง (เพราะหลังการผสมสเลอรี่จะถูกส่งไปถึงปั๊มความดันสูงในเวลาประมาณ 5 นาที)

- **ตำแหน่งที่ 3** ผงพื้นฐานที่ใต้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างสเลอรี่ก่อนเข้าปั๊มความดันสูงแล้ว 10 นาที แล้วเก็บติดต่อกันทุก 30 นาที จำนวน 10 ตัวอย่าง

- **ตำแหน่งที่ 4** ผงพื้นฐานหลังเติมซีโอไลต์ เริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างผงพื้นฐานที่ใต้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแล้ว 5 นาที แล้วเก็บติดต่อกันทุก 30 นาที จำนวน 10 ตัวอย่าง

- **ตำแหน่งที่ 5** ผงพื้นฐานที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด เริ่มเก็บตัวอย่างผงพื้นฐานหลังจากเก็บตัวอย่างผงพื้นฐานหลังการเติมซีโอไลต์แล้ว 5 นาที แล้วเก็บติดต่อกันทุก 30 นาที จำนวน 10 ตัวอย่าง

- **ตำแหน่งที่ 6** ผงซักฟอกหลังออกจาก Drum mixer ในสายการผลิตที่ 1 โดยเริ่มเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างผงพื้นฐานที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดแล้ว 5 นาที แล้วเก็บติดต่อกันทุก 30 นาที จำนวน 9 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ % AD ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (ดัชนี Cp) และดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (ดัชนี Cpk) ก่อนการดำเนินงาน

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ % AD ที่ตำแหน่งในขั้นตอนต่างๆ ดังหัวข้อที่ 3.2 เพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของบริษัทดังแสดงในตารางที่ 3.1

วิเคราะห์ดัชนี Cp ในรูปของความผันแปรของ % AD ของตัวอย่างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกเปรียบเทียบกับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ และดัชนี Cpk ในรูปของการเบี่ยงเบนของ % AD ออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือค่าเป้าหมาย การวิเคราะห์ดัชนี Cp และดัชนี Cpk ต้องทราบพิกัดข้อกำหนดเฉพาะทั้งด้านต่ำและด้านสูง (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551) เนื่องจากที่ตำแหน่งหลังเติมซีโอไลต์ ที่สายพานลำเลียงหลังเครื่องร่อนคัดขนาด และหลังออกจาก Drum mixer มีพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของ % AD ทั้งด้านต่ำและด้านสูง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ดัชนี Cp และดัชนี Cpk ที่ตำแหน่งนี้ เพื่อหาปัจจัยในขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานและขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งที่ต้องปรับปรุง

**ตารางที่ 3.1** ข้อกำหนด % AD ของบริษัทของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอก

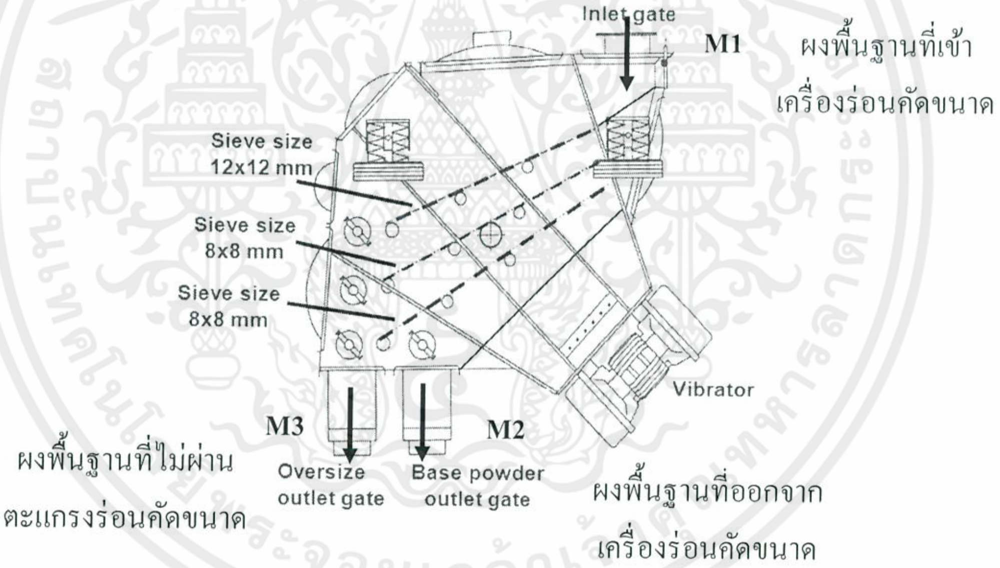
<table>
<tr><th rowspan="2">สารตัวอย่าง</th><th rowspan="2">ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง</th><th colspan="3">% AD ตามข้อกำหนดของบริษัท</th></tr>
<tr><th>ข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ</th><th>ค่าเป้าหมาย</th><th>ข้อกำหนดเฉพาะด้านสูง</th></tr>
<tr><td rowspan="2">สเลอรี่</td><td>ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่: ถังผสมสเลอรี่</td><td rowspan="2">-</td><td rowspan="2">18.76 %</td><td rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่: ก่อนเข้าปั๊มความดันสูง</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ผงพื้นฐาน</td><td>ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน: ใต้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย</td><td>-</td><td>27 %</td><td>-</td></tr>
<tr><td>ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน: หลังเติมซีโอไลต์</td><td rowspan="2">24.675 %</td><td rowspan="2">26.675 %</td><td rowspan="2">28.675 %</td></tr>
<tr><td>ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน: ที่สายพานลำเลียงหลังเครื่องร่อนคัดขนาด</td></tr>
<tr><td>ผงซักฟอก</td><td>ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง: หลังออกจาก Drum mixer</td><td>18 %</td><td>20 %</td><td>22 %</td></tr>
</table>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.4 วิเคราะห์ข้อกำหนดด้านคุณภาพ ขนาด และรูปร่างของผงพื้นฐานที่เครื่องร่อนคัดขนาด

วิเคราะห์ข้อกำหนดด้านคุณภาพ ได้แก่ % AD ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นรวม เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของ 1) ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด 2) ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดและมีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร และ 3) ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนซึ่งประกอบด้วยผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่ารูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุด (M1, M2 และ M3ในรูปที่ 3.1 ตามลำดับ) และวิเคราะห์ขนาด และรูปร่างของผงพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

คัดขนาดผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด (M3ในรูปที่ 3.1) ด้วยตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิดใหญ่สุดในห้องปฏิบัติการคือ 10 เมช ดังนั้นจะแยกออกเป็นผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร หลังจากนั้นวิเคราะห์ % AD ของผงพื้นฐาน 2 ส่วนนี้




**รูปที่ 3.1** แผนภาพแสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน M1) หลังเติมซีโอไลต์ก่อนเข้าเครื่องร่อนคัดขนาด M2) ที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด และ M3) ที่รถรองผงพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 วิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

วิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก โดยใช้แผนผังแสดงสาเหตุและผล การระดมสมอง และแผนผังต้นไม้ซึ่งใช้ลักษณะการวิเคราะห์แบบ why-why

## 3.6 ทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ระดับ ด้วยโปรแกรมมินิแทป R. 15 และทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกด้วยแผนผังพาเรโต และ Main effects plot ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

## 3.7 วิเคราะห์ปริมาณผงพื้นฐานที่สูญเสียเป็นรีเวิร์ค ค่าเฉลี่ยของ % AD ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ และดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการหลังการดำเนินงาน

3.7.1 หาภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่เครื่องร่อนคัดขนาดด้วยโปรแกรมมินิแทป R. 15 และใช้ปรับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด เพื่อเพิ่ม % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด โดยทำการทดลอง 2 ชุดการทดลองติดต่อกัน ดังนี้

การทดลองชุดที่ 1 เก็บตัวอย่างของผงพื้นฐานหลังการเติมซีโอไลต์ก่อนเข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (M1) ที่ภาวะปฏิบัติงานปกติก่อนใช้ค่าที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15 คือที่อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 50.15 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 12 ตัวอย่างติดต่อกันทุก 10 นาที และเก็บตัวอย่างของผงพื้นฐานเช่นเดียวกันที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด (M2)

การทดลองชุดที่ 2 เก็บตัวอย่างของผงพื้นฐานเช่นเดียวกันกับการทดลองชุดที่ 1 โดยใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

3.7.2 เปรียบเทียบปริมาณรีเวิร์ค ปริมาณผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด และค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดก่อนและหลังปรับใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

3.7.3 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการร่อนคัดขนาดก่อนและหลังปรับใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

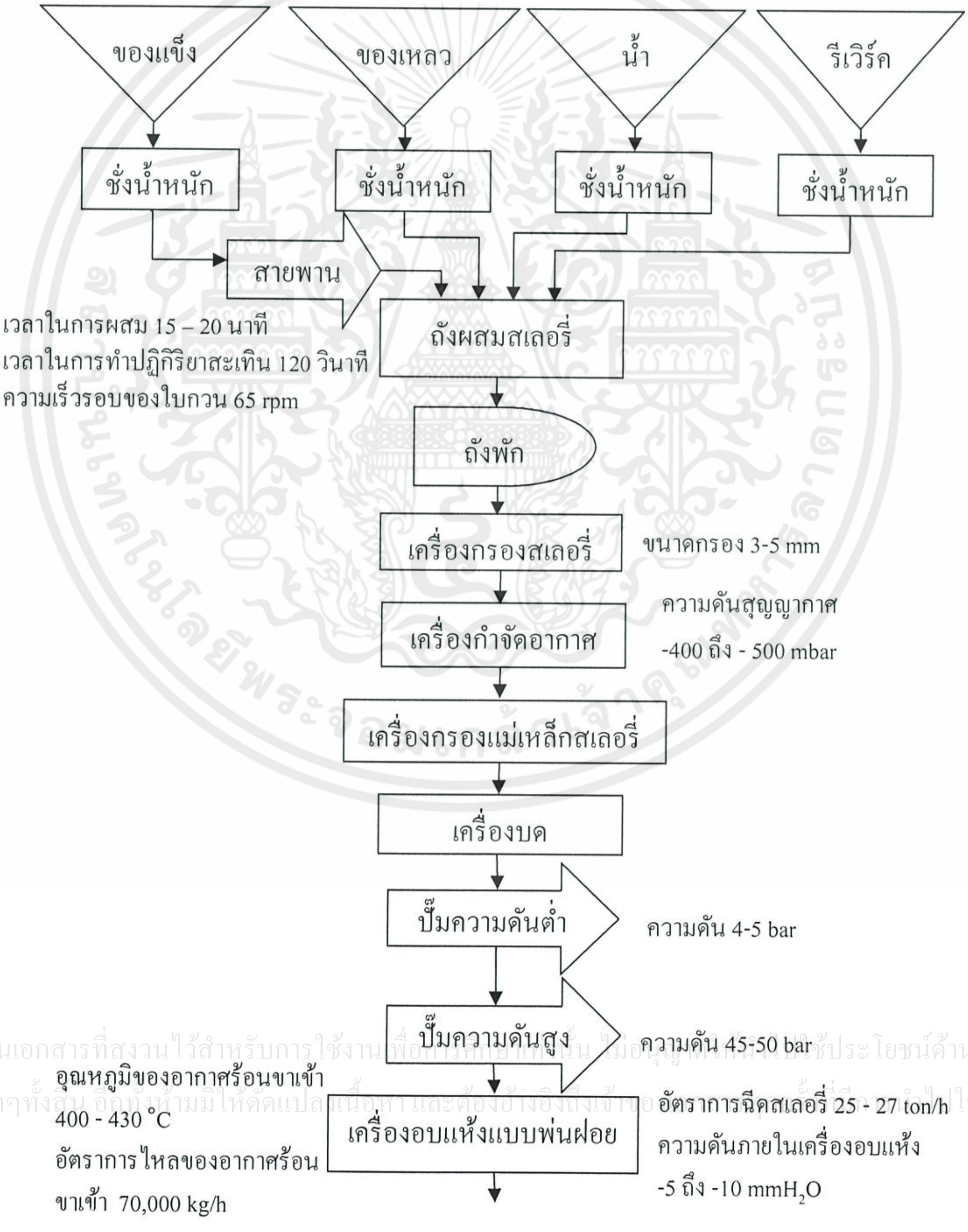
3.7.4 วิเคราะห์ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

# บทที่ 4

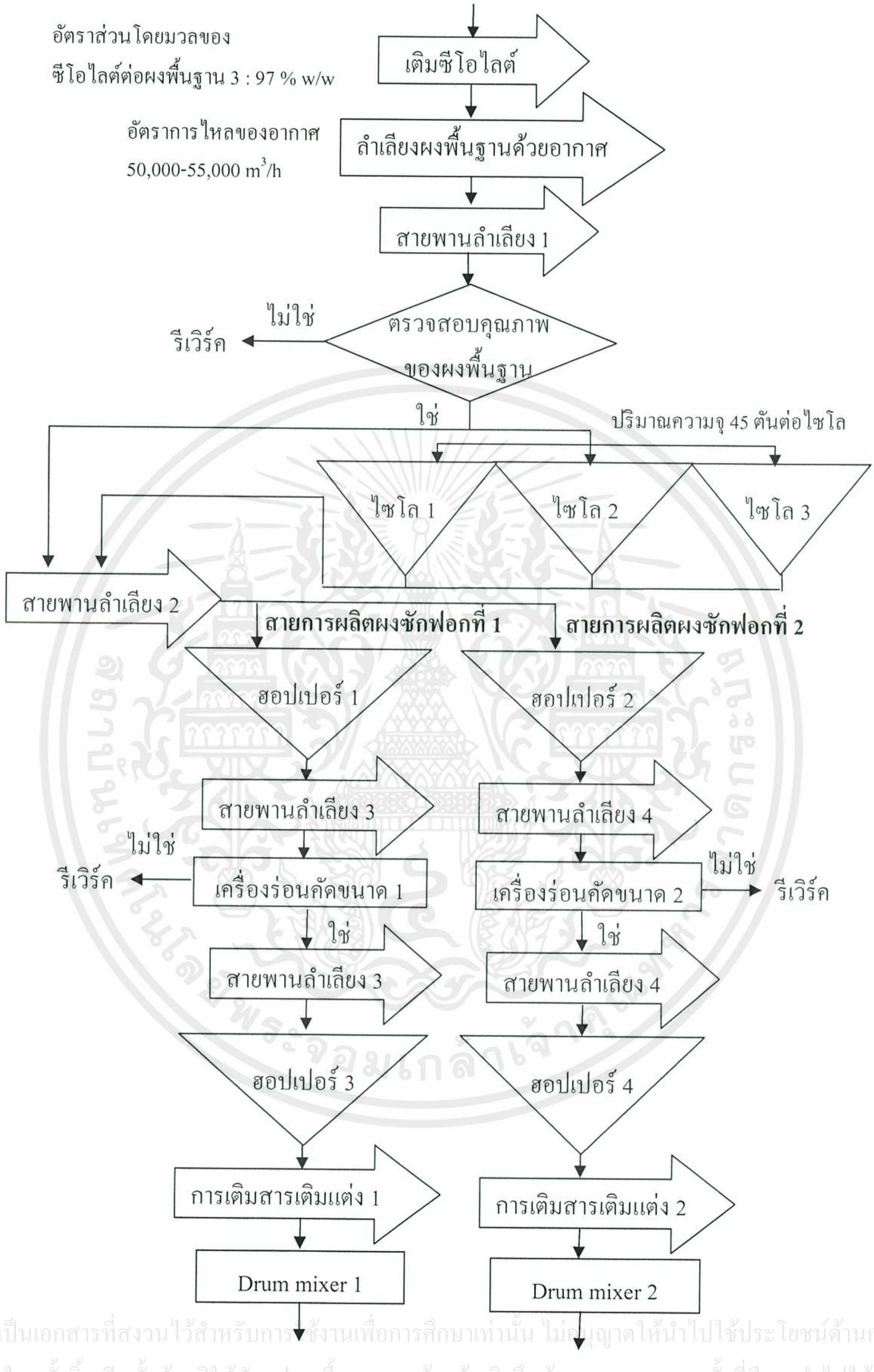
# ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

## 4.1 แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

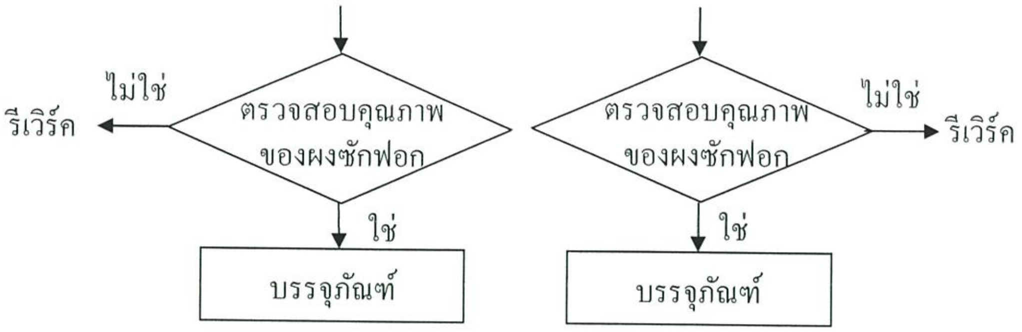
กระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนการผลิตผงซักฟอก และส่วนการบรรจุผงซักฟอก แผนผังกระบวนการในรูปที่ 4.1 แสดงส่วนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน และขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง ความหมายของสัญลักษณ์จากแผนผังกระบวนการผลิตแสดงดังตารางที่ 4.1




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ...ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.1** แผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

ผงพื้นฐานหลังจากผ่านการตรวจสอบคุณภาพจะแบ่งเป็น 2 สายการผลิต เพื่อผลิตผงซักฟอก โครงการนี้ศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน และขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งที่สายการผลิตที่ 1

**ตารางที่ 4.1** ความหมายของสัญลักษณ์จากแผนผังกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน (เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด)

| สัญลักษณ์ | ความหมาย |
|---|---|
| Storage | กระบวนการที่อยู่กับที่ หรือการเก็บรักษา |
| Transportation | การเคลื่อนย้ายไปยังอีกตำแหน่งโดยไม่เปลี่ยนสภาพ |
| Delay | กระบวนการที่หยุดรอคอยกระบวนการอื่นๆ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีมูลค่า |
| Operation | กระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มีมูลค่า |
| Decision | กระบวนการตรวจสอบคุณภาพและตัดสินใจ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ประสิทธิภาพการซักล้างของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอก และความสามารถของกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานก่อนการดำเนินงาน

### 4.2.1 % AD ของสารตัวอย่างที่ตำแหน่งต่างๆ ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ % AD ของของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอกที่ตำแหน่งต่างๆ ในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า

**1. ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่** สเลอรี่ในถังผสมสเลอรี่และก่อนเข้าปั๊มความดันสูงมีค่าเฉลี่ยของ % AD เท่ากับ 19.41 และ 19.28 % ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าเป้าหมายที่บริษัทคำนวณไว้สำหรับสเลอรี่ คือ 18.76 % แสดงว่าที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ไม่ส่งผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกเนื่องจากการผสมสเลอรี่ปฏิบัติงานตามมาตรฐานการผลิตคือใช้เวลาในการผสมประมาณ 20 นาทีต่อแบทช์ เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทินเท่ากับ 120 วินาที และความเร็วรอบของใบกวนเท่ากับ 65 รอบต่อนาที

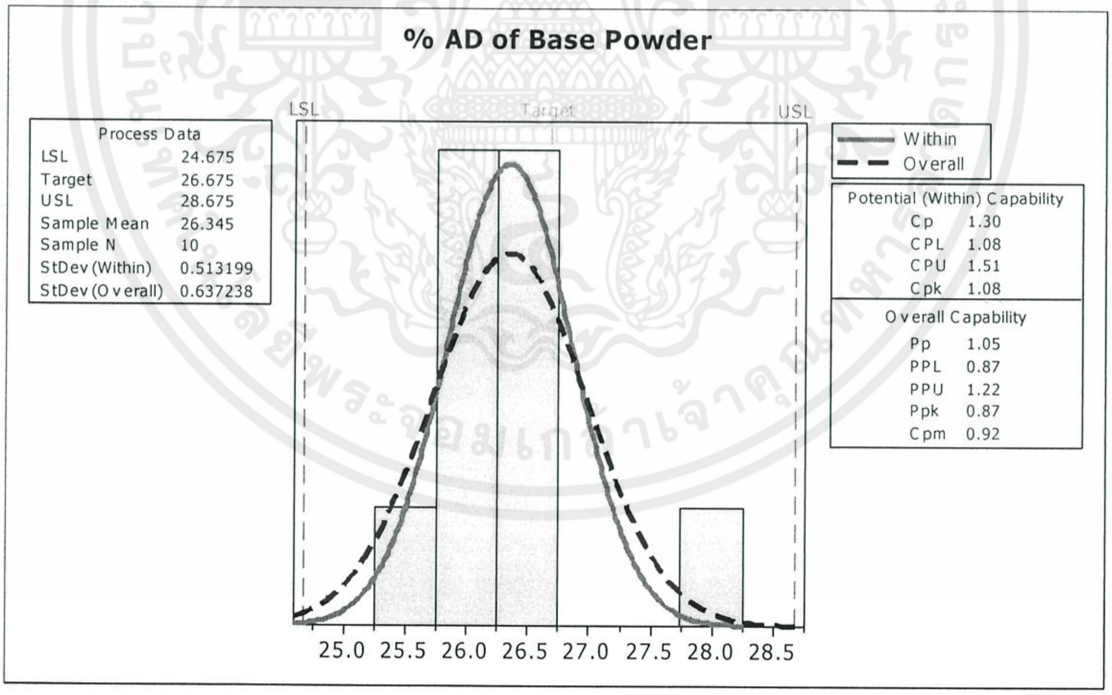
**ตารางที่ 4.2** ค่าเฉลี่ยของ % AD ของสเลอรี่ ผงพื้นฐาน และผงซักฟอกที่ตำแหน่งต่างๆ และข้อกำหนด % AD ของบริษัท

| สารตัวอย่าง | ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง | % AD | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | ข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ | ค่าเป้าหมาย | ข้อกำหนดเฉพาะด้านสูง | ค่าเฉลี่ยที่ตรวจวัด |
| สเลอรี่ | ถังผสมสเลอรี่ | - | 18.76 % | - | 19.41 |
| | ก่อนเข้าปั๊มความดันสูง | | | | 19.28 |
| ผงพื้นฐาน | ใต้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย | - | 27 % | - | 26.50 |
| | หลังเติมซีโอไลต์ | 24.675 % | 26.675 % | 28.675 % | 26.35 |
| | ที่สายพานลำเลียงหลังเครื่องร่อนคัดขนาด | | | | 25.12 |
| ผงซักฟอก | หลังออกจาก Drum mixer | 18 % | 20 % | 22 % | 19.11 |

**2. ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน** พบว่าค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานจากใต้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ยังไม่ได้เติมซีโอไลต์เท่ากับ 26.50 % ต่ำกว่า 27 % ซึ่งเป็นค่าเป้าหมายของผงพื้นฐานที่บริษัทคำนวณไว้ ผงพื้นฐานหลังเติมซีโอไลต์และที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีค่าเฉลี่ยของ % AD ลดลงเหลือ 26.35 และ 25.12 % ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า

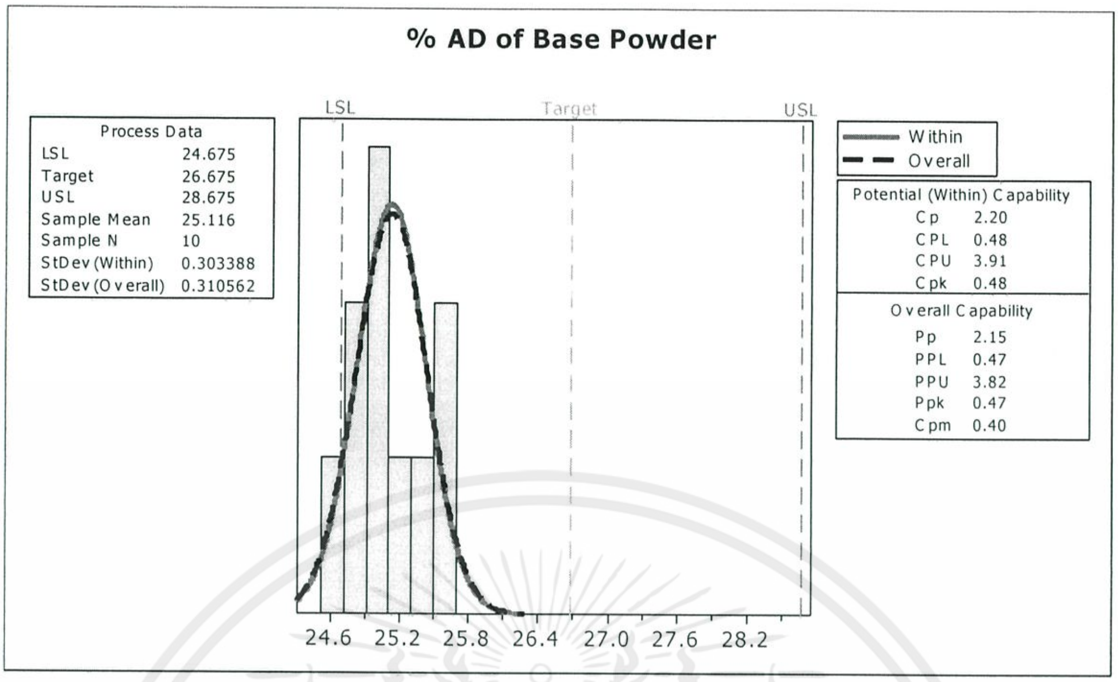
ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือค่าเป้าหมายคือ 26.675 % แต่ยังอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท ซึ่งกำหนด % AD ของผงพื้นฐานหลังการเติมซีโอไลต์และที่สายพานลำเลียงหลังเครื่องร่อนคัดขนาดต้องอยู่ระหว่าง 24.675-28.675 %

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงการกระจายของ % AD ของผงพื้นฐานหลังการเติมซีโอไลต์และที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดตามลำดับ จากรูปที่ 4.2 พบว่า % AD ของผงพื้นฐานหลังการเติมซีโอไลต์เบี่ยงเบนจากค่ากลางไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำเล็กน้อย ดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ หรือดัชนี Cp และดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ หรือดัชนี Cpk ที่วิเคราะห์จากโปรแกรมมินิแทปมีค่าเท่ากับ 1.30 และ 1.08 ตามลำดับ บ่งชี้ว่ากระบวนการมีความสามารถด้านศักยภาพและด้านสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ทั้งนี้กระบวนการที่ดีค่าดัชนี Cp และ Cpk ควรสูงกว่า 1.33 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551) และจากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า % AD ของผงพื้นฐานที่สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดเบี่ยงเบนจากค่ากลางไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำมากขึ้นเมื่อเทียบกับพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ แสดงว่ากระบวนการขาดความสามารถด้านสมรรถนะ เพราะดัชนี Cpk มีค่าเพียง 0.48 แต่ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนอยู่ในเกณฑ์ดีเลิศ เพราะ % AD มีความผันแปรต่ำ (ดัชนี Cp เท่ากับ 2.20)




**รูปที่ 4.2** % AD ของผงพื้นฐานก่อนการดำเนินงาน (ตำแหน่งที่ 4: หลังเติมซีโอไลต์)

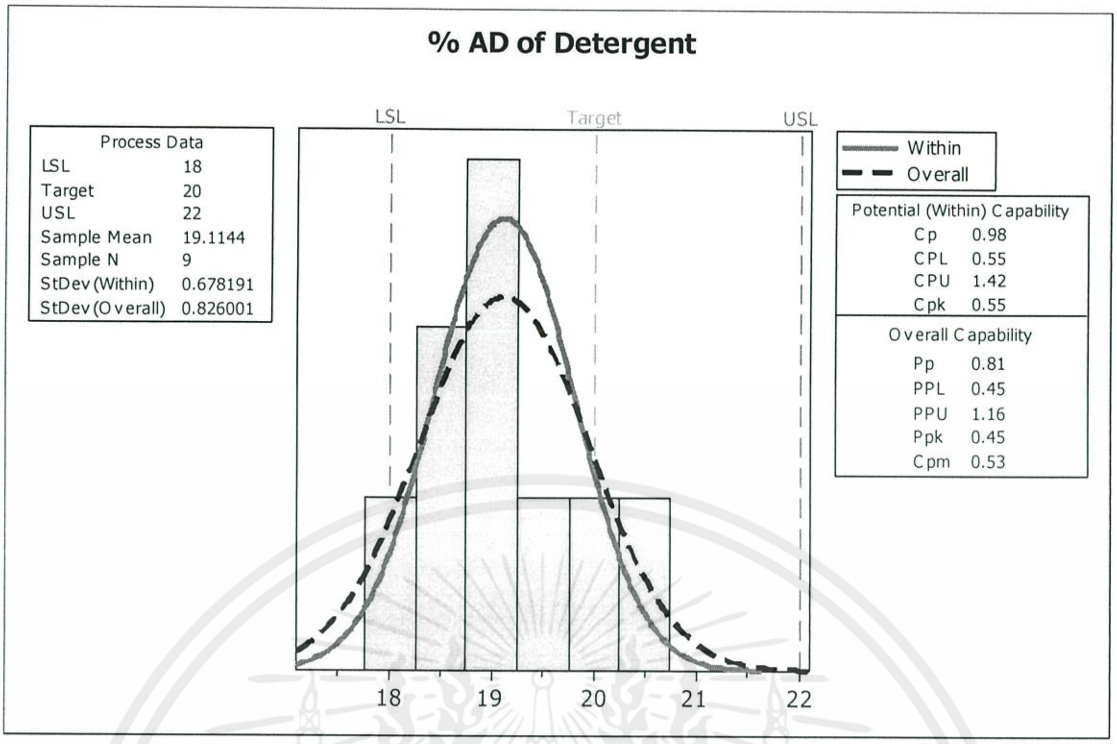
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.3** % AD ของผงพื้นฐานก่อนการดำเนินงาน (ตำแหน่งที่ 5: ที่สายพานลำเลียงหลังเครื่องร่อนคัดขนาด)

**3. ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง** บริษัทกำหนด % AD ของผงซักฟอกระหว่าง 18-22 % และมีค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะเท่ากับ 20 % ซึ่งกำหนดไว้สูงกว่าข้อกำหนดของ % AD ของผงซักฟอกตามสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม (ไม่ต่ำกว่า 18 %) จากรูปที่ 4.4 (รวมทั้งตารางที่ 4.2) พบว่าค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงซักฟอกเท่ากับ 19.11 % ซึ่งต่ำกว่าค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะเล็กน้อยและเบี่ยงเบนออกไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำ ดัชนี Cp เท่ากับ 0.98 (ความผันแปรของคุณภาพผลิตภัณฑ์สูง) และดัชนี Cpk เท่ากับ 0.55 (คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตจริงเบี่ยงเบนออกจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ) แสดงว่ากระบวนการผลิตผงซักฟอกยังขาดความสามารถด้านศักยภาพและด้านสมรรถนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.4** % AD ของผงซักฟอกก่อนการดำเนินงาน (ตำแหน่งที่ 6: หลังออกจาก Drum mixer)

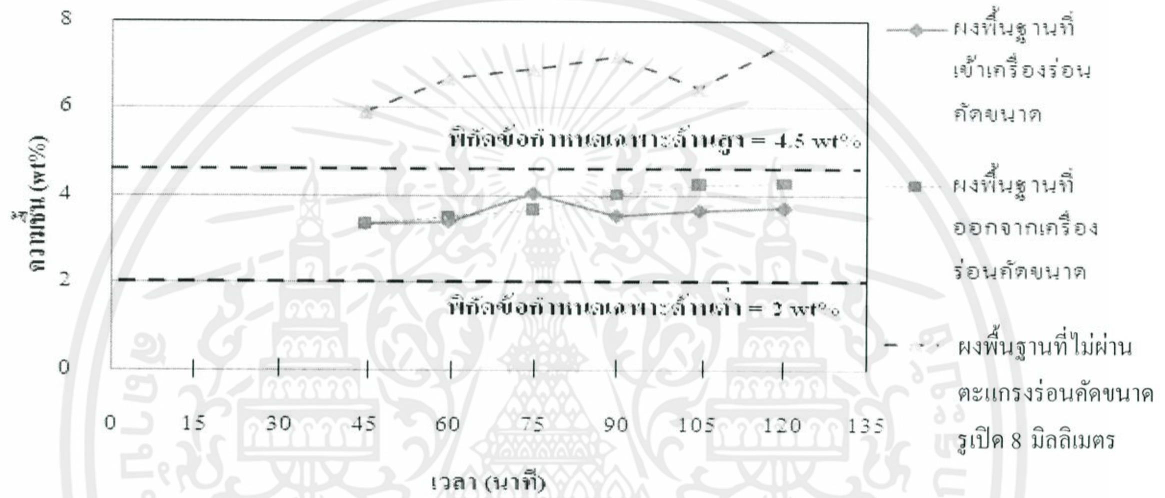
ในภาพรวม % AD ของผงซักฟอกขึ้นกับ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก ดังนั้นเมื่อต้องการคุณภาพผลิตภัณฑ์ คือ % AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานได้ตรงตามพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ จึงต้องให้ความสำคัญกับขั้นตอนต่อเนื่องจากการผลิตผงพื้นฐานและการเติมสารเติมแต่ง เพราะผลวิเคราะห์ในรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ยืนยันว่าค่าดัชนี Cp และดัชนี Cpk ของขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานและขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเนื่องจากการร่อนคัดขนาดผงพื้นฐานด้วย Mogensen sizer อยู่ระหว่างขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานและขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง และทีมวิจัยยังไม่เคยศึกษาพารามิเตอร์หรือปัจจัยของเครื่องร่อนคัดขนาดต่อค่า % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน จึงศึกษาปัจจัยที่เครื่องร่อนคัดขนาด (Mogensen sizer) ที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด และวิเคราะห์ค่าดัชนี Cp และดัชนี Cpk ของการร่อนคัดขนาดเพื่อหาปัจจัยที่ต้องปรับปรุงในขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานและขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

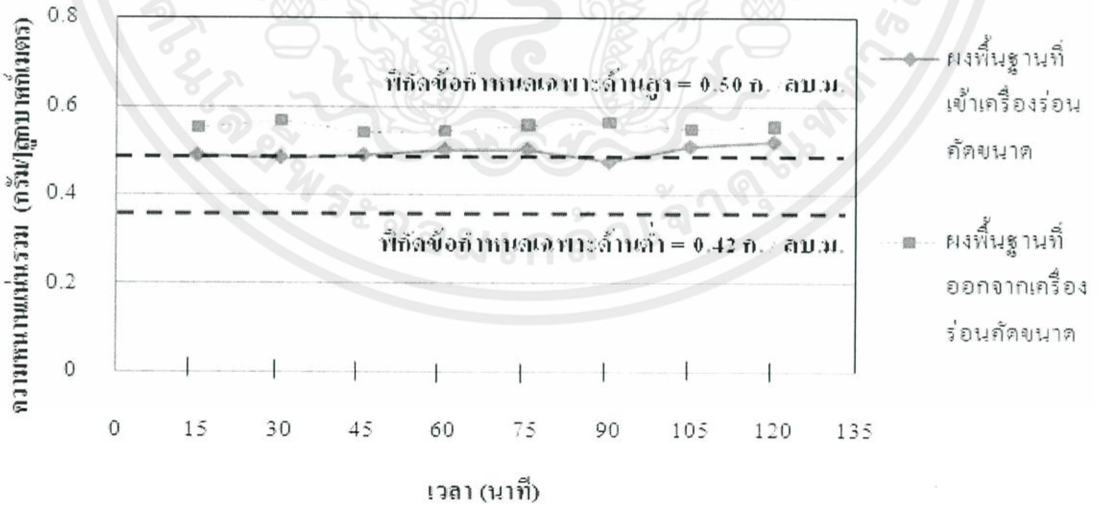
## 4.3 ข้อกำหนดด้านคุณภาพ ขนาด และรูปร่างของผงพื้นฐานที่เครื่องร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

### 4.3.1 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐาน

รูปที่ 4.5-4.6 เปรียบเทียบข้อกำหนดด้านคุณภาพต่างๆ ที่ได้จากการตรวจวัด ได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่นรวม เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ และเปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด ผงพื้นฐานที่ออกจากตะแกรงร่อนชั้นล่างสุดขนาดรูเปิด 8 มิลลิเมตร และผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดชั้นล่างสุดซึ่งประกอบด้วยผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่ารูตะแกรงร่อน



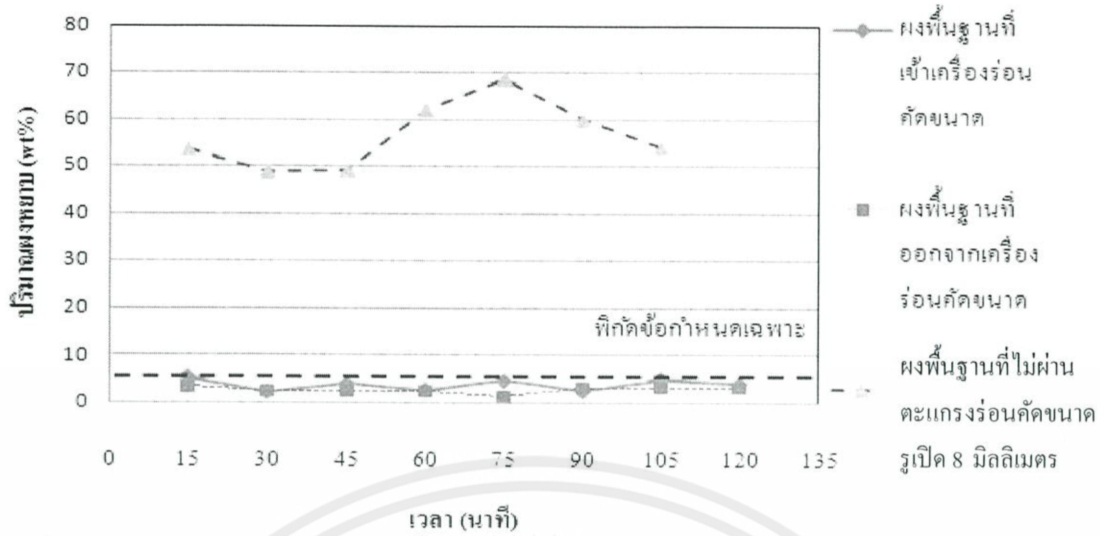

**รูปที่ 4.5** ความชื้นของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด



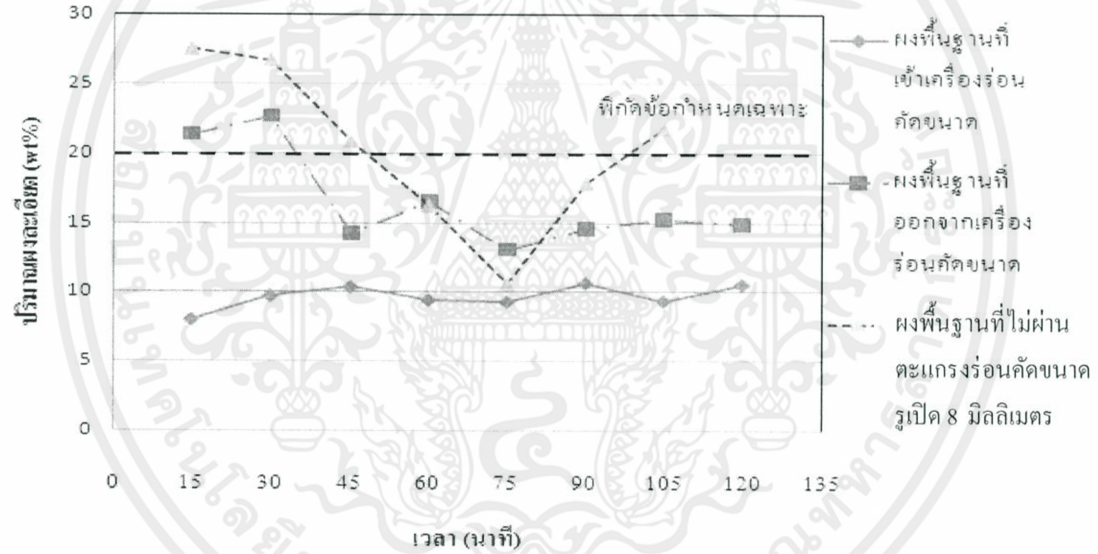

**หมายเหตุ** ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านรูตะแกรงร่อนไม่สามารถนำไปวัดความหนาแน่นรวมได้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ไม่เหมาะสม

**รูปที่ 4.6** ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.7** เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด




**รูปที่ 4.8** เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด

ผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 4.5-4.8 มีดังนี้

1. จากรูปที่ 4.5 และข้อมูลดิบดังตารางที่ ก.6 ภาคผนวก ก ตรวจวัดปริมาณความชื้นของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีความชื้นเฉลี่ยได้เท่ากับ 3.78 และ 4.00 wt% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท (2-4.5 wt%) ส่วนผงพื้นฐานที่รวมตัวกันและมีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนดของบริษัท (Oversize) และไม่สามารถผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดมีความชื้นเฉลี่ย 6.2 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. จากรูปที่ 4.6 พบว่าผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 0.555 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ก.7 ภาคผนวก ก) สูงกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท (0.42-0.50 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) เนื่องจากระหว่างการร่อนคัดขนาดผงพื้นฐานแตกและมีขนาดเล็กลงเพราะชนและกระแทกกับตะแกรงร่อน ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคกับอนุภาคและภาชนะกับอนุภาคของผงพื้นฐานลดลง (พิมพ์เพ็ญ. 2556) ส่วนผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนไม่สามารถนำไปวัดความหนาแน่นรวมได้เนื่องจากขนาดของผงพื้นฐานใหญ่มากไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ใช้วัดความหนาแน่นรวม

3. ตามข้อกำหนดของบริษัทปริมาณผงหยาบที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร ซึ่งไม่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 10 เมช ต้องไม่เกิน 20 wt% ส่วนปริมาณผงละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 180 ไมโครเมตร ซึ่งผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 80 เมช ต้องไม่เกิน 5 wt% จากรูปที่ 4.7-4.8 ปริมาณผงหยาบและผงละเอียดของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดอยู่ในพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ และช่วงแรกของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีปริมาณผงละเอียดสูงกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัทเล็กน้อย (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ก.7 ภาคผนวก ก)

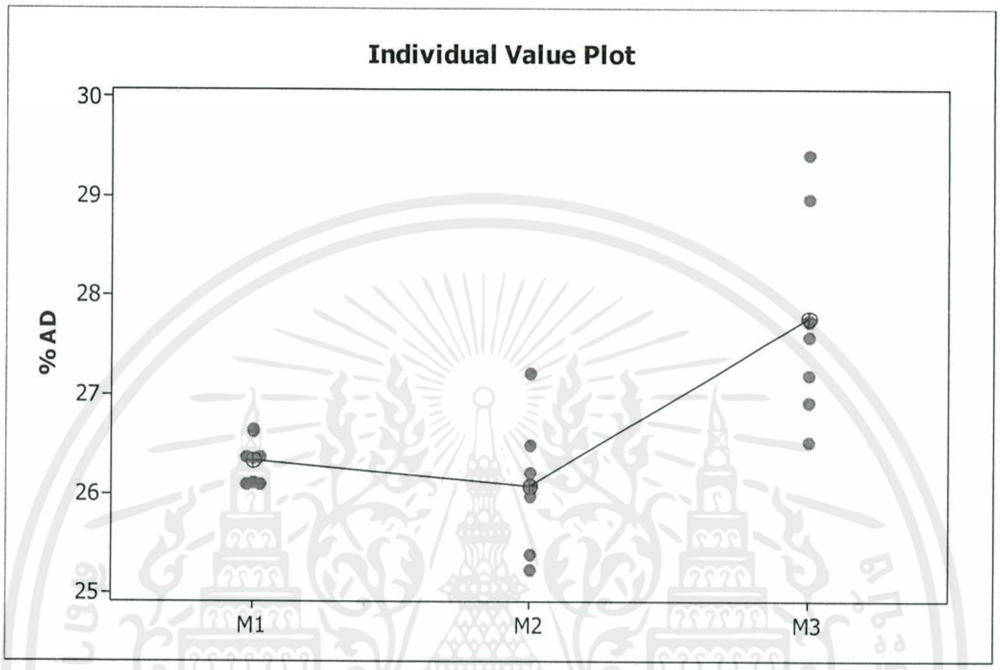
ปริมาณผงหยาบในผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดอยู่ระหว่าง 48.87-68.80 wt% คำนวณปริมาณผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ซึ่งปนอยู่กับผงหยาบนี้ได้ประมาณ 31.20-51.13 wt% และสังเกตได้ว่าปริมาณผงละเอียดในผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดสูงกว่าปริมาณผงละเอียดในผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด เพราะระหว่างการร่อนคัดขนาดผงพื้นฐานแตกและกระแทก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวมที่สูงกว่าดังได้กล่าวมาแล้ว ส่วนปริมาณผงหยาบในผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดอยู่ระหว่าง 48.87-68.80 wt%

### 4.3.2 ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด และผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด

ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด และผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดแสดงโดยกราฟ Individual Value Plot จากโปรแกรมมินิแทปดังรูปที่ 4.9 ในการปฏิบัติงานปกติไม่ได้ตรวจวัด % AD ของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด และจะส่งผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดเป็นรีเวิร์ค

พบว่าค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 26.35 และ 26.09 % ตามลำดับ และอยู่ในพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะคือ 24.675-28.675 % แต่ต่ำกว่าค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือค่าเป้าหมาย คือ 26.675 % ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่เข้าเครื่องร่อน

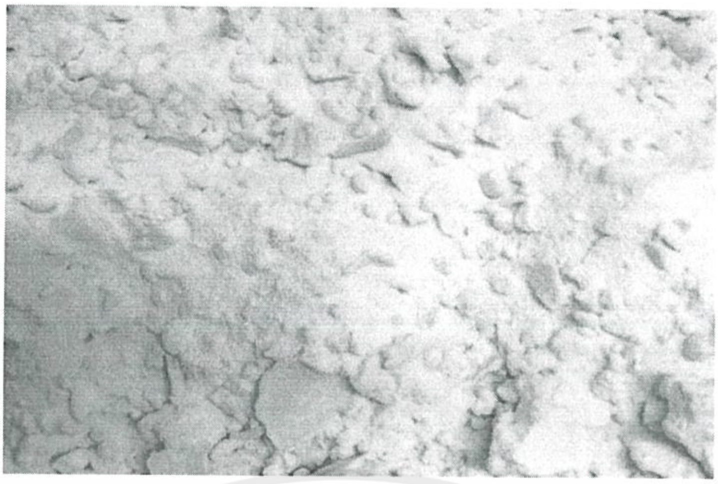
คัดขนาด ส่วน % AD ของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.77 % ซึ่งสูงกว่า % AD ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของผงพื้นฐาน แสดงว่าเกิดการสูญเสียผงพื้นฐานที่มี % AD สูงเป็นรีเวิร์ค เพราะผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดจัดเป็นผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนด (Oversize) ปกติจะถูกส่งไปทำรีเวิร์ค




**รูปที่ 4.9** ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาด M1 คือ ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด M2 คือ ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด M3 คือ ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด

ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดที่มีขนาดรูเปิด 8 มิลลิเมตรมีลักษณะดังรูปที่ 4.10 ประกอบด้วยผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่ารูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุด (8 มิลลิเมตร) พบว่าอัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดต่อผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.88 % ดังแสดงในตารางที่ 4.3 (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ก.10 ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



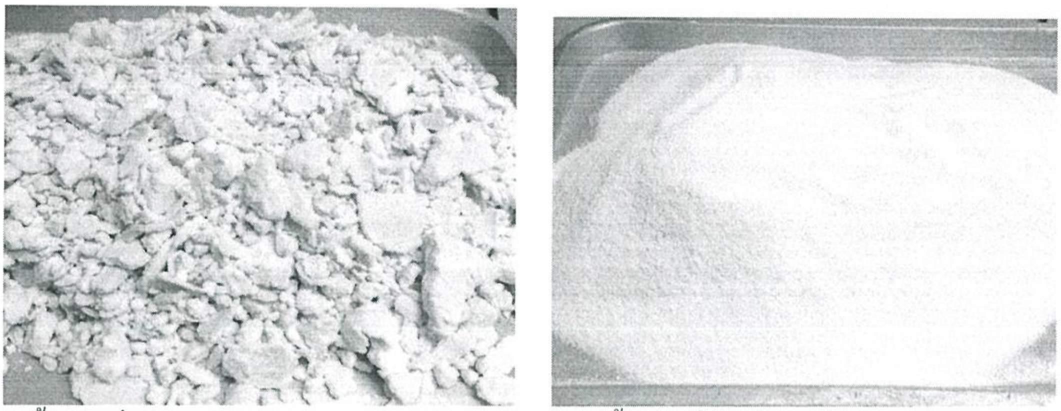
**รูปที่ 4.10** ลักษณะของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดที่มีขนาดรูเปิด 8 มิลลิเมตร

**ตารางที่ 4.3** ค่าเฉลี่ยปริมาณผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด

| **ปริมาณผงพื้นฐาน** | **ค่าเฉลี่ย** |
|---|---|
| เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (กิโลกรัม) | 201.79 |
| ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด (กิโลกรัม) | 200 |
| ที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด (กิโลกรัม) | 1.79 |
| **อัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดต่อผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (wt%)** | **0.88** |

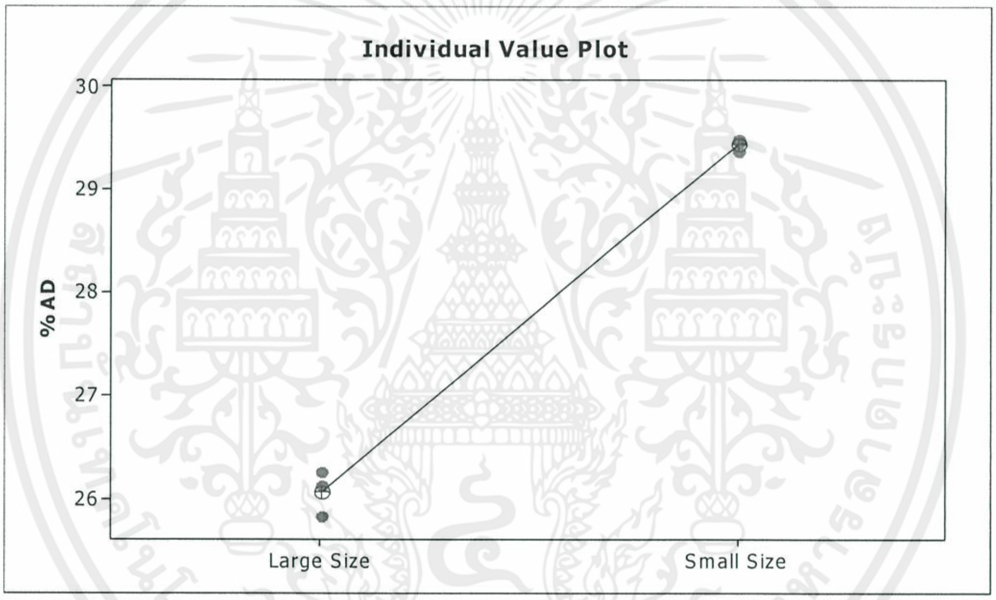
แยกผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 8 มิลลิเมตร เป็นสองส่วนด้วยตะแกรงร่อนคัดขนาด 10 เมช ได้ผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.11 ก และ ข ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานทั้งสองส่วนนี้ด้วยกราฟ Individual Value Plot จากโปรแกรมมินิแทป ดังรูปที่ 4.12 พบว่าผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร มี % AD เฉลี่ย 26.08 % ส่วนผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร มี % AD เฉลี่ย 29.45 % ซึ่งสูงกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านสูง (ค่าความชื้นเฉลี่ยของผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร เท่ากับ 8.50 และ 6.44 wt% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดเฉพาะ คือ 2-4.5 wt%) ปริมาณผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร เฉลี่ย 70.93 และ 29.07 wt% ตามลำดับ (ข้อมูลดิบดังแสดงในตารางที่ ก.11 ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร    ข) ผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร

**รูปที่ 4.11** ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านเครื่องร่อนคัดขนาดและแยกด้วยตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 10 เมช

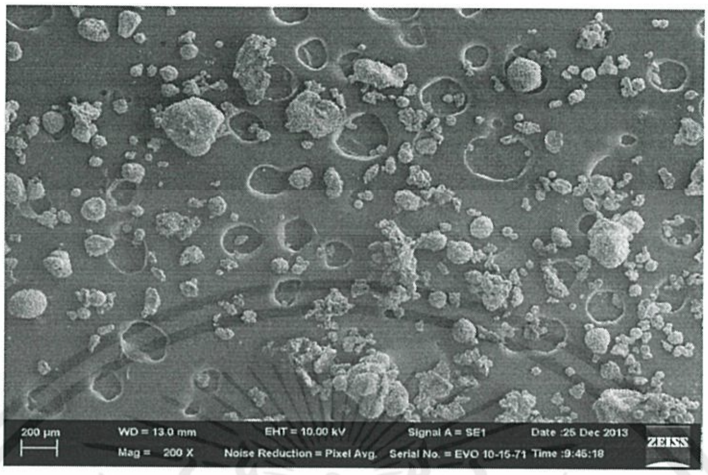



**รูปที่ 4.12** ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร

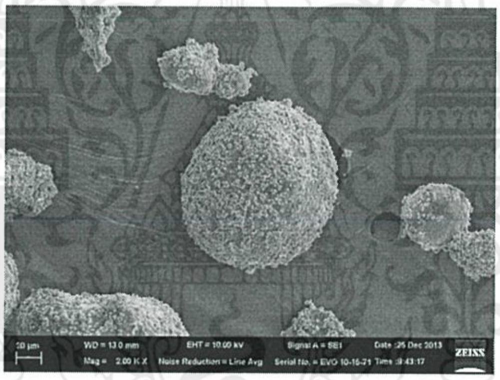
### 4.3.3 ขนาดและภาพถ่ายของรูปร่างของผงพื้นฐานจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของอนุภาคผงพื้นฐานที่มี % AD 25.82 % ที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด จากรูป 4.13 ก และ ข ขนาดของอนุภาคประมาณ 50-250 ไมโครเมตร ลักษณะของผงพื้นฐานเป็นทรงกลมมีซีโอไลต์เกาะอยู่บริเวณผิวของอนุภาคผงพื้นฐาน ซีโอไลต์เป็นสารที่มีรูพรุน มีขั้วสูง โมเลกุลสามารถดูดซับน้ำได้ดีจึงช่วยป้องกัน

ไม่ให้ผงพื้นฐานจับตัวเป็นก้อน นอกจากนี้ยังช่วยให้ผงพื้นฐานไหลได้ดีขึ้น จากรูปสังเกตได้ว่าผงพื้นฐานบางส่วนรวมตัวกันบ้างแต่ยังมีขนาดเล็ก




ก) กำลังขยาย 200 เท่า (ขนาดอนุภาค 50-250 ไมโครเมตร)

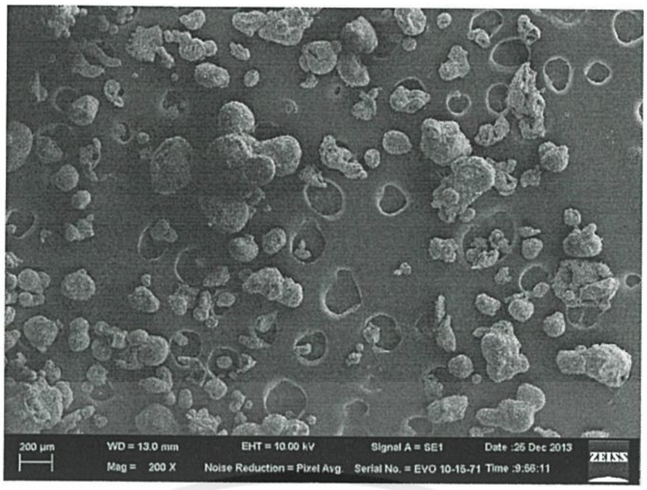


ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ขนาดอนุภาค 120 ไมโครเมตร)

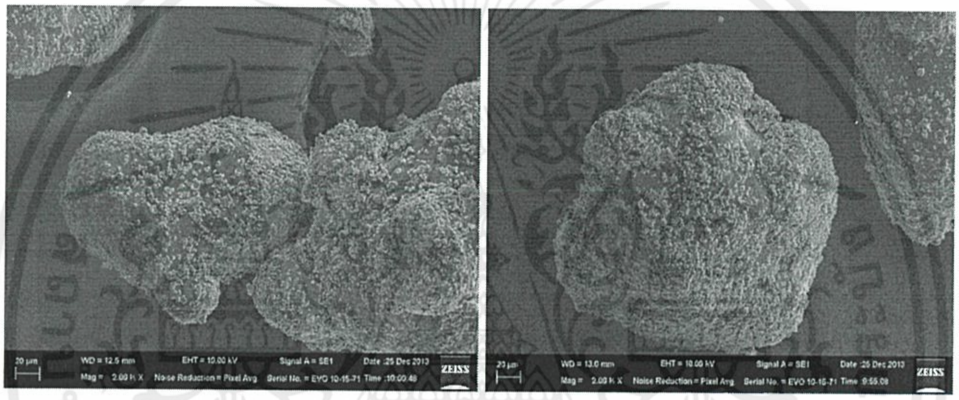
**รูปที่ 4.13** ภาพถ่ายอนุภาคผงพื้นฐานที่มี % AD 25.82 % ที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูปที่ 4.14 ก และ ข อนุภาคผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีขนาดสม่ำเสมอและจับตัวเป็นทรงกลม และจากรูปที่ 4.15 ก และ ข อนุภาคผงพื้นฐานขนาดเล็กที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดแต่ปะปนอยู่กับผงพื้นฐานขนาดใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



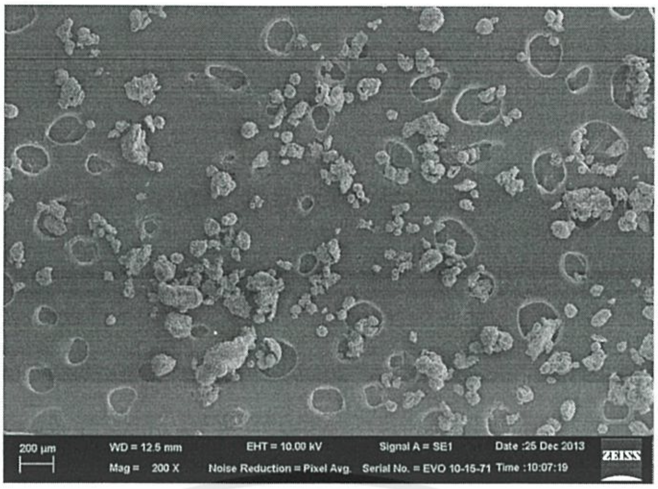

ก) กำลังขยาย 200 เท่า (ขนาดอนุภาค 50-550 ไมโครเมตร)



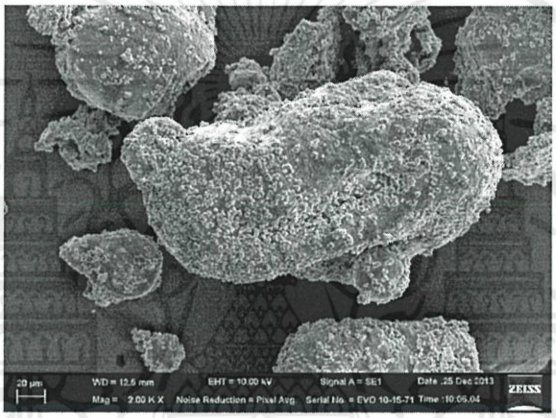
ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ขนาดอนุภาค 140 ไมโครเมตร)

**รูปที่ 4.14** ภาพถ่ายอนุภาคผงพื้นฐานที่มี % AD 25.24 % ที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ก) กำลังขยาย 200 เท่า มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 20 – 300 ไมโครเมตร




ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า (ขนาดประมาณ 260 ไมโครเมตร)

**รูปที่ 4.15** ภาพถ่ายอนุภาคผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD 27.77 % ซึ่งติดไปกับผงพื้นฐานขนาดใหญ่ที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อน (Oversize)

## 4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอกในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน

### 4.4.1 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผล

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกด้วยแผนผังแสดงสาเหตุและผลดังแสดงในรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 4.16** แผนผังแสดงสาเหตุและผลแสดงปัจจัยที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หลังการระดมสมองร่วมกับทีมวิจัยของบริษัท สามารถแบ่งปัจจัยเป็น 3 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่ศึกษาแล้วโดยโครงการต่างๆ ที่ผ่านมา ปัจจัยที่มีผลแต่ไม่ได้ศึกษาในโครงการนี้ และปัจจัยที่ศึกษาในโครงการนี้

1. **ปัจจัยจากรูปที่ 4.16 ที่ศึกษาแล้วโดยโครงการต่างๆ ที่ผ่านมา** ได้แก่

- **เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทิน** ปฏิกิริยาสะเทินที่เกิดระหว่างการผลิตสเลอรี่เป็นปฏิกิริยาระหว่างลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตหรือกรดซัลโฟนิกกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้น้ำและโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวสำหรับผลิตสารทำความสะอาดและแสดงถึงประสิทธิภาพการซักล้าง (% AD) ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก จากงานวิจัยของอรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า (2551) พบว่า % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกลดลงเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทินนาน เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ถูกใช้ในปฏิกิริยาข้างเคียงกับกรดซัลฟิวริกได้โซเดียมซัลเฟตและน้ำ ดังสมการที่ (2.4) แทนการเกิดปฏิกิริยากับลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต ดังนั้นโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตที่เกิดจากปฏิกิริยาหลักระหว่างลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังสมการที่ (2.3) จึงลดลง (กรดซัลฟิวริกเกิดจากปฏิกิริยาผันกลับของลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตและน้ำ: สมการที่ (2.2)) งานวิจัยของอรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า (2551) เสนอเวลาในการทำปฏิกิริยาสะเทินที่เหมาะสมซึ่งได้จากโปรแกรมมินิแทป คือ 132 วินาที และได้ทดสอบกับกระบวนการผลิต (ปัจจุบันเวลาการทำปฏิกิริยาสะเทินตามมาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทเท่ากับ 120 วินาที)

- **ความเร็วรอบของใบกวน** งานวิจัยของอรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า (2551) พบว่า % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกลดลงเมื่อความเร็วรอบของใบกวนขณะทำปฏิกิริยาสะเทินต่ำ เพราะการผสมสเลอรี่ไม่ทั่วถึง ปฏิกิริยาสะเทินจึงเกิดไม่สมบูรณ์ ดังนั้นได้ทดสอบความเร็วรอบของใบกวนที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป คือ 70 รอบต่อนาที กับกระบวนการผลิต (ปัจจุบันความเร็วรอบของใบกวนที่ถังผสมสเลอรี่ขณะทำปฏิกิริยาสะเทินตามมาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทเท่ากับ 65 รอบต่อนาที)

- **อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย** เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยทำหน้าที่ระเหยน้ำออกจากสเลอรี่โดยใช้อากาศร้อนอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส จากอากาศจากบรรยากาศผสมกับความร้อนจากกระบวนการซัลโฟเนชันและใช้แก๊สธรรมชาติเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้ถึงค่าปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้ผงพื้นฐาน ประสิทธิภาพการระเหยน้ำออกจากสเลอรี่แปรผันกับอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย หากอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยต่ำ ผงพื้นฐานและผงซักฟอกจะมีความชื้นสูงและมี % AD ต่ำ งานวิจัยของกฤตนารี บุญเรือง และคณะ (2554) พบว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป คือ 415

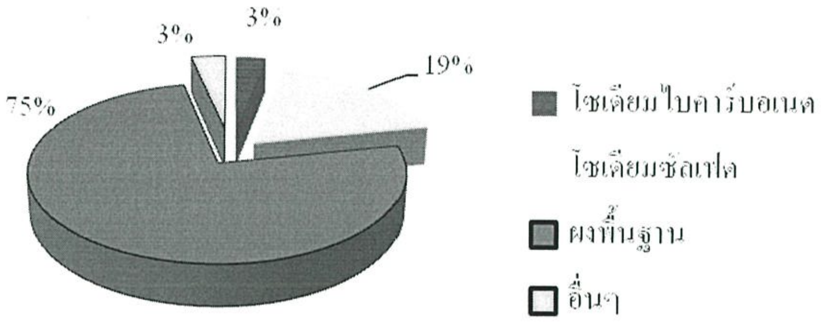
องศาเซลเซียส ที่อัตราการฉีดสเลอรี่ 23 ตันต่อชั่วโมง (ปัจจุบันอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามมาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัทอยู่ระหว่าง 400-430 องศาเซลเซียส)

- **อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย** เมื่ออัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น แม้ว่าระยะเวลาสัมผัสระหว่างสเลอรี่กับอากาศร้อนจะสั้น แต่น้ำจะถูกระเหยออกจากสเลอรี่ได้มาก เพราะเมื่ออากาศร้อนที่ไหลนำน้ำที่ถูกระเหยออกไป อากาศร้อนชุดใหม่ก็จะไหลเข้ามาระเหยน้ำออกไปอีก ดังนั้นความชื้นของผงพื้นฐานจะลดลง ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ได้สูงขึ้น งานวิจัยของกฤตนารี บุญเรือง และคณะ (2554) เสนออัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมซึ่งได้จากโปรแกรมมินิแทปสำหรับอัตราการฉีดสเลอรี่ 23 ตันต่อชั่วโมง ตามมาตรฐานการปฏิบัติงานปัจจุบันของบริษัท คือ 70,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

- **ชุดเครื่องชั่งน้ำหนัก** ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่และขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งประกอบด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักหลายชุดสำหรับชั่งวัตถุดิบและสารเติมแต่งแต่ละชนิด โครงการที่ผ่านมาศึกษาและสอบเทียบชุดเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอก (รดีบูรณ์ ชินสุทธิ. 2546) เครื่องชั่งน้ำหนักทุกชุดต้องมีความแม่นยำ เช่น ในขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบคือลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ต้องชั่งได้ไม่น้อยกว่าในสูตรการผสมเพื่อเกิดโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตตามปริมาณสารสัมพันธ์ ส่วนชุดเครื่องชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ โซเดียมซัลเฟต โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมซิลิเกต และน้ำ ซึ่งใช้ปริมาณมากในการผสมสเลอรี่จึงมีผลต่อ % AD มาก ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักต้องชั่งสารดังกล่าวไม่สูงกว่าในสูตรการผสม เพราะจะมีผลให้สัดส่วนของโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตที่เกิดจากปฏิกิริยาสะเทินลดลง และ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกต่ำ เพราะการวิเคราะห์และคำนวณ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกใช้ปริมาณของโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตเป็นเกณฑ์

สำหรับขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีผลต่อ % AD ของผงซักฟอก คือ ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักของผงพื้นฐาน โซเดียมซัลเฟต และโซเดียมไบคาร์บอเนต เพราะสารทั้งสามชนิดเป็นส่วนผสมปริมาณมากในผงซักฟอก จากรูปที่ 4.17 แสดงเปอร์เซ็นต์ของผงพื้นฐานที่ใช้ร่วมกับสารเติมแต่งโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมไบคาร์บอเนตในการผสมผงซักฟอก ชุดเครื่องชั่งน้ำหนักของผงพื้นฐานต้องชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่าในสูตรการผสม ในขณะเดียวกันชุดเครื่องชั่งน้ำหนักของโซเดียมซัลเฟต และโซเดียมไบคาร์บอเนตต้องชั่งน้ำหนักได้ไม่สูงกว่าในสูตรการผสม เพื่อไม่ให้ % AD ของผงซักฟอกต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.17** อัตราส่วนโดยมวลระหว่างผงพื้นฐานและสารเติมแต่งของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือ

**2. ปัจจัยจากรูปที่ 4.16 ที่มีผลแต่ไม่ได้ศึกษาในโครงการนี้** ได้แก่

- **อัตราการฉีดสเลอรี่** ถ้าอัตราการฉีดสเลอรี่สูง ระยะเวลาสัมผัสระหว่างสเลอรี่กับอากาศร้อนจะสั้น การระเหยน้ำออกจากสเลอรี่นำ ผงพื้นฐานที่ได้มีความชื้นสูง ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกต่ำ แต่โครงการนี้ไม่ศึกษาปัจจัยของอัตราการฉีดสเลอรี่และใช้อัตราการฉีดสเลอรี่คงที่เท่ากับ 26 ตันต่อชั่วโมง เพื่อผลิตผงซักฟอกให้ได้ประมาณ 90,000 ตันต่อปี (อัตราการฉีดสเลอรี่ที่กำลังการผลิตตามปกติของบริษัทอยู่ระหว่าง 25-27 ตันต่อชั่วโมง)
- **อัตราการเติมผงพื้นฐานในขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง** การปฏิบัติงานปกติจะใช้ผงพื้นฐานประมาณ 22–24 ตันต่อชั่วโมง ในการผลิตผงซักฟอกให้ได้ประมาณ 30-32 ตันต่อชั่วโมง และในโครงการนี้ใช้อัตราการเติมผงพื้นฐานในขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งคงที่เท่ากับ 22 ตันต่อชั่วโมง
- **ขั้นตอนการวิเคราะห์ % AD** เนื่องจากบริษัทมีมาตรฐานปฏิบัติงาน (Standard operating procedure: SOP) ในการวิเคราะห์ % AD ดังนั้นไม่จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยนี้
- **ความผิดพลาดของพนักงาน** พนักงานทุกคนผ่านการฝึกอบรมและได้แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ในการปฏิบัติงานร่วมกันอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยนี้
- **ปัจจัยเกี่ยวกับสมบัติของวัตถุดิบ** ไม่ศึกษาในโครงการนี้เพราะฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality assurance: QA) ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบตรงตามข้อกำหนดของบริษัทก่อนนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต เช่น % Active ของสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต ซึ่งแสดงปริมาณของสารลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนตบริสุทธิ์ที่อยู่ในน้ำ ซึ่งตามข้อกำหนดของบริษัทต้องไม่ต่ำกว่า 96 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3. ปัจจัยจากรูปที่ 4.16 ที่ศึกษาในโครงการนี้** ได้แก่

**การสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด** ปะปนไปกับผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนด และผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมี % AD ลดลง ดังนั้นโครงการนี้ศึกษาพารามิเตอร์จากเครื่องร่อนคัดขนาดต่อ % AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน และสาเหตุที่ทำให้สูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูง

### 4.2 วิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมี % AD ลดลง

โครงการนี้ใช้หลักการ why-why ดังแสดงในตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด ทำให้ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมี % AD ลดลง

จากตารางที่ 4.4 พิจารณาปัจจัยที่ไม่มีผลต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาดดังนี้

**1. จำนวนตะแกรงร่อนมากเกินไป**

วิธีพิจารณา ตรวจสอบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาด

ผลการพิจารณา บริษัทใช้จำนวนตะแกรงร่อน 3 ชั้น ซึ่งเป็นจำนวนตะแกรงร่อนที่น้อยที่สุด ซึ่งตามมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาดแนะนำการติดตั้งตะแกรงร่อนไม่ควรต่ำกว่า 3 ชั้น และติดตั้งได้มากที่สุด 5 ชั้น

**2. ขนาดของรูตะแกรงร่อนเล็กเกินไป**

วิธีพิจารณา ตรวจสอบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาด

ผลการพิจารณา ตามมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาดแนะนำให้ใช้ตะแกรงร่อนชั้นบนสุดที่มีขนาดรูตะแกรงร่อน 1.5 เท่าของขนาดรูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุด ซึ่งตะแกรงร่อน 3 ชั้นที่เรียงจากชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง มีขนาดของรูเปิดเท่ากับ 12×12, 8×8 และ 8×8 มิลลิเมตร ขนาดรูตะแกรงร่อนชั้นบนสุดเป็น 1.5 เท่าของขนาดรูตะแกรงร่อนชั้นล่างสุด

**3. แอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาดและความเร็วรอบของมอเตอร์**

เครื่องช่วยสั่นสะเทือน (Vibrator) ถูกติดตั้งเพื่อช่วยให้ผงพื้นฐานไหลผ่านรูตะแกรงร่อนได้ดีขึ้น ลักษณะการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาดขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาดซึ่งคือระยะเคลื่อนที่ไป-กลับในแนวราบราบของเครื่องร่อนคัดขนาดขณะสั่น และความเร็วรอบของมอเตอร์ หากตะแกรงร่อนสั่นเบา ผงพื้นฐานอาจอุดตันบนตะแกรงร่อนได้เพราะผงพื้นฐานมีความชื้น แต่ถ้าปรับตั้งค่าแอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาดสูงเพื่อให้ตะแกรงร่อนสั่นแรง ผงพื้นฐานจะแตกจากการชนและกระแทกกับตะแกรงร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.4** ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด

| ปัญหา | Why 1 | Why 2 | Why 3 | พิจารณา |
|---|---|---|---|---|
| **การสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด** | จำนวนตะแกรงร่อนมากเกินไป | | | ไม่มีผล |
| | ขนาดของรูตะแกรงร่อนเล็กเกินไป | | | ไม่มีผล |
| | ผงพื้นฐานอุดตันตะแกรงร่อน | ผงพื้นฐานมีความชื้นสูง | | คาดว่ามีผล |
| | | เครื่องร่อนคัดขนาดสั่นเบา | แอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาดที่ปรับตั้งค่าต่ำ | ไม่มีผล |
| | | | ความเร็วรอบของมอเตอร์ต่ำ | ไม่มีผล |
| | ผงพื้นฐานไหลผ่านหน้าตะแกรงร่อนเร็วเกินไป | ความกว้างของหน้าตะแกรงร่อนน้อย | | ไม่มีผล |
| | | อัตราการไหลเชิงปริมาตรหรืออัตราการไหลเชิงไดนามิกส์ของผงพื้นฐานสูง | ผงพื้นฐานมีความชื้นต่ำ | ไม่มีผล |
| | | | อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานสูง | คาดว่ามีผล |
| | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดสูง | | | คาดว่ามีผล |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วิธีพิจารณา ตรวจสอบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาด

ผลการพิจารณา ตามมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาด ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต้องใช้คือ 930 รอบต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วรอบสูงสุดที่มอเตอร์สามารถทำงานได้ และปรับตั้งค่าแอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาดที่ 4 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามปัจจัยทั้งสองนี้อาจต้องพิจารณาใหม่ เช่น เปลี่ยนมอเตอร์ที่มีกำลังสูงขึ้น และเพิ่มค่าแอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องร่อนคัดขนาด แต่ต้องพิจารณาว่าผงพื้นฐานไม่แตกหักและเปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดไม่สูงกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ รวมทั้งความปลอดภัยของพนักงานที่เข้าทำความสะอาดตะแกรงร่อนขณะที่เครื่องร่อนคัดขนาดสั่น

**5. ความกว้างของหน้าตะแกรงร่อน**

วิธีการพิจารณา ตรวจสอบเทียบกับมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาด

ผลการพิจารณา ความกว้างของหน้าตะแกรงร่อนตามมาตรฐานการติดตั้งเครื่องร่อนคัดขนาดสามารถใช้ได้ 4 ระดับ คือ 0.5, 1, 1.5 และ 2 เมตร บริษัทใช้ความกว้างตะแกรงร่อนกว้างที่สุดคือ 2 เมตร โดยนำตะแกรงร่อนหน้ากว้าง 0.5 เมตร เรียงต่อกันจำนวน 4 ตะแกรง

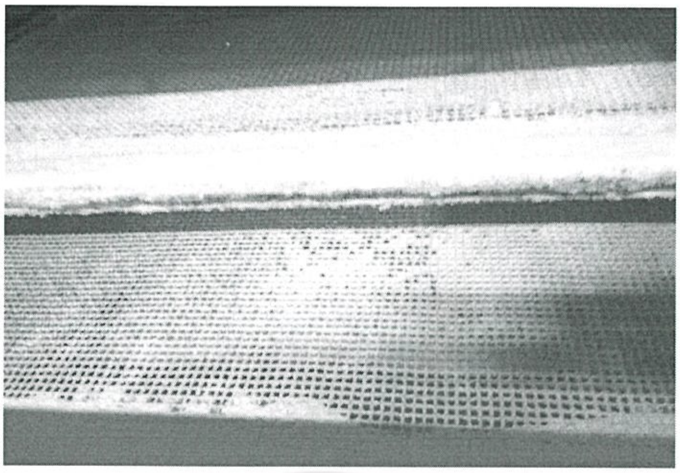
พิจารณาปัจจัยที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด ดังนี้

**1. ผงพื้นฐานมีความชื้นสูงทำให้ตะแกรงร่อนอุดตัน**

วิธีพิจารณา วิเคราะห์ความชื้นของผงพื้นฐานที่เครื่องร่อนคัดขนาดว่าอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัทระหว่าง 2–4.5 wt% และมีค่าเป้าหมายเท่ากับ 3.5 wt%

ผลการพิจารณา ความชื้นของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะ แต่ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นล่างสุดที่มีขนาดของรูเปิด 8 มิลลิเมตรมีความชื้นสูงกว่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะดังที่ได้รายงานไว้ในรูปที่ 4.6 ดังนั้นการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากการอุดตันของตะแกรงร่อนเพราะผงพื้นฐานมีความชื้นสูง ดังรูปที่ 4.18 เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ระหว่างการผลิต ในเบื้องต้นบริษัทกำหนดให้พนักงานแปรงทำความสะอาดตะแกรงร่อนทุก 8 ชั่วโมง หรือทุกครั้งที่เปลี่ยนกะ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องศึกษาปัจจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.18** การอุดตันของตะแกรงจากผงพื้นฐานที่มีความชื้นสูง

**2. อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดสูง**

วิธีการพิจารณา คำนวณอัตราการให้ผลผลิตของเครื่องร่อนคัดขนาดสูงสุด (Capacity) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค.1 เปรียบเทียบกับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดซึ่งใช้ในกระบวนการผลิต

ผลการพิจารณา อัตราการให้ผลผลิตของเครื่องร่อนคัดขนาดสูงสุด คือ 45.70 ตันต่อชั่วโมง แต่อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดที่บริษัทใช้อยู่ คือ 50.15 ตันต่อชั่วโมง

แนวทางการทดสอบปัจจัย ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป ทดสอบปัจจัย 2 ระดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมมินิแทป R. 15

**3. อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานสูง**

ซีโอไลต์ช่วยดูดซับน้ำในผงพื้นฐานได้ดี เพราะมีความเป็นขั้วสูง จึงป้องกันผงพื้นฐานจับตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่เกินกว่าข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังช่วยเพิ่มสมบัติการไหลของผงพื้นฐานให้ดีขึ้น ดังนั้นผงพื้นฐานที่มีปริมาณซีโอไลต์สูงจะมีขนาดเล็กและมีสมบัติการไหลดี ถ้าปริมาณซีโอไลต์ต่ำ ผงพื้นฐานขนาดเล็กจึงรวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้น

แนวทางการทดสอบปัจจัย ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป ทดสอบปัจจัย 2 ระดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมมินิแทป R. 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 การทดสอบปัจจัยที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาดด้วยโปรแกรมมินิแทป R. 15

การทดสอบปัจจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จำนวนการทดลอง 2 ซ้ำ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และควบคุมตัวแปรปฏิบัติการที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ อัตราการฉีดสเลอรี่ 26 ตันต่อชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้า 71,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า 400 องศาเซลเซียส

ค่าของปัจจัยที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 4.5 ค่าต่ำสุดของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด คือ 28.87 ตันต่อชั่วโมง เพราะไม่ทำให้อุณหภูมิของมอเตอร์ของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ที่ใช้ปรับลดอัตราเร็วของสายพานที่ส่งผงพื้นฐานเข้าเครื่องร่อนคัดขนาดสูงเกินไป นอกจากนี้การปฏิบัติงานปกติใช้ผงพื้นฐาน 22–24 ตันต่อชั่วโมง ผสมกับสารเติมแต่ง อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดต่ำสุดที่ศึกษาไม่ควรสูงหรือต่ำกว่าค่าปฏิบัติงานสูงสุดมาก สำหรับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดสูงสุดที่ศึกษา คือ 50.15 ตันต่อชั่วโมง ตามค่าที่ปฏิบัติงานปกติ

ในกรณีของอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน ค่าต่ำสุดที่ศึกษา คือ 2 : 98 % w/w ถ้าปริมาณซีโอไลต์ต่ำ ผงพื้นฐานที่ได้จะมีขนาดใหญ่ และ % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกลดลง ส่วนค่าสูงสุดที่ศึกษา คือ 4 : 96 % w /w เพราะถ้าปริมาณซีโอไลต์สูง ผงพื้นฐานที่ได้จะมีขนาดเล็ก แม้ว่า % AD ของผงพื้นฐานและผงซักฟอกจะสูง แต่ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานและผงซักฟอกก็สูงขึ้น ซึ่งกระทบต่อการบรรจุผงซักฟอกลงบรรจุภัณฑ์เพราะบรรจุได้ตามน้ำหนักแต่ผู้บริโภคอาจรู้สึกว่ามีปริมาณน้อย

**ตารางที่ 4.5** ค่าของปัจจัยที่ศึกษา

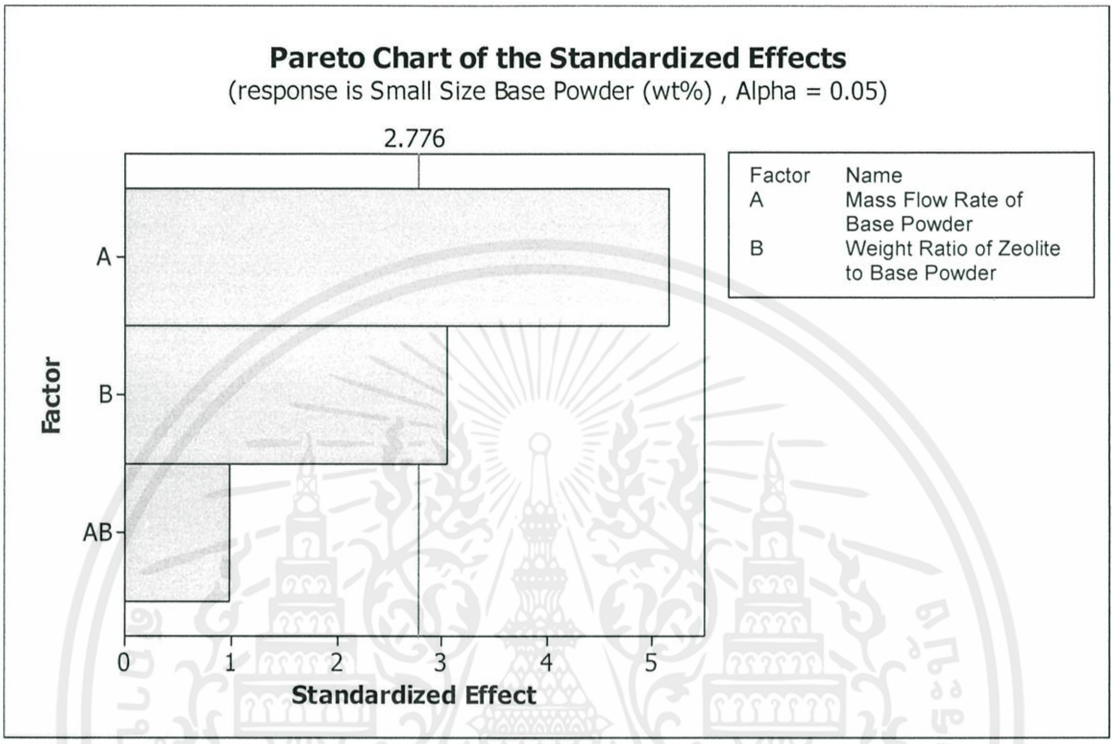
| ปัจจัยที่ศึกษา | ค่าต่ำ | ค่าสูง | ภาวะปฏิบัติงานปกติ |
|---|---|---|---|
| อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตันต่อชั่วโมง) | 28.87 | 50.15 | 50.15 |
| อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (% w/w) | 2 : 98 | 4 : 96 | 3 : 97 |

<u>สมมติฐาน</u> คือ อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดและอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานมีนัยสำคัญต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ผลการทดสอบปัจจัย</u> ปัจจัยที่มีนัยสำคัญและผลของปัจจัยต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง แสดงดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ (ข้อมูลดิบแสดงในตาราง

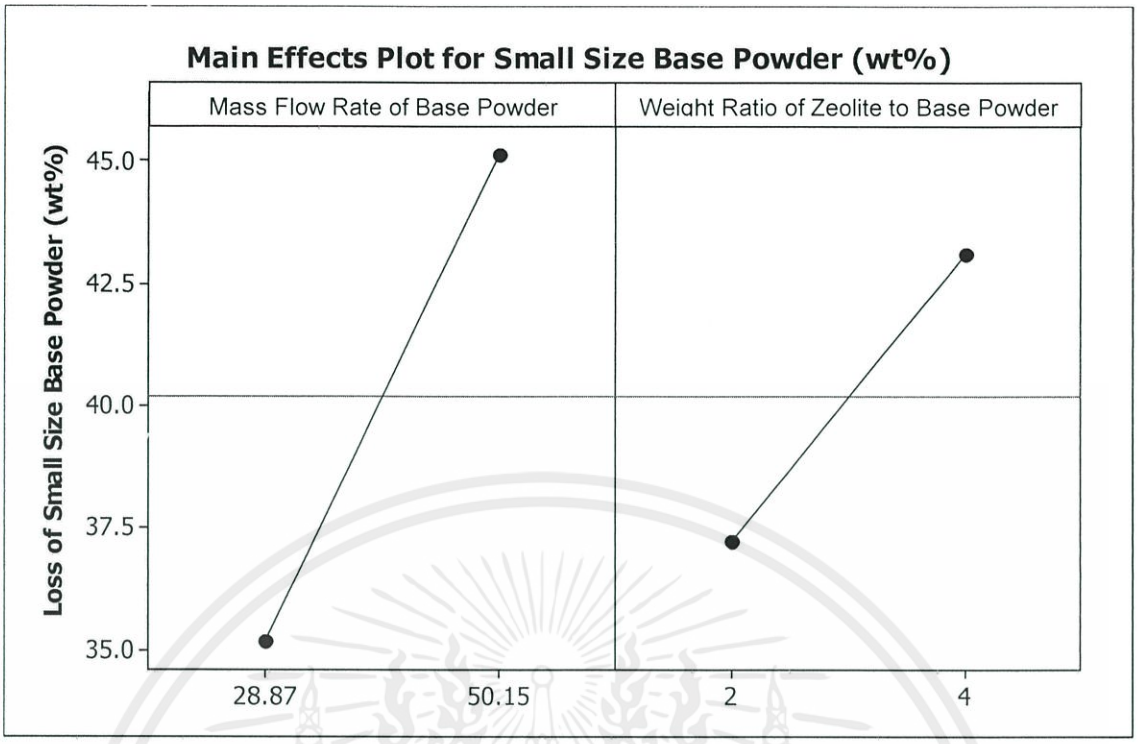
ที่ ก.13 ภาคผนวก ก จากรูปที่ 4.19) แสดงว่าอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด และอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานมีนัยสำคัญ เพราะกราฟของทั้งสองปัจจัยอยู่เกินระดับเส้นนัยสำคัญ $\alpha$ เท่ากับ 0.05 ส่วนปัจจัยร่วมหรืออันตรกิริยาไม่แสดงนัยสำคัญ




**รูปที่ 4.19** แผนผังพาราโตจากโปรแกรมมินิแทปแสดงปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากการร่อนคัดขนาด

จากรูปที่ 4.20 เส้นกราฟของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด มีความชันสูงกว่าเส้นกราฟของอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน แสดงว่าอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดมีผลต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง มากกว่าอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน ความชันของเส้นกราฟของปัจจัยทั้งสองเป็นบวก แสดงว่าเมื่อลดอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดและอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน ปริมาณผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง สูญเสียเป็นรีเวิร์คจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.20** Main effects plot ของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดและอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานต่อการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง

## 4.6 การทดสอบปัจจัยที่คาดว่ามีนัยสำคัญที่ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลงด้วยโปรแกรมมินิแทป R.15

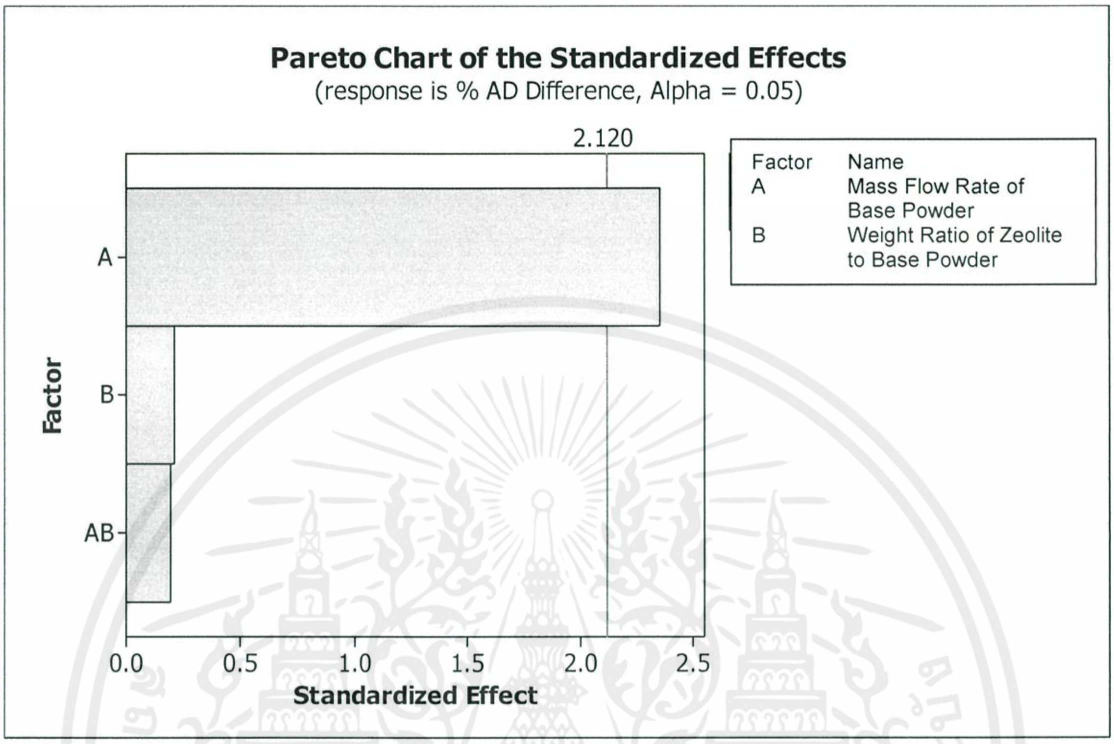
สมมติฐาน คือ อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด และอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดสอบปัจจัย

การปรับอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน ทำให้ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดมี % AD ต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจะใช้การเปรียบเทียบกับ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด หากค่าแตกต่างกันมากแสดงว่าผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมี % AD ลดลงมาก

ปัจจัยที่มีนัยสำคัญและผลของปัจจัยที่ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง แสดงดังรูปที่ 4.21 และ 4.22 ตามลำดับ (ข้อมูลดิบแสดงในตารางที่ ก.14 ภาคผนวก ก) จากรูปที่ 4.21 พบว่ากราฟของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดอยู่เกินระดับเส้นนัยสำคัญ $\alpha$ เท่ากับ 0.05 แสดงว่าอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดมี

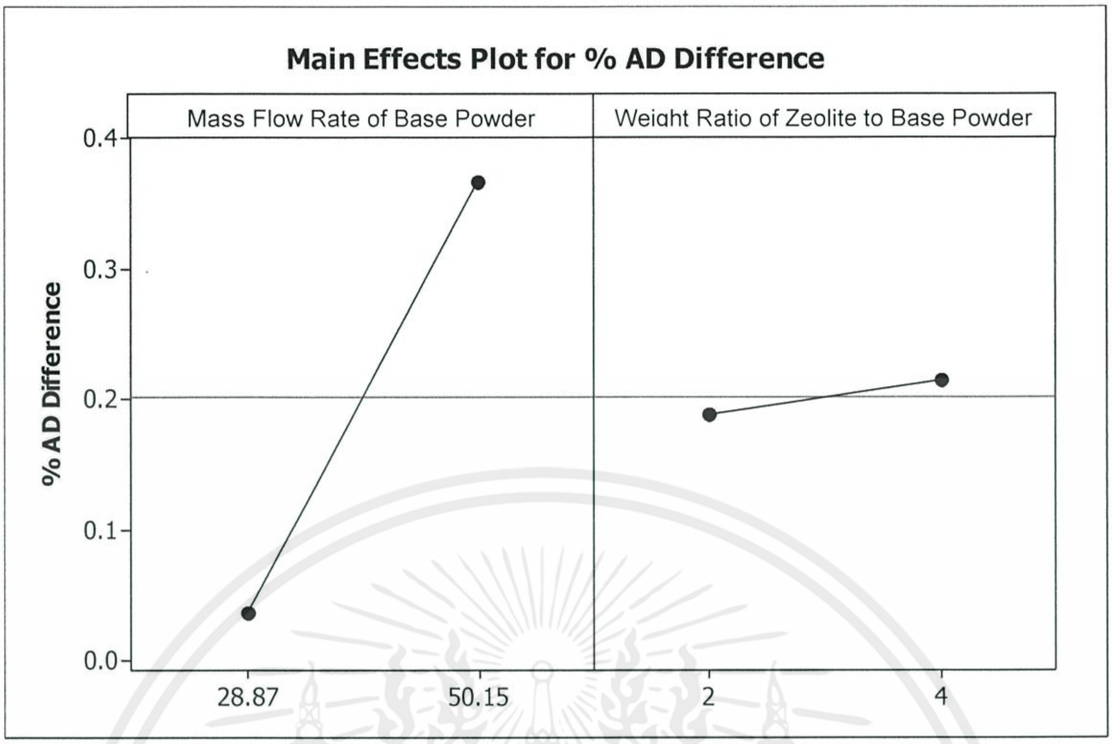
นัยสำคัญ แต่กราฟของอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานและปัจจัยร่วมอยู่ต่ำกว่าระดับเส้นนัยสำคัญ $\alpha$ เท่ากับ 0.05 แสดงว่าทั้งสองปัจจัยไม่มีนัยสำคัญ




**รูปที่ 4.21** แผนผังพาราโตจากโปรแกรมมินิแทปแสดงปัจจัยที่มีนัยสำคัญทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง

รูปที่ 4.22 เส้นกราฟของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดมีความชันและเป็นบวก แสดงว่าอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดมีผลต่อ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด ถ้าอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง ความแตกต่างระหว่าง % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดต่ำ หรือกล่าวได้ว่า % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดเพิ่มขึ้น เพราะการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูงออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.20 ที่แสดงว่าเมื่ออัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง การสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

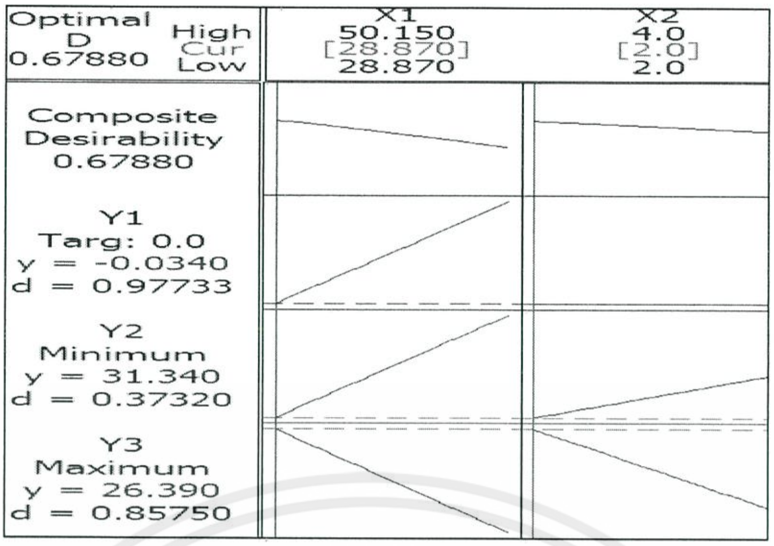



**รูปที่ 4.22** Main effects plot ของอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดและอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานที่ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลง

## 4.7 ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป R.15

รูปที่ 4.23 แสดงภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป คือ อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 28.87 ตันต่อชั่วโมง และอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานเท่ากับ 2 : 98 % w/w ซึ่งเป็นภาวะที่ทำให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดแตกต่างจาก % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดน้อยที่สุด และลดการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,4000 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง เป็นรีเวิร์คน้อยที่สุด โดยที่ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดมีค่าเข้าใกล้ค่ากลางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของ % AD ของผงพื้นฐานคือ 26.675 %

การปรับปรุงขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานจะปรับเฉพาะค่าอัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่านั้นเนื่องจากสามารถทำได้ทันทีในกระบวนการผลิต แต่อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานยังไม่สามารถนำมาปรับใช้ในกระบวนการผลิตได้ จะต้องวิเคราะห์ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานเพิ่มเติมในกรณีที่ใช้อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานเท่ากับ 2 : 98 % w/w ซึ่งอาจต้องปรับสูตรในการผสมสารเติมแต่งโดยเพิ่มสารทดแทนซีโอไลต์ที่ถูกลดปริมาณไปจาก 3 : 97 % w/w เป็น 2 : 98 % w/w




**หมายเหตุ** X1 = อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด

X2 = อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน

Y1 = ความแตกต่างระหว่าง % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด

Y2 = ผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร และมี % AD สูง (wt%)

Y3 = % AD ของผงพื้นฐานหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด

**รูปที่ 4.23** ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป

## 4.8 ปริมาณผงพื้นฐานที่สูญเสียเป็นรีเวิร์คจากเครื่องร่อนคัดขนาดและประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R.15

ผลของปริมาณผงพื้นฐานที่สูญเสียเป็นรีเวิร์คจากเครื่องร่อนคัดขนาด และ % AD ของผงพื้นฐานหลังใช้อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดจากภาวะที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป คือ 28.87 ตันต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับภาวะปฏิบัติงานปกติที่อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด 50.15 ตันต่อชั่วโมง แสดงในหัวข้อที่ 4.8.1 และ 4.8.2 ตามลำดับ (ภาวะปฏิบัติงานที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ใช้ตามมาตรฐานการปฏิบัติงานและควบคุมภาวะปฏิบัติงานที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ภาวะเดียวกันทั้งสองการทดลอง)

### 4.8.1 การสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูงจากเครื่องร่อนคัดขนาด

หลังจากใช้อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด 28.87 ตันต่อชั่วโมง สามารถลดการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง ปริมาณ 30.09 wt%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรีเวิร์ค 50.91 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เหลือรีเวิร์ค 32.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่ง 24.80 wt% เป็นรีเวิร์คที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร และมี % AD สูง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ก.15 ภาคผนวก ก) เมื่อคำนวณเทียบเวลาการผลิต 330 วัน ปริมาณรีเวิร์คลดลงจาก 121.33 เหลือ 64.39 ตันต่อปี การคำนวณค่าดำเนินงานที่ต้องจ่ายเพื่อนำรีเวิร์คกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต แสดงในภาคผนวก ค.2 คิดเป็นมูลค่า ประมาณ 574,000 บาทต่อปี (คำนวณเทียบเวลาการผลิต 330 วัน)

**ตารางที่ 4.6** ปริมาณรีเวิร์คที่เกิดขึ้นจากภาวะปฏิบัติงานปกติและหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป

| | **ภาวะปฏิบัติงานปกติ** | **ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป** |
|---|---|---|
| **อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตันต่อชั่วโมง)** | 50.15 | 28.87 |
| **ปริมาณรีเวิร์ค (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)** | 50.91 | 32.8 |
| **ปริมาณผงพื้นฐานขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร (wt%)** | 30.09 | 24.80 |
| **ปริมาณผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร (wt%)** | 69.91 | 75.2 |

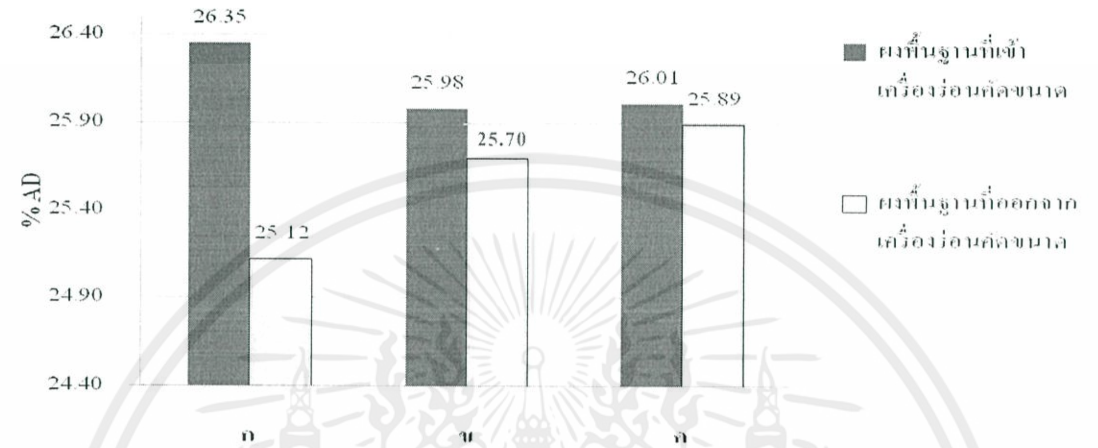
**หมายเหตุ** ข้อมูลดิบของปริมาณรีเวิร์ค อัตราส่วนโดยมวลของผงพื้นฐานขนาดใหญ่และเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร จากตะแกรงร่อนขนาดรูเปิด 10 เมช แสดงดังตารางที่ ก.15 ภาคผนวก ก

### 4.8.2 ประสิทธิภาพการชักล้างของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด

รูปที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดที่ 1) ภาวะปฏิบัติงานปกติก่อนการดำเนินงาน (ภาวะปฏิบัติงานอื่นเช่นเดียวกับภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้ แต่ภาวะปฏิบัติงานที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยแตกต่าง) 2) ภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้ซึ่งใช้อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด 50.15 ตันต่อชั่วโมง และ 3) ภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปซึ่งใช้อัตราการไหลของพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด 28.87 ตันต่อชั่วโมง (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ก.16 ภาคผนวก ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังจากใช้ภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทปเพิ่มขึ้นเป็น 25.89 % เมื่อเทียบกับภาวะปฏิบัติงานปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.70 % ดังแสดงในรูปที่ 4.24 การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสที่ได้จากการใช้ผงพื้นฐานที่มีค่าเฉลี่ยของ % AD สูงขึ้นผสมกับสารเติมแต่ง แสดงดังภาคผนวก ค.3 คิดเป็นมูลค่า 4,626,000 บาทต่อปี (คำนวณเฉพาะในสายการผลิตที่ 1 ที่กำลังการผลิตผงซักฟอก 45,000 ตันต่อปี)

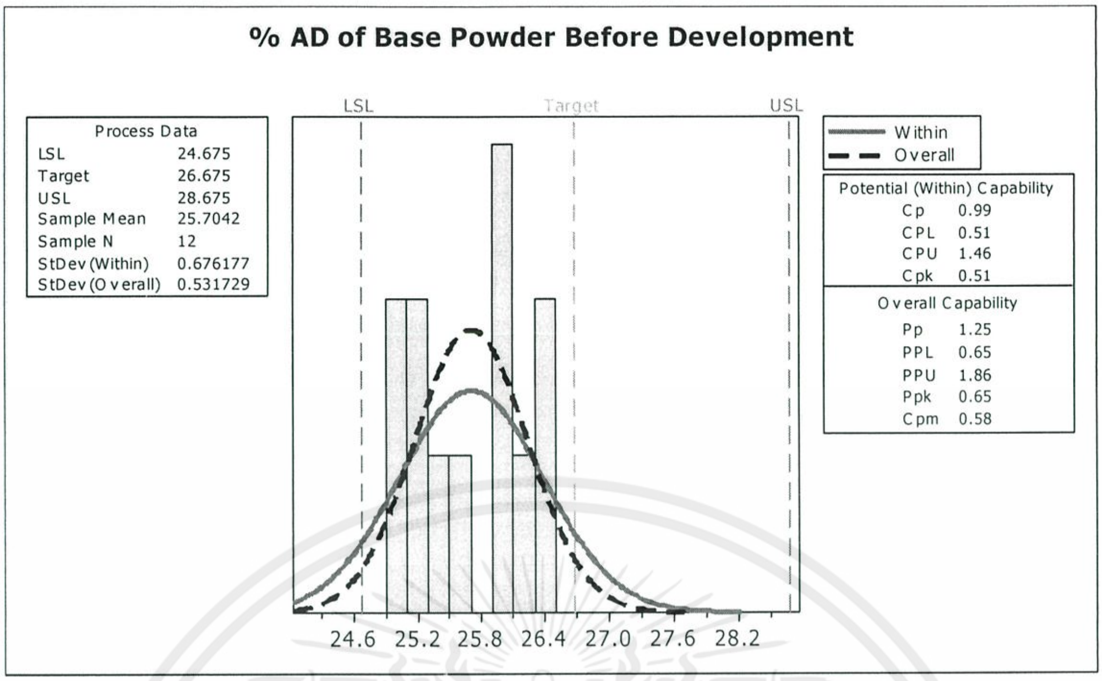



**รูปที่ 4.24** ค่าเฉลี่ยของ % AD ของผงพื้นฐานที่เข้าและออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด ก) ภาวะปฏิบัติงานปกติก่อนการดำเนินงาน ข) ภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้ และ ค) ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป

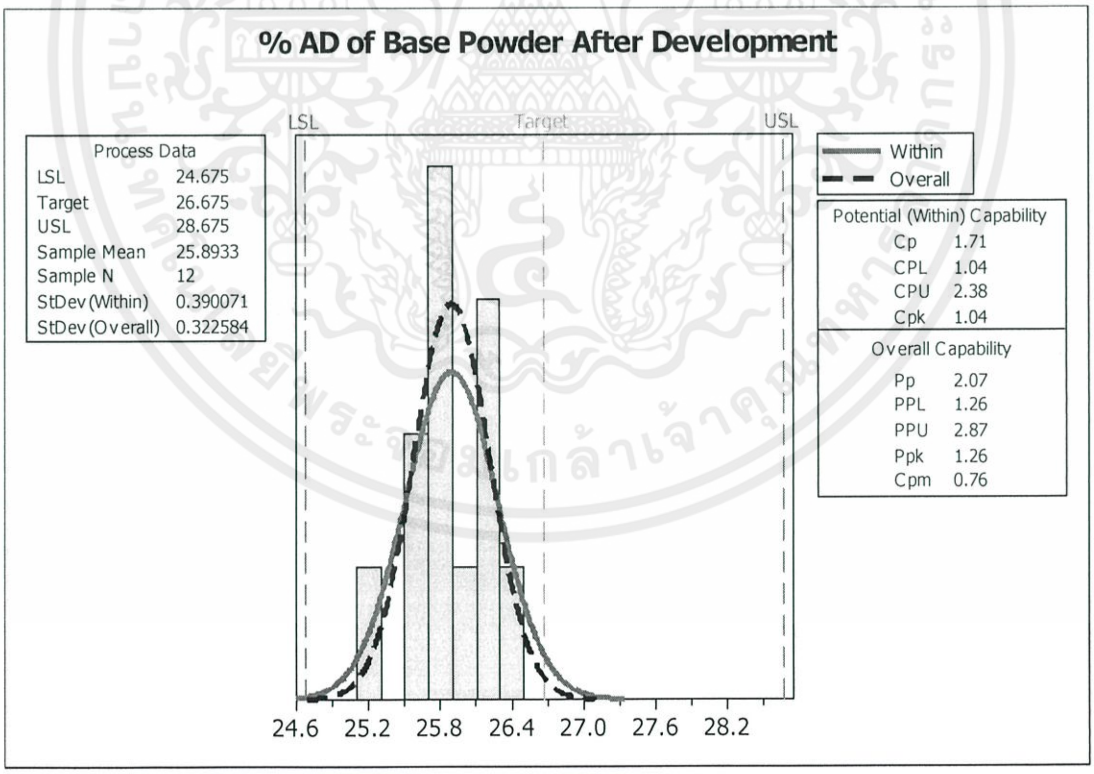
## 4.9 ความสามารถของกระบวนการที่เครื่องร่อนคัดขนาดหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

รูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดง % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้ และ % AD ของผงพื้นฐานเมื่อใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป พบว่าค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของเครื่องร่อนคัดขนาด หลังปรับใช้ค่าจากโปรแกรมมินิแทปดีขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดีเลิศ (Cp = 1.71) มีความผันแปรน้อย ส่วนค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์พอใช้และต้องเฝ้าระวัง (Cpk = 1.04) (ข้อมูลดิบแสดงดังตารางที่ ก.16 ภาคผนวก ก) ทางทฤษฎีค่าดัชนี Cp และดัชนี Cpk ไม่ควรต่ำกว่า1 หรือถ้ามีความเหมาะสมไม่ควรต่ำกว่า 1.33 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551) จากรูปที่ 4.26 ความเบี่ยงเบนของ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ (26.675 %) ไปทางพิกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านต่ำลดลง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.25** % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากภาวะปฏิบัติงานปกติในการทดลองนี้

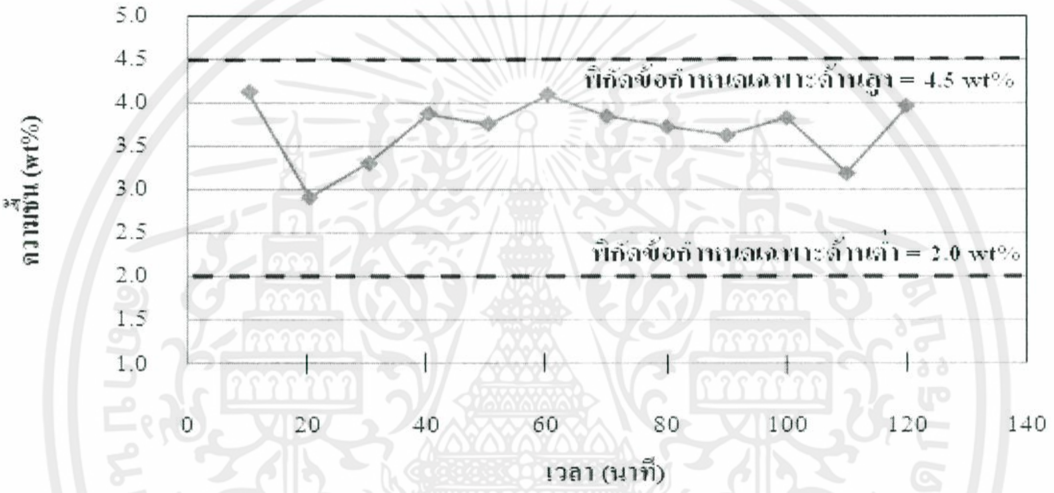



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

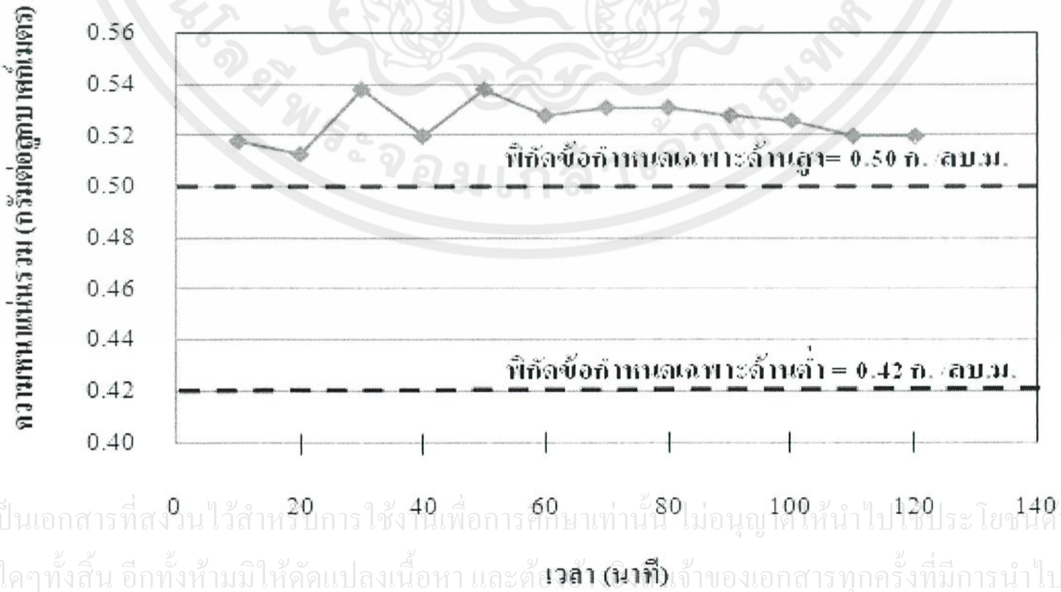
**รูปที่ 4.26** % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจากภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป

## 4.10 ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป R. 15

รูปที่ 4.27-4.30 แสดงข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดที่ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป (ข้อมูลดิบแสดงในตารางที่ ก.17 ภาคผนวก ก) พบว่าผงพื้นฐานมีปริมาณความชื้น เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ และเปอร์เซ็นต์ผงละเอียดอยู่ในพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท แต่ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 4.28 มีค่าสูงกว่าพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ เนื่องจากผงพื้นฐานแตกและมีขนาดเล็กลง เพราะชนและกระแทกกับตะแกรงร่อนคัดขนาด (พิมพ์เพ็ญ. 2556)

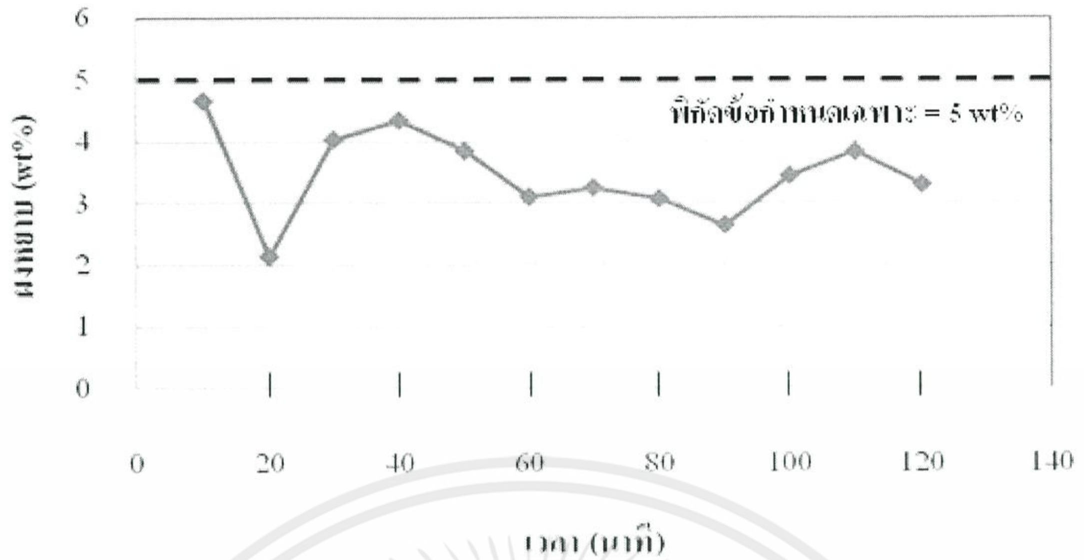



**รูปที่ 4.27** ความชื้นของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน




**รูปที่ 4.28** ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.29** เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน

**รูปที่ 4.30** เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดหลังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการดำเนินงาน

## 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ข้อกำหนดด้านคุณภาพที่สำคัญของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานที่ต้องควบคุม ได้แก่ ประสิทธิภาพการซักล้าง หรือ % AD ความหนาแน่นรวม ความชื้น เปอร์เซ็นต์ผงหยาบ และเปอร์เซ็นต์ผงละเอียด โครงการนี้พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐานและผงซักฟอก คือ อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด เมื่ออัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดสูง (50.15 ตันต่อชั่วโมง) เพราะสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร ที่มี % AD สูง ดังนั้นผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดจึงมี % AD ลดลงคือมีค่าเท่ากับ 25.70 % ส่วนอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานไม่มีนัยสำคัญ เพียงแต่ทำให้เกิดการสูญเสียผงพื้นฐานเป็นรีเวิร์ค เพราะซีโอไลต์ทำให้ผงพื้นฐานมีขนาดใหญ่และลดอัตราการไหลของผงพื้นฐาน

เมื่อลดอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเหลือ 28.87 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นภาวะปฏิบัติงานที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป ค่าเฉลี่ยของ % AD เพิ่มขึ้นเป็น 25.89 % และเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (ค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะของบริษัท คือ 26.675 %) ยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (ดัชนี Cpk) ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.51 เป็น 1.04 สำหรับความผันแปรของ % AD ออกจากค่าพิกัดข้อกำหนดเฉพาะลดลงอย่างชัดเจน สอดคล้องกับค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (ดัชนี Cp) ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.99 เป็น 1.71

เนื่องจากผงพื้นฐานที่ใช้มี % AD สูงขึ้น จึงลดปริมาณของผงพื้นฐานที่ใช้ต่อสารเติมแต่งในขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งได้ คำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสของการลดปริมาณของผงพื้นฐานที่ใช้ได้ 4,626,000 บาทต่อปี (คำนวณเฉพาะในสายการผลิตที่ 1 ที่กำลังการผลิตผงซักฟอก 45,000 ตันต่อปี) นอกจากนี้เนื่องจากสามารถลดการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูงไปเป็นรีเวิร์คได้ 143.43 ตันต่อปี จึงลดค่าดำเนินงานที่ต้องจ่ายในการนำรีเวิร์คกลับมาใช้ประมาณ 574,000 บาทต่อปี (คำนวณเทียบเวลาการผลิต 330 วัน)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องร่อนคัดขนาดในสายการผลิตที่ 1 และ 2 มีอัตราการให้ผลผลิตสูงสุดเท่ากันคือ 45.71 ตันต่อชั่วโมง โครงการนี้ดำเนินงานในสายการผลิตที่ 1 เท่านั้น ดังนั้นควรนำภาวะปฏิบัติงาน

ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทปในโครงการนี้ คือ อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด 28.87 ตันต่อชั่วโมง ไปใช้ในสายการผลิตที่ 2 เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มขึ้นอีก

2. แม้ว่าอัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานจะไม่ส่งผลให้ % AD ของผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ช่วยลดการสูญเสียผงพื้นฐานขนาดเล็กที่มี % AD สูง และลดรีเวิร์คในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐานได้ เพราะซีโอไลต์ทำให้ผงพื้นฐานมีขนาดใหญ่ขึ้น ควรทดลองลดปริมาณซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานจาก 3 เป็น 2 wt% ในขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐาน โดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป คือ 2 : 98 % w/w และเบื้องต้นอาจต้องเพิ่มปริมาณซัลเฟตทดแทนปริมาณซีโอไลต์ที่ลดลง แต่โครงการนี้ยังไม่ศึกษาการลดปริมาณซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน เพราะหากลดปริมาณซีโอไลต์จะต้องใช้ปริมาณผงพื้นฐานเพิ่มขึ้นทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


กฤตนารี บุญเรือง กาญจนา ปรารถนาพร และนนทพร น้อยมาก. **การลดความเบี่ยงเบนของประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน.** ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554.

กันยาลักษณ์ แก้วประสิทธิ์ สุรสา มรรคศศิธร และสุวรรณา สุนทราญ. **การลดการสูญเสียผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน.** ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2552.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. **การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2551. หน้า 5-24, 61-119.

โครงการฉลากเขียว. **ข้อกำหนดของสารซักฟอก (Detergent).** สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tei.or.th/greenlabel/pdf/TGL-10-97.pdf. (11/08/2556)

ธนาภรณ์ จานสิบสี. **ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของผงพื้นฐานในกระบวนการผลิตผงซักฟอกสูตรเข้มข้น.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2556. หน้า 3-56, 72

บริษัท โซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด. 2556. **คู่มือการใช้ Minitab หัวข้อ Design of Experiment.** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.solutioncenterminitab.com/files/exampledoebook.pdf. (14/03/2557)

บัญญัติ สุขศรีงาม. **ซีโอไลท์ในผงซักฟอกมีความสำคัญอย่างไร** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=789. (05/11/2547)

ประชาสรรณ์ แสนภักดี. **ผังก้างปลากับแผนภูมิความคิด (Fish Bone Diagram & Mind Map).** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm. (2546) (07/09/2556)

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiments).** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด. หน้า 1-6, 169-198.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. **ความหนาแน่นรวม (Bulk density)** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/bulkdensity. (13/09/2556)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. **Sizer/เครื่องคัดขนาด** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/ word/2353/sizer. (14/11/2556)

รดีบูรณ์ ชินสุทธิ. **การลดรีเวิร์คในกระบวนการผลิตผงซักฟอกชนิดธรรมดา.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

วิบูรณ์ พงศ์พรทรัพย์. **จะประมาณค่าความผันแปรอย่างไรดี** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/fq134_p98-101.pdf. (2551) (26/11/2556)

วิบูรณ์ พงศ์พรทรัพย์. **รู้หรือไม่ Cp, Cpk, Pp และ Ppk ต่างกันอย่างไร.** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/qm167_p039-41s.pdf. (2554) (26/11/2556)

วันรัตน์ จันทกิจ. 2549. **17 เครื่องมือนักคิด (ฉบับปรับปรุงใหม่).** พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : ซีโน ดีไซน์. หน้า 10-16, 38-132, 105-156.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **มาตรฐานผงซักฟอก.** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://library.tisi.or.th/multim/TIS/TIS-78-2549m.pdf. (2549) (11/08/2556)

อมรวนนณ รังกูล. **หลักการคิดวิเคราะห์...จะเริ่มต้นอย่างไรดี** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KdQsPUcsvXwJ:mba.kku.ac.th/HRM/2013/HRM(5W1H). (06/09/2556)

อรธีรา เย็นจิตต์รัตนวลี และอำพร เจียมสง่า. **การลดการสูญเสียกรดซัลโฟนิกและการเพิ่มค่าประสิทธิภาพการซักล้างของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานชนิดซักฟอกด้วยมือ.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551.

อรพรรณ วิชัยเดช และนิวิท เจริญใจ. 2554. "การปรับปรุงงานเพื่อลดของเสียในการผลิตห้องสะอาด"**. วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์.** 1(2): หน้า 77 – 92.

เอกสารบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. **กระบวนการผลิตผงซักฟอก**

เอกสาร Core Design ของบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด. **The Mogensen sizer is Unilever's preferred screen**

Allgaier Group. **Mogensen sizer** [Online]. เข้าถึงได้จาก: http://al-mo.cz/content/file/Mogensen_Sizer_D_1_2012_en.pdf. (23/11/2556)

Berna, J. L. Cavalli, L. and Renta, C. 1995, "A Life-Cycle Inventory for the Production of Linear Alkylbenzene Sulphonates in Europe." **Tenside Surf. Det.** 32(2) : 122-127.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G. T. Austin. **Shreve's Chemical Process Industries**. $5^{th}$ ed. Singapore: McGraw-Hill International Book Company, 1984. pp. 529-553.

Norman, C. 1997, "Sulfonation and Sulfation Process." **The Chemithon Corporation.** : 1-36.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

# ข้อมูลดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.1** % AD ของผงพื้นฐาน วันที่ 13 – 30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2556

| วัน/เดือน/ปี | เวลา | %AD | วัน/เดือน/ปี | เวลา | %AD |
|---|---|---|---|---|---|
| 13/09/2013 | 05:30 | 25.80 | 18/09/2013 | 21:30 | 27.16 |
| 13/09/2013 | 08:00 | 25.55 | 19/09/2013 | 03:30 | 25.78 |
| 13/09/2013 | 10:00 | 27.16 | 19/09/2013 | 05:30 | 26.04 |
| 13/09/2013 | 12:00 | 27.03 | 19/09/2013 | 18:00 | 26.34 |
| 14/09/2013 | 11:30 | 26.37 | 19/09/2013 | 20:00 | 26.76 |
| 16/09/2013 | 21:30 | 25.0 | 20/09/2013 | 01:30 | 27.28 |
| 17/09/2013 | 24:30 | 25.43 | 20/09/2013 | 03:30 | 25.72 |
| 17/09/2013 | 01:30 | 25.58 | 20/09/2013 | 18:00 | 24.75 |
| 17/09/2013 | 03:30 | 25.15 | 20/09/2013 | 20:00 | 25.56 |
| 17/09/2013 | 05:30 | 25.18 | 20/09/2013 | 21:30 | 25.71 |
| 17/09/2013 | 08:00 | 25.43 | 21/09/2013 | 20:30 | 24.80 |
| 17/09/2013 | 10:00 | 26.24 | 24/09/2013 | 24:00 | 25.39 |
| 17/09/2013 | 12:00 | 26.76 | 24/09/2013 | 01:30 | 24.84 |
| 17/09/2013 | 13:30 | 24.90 | 24/09/2013 | 16:00 | 25.44 |
| 17/09/2013 | 16:00 | 25.30 | 25/09/2013 | 16:00 | 25.44 |
| 17/09/2013 | 18:00 | 25.30 | 25/09/2013 | 18:00 | 25.17 |
| 17/09/2013 | 20:00 | 26.30 | 25/09/2013 | 20:00 | 25.43 |
| 17/09/2013 | 21:30 | 25.70 | 25/09/2013 | 21:30 | 25.66 |
| 18/09/2013 | 00:00 | 24.90 | 26/09/2013 | 13:30 | 25.70 |
| 18/09/2013 | 01:30 | 24.80 | 26/09/2013 | 16:00 | 25.31 |
| 18/09/2013 | 03:30 | 24.90 | 26/09/2013 | 18:00 | 24.67 |
| 18/09/2013 | 05:30 | 24.90 | 27/09/2013 | 24:00 | 25.95 |
| 18/09/2013 | 12:00 | 25.69 | 27/09/2013 | 01:30 | 25.17 |
| 18/09/2013 | 13:30 | 26.88 | 27/09/2013 | 03:30 | 24.78 |
| 18/09/2013 | 16:00 | 26.48 | 27/09/2013 | 16:00 | 24.68 |
| 18/09/2013 | 18:00 | 25.26 | 27/09/2013 | 18:00 | 25.57 |
| 18/09/2013 | 20:00 | 25.53 | 27/09/2013 | 20:00 | 25.44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.1** % AD ของผงพื้นฐาน วันที่ 13 – 30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2556 (ต่อ)

| วัน/เดือน/ปี | เวลา | %AD | วัน/เดือน/ปี | เวลา | %AD |
|---|---|---|---|---|---|
| 27/09/2013 | 24:00 | 25.95 | 28/09/2013 | 24:00 | 24.77 |
| 27/09/2013 | 01:30 | 25.17 | 28/09/2013 | 01:30 | 24.74 |
| 27/09/2013 | 03:30 | 24.78 | 28/09/2013 | 03:30 | 24.68 |
| 27/09/2013 | 16:00 | 24.68 | 28/09/2013 | 13:30 | 24.80 |
| 27/09/2013 | 18:00 | 25.57 | 30/09/2013 | 20:00 | 24.90 |
| 27/09/2013 | 20:00 | 25.44 | 30/09/2013 | 21:30 | 25.60 |
| 27/09/2013 | 21:30 | 25.57 | | | |

**ตารางที่ ก.2** % AD ของผงซักฟอกสูตรมาตรฐานสำหรับซักฟอกด้วยมือ ที่สายการผลิตที่ 1 วันที่ 13 – 30 เดือนกันยายน พ.ศ. 2556

| วัน/เดือน/ปี | เวลา | %AD | วัน/เดือน/ปี | เวลา | %AD |
|---|---|---|---|---|---|
| 26/09/2013 | 23:00 | 19.30 | 26/09/2013 | 16:00 | 18.21 |
| 26/09/2013 | 01:30 | 20.90 | 26/09/2013 | 18:00 | 18.47 |
| 26/09/2013 | 03:30 | 20.90 | 26/09/2013 | 20:00 | 18.74 |
| 26/09/2013 | 05:30 | 19.80 | 27/09/2013 | 24:00 | 19.80 |
| 26/09/2013 | 08:00 | 20.30 | 27/09/2013 | 01:30 | 21.40 |
| 26/09/2013 | 10:00 | 19.60 | 27/09/2013 | 03:00 | 21.40 |
| 26/09/2013 | 13:30 | 18.90 | 27/09/2013 | 05:30 | 19.50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาวะปฏิบัติงานที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย** (ตารางที่ ก.3 – ตารางที่ ก.4)

- อัตราการฉีดสเลอรี่ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ 26 ตันต่อชั่วโมง
- อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 50.15 ตันต่อชั่วโมง และปริมาณซีโอไลต์ 3 %โดยน้ำหนัก

**ตารางที่ ก.3** % AD ของสเลอรี่ที่ขั้นตอนการผลิตสเลอรี่ ก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | แบทช์ที่ | %AD | |
|---|---|---|---|
| | | ตำแหน่งเก็บตัวอย่างสเลอรี่ | |
| | | ถังผสมสเลอรี่ | ก่อนเข้าปั๊มความดันสูง |
| 1 | 2 | 19.50 | 19.08 |
| 2 | 3 | 19.22 | 19.35 |
| 3 | 5 | 19.45 | 19.22 |
| 4 | 7 | 19.21 | 19.34 |
| 5 | 10 | 19.52 | 19.46 |
| 6 | 13 | 19.49 | 19.32 |
| 7 | 14 | 19.49 | 19.21 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | **19.41** | **19.28** |

**หมายเหตุ** เก็บตัวอย่างทุก 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.4** % AD ของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการผลิตผงพื้นฐานและ % AD ของผงซักฟอกที่ขั้นตอนการเติมสารเติมแต่งก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | %AD | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ตำแหน่งเก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | ตำแหน่งเก็บตัวอย่างผงซักฟอก |
| | ใต้เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย | หลังการเติมซีโอไลต์ | สายพานลำเลียงหลังออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด | หลังออกจาก Drum mixer |
| 1 | 26.92 | 26.50 | 24.82 | 18.24 |
| 2 | 25.82 | 27.91 | 25.52 | 18.39 |
| 3 | 26.36 | 26.37 | 25.57 | 18.80 |
| 4 | 26.36 | 26.22 | 25.27 | 20.20 |
| 5 | 26.50 | 25.80 | 25.09 | 20.62 |
| 6 | 26.94 | 25.82 | 24.69 | 18.38 |
| 7 | 26.81 | 25.68 | 24.98 | 19.36 |
| 8 | 26.51 | 26.39 | 25.41 | 18.96 |
| 9 | 26.39 | 26.11 | 24.83 | 19.08 |
| 10 | 26.37 | 26.65 | 24.98 | 19.02 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **26.50** | **26.35** | **25.12** | **19.11** |

**หมายเหตุ** เก็บตัวอย่างทุก10 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ภาวะปฏิบัติงานที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย** (ตารางที่ ก.5 – ตารางที่ ก.10)

- อัตราการฉีดสเลอรี่ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ 26 ตันต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 406 องศาเซลเซียส และ 69,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 50.15 ตันต่อชั่วโมง และปริมาณซีโอไลต์ 3 %โดยน้ำหนัก

**ตารางที่ ก.5** % AD ของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

| **ครั้งที่** | **% AD** | | |
|---|---|---|---|
| | **ตำแหน่งเก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน** | | |
| | **ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด** | **ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด** | **ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด** |
| 1 | 26.64 | 26.50 | 28.98 |
| 2 | 26.38 | 27.22 | 29.43 |
| 3 | 26.66 | 26.23 | 26.53 |
| 4 | 26.37 | 26.08 | 27.59 |
| 5 | 26.38 | 26.11 | 27.76 |
| 6 | 26.11 | 25.39 | 27.74 |
| 7 | 26.12 | 25.98 | 26.94 |
| 8 | 26.11 | 25.24 | 27.20 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **26.35** | **26.09** | **27.77** |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.6** ความชื้นของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | ความชื้น (wt%) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | |
|---|---|---|---|
| | ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด |
| 1 | 4.71 | 4.40 | 4.55 |
| 2 | 3.86 | 4.55 | 4.45 |
| 3 | 3.35 | 3.36 | 5.93 |
| 4 | 3.40 | 3.51 | 6.68 |
| 5 | 4.06 | 3.68 | 6.88 |
| 6 | 3.54 | 4.02 | 7.19 |
| 7 | 3.66 | 4.26 | 6.44 |
| 8 | 3.71 | 4.27 | 7.48 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **3.79** | **4.01** | **6.20** |

**ตารางที่ ก.7** ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | |
|---|---|---|
| | ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด |
| 1 | 0.488 | 0.553 |
| 2 | 0.483 | 0.569 |
| 3 | 0.489 | 0.541 |
| 4 | 0.501 | 0.546 |
| 5 | 0.502 | 0.558 |
| 6 | 0.473 | 0.565 |
| 7 | 0.508 | 0.55 |
| 8 | 0.519 | 0.555 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **0.495** | **0.555** |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการอ่านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.8** เปอร์เซ็นต์ผงหยาบของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | ผงหยาบ (wt%) | | |
|---|---|---|---|
| | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | |
| | ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด |
| 1 | 5.44 | 3.35 | 53.75 |
| 2 | 2.27 | 2.39 | 48.87 |
| 3 | 3.96 | 2.39 | 49.16 |
| 4 | 2.73 | 2.35 | 62.3 |
| 5 | 4.63 | 1.34 | 68.80 |
| 6 | 2.50 | 3.08 | 60.07 |
| 7 | 5.09 | 3.08 | 54.17 |
| 8 | 3.90 | 3.09 | ตัวอย่างมีไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ |
| **ค่าเฉลี่ย** | **3.80** | **2.63** | **56.73** |

**ตารางที่ ก.9** เปอร์เซ็นต์ผงละเอียดของผงพื้นฐานที่ขั้นตอนการร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | ผงละเอียด (wt%) | | |
|---|---|---|---|
| | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | |
| | ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด |
| 1 | 8.00 | 21.40 | 27.60 |
| 2 | 9.72 | 22.71 | 26.76 |
| 3 | 10.38 | 14.28 | 20.85 |
| 4 | 9.44 | 16.54 | 16.21 |
| 5 | 9.30 | 13.09 | 10.62 |
| 6 | 10.67 | 14.61 | 17.83 |
| 7 | 9.36 | 15.21 | 21.78 |
| 8 | 10.56 | 14.90 | ตัวอย่างมีไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ |
| **ค่าเฉลี่ย** | **9.68** | **16.59** | **20.23** |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.10** ปริมาณของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

| ครั้งที่ | ปริมาณผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด(กิโลกรัม) | ปริมาณผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด(กิโลกรัม) | ปริมาณผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด(กิโลกรัม) | เปอร์เซ็นต์ผงพื้นฐานที่สูญเสีย (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 200 | 1.85 | 201.85 | 0.93 |
| 2 | 200 | 1.31 | 201.31 | 0.65 |
| 3 | 200 | 2.2 | 202.2 | 1.06 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **200** | **1.79** | **201.79** | **0.88** |

**ตารางที่ ก.11** % AD ของผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาดก่อนการดำเนินงาน

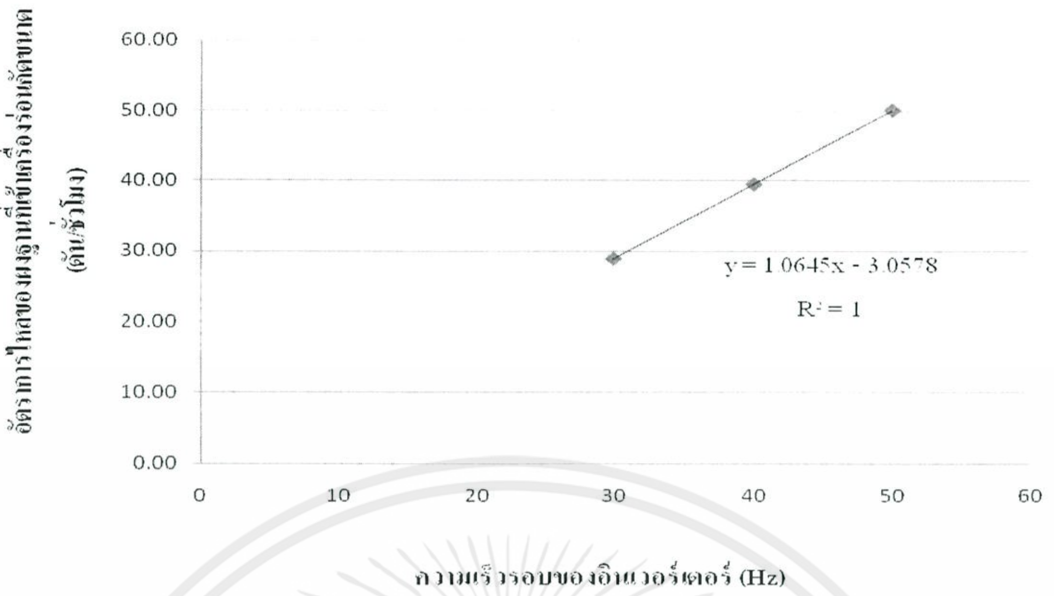
| ครั้งที่ | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm | | | ขนาดเล็กกว่า 1,400 μm | | |
| | % AD | ความชื้น (wt%) | ปริมาณ (wt%) | % AD | ความชื้น (wt%) | ปริมาณ (wt%) |
| 1 | 26.27 | 8.8 | 71.7 | 29.47 | 6.59 | 28.3 |
| 2 | 25.83 | 8.27 | 69.87 | 29.38 | 6.7 | 30.13 |
| 3 | 26.13 | 8.42 | 71.23 | 29.49 | 6.36 | 28.77 |
| **ค่าเฉลี่ย** | **26.08** | **8.5** | **70.93** | **29.26** | **6.55** | **29.07** |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ก.12** ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด

| ความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์ (Hz) | ครั้งที่ | เวลา (วินาที) | น้ำหนักของผงพื้นฐาน (กิโลกรัม) | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) |
|---|---|---|---|---|
| **30** | 1 | 57 | 453 | 28.61 |
| | 2 | 63 | 506 | 28.91 |
| | 3 | 83 | 664 | 28.80 |
| | 4 | 56 | 453 | 29.12 |
| | 5 | 85 | 686 | 29.05 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | 68.8 | 552.4 | 28.90 |
| **40** | 1 | 83 | 914 | 39.64 |
| | 2 | 83 | 917 | 39.77 |
| | 3 | 84 | 921 | 39.47 |
| | 4 | 84 | 916 | 39.26 |
| | 5 | 84 | 916 | 39.26 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | 83.6 | 916.8 | 39.48 |
| **50** | 1 | 21 | 293 | 50.23 |
| | 2 | 20 | 278 | 50.04 |
| | 3 | 21 | 293 | 50.23 |
| | 4 | 21 | 294 | 50.40 |
| | 5 | 21 | 292 | 50.06 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | 20.8 | 290.0 | 50.19 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ ก.1** ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของอินเวอร์เตอร์กับอัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด

**การทดสอบปัจจัยด้วยโปรแกรมมินิแทป R. 15** แสดงดังตารางที่ ก.13

| ปัจจัยที่ศึกษา | ค่าต่ำ | ค่าสูง |
|---|---|---|
| อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตันต่อชั่วโมง) | 28.87 | 50.15 |
| อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | 2 : 98 | 4 : 96 |

อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดที่ศึกษาใช้ค่าต่ำสุด 28.87 ตันต่อชั่วโมง เพราะไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณผงพื้นฐานที่ใช้ในขั้นตอนการเติมสารเติมแต่ง และค่าสูงสุด คือ 50.15 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นภาวะปฏิบัติงานปกติ

อัตราส่วนโดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐานที่ศึกษาใช้ค่าต่ำสุด 2 : 98 % w/w เนื่องจากถ้าใช้ปริมาณซีโอไลต์ต่ำกว่านี้จะทำให้การไหลของผงพื้นฐานไม่ดีและเกิดผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐานของบริษัท ส่วนค่าสูงสุดที่ศึกษา คือ 4 : 96 % w/w เพราะจะทำให้ผงพื้นฐานมีขนาดเล็กกว่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาวะปฏิบัติงานที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย** (ตารางที่ ก.13 - ก.14)

- อัตราการฉีดสเลอรี่ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ 26 ตันต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 400 องศาเซลเซียส และ 71,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

**ตารางที่ ก.13** เปอร์เซ็นต์ของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตรและมี % AD สูงที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด ของการทดสอบปัจจัย

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | % AD | ความชื้น (wt%) | ซีโอไลต์ (wt%) | ขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm (wt%) | ขนาดเล็กกว่า 1,400 μm (wt%) |
| **1** | **28.87 (ค่าต่ำ)** | **2 (ค่าต่ำ)** | 1 | 29.83 | 6.25 | 2.08 | 50.01 | 49.99 |
| | | | 2 | 29.92 | 6.67 | 2.62 | 67.72 | 32.28 |
| | | | 3 | 29.75 | 6.79 | 1.56 | 69.65 | 30.35 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **29.83** | **6.57** | **2.09** | **62.46** | **37.54** |
| **2** | **28.87 (ค่าต่ำ)** | **4 (ค่าสูง)** | 1 | 29.89 | 6.17 | 2.62 | 60.15 | 39.85 |
| | | | 2 | 28.45 | 6.41 | 3.93 | 65.30 | 34.70 |
| | | | 3 | 30.18 | 6.22 | 4.2 | 60.82 | 39.18 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **29.51** | **6.27** | **3.58** | **62.09** | **37.91** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.13** เปอร์เซ็นต์ของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตรและมี % AD สูงที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด ของการทดสอบปัจจัย (ต่อ)

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **% AD** | **ความชื้น (wt%)** | **ซีโอไลต์ (wt%)** | **ขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm (wt%)** | **ขนาดเล็กกว่า 1,400 μm (wt%)** |
| **3** | **28.87 (ค่าต่ำ)** | **4 (ค่าสูง)** | 1 | 29.93 | 6.05 | 5.25 | 68.68 | 31.32 |
| | | | 2 | 30.44 | 5.53 | 4.73 | 65.79 | 34.21 |
| | | | 3 | 30.18 | 6.76 | 5.00 | 44.66 | 55.34 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **30.18** | **6.11** | **4.99** | **59.71** | **40.29** |
| **4** | **50.15 (ค่าสูง)** | **2 (ค่าต่ำ)** | 1 | 27.75 | 7.68 | 2.62 | 54.72 | 45.28 |
| | | | 2 | 28.29 | 5.36 | 2.09 | 59.65 | 40.35 |
| | | | 3 | 28.56 | 6.26 | 2.62 | 56.47 | 43.53 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **28.20** | **6.43** | **2.44** | **56.95** | **43.05** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.13** เปอร์เซ็นต์ของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตรและมี % AD สูงที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด ของการทดสอบปัจจัย (ต่อ)

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | **% AD** | **ความชื้น (wt%)** | **ซีโอไลต์ (wt%)** | **ขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm (wt%)** | **ขนาดเล็กกว่า 1,400 μm (wt%)** |
| **5** | **50.15 (ค่าสูง)** | **4% (ค่าสูง)** | 1 | 28.7 | 4.91 | 5.26 | 49.03 | 50.97 |
| | | | 2 | 29.5 | 6.01 | 5.26 | 46.26 | 53.74 |
| | | | 3 | 29.66 | 4.78 | 4.73 | 52.47 | 47.53 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **29.29** | **5.23** | **5.08** | **49.25** | **50.75** |
| **6** | **50.15 (ค่าสูง)** | **2 (ค่าต่ำ)** | 1 | 27.62 | 6.54 | 1.82 | 62.2 | 37.8 |
| | | | 2 | 28.29 | 6.54 | 1.82 | 55.25 | 44.75 |
| | | | 3 | 27.9 | 6.4 | 2.62 | 52.82 | 47.18 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **27.94** | **6.49** | **2.09** | **56.76** | **43.24** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.13** เปอร์เซ็นต์ของผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตรและมี % AD สูงที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด ของการทดสอบปัจจัย (ต่อ)

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | % AD | ความชื้น (wt%) | ซีโอไลต์ (wt%) | ขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm (wt%) | ขนาดเล็กกว่า 1,400 μm (wt%) |
| 7 | 50.15 (ค่าสูง) | 4 (ค่าสูง) | 1 | 28.29 | 6.39 | 4.99 | 59.4 | 40.60 |
| | | | 2 | 28.83 | 6.51 | 5.52 | 52.82 | 47.18 |
| | | | 3 | 28.56 | 7.31 | 5.26 | 57.34 | 42.66 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 28.56 | 6.74 | 5.26 | 56.52 | 43.48 |
| 8 | 28.87 (ค่าต่ำ) | 2 (ค่าต่ำ) | 1 | 28.15 | 6.4 | 2.09 | 63.47 | 36.53 |
| | | | 2 | 29.89 | 6.47 | 2.62 | 69.2 | 30.80 |
| | | | 3 | 28.18 | 5.51 | 2.08 | 73.26 | 26.74 |
| | ค่าเฉลี่ย | | | 28.74 | 6.13 | 2.26 | 68.64 | 31.36 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.14** ข้อกำหนดด้านคุณภาพคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบปัจจัย

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | % AD | | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | ผลต่าง | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **1** | **28.87 (ค่าต่ำ)** | **2 (ค่าต่ำ)** | 1 | 26.41 | 26.15 | 0.26 | 3.43 | 3.61 | 0.444 | 0.480 |
| | | | 2 | 26.54 | 26.11 | 0.43 | 4.22 | 3.08 | 0.446 | 0.482 |
| | | | 3 | 26.54 | 26.78 | -0.24 | 4.00 | 3.19 | 0.441 | 0.474 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **26.50** | **26.35** | **0.15** | **3.88** | **3.29** | **0.444** | **0.479** |
| **2** | **28.87 (ค่าต่ำ)** | **4 (ค่าสูง)** | 1 | 25.74 | 25.73 | 0.01 | 4.10 | 4.08 | 0.429 | 0.499 |
| | | | 2 | 26.15 | 26.12 | 0.03 | 3.84 | 3.41 | 0.406 | 0.504 |
| | | | 3 | 26.01 | 25.85 | 0.16 | 3.78 | 2.91 | 0.420 | 0.493 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **25.97** | **25.90** | **0.07** | **3.91** | **3.47** | **0.418** | **0.499** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.14** ข้อกำหนดด้านคุณภาพคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบปัจจัย (ต่อ)

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | % AD | | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | |
| | | | | **1** | **2** | **ผลต่าง** | **1** | **2** | **1** | **2** |
| **3** | **28.87 (ค่าต่ำ)** | **4 (ค่าสูง)** | 1 | 26.28 | 26.27 | 0.01 | 3.74 | 3.07 | 0.405 | 0.496 |
| | | | 2 | 26.01 | 26.40 | -0.39 | 4.48 | 2.78 | 0.428 | 0.481 |
| | | | 3 | 26.42 | 25.88 | 0.54 | 3.62 | 3.11 | 0.417 | 0.486 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **26.24** | **26.18** | **0.05** | **3.95** | **2.99** | **0.417** | **0.488** |
| **4** | **50.15 (ค่าสูง)** | **2 (ค่าต่ำ)** | 1 | 26.82 | 26.11 | 0.71 | 3.71 | 3.85 | 0.445 | 0.505 |
| | | | 2 | 26.25 | 26.02 | 0.23 | 3.60 | 3.74 | 0.445 | 0.494 |
| | | | 3 | 25.84 | 26.02 | -0.18 | 4.06 | 3.43 | 0.446 | 0.500 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **26.30** | **26.05** | **0.25** | **3.79** | **3.67** | **0.45** | **0.500** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.14** ข้อกำหนดด้านคุณภาพคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบปัจจัย (ต่อ)

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | % AD | | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | ผลต่าง | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **5** | **50.15 (ค่าสูง)** | **4% (ค่าสูง)** | 1 | 26.12 | 25.57 | 0.64 | 3.17 | 3.69 | 0.407 | 0.483 |
| | | | 2 | 26.42 | 25.48 | 0.69 | 3.98 | 3.93 | 0.438 | 0.482 |
| | | | 3 | 25.71 | 25.73 | 0.12 | 4.66 | 3.66 | 0.426 | 0.497 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **26.08** | **25.59** | **0.48** | **3.94** | **3.76** | **0.424** | **0.487** |
| **6** | **50.15 (ค่าสูง)** | **2 (ค่าต่ำ)** | 1 | 26.28 | 25.87 | 0.41 | 3.71 | 3.85 | 0.445 | 0.505 |
| | | | 2 | 26.53 | 25.86 | 0.67 | 3.60 | 3.74 | 0.445 | 0.494 |
| | | | 3 | 26.48 | 26.14 | 0.34 | 4.06 | 3.43 | 0.446 | 0.500 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **26.43** | **25.96** | **0.47** | **3.79** | **3.67** | **0.445** | **0.500** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.14** ข้อกำหนดด้านคุณภาพคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ ของการทดสอบปัจจัย (ต่อ)

| การทดลองชุดที่ | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เปอร์เซ็นต์โดยมวลของซีโอไลต์ต่อผงพื้นฐาน (wt%) | ครั้งที่ | % AD | | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | |
| | | | | 1 | 2 | ผลต่าง | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 7 | 50.15 (ค่าสูง) | 4 (ค่าสูง) | 1 | 25.72 | 25.70 | 0.02 | 4.36 | 3.98 | 0.427 | 0.494 |
| | | | 2 | 25.85 | 25.88 | -0.03 | 3.87 | 3.94 | 0.427 | 0.519 |
| | | | 3 | 25.945 | 25.18 | 0.77 | 4.23 | 3.59 | 0.428 | 0.505 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **25.84** | **25.59** | **0.25** | **4.15** | **3.84** | **0.427** | **0.506** |
| 8 | 28.87 (ค่าต่ำ) | 2 (ค่าต่ำ) | 1 | 26.14 | 26.68 | -0.54 | 4.06 | 3.43 | 0.426 | 0.504 |
| | | | 2 | 26.29 | 26.13 | 0.16 | 4.10 | 3.94 | 0.430 | 0.503 |
| | | | 3 | 26.27 | 26.25 | 0.02 | 3.02 | 4.23 | 0.419 | 0.497 |
| | **ค่าเฉลี่ย** | | | **26.23** | **26.35** | **-0.12** | **3.73** | **3.87** | **0.425** | **0.501** |

**หมายเหตุ** ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ตำแหน่งที่ 1 คือ ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด

ตำแหน่งที่ 2 คือ ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ภาวะปฏิบัติงานปกติที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย**

- อัตราการฉีดสเลอรี่ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ 26 ตันต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 412 องศาเซลเซียส และ 71,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- ปริมาณซีโอไลต์ 3 %โดยน้ำหนัก

**ตารางที่ ก.15** ปริมาณรีเวิร์คจากภาวะปฏิบัติงานปกติที่ใช้ในการทดลองนี้และจากภาวะที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป

| ภาวะปฏิบัติงาน | อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | เวลาในการทดลอง (ชั่วโมง) | ปริมาณรีเวิร์ค (กิโลกรัม) | ครั้งที่ | ผงพื้นฐานที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนคัดขนาด | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ขนาดใหญ่กว่า 1,400 μm (wt%) | ขนาดเล็กกว่า 1,400 μm (wt%) |
| ก่อนใช้ค่าจากโปรแกรมมินิแทป | **50.15** | 2 | 101.82 | **1** | 29.87 | 69.73 |
| | | | | **2** | 30.62 | 69.92 |
| | | | | **3** | 29.77 | 70.07 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | | | | **30.09** | **69.91** |
| หลังใช้ค่าจากโปรแกรมมินิแทป | **28.87** | 2 | 65.6 | **1** | 25.20 | 74.7 |
| | | | | **2** | 24.24 | 75.60 |
| | | | | **3** | 25.13 | 75.37 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | | | | **24.80** | **75.20** |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ภาวะปฏิบัติงานปกติที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย**

- อัตราการฉีดสเลอรี่ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ 26 ตันต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 412 องศาเซลเซียส และ 71,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 50.15 ตันต่อชั่วโมง และปริมาณซีโอไลต์ 3 %โดยน้ำหนัก

**ตารางที่ ก.16** ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ จากภาวะปฏิบัติงานปกติ

| อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | ครั้งที่ | % AD | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | | ผงหยาบ (wt%) | | ผงละเอียด (wt%) | | อัตราการไหลเชิงปริมาตร (มิลลิลิตรต่อวินาที) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 50.15 | 1 | 25.87 | 25.11 | 4.99 | 3.99 | 0.461 | 0.538 | 3.98 | 2.79 | 12.32 | 18.21 | 116 | 99 |
| | 2 | 26.39 | 26.28 | 4.48 | 4.17 | 0.463 | 0.536 | 4.87 | 3.83 | 6.53 | 16.45 | 115 | 96 |
| | 3 | 26 | 26.06 | 2.6 | 4.44 | 0.461 | 0.538 | 4.25 | 4.15 | 10.1 | 17.53 | 115 | 98 |
| | 4 | 25.44 | 25.04 | 3.48 | 3.83 | 0.466 | 0.531 | 5.65 | 4.19 | 8.15 | 15.63 | 110 | 99 |
| | 5 | 26 | 25.97 | 3.9 | 3.63 | 0.463 | 0.533 | 2.86 | 4.68 | 8.71 | 16.55 | 114 | 98 |
| | 6 | 26.48 | 26.3 | 3.12 | 3.44 | 0.466 | 0.533 | 4.53 | 5.04 | 10.3 | 14.32 | 112 | 97 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.16** ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ จากภาวะปฏิบัติงานปกติ (ต่อ)

| อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | ครั้งที่ | % AD | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | | ผงหยาบ (wt%) | | ผงละเอียด (wt%) | | อัตราการไหลเชิงปริมาตร (มิลลิลิตรต่อวินาที) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **50.15** | 7 | 25.75 | 25.64 | 3.75 | 3.61 | 0.463 | 0.536 | 5.16 | 3.88 | 7.26 | 16.07 | 114 | 96 |
| | 8 | 25.86 | 25.26 | 4.04 | 3.89 | 0.468 | 0.531 | 4.62 | 4.21 | 10.14 | 15.11 | 114 | 96 |
| | 9 | 26.36 | 26.4 | 3.94 | 3.56 | 0.451 | 0.531 | 5.19 | 3.66 | 12.22 | 17.72 | 116 | 95 |
| | 10 | 25.87 | 24.93 | 3.63 | 3.84 | 0.451 | 0.52 | 3.72 | 3.97 | 13.04 | 16.87 | 111 | 98 |
| | 11 | 25.47 | 25.46 | 3.26 | 3.96 | 0.443 | 0.52 | 5.41 | 2.68 | 7.26 | 18.64 | 110 | 98 |
| | 12 | 26.24 | 26 | 3.8 | 3.75 | 0.443 | 0.523 | 4.83 | 4.2 | 12.51 | 17.29 | 112 | 96 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | **25.98** | **25.70** | **3.75** | **3.84** | **0.458** | **0.531** | **4.59** | **3.94** | **9.64** | **16.7** | **111** | **97** |

**หมายเหตุ** ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ตำแหน่งที่ 1 คือ ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด

ตำแหน่งที่ 2 คือ ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ภาวะปฏิบัติงานที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย**

- อัตราการฉีดสเลอรี่ที่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ 26 ตันต่อชั่วโมง
- อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศร้อนขาเข้าเท่ากับ 412 องศาเซลเซียส และ 71,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
- อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาดเท่ากับ 28.87 ตันต่อชั่วโมง (ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมจากโปรแกรมมินิแทป) และปริมาณซีโอไลต์ 3 %โดยน้ำหนัก

**ตารางที่ ก.17** ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ จากภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป

| อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง) | ครั้งที่ | % AD | | ความชื้น (wt%) | | ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) | | ผงหยาบ (wt%) | | ผงละเอียด (wt%) | | อัตราการไหลเชิงปริมาตร (มิลลิลิตรต่อวินาที) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| **28.87** | 1 | 26.14 | 25.87 | 3.17 | 4.12 | 0.458 | 0.518 | 4.43 | 4.68 | 7.49 | 18.15 | 105 | 101 |
| | 2 | 25.73 | 25.6 | 2.88 | 2.91 | 0.466 | 0.513 | 6.92 | 2.14 | 10.14 | 19.3 | 105 | 100 |
| | 3 | 25.38 | 26.14 | 3.03 | 3.3 | 0.471 | 0.538 | 5.81 | 4.04 | 8.48 | 19.52 | 112 | 98 |
| | 4 | 26 | 25.73 | 4.33 | 3.87 | 0.476 | 0.52 | 5.65 | 4.36 | 8.15 | 18.56 | 110 | 98 |
| | 5 | 25.77 | 25.87 | 3.39 | 3.75 | 0.468 | 0.538 | 4.36 | 3.86 | 10.13 | 19.12 | 118 | 99 |
| | 6 | 26.49 | 26.17 | 2.97 | 4.09 | 0.468 | 0.528 | 3.72 | 3.11 | 12.5 | 19.02 | 115 | 92 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**ตารางที่ ก.17** ข้อกำหนดด้านคุณภาพของผงพื้นฐานที่ตำแหน่งต่างๆ จากภาวะที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

| **อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตัน/ชั่วโมง)** | **ครั้งที่** | **% AD** | | **ความชื้น (wt%)** | | **ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)** | | **ผงหยาบ (wt%)** | | **ผงละเอียด (wt%)** | | **อัตราการไหลเชิงปริมาตร (มิลลิลิตรต่อวินาที)** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างผงพื้นฐาน** | | | | | | | | | | | |
| | | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** | **2** |
| **28.87** | 7 | 25.98 | 26.09 | 3.72 | 3.84 | 0.471 | 0.531 | 4.8 | 3.26 | 8.93 | 19.91 | 110 | 96 |
| | 8 | 25.87 | 25.74 | 3.31 | 3.72 | 0.466 | 0.531 | 4.62 | 3.08 | 10.14 | 18.59 | 110 | 94 |
| | 9 | 26.59 | 26.34 | 4.25 | 3.62 | 0.466 | 0.528 | 3.72 | 2.65 | 12.22 | 17.75 | 115 | 98 |
| | 10 | 25.86 | 25.23 | 4.4 | 3.82 | 0.478 | 0.526 | 4.25 | 3.45 | 8.69 | 19.59 | 112 | 96 |
| | 11 | 26.67 | 25.67 | 4.02 | 3.18 | 0.481 | 0.52 | 4.61 | 3.84 | 8.47 | 17.56 | 111 | 95 |
| | 12 | 25.6 | 26.27 | 4.24 | 3.96 | 0.481 | 0.52 | 5.03 | 3.31 | 9.33 | 18.63 | 112 | 98 |
| **ค่าเฉลี่ย** | | **26.01** | **25.89** | **3.64** | **3.68** | **0.471** | **0.526** | **4.83** | **3.48** | **9.55** | **19.31** | **111** | **97** |

**หมายเหตุ** ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง ตำแหน่งที่ 1 คือ ผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด

ตำแหน่งที่ 2 คือ ผงพื้นฐานที่ออกจากเครื่องร่อนคัดขนาด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# ภาคผนวก ข

# วิธีการวิเคราะห์คุณภาพของผงพื้นฐานและผงซักฟอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข.1 วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพการซักล้างของผงพื้นฐาน และผงซักฟอก (% AD)**

**ขั้นตอนการวิเคราะห์ % AD ของสารตัวอย่าง**

1. ชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างประมาณ 5.00 กรัม บันทึกน้ำหนักและละลายในน้ำกลั่น

2. เทสารละลายของสารตัวอย่างใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3. ปิเปตสารละลายที่ได้ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดที่จะทำการไทเทรต เจือจางด้วยน้ำกลั่นประมาณ 20 มิลลิลิตร เพื่อให้สามารถสังเกตสีของสารละลายเมื่อถึงจุดยุติได้ง่ายขึ้น

4. เติมอินดิเคเตอร์ 10 มิลลิลิตร และคลอโรฟอร์ม 15 มิลลิลิตร ลงไป เขย่าให้เข้ากัน

5. ปิดด้วยจุกยางแล้วเขย่าขวด ไทเทรตด้วยสารละลาย Hyamine 1622 ทีละน้อย และเขย่าทุกครั้งจนกระทั่งถึงจุดยุติ คือ เมื่อสารละลายในชั้นของคลอโรฟอร์มเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเทาฟ้า

6. บันทึกปริมาตรของสารละลาย Hyamine 1622 ที่ใช้ไทเทรต

**การคำนวณ**

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

เมื่อ CC = ปริมาตรของสารละลาย Hyamine 1622 ที่ใช้ไทเทรต

M = ความเข้มข้นของสารละลาย Hyamine 1622 (0.004 โมลาร์)

MW = มวลโมเลกุลของสารโซเดียมลิเนียร์อัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Sodium linear alkylbenzene sulfonate: NaLAS) เท่ากับ 344

W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

V = ปริมาตรของสารละลายของสารตัวอย่างในข้อ 3 (5 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ข.2 วิธีวิเคราะห์ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐาน (Bulk density: BD)**

**ขั้นตอนการวิเคราะห์ BD ของสารตัวอย่าง**

1. ใส่ผงพื้นฐานประมาณ 500 กรัม ที่ด้านบนของเครื่องวัดความหนาแน่นรวม แล้วดึงแผ่นเหล็กออก เพื่อให้ผงพื้นฐานไหลลงกระบอกตวงด้านล่าง ปาดผงพื้นฐานที่ล้นเกินกระบอกตวง
2. ชั่งน้ำหนักผงพื้นฐานในกระบอกตวง แล้วคำนวณความหนาแน่นรวมจากสมการ

$$\mathrm{BD} = \frac{\text{น้ำหนักผงพื้นฐานพร้อมกระบอกตวง (กรัม)} - \text{น้ำหนักกระบอกตวง (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของกระบอกตวง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

เมื่อ น้ำหนักกระบอกตวง 817.15 กรัม

ปริมาตรกระบอกตวง 397.3 ลูกบาศก์เซนติเมตร

**ข.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (% Moisture)**

**ขั้นตอนการวิเคราะห์ % Moisture ของสารตัวอย่าง**

1. เปิดสวิตซ์ ON ที่ด้านหน้าเครื่องวิเคราะห์ปริมาณความชื้น
2. กด Tare (T) ให้หน้าปัดแสดงตัวเลขเป็น 0.000 กรัม แล้วกด Enter
3. ชั่งน้ำหนักผงพื้นฐาน 3±0.1 กรัม ลงในถาดใส่ตัวอย่าง แล้วปิดฝาครอบ
4. เครื่องจะทำงาน (ไฟจะสว่าง) เมื่อเครื่องทำงานเสร็จจะแสดงข้อความ END บนหน้าปัด
5. บันทึกปริมาณความชื้น

**ข.4 วิธีวิเคราะห์ปริมาณผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 180 µm (% Fine) และปริมาณผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 µm (% Coarse)**

**ขั้นตอนการวิเคราะห์ % Fine และ % Coarse ของสารตัวอย่าง**

1. เตรียมชุดตะแกรงร่อน ขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 2591 โดยเรียงตะแกรงร่อนตามขนาดช่องเปิดตามลำดับจากด้านล่าง 0, 125 และ 1,400 ไมโครเมตร
2. ชั่งผงพื้นฐาน 25±0.1 กรัม ใส่ลงบนตะแกรงร่อน และปิดฝาชุดตะแกรงร่อน
3. ตั้งเวลาเครื่องเขย่าชุดตะแกรงร่อน 10 นาที แล้วเปิดสวิตช์การทำงานของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อครบ 10 นาที ยกชุดตะแกรงร่อนออก นำตะแกรงร่อนชั้นบนสุดออกมา แล้วเทผงพื้นฐานที่ค้างบนตะแกรงร่อนใส่ถ้วยตวง ใช้แปรงไนลอนปัดส่วนที่ติดอยู่ในช่องตะแกรงออกให้หมด แล้วนำไปชั่ง คำนวณ % Coarse = 4 × น้ำหนักผงพื้นฐานที่ชั่งได้

5. เทผงพื้นฐานที่อยู่ชั้นล่างสุดใส่ถ้วยตวง นำไปชั่ง คำนวณ % Fine = 4 × น้ำหนักผงพื้นฐานที่ชั่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## การคำนวณอัตราการให้ผลผลิตของเครื่องร่อนคัดขนาดสูงสุด (Capacity) และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค.1 การคำนวณอัตราการให้ผลผลิตของเครื่องร่อนคัดขนาดสูงสุด (Capacity)

ใช้สมการในการคำนวณ อ้างอิงจากเอกสาร Core Design ของบริษัทยูนิลิเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด ดังนี้

$$\text{Width} = (1{,}400 \times Q) / (BD \times d \times 8)$$

$$Q = \text{Width} \times BD \times d \times 8 / 1{,}400$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลเชิงมวลเข้าเครื่องร่อนคัดขนาด หรือ Powder throughput (ตันต่อชั่วโมง)

BD = ความหนาแน่นรวมของผงพื้นฐาน หรือ Bulk density ซึ่งเท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

d = ขนาดรูตะแกรงชั้นล่างสุด หรือ Lowest deck aperture ซึ่งเท่ากับ 8 มิลลิเมตร

Width = ความกว้างของตะแกรง ซึ่งเท่ากับ 2 เมตร

ดังนั้น

Q = (2 เมตร × 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร × 8 มิลลิเมตร × 8) / 1,400

= 45.71 ตันต่อชั่วโมง

### ค.2 การคำนวณค่าดำเนินงานที่ต้องจ่ายเพื่อนำรีเวิร์คกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต

ค่าดำเนินงานจากค่าจ้างแรงงาน ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเพื่อนำรีเวิร์คกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต เท่ากับ 4,000 บาทต่อตัน

จากตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบปริมาณรีเวิร์คที่เกิดขึ้นจากภาวะปฏิบัติงานปกติและหลังจากใช้ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป

| | ภาวะปฏิบัติงานปกติ | ภาวะปฏิบัติงานที่เหมาะสมในโครงการนี้ |
|---|---|---|
| **อัตราการไหลของผงพื้นฐานที่เข้าเครื่องร่อนคัดขนาด (ตันต่อชั่วโมง)** | 50.15 | 28.87 |
| **ปริมาณรีเวิร์ค (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)** | 50.91 | 32.8 |
| **ปริมาณผงพื้นฐานที่มีขนาดใหญ่กว่า 1,400 ไมโครเมตร (wt%)** | 30.09 | 24.80 |
| **ปริมาณผงพื้นฐานที่มีขนาดเล็กกว่า 1,400 ไมโครเมตร (wt%)** | 69.91 | 75.2 |

สามารถคำนวณค่าดำเนินงานที่ต้องจ่ายเพื่อนำรีเวิร์คกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต (คิดจากเวลาที่บริษัทดำเนินการผลิต 330 วัน) ได้ดังนี้

<u>ภาวะปฏิบัติงานปกติ</u>

ปริมาณรีเวิร์คจากเครื่องร่อนคัดขนาด = 50. 91 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

= (50. 91 กิโลกรัมต่อชั่วโมง / 1,000 กิโลกรัมต่อตัน) × 24 ชั่วโมงต่อวัน × 330 วันต่อปี

= 403.21 ตันต่อปี

<u>ภาวะปฏิบัติงานในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป</u>

ปริมาณรีเวิร์คจากเครื่องร่อนคัดขนาด = 32.8 ตันต่อชั่วโมง

= (32.8 กิโลกรัมต่อชั่วโมง / 1,000 กิโลกรัมต่อตัน) × 24 ชั่วโมงต่อวัน × 330 วันต่อปี

= 259.78 ตันต่อปี

ดังนั้น ปริมาณรีเวิร์คลดลง = 403.21 ตันต่อปี - 259.78 ตันต่อปี

= 43.43 ตันต่อปี

คิดเป็นมูลค่าดำเนินงานที่ลดลง = 143.43 ตันต่อปี × 4,000 บาทต่อตัน

= 574,000 บาทต่อปี

## ค.3 การคำนวณต้นทุนค่าเสียโอกาสที่ได้จากการใช้ผงพื้นฐานที่มีค่าเฉลี่ยของ % AD เพิ่มขึ้นผสมกับสารเติมแต่ง

ราคาต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตผงพื้นฐาน เท่ากับ 19,400 บาทต่อตันผงพื้นฐาน

กำลังผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน เท่ากับ 90,000 ตันต่อปี

โครงการนี้ปรับปรุงที่สายการผลิตที่ 1 ซึ่งมีกำลังผลิตผงซักฟอกสูตรมาตรฐาน เท่ากับ 45,000 ตันต่อปี

บริษัทกำหนดค่ากลางของพิกัดข้อกำหนดเฉพาะหรือค่าเป้าหมายของ % AD ของผงพื้นฐาน เท่ากับ 26.675 %

โดยปกติผสมผงพื้นฐาน 75 % ของผงซักฟอก (อีก 25 % คือ สารเติมแต่ง)

<u>ภาวะปฏิบัติงานปกติ</u> ผงพื้นฐานมี % AD เท่ากับ 25.70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ภาวะปฏิบัติงานในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป</u> ผงพื้นฐานมี % AD เพิ่มขึ้นเป็น 25.89 %

คำนวณปริมาณผงพื้นฐานที่ใช้ได้ดังนี้

ปริมาณผงพื้นฐาน (wt%) = (75 % × % AD ของผงพื้นฐานที่ใช้) / 26.675 %

ดังนั้น <u>ภาวะปฏิบัติงานปกติ</u> จะใช้ผงพื้นฐาน = (75 % × 25.70 %) / 26.675 %

= 72.26 %

<u>ภาวะปฏิบัติงานในโครงการนี้ที่ได้จากโปรแกรมมินิแทป</u> จะใช้ผงพื้นฐาน

= (75 % × 25.89 %) / 26.675

= 72.79 %

ดังนั้น สามารถลดปริมาณผงพื้นฐานที่จะใช้ได้ = 72.79 % - 72.26 %

= 0.53 %

= (0.53 / 100) × 45,000 ตันต่อปี

= 238.5 ตันต่อปี

คิดเป็นมูลค่า = 238.5 ตันต่อปี × 19,400 บาทต่อตัน

= 4,626,900 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ-นามสกุล** นางสาวรัฐพร ตาแก้ว

**วัน เดือน ปีเกิด** 23 ตุลาคม 2534

**ที่อยู่** 44 หมู่ 4 ตำบลท่าช้าง อำเภอเสาไห้ จังหวัดสระบุรี 18160

**Email** winney23_nozz@hotmail.com โทรศัพท์ 085-182-9806

**ประวัติการศึกษา**

- พ.ศ. 2550-2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเสาไห้ "วิมลวิทยนุกูล" จังหวัดสระบุรี
- พ.ศ. 2553-2556 ปริญญาตรี วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ประสบการณ์การฝึกงานและผลงานวิจัย**

นักศึกษาฝึกงานที่บริษัท อูเบะ เคมิคอลส์ (เอเชีย) จำกัด (มหาชน) จังหวัดระยอง ส่วนโรงผลิตสารคาโปรแลคตัม ระหว่างวันที่ 1 เมษายน – 31 พฤษภาคม 2556

**ชื่อ-นามสกุล** นางสาวลีลาวรรณ รัตนวิภา

**วัน เดือน ปีเกิด** 11 กันยายน 2534

**ที่อยู่** 135/117 หมู่บ้าน NSC ซอย 3 หมู่ 10 ตำบลวัดไทร อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000

**Email** leelawan_chem@hotmail.com โทรศัพท์ 084-598-0910

**ประวัติการศึกษา**

- พ.ศ. 2550-2552 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสตรีนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์
- พ.ศ. 2553-2556 ปริญญาตรี วศ.บ. (วิศวกรรมเคมี) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ประสบการณ์การฝึกงานและผลงานวิจัย**

นักศึกษาฝึกงานที่บริษัท บางจาก ปิโตรเลียม จำกัด
ส่วนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ระหว่างวันที่ 29 มีนาคม – 31 พฤษภาคม 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้